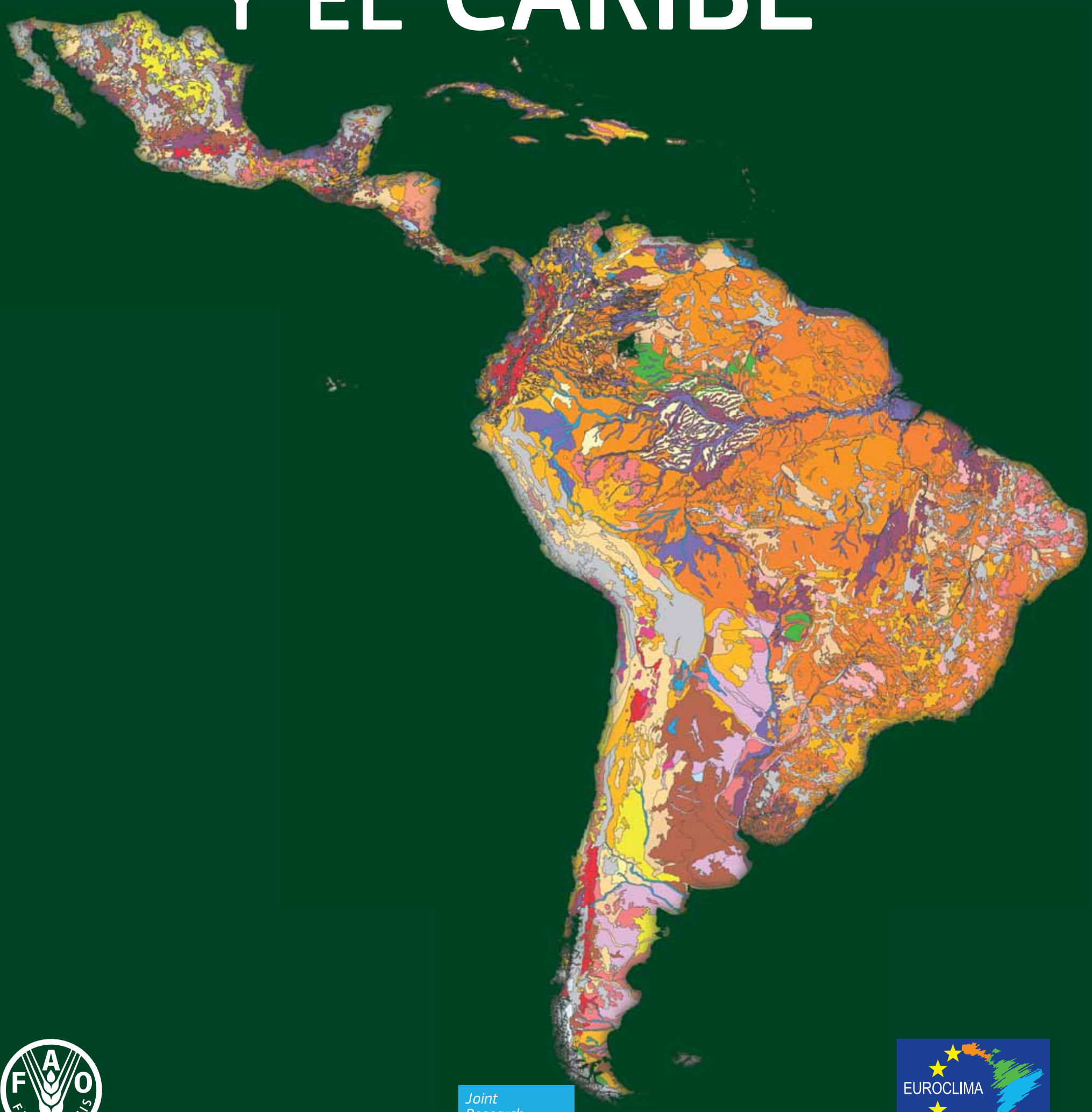
Comisión Europea

ATLAS DE SUELOS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE



FAO FIAT PANIS

Joint Research Centre

EUROCLIMA

Comisión Europea

ATLAS DE SUELOS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

EUROCLIMA

Realizado en el marco del programa EUROCLIMA.

Financiado por la Comisión Europea.

Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid.

FAO FIAT PANIS

Joint Research Centre

Detalles de la publicación

Este documento debe citarse como:

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds), 2014. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp

© Unión Europea, 2014

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación con fines educativos, siempre que se cite la fuente bibliográfica.

Publicado por la Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxemburgo, Luxemburgo.

EUR 25402 ES – Atlas de suelos de América Latina y el Caribe

Número de catálogo LB-NA-25402-ES-C

ISSN: 1018-5593

ISBN: 978-92-79-25599-1

DOI: 10.2788/37334

2013 – 176 pp. – 30,1 x 42,4 cm

MIXTO
Papel procedente de fuentes responsables
FSC® C021611
FSC www.fsc.org

Printed in Belgium.

Esta publicación fue impresa en papel procesado libre de cloro.

CÓMO OBTENER LAS PUBLICACIONES DE LA UE

- a través de la EU Bookshop (http://bookshop.europa.eu);
- en una librería, proporcionando el título, editorial y/o código ISBN;
- contactando directamente a nuestros agentes de ventas: por internet (http://bookshop.europa.eu/)
- o por fax: +352 2929-42758.

PARA SABER MÁS SOBRE LA UE

Puede coonsultar la información disponible sobre la Unión Europea en el siguiente sitio de Intenet: http://europa.eu

El servicio de información central Europe Direct le ayudará a responder a sus preguntas sobre la Unión Europea:

Número de teléfono gratuito (*):

00 800 6 7 8 9 10 11

(*) Algunos operadores de telefonía móvil no permiten el acceso a números que comienzan por 00 800, o bien aplican un cargo sobre la llamada.

Aviso legal

Ni la Comisión Europea ni ninguna persona que actúe en nombre de la Comisión es responsable del uso que pudiera hacerse de la siguiente información.

Portada

El mapa de la portada muestra los principales tipos de suelo de Latinoamérica y el Caribe (LAC) de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Suelo. Existen más de 20 regiones diferentes en el continente, según el tipo de suelo predominante. Éstas son el resultado de la historia geológica, la topografía, el clima y la vegetación. A grandes rasgos se pueden agrupar en tres zonas principales: las tierras bajas, la sierra y los Andes.

Desde un punto de vista agronómico, los suelos de las regiones tropicales húmedas se caracterizan por su baja fertilidad natural. Por otro lado, una quinta parte del continente está cubierta por suelos áridos en los que la agricultura de secano es prácticamente inviable sin el aporte de riego. En otras zonas (aproximadamente el 10% de la superficie de América Latina) existen problemas de drenaje en el suelo. Para terminar con el repaso a las limitaciones agrícolas que se pueden encontrar en LAC, cabe mencionar las fuertes pendientes y los suelos poco profundos formados por fragmentos de rocas, ambos característicos de las zonas andinas. Sin embargo, en los valles interandinos y en algunas zonas a pie de montaña, se pueden encontrar suelos poco profundos con depósitos de lagos eutróficos, es decir, muy ricos en nutrientes, a pesar de estar sujetos a la deficiencia de oxígeno de manera estacional. Los suelos fértiles suponen alrededor del 10% la superficie de LAC. La pampa argentina, la mayor área fértil en el continente, está cubierta de loess, un material geológico sedimentario depositado por el viento, muy rico en minerales, mezclado con sedimentos volcánicos. El desarrollo agrícola de América del Sur refleja fielmente la distribución de los suelos en función de su fertilidad: en las zonas más orientales, en las llanuras, se concentra la producción de cereales y ganadería, mientras que en las partes subtropicales y templadas de los Andes, desde Colombia hasta Chile, los suelos son pastoreados y cultivados con una amplia gama de especies agrícolas. En el este y sureste de Brasil se pueden encontrar cultivos de café, cacao, soja y caña de azúcar, mientras que en las mesetas interiores se practica la ganadería.

La degradación del suelo ha causado estragos en gran parte del continente. Se estima que en varios países de LAC, al menos la mitad de las tierras cultivables se ha visto gravemente perjudicada por la mala gestión del suelo, lo que ha favorecido los procesos de degradación. Los problemas más agudos de erosión se dan en zonas montañosas, mientras que en terrenos relativamente planos, los procesos de erosión y degradación del suelo son menos severos. No obstante, la mayoría de los países cuenta con campañas para la conservación y/o restauración del suelo.

Representaciones cartográficas

Los elementos cartográficos incluidos en los mapas que aparecen en el Atlas derivan del Mapa Digital Mundial (DCW, por sus siglas en inglés: Digital Chart of the World) y de la base cartográfica de Lovell Johns. Estos datos no cuentan con ningún status legal explícito, por lo que no hay aspectos legales que debieran derivarse de la información presentada en cualquiera de los mapas de esta publicación.

http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Chart_of_the_World

Los datos de suelo

Los mapas de suelos que se presentan en este atlas se derivan de varios proyectos destinados a elaborar una base de datos del suelo armonizada para América del Sur y Central y el Caribe.

Los mapas que muestran los tipos de suelo según la Base Referencial Mundial (WRB) se derivan de la integración de los datos de Soterlac V.2.0 y mapas de suelo elaborados por los siuientes países: México, Cuba, Costa Rica, Guatemala, Panamá, Colombia, Venezuela, Ecuador, Brasil y Uruguay.

El mapa que muestra la distribución de las propiedades del suelo ha sido creado a partir de la base de datos Soterlac V.2.0.

Estos datos deben citarse de la siguiente manera:

- Dijkshoorn JA, Huting JRM and Tempel P 2005. Update of the 1:5 million Soil and Terrain Database for Latin America and the Caribbean (SOTERLAC; version 2.0). Report 2005/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, Holanda.

Los mapas de suelo han sido elaborados por el equipo Soil Action de la Unidad "Land Resources Management" del IES (*), junto con con Lovell Johns Ltd, Reino Unido.

(*) El IES (por sus siglas en inglés: Institute for Environment and Sustainability) es uno de los institutos cienftíficos que operan en el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC, por sus siglas en inglés: Joint Research Centre) , Ispra (Italia).

Cláusula de exención de responsabilidad

La Comisión Europea ha elaborado con sumo cuidado la información que se presenta en este atlas. Los límites políticos que aparecen en los mapas están representados únicamente con fines orientativos. La Comisión Europea no asume ninguna responsabilidad por la información recogida en esta publicación.

EUROCLIMA

Programa EUROCLIMA

Toda las actividades llevadas a cabo para la realización del Atlas y recogidas en el mismo fueron auspiciadas por el programa EUROCLIMA, financiado y gestionado por la Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid de la Comisión Europea (Unidad Programas Regionales América Latina y Caribe).

http://www.euroclima.org/en/

El diseño final y el apoyo gráfico ha sido llevado a cabo por Lovell Johns Limited, 10 Hanborough Buisiness Park, Long Hanborough, Witney, Oxfordshire, OX29 8RU, United Kingdom.

www.lovelljohns.com

lovelljohns.com

Comité Editorial

Ciro Gardi[1/11] (Coordinador), Marcos Angelini[2], Sara Barceló[1], Juan Comerma[3], Carlos Cruz Gaistardo[4], Arnulfo Encina Rojas[5], Arwyn Jones[1], Pavel Krasilnikov[6], Maria de Lourdes Mendonça Santos Brefin[7], Luca Montanarella[1], Olegario Muñiz Ugarte[8], Peter Schad[9], María Isabel Vara Rodríguez[1], Ronald Vargas[10] (editores principales).

[1] Comisión Europea, JRC, Italia

[2] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina

[3] Sociedad Venezolana de Ciencias del Suelo (SVCS), Venezuela

[4] Programa Mexicano del Carbono, México

[5] SOPACIS, Paraguay

[6] Eurasian Centre for Food Security (ECFS), Rusia

[7] Embrapa-Solos, Brasil

[8] Instituto de Suelos (IS), Cuba

[9] Technische Universität München (TUM), Alemania

[10] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

[11] Universidad de Parma, Italia

Algunos de los miembros del Comité Editorial durante su segunda reunión. Ispra (Italia), julio de 2011. (HA)

Autores

Marcos Angelini, INTA, Argentina
Julio César Alegre Orihuela, UNALM, Perú
Alicia Aleksa, INTA, Argentina
Alfredo Altamirano, MGAP, Uruguay
Álvaro Califra, UDELAR, Uruguay
Gloria Arevalo, UAPZ, Honduras
Jesús Argumedo Espinosa, INEGI, México
Durán Artigas, UDELAR, Uruguay
Sara Barceló, Comisión Europea, JRC, Italia
Francisco Bautista, UNAM, México
Laura Bertha Reyes Sánchez, SLCS, México
Jose Irán Bojórquez, Universidad Autónoma de Nayarit, México
Dalmacio Bosch Infante, Instituto de Suelos, Cuba
Javier Burgos, CISTEL, Bolivia
Libardo Antonio Burgos Revelo, IGAC, Colombia
Priscila Carrasco Molina, CIREN, Chile
Aracely Castro Zúñiga, CIAT, Colombia
José Luis Colocho Ortega, ASCS, El Salvador
Juan Comerma, SVCS, Venezuela
Francisco de la Trinidad Cabrera, INEGI, México
Ricardo de Oliveira Dart, Embrapa-Solos, Brasil
Hector Del Valle, CENPAT, Argentina
Martin Dell'Acqua, MGAP, Uruguay
Mário Luis Diamante Aglio, Embrapa-Solos, Brasil
Vicente Díaz Núñez, Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes, México
Emma Fuentes Alfonso, Instituto de Suelos, Cuba
Gonzalo Gajardo Escobar, CIREN, Chile
Jorge Dionisio Etchevers Barra, SAGARPA, México
Carlos Omar Cruz Gaistardo, Programa Mexicano del Carbono, México
Sady García, UNALM, Perú
Ciro Gardi, Comisión Europea, JRC / Universidad de Parma, Italia
Humberto Gonçalves dos Santos, Embrapa-Solos, Brasil
Augusto González Artieda, CLIRSEN, Ecuador
Juan Guerrero, UNALM, Perú
Renato Haro, CLIRSEN, Ecuador
Alberto Hernández Jiménez, INCA, Cuba
Luis Carlos Hernani, Embrapa-Solos, Brasil
Mariana Hill, MGAP, Uruguay
Patrocinio Alonso Jara, SOPACIS, Paraguay
Juan Jiménez, IPE-CSIC, España
Arwyn Jones, Comisión Europea, JRC, Italia
Pavel Krasilnikov, ECFS, Rusia
Braulio La Torre, UNALM, Perú
Ana Lía Larrosa, MGAP, Uruguay
Raúl Marsán Bartolomé, IS, Cuba
Rafael Mata, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
Maria de Lourdes Mendonça Santos, Embrapa-Solos, Brasil
Reynaldo Mendoza Bismark, UNA, Nicaragua
José Merlo, CLIRSEN, Ecuador
Luca Montanarella, Comisión Europea, JRC, Italia
Olegario Muñiz Ugarte, IS, Cuba
Julio César Nazario, UNALM, Perú
Marco Nocita, Comisión Europea, JRC, Italia
Pedro Antonio Núñez Ramos, IDIAF, República Dominicana
Federico Olmedo, INTA, Argentina
Ronald Ontiveros, Universidad Autónoma Chapingo, México
Lily Paniagua, Costa Rica
Juan Miguel Pérez Jiménez, IS, Cuba
Cecilia Petraglia, MGAP, Uruguay
Lúcia da Luz Queiroz Pereira, Embrapa-Solos, Brasil
Carlos Alberto Quesada, RAINFOR, Brasil
Thomas Reinsch, USDA, USA
Gerardo Reyes Calvo, CIREN, Chile
Lucas Ruiz, IANIGLA-CONICET, Argentina
Riekhnath Sanchit, NPO, Surinam
Luis Rivero Ramos, IS, Cuba
Mauricio Rizzato Coelho, Embrapa-Solos, Brasil
Andrés Felipe Rodríguez Vásquez, IGAC, Colombia
Arnulfo Encina Rojas, SOPACIS, Paraguay
Víctor Manuel Romero Benitez, INEGI, México
Lucas Ruiz, IANIGLA-CONICET, Argentina
Darwin Sanchez, CLIRSEN, Ecuador
Peter Schad, TUM, Alemania
Gustavo Sevillano, CLIRSEN, Ecuador
Ricardo Siachoque Bernal, IGAC, Colombia
José de Souza Silva, Embrapa-Solos, Brasil
Constantino Soto, UMSS, Bolivia
Wenceslau Geraldes Teixeira, Embrapa-Solos, Brasil
Hugo Antonio Tobías Vásquez, FAUSAC, Guatemala
María Isabel Vara Rodríguez, Comisión Europea, JRC, Italia
Ronald Vargas, FAO
José Ezequiel Villarreal, IDIAP, Panamá
Gilberto Román Xix Aké, INEGI, México
Darwin Yánez, CLIRSEN, Ecuador
Yusuf Ygini, Comisión Europea, JRC, Italia

Al final de la sección Glosario (página 173) aparece una relación con los acrónimos de las diferentes instituciones y su significado correspondiente.

Agradecimientos

El Atlas ha sido realizado gracias a la contribución de los principales edafólogos de América Latina, el Caribe, Europa y América del Norte, junto con sus respectivas organizaciones nacionales e internacionales. Todas estas actividades se han realizado bajo el auspicio del programa EUROCLIMA, financiado por la Dirección General de Desarrollo y Coopración - EuropeAid, y en particular a través del apoyo de Jose Maria González y González, Catherine Ghyoot, Susana Campoy Folgoso y Jan Karremans. El compromiso entre el Centro Común de Investigación (Joint Research Centre, JRC) y la FAO dio lugar a la puesta en marcha inicial de la Red de Científicos del Suelo de LAC, que luego se convirtió en la Alianza Latinoamérica por el Suelo, cuya actividad se espera continúe tras la finalización de este proyecto.

Por último, se ha hecho lo posible en todo momento para localizar a los titulares de los derechos de autor. El comité editorial se disculpa de antemano por las posibles omisiones involuntarias y se compromete a subsanarlas en las futuras ediciones del Atlas.

Fotografías

El Consejo de Redacción desea agradecer a los proveedores de elementos gráficos (fotografías, diagramas, mapas ilustrativos), por su permiso para utilizar su material en el Atlas. Los colaboradores son los siguientes:

(AC) Achumafriski - Wikicommons; (AER) A. Encina Rojas; (Afsis) African Soil Information System; (AGA) A. González Artieda; (AHJ) A. Hernández Jiménez; (Al) Alfredobi - Wikicommons; (APH) A.P Hirama - Flickr; (AZ) A. Zimmerman; (BC) B. Cruz; (BQ) B. Quesada; (BR) B. Rosende - Flickr; (BRCP) Bigal River Conservation Project - Flickr; (BT) B. Torre; (C) Chelys S.r.l.; (CC) C. Castilla; (CAOS) C.A. Ortiz Solorio (CCG); C. Cruz Gaistardo; (CG) C. Gardi; (CGZ) C. Gutiérrez; (CH) C. van der Hernst; (Ch) Cheesy24 - Flickr; (CIESIN) Columbia University Center for International Earth Science Information Network; (CP) C.L. Ping; (CSA) C. Saracco Álvarez; (CSS) Cooperative Soil Survey; (D) Dragondeluz - Wikicommons; (DA) David - Wikicommons; (DG). D. Garcia - Wikicommons; (DR) D. Rembegs; (ESA) European Space Agency; (EC) E. Caetano; (ECOM) European Commission; (EHN) E.H. Novotny; (EM) E. Micheli; (EMBRAPA) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; (ER) E. van Ranst; (F) Fastily - Wikicommons; (FAO) UN Food and Agriculture Organization; (FB) F. Beinroth; (FG) F. Grau; (FNF) F. Niño Farfán; (GD) G. Durán; (GG) G. Gómez - Wikicommons; (GN) G. Naumann; (GS) G. Schultz; (GW) Wolf - Wikicommons; (HA) H. Atter; (HLB) H. Larrain Barros; (HS) H. Santos; (HTV) H. Tobías Vásquez; (IAM) I. Aguilera Miralles; (IDP) Imagen de Dominio Público; (INEGI) Instituto Nacional de Estadística y Geografía; (IRD) L'Institut de recherche pour le développement; (ISRIC) ISRIC World Soil Information; (J) Jflo23 - Wikicommons; (JA) J. Arkesteijn- Wikicommons; (JAO) J. Alegre Orihuela; (JC) J. Comerma; (JCAF) J.C. De Araujo Filho; (JEM) J. Espinosa Marroquín; (JEVP) J.E. Villarreal de Panamá; (JJJ) J.J. Jiménez; (JLCO) J.L. Colocho Ortega; (JLMR) J.L Martínez Rayo; (JLP) J.L. Panigatti; (JM). J. Martinez; (JNR) J.C. Nazario Ríos; (JSR) J.S. Ruiz; (JRC) Joint Reasearch Centre; (JV) J. Vicente - Flickr; (JZ) J. Zúñiga; (KK) K. Kolo; (KP) K. de la Paz; (LA) Lazarte - Wikicommons; (LC) L. Chang; (LE) Leaflet - Wikicommons; (LG) L. Galuzzi; (LI) Libertinus - Wikicommons; (LJ) Lovell Johns Ltd; (LMSB) M.L Mendonça Santos Brefin; (LR) L. Ruiz; (LS) L. Siebert; (MA) M. Angelini; (MB) M. Beeman - Wikicommons; (MBON) M.B de Oliveira Neto; (MC) M. Chédel - Wikicommons; (MDO) Museo del Oro, Bogotá; (MEA) Millenium Ecosystem Assessment; (MF) M. Fuchs; (MGM) M. García Moya; (MH) M. Hsu - Flickr; (Mh) M. Hill; (MIAF) M.I Alvarado Flores; (MP) M. Parrilla; (MVR) M.I Vara Rodríguez; (NASA) National Aeronautics and Space Administration; (NSF) US National Science Foundation; (OMU) O. Muñiz Ugarte; (P) Pgbk87 - Wikicommons; (PAJ) P.A. Jara; (PC) P. Cruz; (PK) P. Kraslinikov; (PMV) P. Mena Vascónez; (PNR) P. Núñez Ramos; (PNUMA) Programa NU para el Medio Ambiente-UNEP; (PS) P. Schad; (R) Rufus - Wikicommons; (RB) R. Bonnefoy - Wikicommons; (RFC) R.F. del Castillo; (RG) R. García; (RH) R. Hille - Wikicommons; (RK) R. Kaupp - Wikicommons; (RS) R. Siachoque; (RV) R. Vargas; (S) Shao - Wikicommons; (SC) S. Calderano - Wikicommons; (SG) S. Grabow - Wikicommons; (SLCS) Sociedad Latinoamericana de Ciencias del Suelo; (SMCS) Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo; (ST) S. Torres; (SZ) S. Zona - Flickr; (T) Thrigruner - Wikicommons; (TA) Tim & Annette - Wikicommons; (TDS) T. Dos Santos - Wikicommons; (TI) Tizianok - Wikicommons; (UNFCCC) UN Framework Convention on Climate Change; (USDA) US Department of Agriculture; (USGS) US Geological Service; (W) Wolmadrian - Wikicommons; (WGT) W. Geraldes Teixeira; (ZC) Z. Clark - Wikicommons.

Índice

Detalles de la publicación 2

Comité Editorial, autores, agradecimientos y fotografías 3

Índice 4

Prefacio 7

Introducción 8

- Enfoque del Atlas 8
- Cooperación entre la Unión Europea y América Latina – el programa EUROCLIMA 9
- Las ciencias del suelo en LAC 10

Suelos y medio ambiente en LAC 12

- ¿Qué es el suelo? 12
- Importancia del suelo 13
- ¿De qué está hecho el suelo? 14
- ¿De dónde vienen los suelos de LAC?: factores formadores de suelo 15
- Procesos de formación de suelo 23
- Procesos de formación de suelo en LAC 31
- Funciones clave del suelo 34
- Vida en el suelo y biodiversidad 37
- Suelo y herencia cultural 38

La clasificación de suelos 40

- La clasificación de suelos: nombrar y agrupar 40
- Desarrollo de la clasificación de suelos en LAC 41
- Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) 44
- Tipos de suelos principales en LAC 46
- Los suelos de LAC: fortalezas, oportunidades, deficiencias y amenazas 54

Cartografía de suelos 56

- ¿Por qué cartografiar los suelos? 57
- Leyenda 58
- Índice de las hojas cartográficas 61
- Los principales tipos de suelos en América Latina y el Caribe 62
- El territorio de LAC: visión política y geológica 64
- LAC vista desde el espacio 65
- Los suelos de LAC 66
- Mapas de las propiedades del suelo en LAC 110
- Elaboración de los mapas de suelos del Atlas 114
- La cartografía digital de suelos 115

Suelos y uso de la tierra en LAC 116

Uso actual de la tierra 119

Uso potencial de la tierra 121

Conocimiento y usos tradicionales de la tierra en LAC 122

Terra Preta de Índio: una técnica ancestral para la captura de carbono 124

Suelos y agua: sistemas agrícolas tradicionales de Mesoamérica y la región del Caribe 125

Degradación de suelos 126

La degradación del suelo en los países de LAC 130

Buenas prácticas de gestión 132

Suelos y cambio climático en LAC 134

El cambio climático en LAC 135

El ciclo del carbono 136

Degradación del suelo y cambio climático en LAC 138

Métodos para la medida y estimación del carbono orgánico en el suelo 139

Impactos del cambio climático 141

Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático 142

Efecto del cambio climático en los suelos de LAC 143

Suelos y grandes paisajes 144

Biomas, ecorregiones y suelos 144

1. Bosques húmedos tropicales y subtropicales latifoliados 145

2. Bosques secos tropicales y subtropicales latifoliados 146

3. Bosques tropicales y subtropicales de coníferas 147

4. Bosques templados latifoliados y mixtos 148

5. Desiertos y matorrales xerófilos 149

6. Praderas, sabanas y matorrales tropicales y subtropicales 150

7. Praderas y sabanas inundadas 151

8. Praderas, sabanas y matorrales templados 152

9. Praderas y matorrales de montaña 153

10. Bosques y matorrales mediterráneos 154

11. Manglares 155

Los suelos de LAC: una perspectiva nacional 156

Conclusiones 168

Información adicional 170

Glosario 170

Contactos y bibliografía 173

La Comisión Europea 176

La serie de Atlas de Suelos del JRC 176

Tanto en continente latinoamericano como en sus islas, se puede observar una amplia gama de suelos, los cuales proporcionan numerosos bienes y servicios ambientales de vital importancia para el ser humano. La imagen de arriba corresponde a laderas cultivadas en Ecuador. Las potencialidades agrícolas de los suelos dependen de su evolución, las características de los materiales originales y la pendiente del terreno. (LC)

Perfil típico de un suelo poco diferenciado dedicado a la producción de *Pinus occidentalis* en Jarabacoa, República Dominicana. (PNR)

Mensajes clave

- La región de América Latina y el Caribe (LAC) presenta una gran diversidad edafológica, contando con suelos muy fértiles. Como resultado de su historia geológica, la topografía, el clima y la vegetación, se pueden encontrar más de 30 tipos de suelos diferentes.
- Los suelos de LAC soportan la mayor biodiversidad del planeta. En LAC se encuentran 6 de los 17 países megadiversos del mundo (países que albergan los mayores índices de biodiversidad de la Tierra).
- Casi la mitad del territorio en LAC lo conforman suelos pobres en nutrientes; dentro de ellos destacan grandes áreas de suelos amarillos o rojizos en los trópicos húmedos, muy ácidos y pobres en nutrientes, caracterizados por el lavado del sílice y las altas concentraciones de óxidos de hierro y aluminio.
- Cerca de un 20% de la región lo conforman suelos áridos en los que la agricultura sin riego es una práctica desaconsejable, mientras que el 10% presenta limitaciones de drenaje por tratarse de suelos arcillosos. Las empinadas laderas de los Andes están caracterizadas por suelos someros formados por fragmentos de rocas. En los valles interandinos aparecen suelos salinos y ricos en nutrientes, desarrollados sobre cuencas sedimentarias.
- Los suelos fértiles de manera natural suponen únicamente cerca de un 10% de la superficie de LAC. Destacan los oscuros y profundos suelos de las praderas características de la Pampa argentina.
- Los suelos de LAC apoyan la producción de una gran cantidad y variedad de productos alimentarios: por ejemplo, más de la mitad de la producción mundial de café, caña de azúcar, soja y casi un cuarto de la carne y bananas. Sólo Brasil produce la tercera parte del café mundial.
- En el primer metro de profundidad de los suelos de América Latina y del Caribe se almacenan aproximadamente 185 Gt de carbono orgánico. Esta cantidad supone casi el doble de las reservas de carbono acumuladas en la vegetación de la Amazonia.
- La FAO estima que el 14% de las tierras degradadas del mundo está en LAC, afectando a 150 millones de personas. En Mesoamérica la proporción asciende a un 26% del territorio. La erosión del suelo como proceso de degradación ha afectado a gran parte del continente. En varios países más de la mitad del territorio arable se encuentra gestion severamente dañada debido a la mala gestión.
- El cambio de uso de suelo (concretamente el que conlleva la deforestación del terreno), la sobreexplotación de los recursos naturales, el cambio climático y las desigualdades sociales son las causas principales de la degradación de las tierras.
- Como avance positivo destaca la implementación de campañas para la conservación o restauración del recurso suelo en la mayoría de los países.

Prefacio

La Comisión Europea

El suelo es un recurso de gran importancia a nivel global, y en el caso de Latinoamérica y la región del Caribe (LAC) se considera fundamental para cubrir las necesidades de una población humana en continuo y rápido crecimiento. Se estima que el potencial agrícola de LAC es de 576 millones de hectáreas, de las cuales el 45% está en América del Sur y el 74% en Mesoamérica, están afectadas por procesos de degradación. El cambio climático y la presión antrópica son los principales factores que impulsan dichos procesos de degradación del suelo.

Para afrontar estos retos la UE tiene el compromiso de contribuir a la consecución de los "Objetivos de Desarrollo del Milenio", apoyando con ello la lucha contra la pobreza y el desarrollo sostenible global. Uno de los puntos clave de la V Cumbre Unión Europea – América Latina y Caribe fue el siguiente: "Desarrollo Sostenible: Medio Ambiente, Cambio Climático y Energía". La Comisión Europea (CE) respondió a este respecto creando el programa EUROCLIMA, con el obetivo de ampliar el conocimiento de los dirigentes y de la comunidad científica latinoamericana en cuestiones relacionadas con el cambio climático. El programa, gestionado por la Dirección General Desarrollo y Cooperación - EuropeAid, presenta una componente científica que ha sido desarrollada por el JRC. Ésta engloba las áreas de agua, bioenergía, agricultura, suelos y sequía y desertificación.

Con el fin de aumentar la concienciación sobre la importancia del suelo, parte esencial del capital natural, y para comprender mejor el impacto del cambio climático en el mismo, el Centro Común de Investigación (DG Joint Research Centre, JRC), a petición de la Dirección General para la Desarrollo y Cooperación - EuropeAid, fue el encargado de la elaboración de este primer Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, donde colaboraron edafólogos de LAC, Europa y EE.UU. Por ello esta publicación es un modelo de cooperación científica. Además de la realización del Atlas, se buscó al mismo tiempo estimular la cooperación entre edafólogos de América Latina. La colaboración fue formalizada con la creación de la Red Latinoamericana de Científicos del Suelo, consolidada en Río de Janeiro en julio de 2011.

El Atlas pretende llegar al público en general, al sector educativo y a los responsables de las políticas ambientales, agrícolas y sociales, concienciar sobre la importancia del recurso suelo en LAC. Creemos que esta innovadora publicación se convertirá en una referencia ampliamente utilizada y será un elemento clave para la mejor comprensión del recurso suelo en LAC.

Máire Geoghegan-Quinn
Comisaria de la UE de
Investigación, innovación y ciencia

Andris Piebalgs
Comisario de la UE
de Desarrollo

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

El suelo es un recurso natural único, pero a veces ignorado en la puesta en práctica de políticas y la agenda de desarrollo, aún siendo el recurso principal que sustenta muchas de las economías agrícolas mundiales. Más allá de su rol fundamental en los ecosistemas y la economía, y a diferencia del agua y el aire, no es un recurso infinito, aunque se tienda a considerarlo como tal. Varios estudios demuestran que América Latina y el Caribe presentan suelos fértiles que constituyen la base para la tan importante producción de alimentos; sin embargo, la degradación de estos representa una amenaza latente. Se estima que el crecimiento poblacional demandará una mayor producción de alimentos y servicios ambientales, incrementándose la presión sobre el suelo, por lo que se hace evidente la importancia de contar con suelos fértiles.

Si bien es necesario incrementar la concienciación sobre el rol crucial del recurso suelo, se hace prioritario contar con información fiable sobre las propiedades y el estado del mismo. Este conocimiento constituye la base científica para planificar e implementar la conservación y el manejo sostenible de este recurso silencioso. A través de varios proyectos, programas e iniciativas, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha venido apoyando a la región en la generación de información de suelos y en el escalamiento de prácticas sostenibles de manejo de suelos, tomando en consideración las buenas prácticas locales. Atendiendo a la importancia del suelo como recurso en la lucha contra el hambre y la inseguridad alimentaria, la FAO, junto a sus miembros, estableció la Alianza Mundial por el Suelo como vehículo para promover el manejo sostenible del suelo e incluirlo en las diversas agendas de desarrollo.

La FAO, junto a la Comisión Europea y otros socios, continuará promocionando eventos de información, proyectos de investigación, desarrollo de capacidades de jóvenes investigadores y la integración del suelo como tema en las políticas de decisión para el desarrollo agrícola y la agenda de seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. Este sorprendente y oportuno documento, es resultado de un esfuerzo regional de cooperación y alianza de los edafólogos latinoamericanos, bajo el liderazgo de la Comisión Europea y que apoya perfectamente los ideales de la Alianza Mundial por el Suelo. Espero que usted encuentre en este Atlas un documento esclarecedor y útil como referencia científica y como fuente de información general sobre la inmensa variedad y riqueza de los suelos de América Latina y el Caribe.

Prof. José Graziano da Silva
Organización de las Naciones Unidas para
la Alimentación y la Agricultura
Director general

Dirección General Centro Común de investigación (JRC)

Como servicio científico interno de la Comisión Europea, el Centro Común de Investigación (Joint Research Centre, JRC) tiene la capacidad de proporcionar apoyo científico a las políticas europeas. En este contexto, el JRC participa en la recogida de datos y en la recopilación de evaluaciones sobre el estado de los suelos a nivel europeo y mundial. El Atlas de suelos de América Latina y el Caribe es un importante paso adelante en este esfuerzo y es el resultado de una fructífera colaboración de los principales especialistas en materia de suelo de Europa, México, la región del Caribe, Centroamérica y América del Sur. El Atlas se enmarca además en una serie de atlas de suelos realizados por el JRC en los últimos años: Atlas de suelos de Europa, Atlas de suelos de la Región Circumpolar Norte, Atlas de biodiversidad del suelo y el recientemente publicado Atlas de suelos de África. Uno de los principales resultados del compromiso a largo plazo del JRC en este campo de investigación se refiere al reconocimiento de la importancia estratégica de los suelos de todas las naciones, sobre todo de cara a los retos económicos, sociales y ambientales globales actuales, aspectos que están incluidos en el Atlas en un lenguaje claro y accesible acompañado de diagramas y mapas. Me complace apoyar este atlas, muestra de se puede revelar gran cantidad de información científica de una manera muy interesante.

Vladimir Šucha
Comisión Europea
DG Centro Común de Investigación
Director general

Sociedad Latinoamericana de Ciencias del Suelo (SLCS)

Latinoamérica enfrenta actualmente muchos y graves problemas, de entre los que destacan la conservación de sus recursos no renovables e indispensables en la producción de alimentos y lograr una producción que permita garantizar el abastecimiento de nuestras poblaciones y sus requerimientos nutricionales –es decir, la vida misma-. Ambos problemas si bien son igualmente una preocupación mundial, para los países latinoamericanos constituyen una prioridad y un asunto de soberanía nacional.

Las posibles vías de solución involucran directamente al suelo y lo convierten en un recurso natural imprescindible de preservar. Además de alimentarnos, es fuente de biodiversidad, ya que constituye el hábitat de una inmensa cantidad de organismos y microorganismos; filtra, recircula y define el reparto del agua, es depósito de residuos, soporte de toda estructura y regulador de todos los ciclos biogeoquímicos que hacen posible el funcionamiento de los ecosistemas.

No obstante, a pesar de la gran importancia de este recurso para el desarrollo de la vida en La Tierra, existe una falta de conocimiento generalizada de la ciudadanía, tanto en lo referente a los recursos naturales que Latinoamérica posee, como acerca del valor de los mismos. Sin embargo, si bien es cierto que este desconocimiento es frecuente en el mundo de la política y la comunicación, en realidad los gobiernos no desconocen el valor real del recurso suelo para la vida, sino que anteponen sus intereses personales, políticos y económicos a los de la sociedad. Es por ello que la solución está en la información y la educación que el día de hoy se ofrezca a la ciudadanía, ya que sólo a través del conocimiento, la conciencia, la gestión y la exigencia por parte de los ciudadanos a su gobiernos para emprender y ser parte de toda acción necesaria para preservar el suelo y prevenir su degradación, será garantía de su conservación.

En este sentido el atlas, constituye un posible camino para, a través de la información, construir una conciencia colectiva sobre el papel trascendental del recurso suelo para la existencia de la vida en el planeta. Es también una vía a través de la cual informar y llamar la atención de la comunidad científica latinoamericana para que, desde sus diversas disciplinares, abandonen la indiferencia hacia los problemas actuales y se sumen a la búsqueda de soluciones creativas e innovadoras. De esta manera, a través de la práctica de la inter, multi y transdisciplina, preservemos el recurso suelo y construyamos un modelo de desarrollo que sea garantía de conservación de la vida en laTierra.

Todo ello porque si bien el no poseer un suelo fértil que nos provea de alimentos y agua es ya un grave problema, más graves son las situaciones sociales que su déficit engendra: pobreza, desplazamiento, desigualdad, violencia e injusticia. Y frente a ello, la educación en materia de suelo y medioambiente puede ser parte de la solución. Dicha tarea es hoy compromiso inexcusable de los científicos del suelo, y es por ello que, para la Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo es de primera importancia el proyecto "Así son los suelos de mi Nación" de Educación y Enseñanza de la Ciencia del Suelo a niños y jóvenes, el cual se impulsa a través de la Red Latinoamericana de Educación y Enseñanza de la Ciencia del Suelo. El presente atlas, brinda igualmente a los docentes y científicos de todo nivel, la oportunidad de conocer los recursos naturales de toda la Región y practicar una educación integradora, creativa e innovadora que contribuya a la revalorización de nuestros recursos naturales y a la construcción de nuevos marcos conceptuales, éticos y culturales de preservación, en los ciudadanos del futuro.

Congruentemente, la SLCS en su 50 aniversario, aprobó una propuesta de acción conjunta de las Sociedades Nacionales de la Ciencia del Suelo que la conforman, para crear el espacio propicio a nivel gubernamental, educativo y ciudadano, que permita conocer, valorar, preservar y defender el recurso edáfico como UN BIEN COMÚN DE TODAS LAS NACIONES DEL CONTINENTE.

Julio Alegre Orihuela
Presidente de la SLCS

Laura Bertha Reyes Sánchez
Secretaria General de la SLCS

Introducción

Enfoque del Atlas

"La nación que destruye su suelo se destruye a sí misma."

Franklin D. Roosevelt, político, diplomático, abogado y 32º presidente estadounidense.

El Atlas de suelos de América Latina y el Caribe es una iniciativa enmarcada en el programa EUROCLIMA y financiada por el mismo. El programa busca fomentar la cooperación entre América Latina y la Unión Europea (UE) en materia de cambio climático.

El objetivo del Atlas es apoyar el uso sostenible del suelo, proporcionando una herramienta útil para conocer su estado y llamar la atención sobre su importancia. Estos aspectos constituyen el punto de partida para fomentar la conservación de este valioso recurso natural [1, 2, 3, 4]. Es por ello que, con el fin de mejorar la comunicación y concienciar a la sociedad, los políticos y los científicos sobre la importancia del suelo en América Latina, el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC, por sus siglas en iglés: Joint Research Center) ha elaborado el primer Atlas de suelos de América Latina y el Caribe.

El Atlas unifica la información existente sobre diferentes tipos de suelos mediante mapas fáciles de interpretar, tanto a escala regional (ecorregiones) como continental. También ilustra la diversidad de suelos existente, desde los trópicos húmedos hasta los desiertos, a través de una serie de mapas con textos explicativos, fotografías y gráficos. Los textos describen los principales tipos de suelos, junto con sus características fundamentales y los procesos de formación de suelos más importantes.

Este atlas, como uno de los resultados del programa EUROCLIMA, hace hincapié en el cambio climático. Los mapas de suelos presentados en este trabajo se fundamentan en la base de datos Soterlac 1:5.000.000, actualizada y validada en función de la información proporcionada por los países de América Latina y el Caribe. Los suelos se tratan tanto a nivel regional, según las distintas ecorregiones, como a nivel nacional. También se incluyen en el Atlas textos sobre la integración del conocimiento indígena en las Ciencias del Suelo (Etnopedología o Etnoedafología).

El color rojo de este suelo tropical en Cuba indica la presencia de cantidades importantes de óxidos de hierro y la ausencia de carbonatos. (AHJ)

Suelos y seguridad alimentaria

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el concepto de seguridad alimentaria aparece en los años setenta y va evolucionando en base a consideraciones de tipo cuantitativo. A mediados de la década de 1970 se definía como la "capacidad en todo momento de aprovisionar a todo el mundo con productos básicos, de modo que se pueda sostener un crecimiento del consumo alimentario, soportando las fluctuaciones y los precios". En 1990, la definición incluía la capacidad de asegurar que el sistema alimentario pudiera proveer a toda la población de aprovisionamiento alimentario y nutricionalmente adecuado a largo plazo.

Los suelos de América Latina se suelen asociar con aquellos de los bosques tropicales – rojizos y muy meteorizados -. Sin embargo, desde el norte hasta el sur del subcontinente, podemos encontrar muy diversos tipos de suelos que proveen numerosos bienes y servicios ambientales de vital importancia para los seres humanos y el planeta en su conjunto. (RG)

Las cuestiones relativas al acceso a la propiedad y uso de la tierra, junto con la degradación del medio natural pueden originar, de modo conjunto o individualmente, una situación de inseguridad alimentaria.

En América Latina, durante las últimas décadas, el aumento de la presión humana sobre el medio ambiente unido a la gestión inadecuada del territorio ha provocado la degradación de los suelos y de muchos de los servicios que de ellos se obtienen [5, 6].

El suelo es un recurso natural crucial para satisfacer las necesidades de alimentos, forraje, fibra vegetal y combustible de una población humana que crece rápidamente. La FAO, y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [7], estiman que sería posible doblar la superficie destinada al cultivo, a nivel mundial, sumando 1,6 millones de hectáreas a las actuales - principalmente de América Latina y África - sin afectar a terrenos forestales, áreas protegidas o terrenos urbanos. Sin embargo, varios expertos, como la Sociedad Real de Gran Bretaña [8] desaconsejan este incremento, por el perjuicio que supondría para los ecosistemas y la biodiversidad. Una solución intermedia sería lo que se conoce como "intensificación sostenible", la cual se ha convertido en la prioridad de muchos organismos de investigación agrícola. Por ejemplo, la FAO prevé que la producción agrícola de Brasil crecerá más rápido que la de cualquier otro país del mundo en la próxima década (aumentando en un 40% en 2019). Este aumento de la presión sobre el suelo, requiere un enfoque preventivo a la hora de gestionar este recurso clave, con el fin de evitar, o al menos mantener dentro de un umbral sostenible los procesos de degradación.

Intensificación sostenible de la producción agrícola

La necesidad de alimentar a una creciente población mundial pone una presión constante sobre la producción de cultivos y el medio natural. Esto ha llevado a definir un nuevo paradigma: la intensificación sostenible de la producción agrícola. Esta idea consiste en optimizar la producción agrícola por unidad de superficie sin dejar de lado los aspectos de sostenibilidad e incluyendo el potencial y/o los impactos sociales, políticos, económicos y ambientales reales. La producción sostenible de cultivos está dirigida a maximizar las opciones de intensificación de producción agrícola por medio del manejo de los servicios de los ecosistemas.

La Región de la Pampa Húmeda de Argentina desempeña un importante rol como productora de plantas forrajeras destinadas a la producción de carne y leche. (CG)

Cooperación entre la Unión Europea y América Latina: el programa EUROCLIMA

¿Qué es EUROCLIMA?

América Latina y la Unión Europea son aliados naturales, unidos por fuertes lazos históricos, culturales y económicos. Ambos comparten un compromiso a nivel internacional de estabilidad política y multilateralismo. Desde la década de los setenta, la relación entre ambas regiones se ha intensificado, y en la actualidad la Unión Europea es el primer donante de ayuda al desarrollo en Latinoamérica, además de su segundo inversor extranjero y socio comercial.

En este marco de colaboración se vienen celebrando las Cumbres de Jefes de Estado y de Gobierno de la UE y América Latina y el Caribe (LAC), los principales encuentros entre los líderes de ambas regiones, con el objetivo de intensificar y mejorar el diálogo político y acordar las futuras prioridades de cooperación. En la V Cumbre UE-LAC, que tuvo lugar en mayo de 2008, se firmó la Declaración de Lima, en la que se estableció el desarrollo sostenible (centrado en el medio ambiente, el cambio climático y la energía) como uno de los temas clave para la cooperación birregional, y se estableció el programa EUROCLIMA como uno de los instrumentos para fortalecer esta lucha conjunta contra el desafío del calentamiento global. El objetivo de EUROCLIMA es compartir los conocimientos, reforzar el diálogo político y garantizar las sinergias y la coordinación de las acciones actuales y futuras en la región latinoamericana en el ámbito del cambio climático. De este modo, ambas regiones formalizaron su compromiso de hacer frente conjuntamente al desafío del cambio climático en América Latina.

A nivel regional, América Latina está en proceso de crecimiento económico, pero existen drásticas diferencias entre subregiones y países, así como una gran brecha de desigualdad social latente en muchos estados. El fenómeno del cambio climático constituye una amenaza para los recursos naturales, la biodiversidad y el desarrollo sostenible. Expone a la región a desastres naturales cada vez más frecuentes, sequías e inundaciones, desertificación, inseguridad alimentaria y al impacto que esta tiene en las poblaciones más vulnerables, poniendo así en peligro la lucha contra la pobreza en el continente y su camino hacia la equidad, el bienestar social y la prosperidad económica.

La Unión Europea está comprometida a luchar contra el cambio climático, y parte integral de este compromiso implica mantener un rol de líder tanto en la cooperación al desarrollo como en las políticas globales de cambio climático. De este modo, la UE trabaja especialmente con los países en vías de desarrollo, ayudándoles a afrontar las consecuencias del calentamiento global y a enfrentar sus causas, con el objetivo de lograr los Objetivos del Milenio contribuyendo a la lucha contra la pobreza y al desarrollo sostenible global.

El Programa regional EUROCLIMA, financiado por CE-EuropeAid, beneficia a todos los países de América Latina y pretende mejorar el conocimiento de los problemas y las consecuencias del cambio climático por parte de quienes diseñan las políticas en América Latina y de la comunidad científica, con objeto de integrar estos temas en las políticas de desarrollo sostenible. El compromiso y la participación e implicación de los países beneficiarios en el Programa tanto a nivel operacional como institucional son condiciones indispensables para lograr una cooperación exitosa entre las regiones de América Latina y de la Unión Europea. En su enfoque multisectorial, EUROCLIMA quiere destacar la importancia de la participación de la comunidad científica en la lucha contra el desafío del cambio climático, proponiendo actividades en torno a la recolección y consolidación de bases de datos y herramientas de modelización, mapeos, desarrollo de capacidades, intercambio de información y experiencias, así como la difusión de resultados obtenidos en torno a las temáticas de estudios socioeconómicos, suelos, seguridad alimentaria, recursos hídricos, sostenibilidad de la bio-energía y desertificación. El Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC), por medio del Instituto para el Medio Ambiente y la Sostenibilidad (IES), ejecuta el componente de Ciencias Biofísicas del programa EUROCLIMA. El objetivo de este bloque es identificar, recoger e integrar datos biofísicos susceptibles de ser afectados por el cambio climático en América Latina.

La Unión Europea

La Unión Europea está compuesta por 28 estados europeos y fue establecida el 1 de noviembre de 1993, con la entrada en vigor del Tratado de la Unión Europea (TUE). El Tratado se conoce también como Tratado de Maastricht, ya que se firmó en dicha ciudad holandesa en 1992.

Cambio climático: eventos extremos y degradación de suelos en LAC

Los ecosistemas, la agricultura, los recursos hídricos y la salud humana en América Latina se han visto afectados en los últimos años por fenómenos meteorológicos extremos. Por ejemplo, la selva tropical de la cuenca del río Amazonas es cada vez más susceptible a los incendios debido al aumento de sequías relacionadas con el fenómeno El Niño, mientras que en la zona central occidental de Argentina y la zona central de Chile (situadas entre 25°S y 40°S) las sequías relacionadas con La Niña crean severas restricciones para las demandas de agua potable e irrigación.

En el caso de Colombia, las sequías relacionadas con el impacto de El Niño en el flujo de las cuencas de la región andina (especialmente en la cuenca del río Cauca) son la causa de una reducción del 30% en el flujo medio, con un máximo de pérdidas de un 80% en algunos afluentes, mientras que la cuenca del río Magdalena también muestra una alta vulnerabilidad (pérdidas del 55% en el flujo medio). Consecuentemente, la humedad del suelo y la actividad vegetal se ven reducidas o aumentadas por ambos fenómenos meteorológicos.

La energía hidráulica es la principal fuente de energía eléctrica de muchos países latinoamericanos y es vulnerable a las anomalías en las precipitaciones a gran escala y persistentes causadas por El Niño y La Niña. La combinación del aumento de la demanda de energía con la sequía, causó una interrupción en la generación de hidroelectricidad en la mayor parte de Brasil en 2001, lo cual contribuyó a una reducción del Producto Interior Bruto (PIB) del 1,5%.

Por otro lado, las migraciones unidas a la degradación ambiental, pueden diseminar enfermedades inesperadamente.

Segunda reunión de la Red de Agencias de Suelos de América Latina y el Caribe, Mar del Plata - Argentina, Abril 2012. (CG)

Andrés Aguilar Santelises (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo - SMCS), Presidente Mundial de la Ciencia del Suelo 1990-1994. (SMCS)

En el noreste semiárido de Brasil, las sequías prolongadas han provocado la migración de los agricultores de subsistencia hacia las ciudades y con ello una reaparición de la leishmaniasis visceral. También se tiene constancia de un aumento significativo de esta enfermedad en Bahía (Brasil) tras El Niño de 1989 y 1995. Debido al aumento de la pobreza en el área urbana, la deforestación y la degradación ambiental en el área rural, pueden aparecer nuevos lugares de cría para los vectores (roedores e insectos). Las sequías han favorecido el desarrollo de epidemias en Colombia y Guyana y se han producido brotes del síndrome pulmonar por hantavirus en Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay, Panamá y Brasil. Las intensas precipitaciones e inundaciones que siguen a las sequías, incrementan la cantidad de alimento disponible para los roedores huéspedes del virus, que habitan tanto en el interior como en el exterior de las viviendas.

Se cree que las sequías se intensificarán en el siglo XXI en ciertas regiones de LAC, como México, algunas zonas de Centroamérica y el noreste de Brasil, debido a la disminución de las precipitaciones. Los pronósticos para otras regiones son poco fiables, ya que los datos son escasos y los modelos climáticos limitados.

En cuanto a la cobertura vegetal, el efecto combinado de la acción humana y el cambio climático ha provocado una disminución continuada de la misma. Concretamente, los índices de deforestación de la selva tropical han aumentado desde 2002. Con el fin de reconvertir las tierras a usos agrícolas y ganaderos, se provocan incendios. Ésta es una práctica común en América Latina que puede generar cambios en las temperaturas y en la frecuencia de las precipitaciones (como sucede en la zona sur de la Amazonia). La quema de biomasa también afecta a la calidad del aire, con implicaciones para la salud humana.

Los cambios de uso, junto con las consecuencias del cambio climático, favorecen la degradación del suelo, al exacerbar en muchos casos estos procesos (debido, p. ej., a incendios más intensos y frecuentes). Casi el 75% de las zonas áridas en LAC están moderada o gravemente degradadas.

Los futuros proyectos de desarrollo sostenible deberían incluir estrategias de adaptación para mejorar la integración del cambio climático en las políticas de desarrollo. Algunos países se han esforzado para adaptar, especialmente mediante la conservación de los ecosistemas clave, los sistemas de alerta temprana, la gestión de riesgos en la agricultura, las estrategias para inundaciones, sequías y gestión de costas y los sistemas de control de enfermedades. Sin embargo, la efectividad de dichos esfuerzos es superada por la ausencia de sistemas básicos de información, observación y seguimiento; la falta de desarrollo de capacidades y de marcos políticos, institucionales y tecnológicos adecuados; los bajos ingresos de la población; y los asentamientos en zonas vulnerables. Los objetivos de desarrollo sostenible de los países latinoamericanos se verán seriamente comprometidos si no se realizan mejoras en estas áreas, lo que afectaría de forma negativa, entre otras cosas, a su capacidad para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio [58].

La Red de Agencias del Suelo de LAC

La Red de Agencias del Suelo de América Latina y el Caribe fue establecida formalmente durante la reunión celebrada en Río en julio de 2010. Al acto de presentación asistieron 59 personas, de las cuales 22 eran representantes de 19 países de LAC.

La segunda reunión tuvo lugar en Mar del Plata -abril de 2012-, con motivo del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Asistieron un total de 35 participantes en representación de 20 países Latinoamericanos, dos países europeos y dos organizaciones internacionales. Las actividades organizadas en Mar del Plata proporcionaron la oportunidad para presentar las iniciativas del programa EUROCLIMA a un gran grupo de científicos del suelo, actualizar el estado del atlas y presentar la Red de Agencias del Suelo de América Latina y el Caribe, la cual contribuirá notablemente al establecimiento del nodo regional de la Alianza Global por el Suelo (en inglés, Global Soil Partnership, es una iniciativa liderada por la FAO y el JRC y que busca aunar esfuerzos a escala mundial para mejorar el conocimiento y promover el manejo sustentable del recurso suelo).

Durante la reunión de Mar del Plata se organizó un taller sobre mapeo digital de suelos como actividad conjunta del programa EUROCLIMA y la Red de Agencias del Suelo de LAC. En este taller, al que asistieron más de 40 personas activamente involucradas en la ciencia del suelo, los participantes pudieron exponer estudios de caso y ejemplos de excelencia y buenas prácticas en el campo de los mapas digitales de suelos. Se presentaron ejemplos interesantes de Argentina (Marcos Angelini, Federico Olmedo), Brasil (Lourdes Mendonca, Ricardo Dart), México (Carlos Cruz Gaistardo), EE.UU. (Puerto Rico, Thomas Reinsch) y Colombia (Ricardo F. Siachoque Bernal).

Las ciencias del suelo en LAC

La Pedología o Edafología es la subdisciplina de las Ciencias del Suelo que estudia la distribución, morfología, génesis y clasificación de los suelos como componente natural del paisaje. El interés sobre esta ciencia estuvo en crisis en torno a la década de 1990 en los países desarrollados por diversas causas, entre ellas, la finalización de los inventarios de suelo a escalas detalladas y la falta de interés de los políticos en la importancia del suelo como recurso natural; sin embargo, actualmente, con la Unión Europea ya constituida, se está trabajando para hacer compatibles los diversos esquemas de clasificación vigentes —ya que existen países que han desarrollado su propio sistema de clasificación - además de generar inventarios y mapas de suelos comunes. En estos países, las preocupaciones principales en cuanto a la degradación del suelo son la erosión y la contaminación de origen industrial y urbano.

Por el contrario, sólo algunas naciones de Latinoamérica cuentan con mapas de suelo a nivel de reconocimiento a escala 1:250.000. Únicamente Cuba tiene, para todo el país, mapas de suelo a nivel de detalle (escala 1:25.000) y mapas parcelarios en muchos casos a nivel de finca. En el caso de México, existe cartografía a escala 1:50.000 para un tercio del territorio. En otros países sólo hay cartografía del suelo para áreas de interés agrícola, ya que, desde el punto de vista de la gestión agrícola, no son necesarios en las áreas de montaña. Es el caso de Chile, donde existen mapas a escala grande (1:20.000) para estas zonas.

Esta situación genera oportunidades de desarrollo en este campo de estudio: existe la necesidad de información edafológica para distintos usos y escasean los profesionales en el área. Además, al igual que sucede a nivel global, los mapas existentes son de difícil interpretación y manejo para la mayoría de los usuarios, incluidos los agrónomos y planificadores, es decir, no se elaboran mapas interpretativos, lo cual hace que las cartas edafológicas sean una referencia poco útil para la mayoría de las aplicaciones actuales.

Dicho en otras palabras, en Latinoamérica, ni quienes gestionan el territorio ni los productores agrícolas, forestales y pecuarios han tenido a su disposición información suficiente —en cantidad y calidad— para la adecuada ejecución de sus proyectos.

La Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo (SLCS) se crea en 1954 con el objetivo de generar, difundir, incentivar y promover acciones científicas, tecnológicas y educativas que contribuyan a la preservación del suelo como recurso natural. Esta institución está formada por numerosas sociedades científicas de toda Latinoamérica y, debido a los lazos históricos existentes, en ella también participan España y Portugal.

En tanto que se trata de un enlace permanente con las 18 sociedades nacionales que la conforman, la SLCS busca crear espacios propios de cooperación y crecimiento de la Ciencia del Suelo al interior de la región, a efectos de propiciar un desarrollo sostenible para Latinoamérica. Otra de sus funciones es la de interactuar con otras sociedades en el ámbito internacional, actuando como enlace latinoamericano con la Unión Internacional de Sociedades de la Ciencia del Suelo (conocida como IUSS, por sus siglas en inglés: International Union of Soil Science Societies) y la European Soil Bureau Network (red europea de sociedades de la Ciencia del Suelo que se encarga de recoger, armonizar, organizar y distribuir datos en Europa). La elaboración de este Atlas es un ejemplo de cooperación entre ambas sociedades, latinoamericana y europea.

No obstante, y a pesar de la existencia de iniciativas de este tipo, en la mayoría de los países latinoamericanos y del Caribe existen restricciones presupuestarias que dificultan y, en algunos casos, impiden la realización de inventarios de recursos naturales, entre ellos el suelo.

La Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo

La SLCS está actualmente conformada por una Presidencia Latinoamericana, una Secretaría General Latinoamericana y 18 Sociedades científicas correspondientes a 18 países diferentes. Para más información sobre la Sociedad se puede consultar su página web:

www.slcs.org.mx

Salida de campo organizada por el XIX Congreso de Ciencias del Suelo de Latinoamérica en la estancia "El Volcán" (Balcarce, Argentina). Los participantes observan una herramienta utilizada en prácticas de conservación de suelo para limitar la erosión hídrica. (CG)

Un problema generalizado en la región es la escasa demanda por parte de entidades gubernamentales de información edafológica para la planificación del uso de la tierra a largo plazo.

En algunos países que han logrado completar su inventario de suelos a escalas grandes (1:50.000), los esfuerzos se han concentrado en la integración de la información en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sus aplicaciones, quedando suspendidos o restringidos los inventarios edafológicos.

Así pues, entre las principales razones estructurales de la escasez de información edafológica, destacan:

a. La difícil interpretación de la información edáfica existente,
b. la escasa precisión de los mapas de suelos y
c. los altos costes de los inventarios.

Conocimiento local de los suelos: Etnopedología

La información sobre el suelo no siempre tiene su origen en investigaciones realizadas por científicos o personal técnico. En Latinoamérica, los medianos productores han probado tecnologías intermedias o avanzadas, adaptando varias de ellas a las condiciones particulares de cada localidad. Los productores locales, por su parte, ya sean campesinos, indígenas o mestizos, a través de su experiencia, han ido acumulado conocimiento sobre las propiedades, funcionamiento y manejo de los recursos naturales. El conocimiento local presenta las siguientes características: está geográficamente restringido, considera la dinámica temporal, es colectivo, diacrónico y holístico, producto de una larga historia de observación, análisis y manejo de los recursos naturales. Asimismo, es transmitido de forma oral y por la práctica de generación en generación.

El conocimiento local sobre los recursos naturales es amplio; engloba información sobre el paisaje, geoformas, tipo de vegetación, plantas, animales, hongos, algunos microorganismos, minerales, suelos, ríos y acuíferos, entre otros aspectos.

Los sistemas productivos diseñados según el conocimiento local se sustentan, principalmente, en las interacciones ecológicas (por lo cual, a menudo, son energéticamente eficientes); sin embargo, presentan limitaciones económicas al no estar dirigidas al mercado sino al autoconsumo. En América Latina, las poblaciones locales, a través de su experiencia, han acumulado un conocimiento sobre las propiedades, funcionamiento y manejo de los suelos que puede ser utilizado en la elaboración de los planes de desarrollo y en el mejoramiento de los sistemas locales de clasificación de suelo.

Una revisión mundial de los estudios publicados sobre Etnopedología en el año 2000, reporta que el 25% (259) del total procede de América Latina, siendo los seis países más importantes de acuerdo al número de estudios: México, Perú, Bolivia, Brasil, Ecuador y Venezuela.

En este contexto, el conocimiento local sobre los suelos basado en la percepción, clasificación y aprovechamiento debe ser un recurso utilizado para el mejoramiento de las prácticas de gestión y uso del suelo y para el diseño de nuevos agroecosistemas con mayores posibilidades de inserción en el mercado, conservando al mismo tiempo las ventajas ecológicas de los sistemas tradicionales.

El conocimiento local sobre el suelo, a menudo, es complementario a los estudios técnicos. Muchas de las deficiencias que afectan a la agricultura moderna pueden corregirse si se emplean elementos tradicionales como el uso de recursos locales (con energía humana y animal) o la combinación en el espacio y en el tiempo de una diversidad de cultivos para así maximizar la cosecha aún con niveles bajos de mecanización de la agricultura.

Grupos indígenas en México

En México existe un gran potencial para el desarrollo de la Etnopedología, ya que hay una gran cantidad de grupos indígenas, con más de 85 lenguas y una experiencia histórica acumulada a lo largo de más de cuatro milenios, así como diversas y grandes comunidades campesinas con una población en crecimiento; entre ellas destacan las comunidades náhuatl y maya, con una población de 1.376.026 y 759.000 habitantes respectivamente. Otras comunidades indígenas con poblaciones que superan los 100.000 habitantes, que también son de interés etnopedológico, son las siguientes: chol, huasteca, chinanteca, mixteca, zapoteca, mazahua, mazateca, mixe, otomí, purépecha, totonaca, tzeltal y tzotzil.

En la página 43 se puede encontrar más información sobre el conocimiento y uso de la tierra por parte de los grupos indígenas.

Mujeres huastecas en la comunidad Ricardo Flores Magón, municipio de Benito Juárez, Veracruz, México, 2008. (KP)

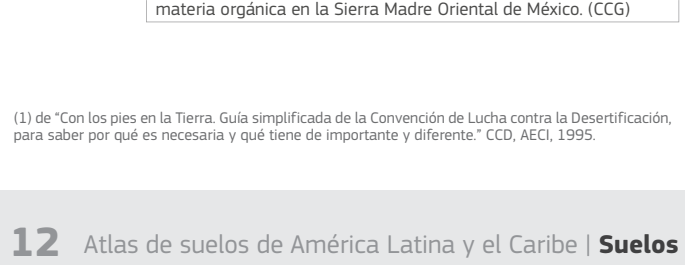
Fotografía seleccionada en el II Concurso de Fotografía de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo 2012. El uso de la fotografía como forma de expresión personal es un medio adecuado para difundir la concienciación sobre el recurso suelo. El tema de este concurso era "Pensar el Suelo desde Latinoamérica, España y Portugal". Título de la fotografía: María y la cosecha de maíz. Comunidad indígena Kari´ña. Tomada en El Guamo, Estado Monagas, Venezuela. (MGM)

¿Qué es el suelo?

El término “suelo“ puede tener acepciones distintas según a quién preguntemos. Al oir hablar del suelo, muchos habitantes de la ciudad piensan en suciedad, polvo o barro. En cambio, para un agricultor o un ingeniero agrónomo, el suelo es sinónimo de “terreno”; para el ingeniero civil o el arquitecto, el suelo es un área de trabajo, una base para infraestructuras, la cual debe ser modelada o eliminada; el biólogo encuentra en el suelo un ambiente de interés, a menudo poco conocido y explorado, mientras que el ecólogo reconoce en el suelo un escenario esencial para multitud de ciclos biogeoquímicos y la clave para la restauración de ecosistemas; desde el punto de vista del hidrólogo, el suelo funciona como almacén de agua potable y filtro natural, mitigador de inundaciones y regulador de los caudales de los ríos, entre otras funciones importantes para la vida humana. Ninguna de estas visiones es incorrecta; sin embargo el suelo es mucho más que eso: se le puede considerar la piel de nuestro planeta. Es esencial para la vida y extremadamente frágil. Una definición universalmente aceptada es aquella que define el suelo como “cualquier material suelto en la superficie de la Tierra capaz de sustentar la vida”.

> *“No es casualidad que nuestro planeta se llame Tierra. Toda la vida terrestre depende de la frágil y friable corteza de suelo que recubre los continentes. Sin ella, los seres vivos nunca habrían salido de los océanos: no habría plantas, ni cosechas, ni bosques, ni animales... ni hombres.” (1)*

El suelo es una formación natural que se halla en la intersección de la litósfera, hidrósfera, biosfera y atmósfera. Resulta de la acción conjunta de procesos físicos, químicos y biológicos (meteorización) sobre el medio original (la roca madre). Dichos procesos transforman el material inicial hasta darle una morfología y propiedades características. El suelo está compuesto por elementos minerales y orgánicos en estado sólido, líquido y gaseoso, los cuales se interrelacionan dando lugar a distintos niveles de organización con variaciones tanto espaciales (verticales y laterales) como temporales (horarias, estacionales, centenarias y hasta milenarias). Es un sistema complejo en el que suceden de manera continua procesos químicos, físicos y biológicos. La ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea se denomina Edafología, mientras que la Pedología se ocupa del estudio de su formación, clasificación, morfología y taxonomía, además de la interacción con el resto de los factores geográficos.



Vista de un perfil de suelo característico, rico en carbonatos y materia orgánica en la Sierra Madre Oriental de México. (CCG)

(1) de “Con los pies en la Tierra. Guía simplificada de la Convención de Lucha contra la Desertificación, para saber por qué es necesaria y qué tiene de importante y diferente.” CCD, AECI, 1995.

Desde el punto de vista edafológico, el suelo, es un ente natural organizado e independiente, con constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos vivos) que actúan sobre los factores pasivos (la roca madre y el relieve), independientemente del tiempo transcurrido.

El suelo es un medio que ofrece los nutrientes que necesitan las plantas, en forma de materia orgánica y minerales, y el sustrato que les sirve de soporte y en el que desarrollan sus raíces para crecer.

Con todas estas características, el suelo constituye un ambiente idóneo para el establecimiento y desarrollo de las plantas, independientemente de otras condiciones de gestión, como por ejemplo el cultivo en invernaderos.

Cultivo de pimientos en un invernadero en República Dominicana. (PNR)

Al hablar de la "tierra" se hace referencia a la combinación de suelo y clima. Ésta constituye la base más importante para la producción agrícola y de alimentos. Cuando se practica la agricultura con métodos tradicionales, la tierra y la mano de obra representan todos los recursos disponibles.

Establecimiento de cultivo de maíz en campo abierto con manejo apropiado del suelo. (JLCO)

Sobre estas líneas se muestran dos ejemplos que ilustran la importancia de los servicios que provee el suelo. En primer lugar, se observa un invernadero en el que las plantas de pimientos crecen en condiciones protegidas.

La siguiente imagen corresponde a un cultivo de maíz con suelo preparado en campo abierto. El suelo está siendo usado como base y suple los nutrientes requeridos por las plantas.

En cuanto a su clasificación, los suelos presentan grandes diferencias en sus características físicas, químicas y biológicas, como el color, la profundidad o la fertilidad. Esta variabilidad hace que existan suelos desde muy productivos a poco fértiles, lo que da lugar a paisajes diferentes (vegetaciones con características diferenciadas en color, altura o densidad). Estas diferencias, las cuales pueden darse en distancias muy cortas, se deben principalmente a que los factores que han participado en la formación y/o meteorización del suelo (roca madre, clima, topografía, organismos y tiempo) han actuado con diferentes intensidades. Por ejemplo, los suelos de la zona sur de la República Dominicana presentan una gran variabilidad en cuanto a la profundidad de sus horizontes y otras características.

Pachamama o “Madre Tierra”

Los pueblos indígenas quechua, aimara y otras etnias de la región andina, realizan desde tiempos ancestrales ofrendas en honor a la Madre Tierra o Pachamama (en las lenguas indígenas, Pacha quiere decir “tierra”, “mundo” o “cosmos” y mama, “madre”). Es el centro del sistema de creencias y de actuación ecológico-social entre los pueblos indígenas de la región de los Andes Centrales.

Existen multitud de fiestas en honor a la Pachamama durante todo el año, aunque agosto es el mes dedicado a la Madre Tierra. Según la creencia, después de la cosecha la tierra descansa y despierta en agosto con hambre. Para que no se coma las semillas de la siembra, que comienza el 21 de agosto, hay que alimentarla simbólicamente. Durante todo el mes, los pueblos andinos le hacen ofrendas, con el significado de devolver de forma ritual lo que la tierra ha dado durante todo el año: alimentos, agua, coca, chicha y vino, entre otros. Además, es una oportunidad para pedir prosperidad y salud para el resto del año.

Es el cultivo de la tierra lo que marca el ritmo de vida de los indígenas. Honrar a la Pachamama es una tradición muy arraigada en el campo, aunque en las últimas décadas ha ido penetrando en las ciudades.

Representación de la Pachamama en un mural del centro de Bogotá, Colombia. (CG)

Las calicatas o perfiles son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el estudio de los suelos. Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala retroexcavadora. El término proviene del latín, chalāre (“penetrar”, “atravesar”), y del griego, “cata” (“hacia abajo”). (CG)

Importancia del suelo

El suelo es un importante recurso natural con gran influencia sobre el medio ambiente, la economía local, regional y mundial, y de él dependen, en gran medida, la supervivencia y el bienestar de la población actual y las generaciones futuras. Además, como su regeneración es muy lenta, el suelo debe considerarse como un recurso no renovable y cada vez más escaso, debido a que está sometido a constantes procesos de degradación y destrucción de origen natural o antropogénico.

Al tener la mayor extensión de suelos mejor conservados del mundo, Latinoamérica constituye en la actualidad una zona de alta importancia para diversas funciones, como la conservación de la biodiversidad y de los acuíferos —el más grande del mundo se encuentra en Brasil—, además de la producción agropecuaria de exportación. A continuación se describen las funciones más importantes que cumple el suelo:

Producción de biomasa

Entre las diversas funciones atribuidas al suelo, la producción de biomasa en general, y de alimentos en particular, es una de las más importantes. Según el Anuario estadístico 2007-2008 de la OECD-FAO [9], el suelo proporciona (directa o indirectamente) más de un 95% de la producción mundial de alimentos.

Arrozales de Castañuela, Monte Cristi (República Dominicana), en un entorno forestal, lo que favorece la diversidad paisajística. (PNR)

Debido a la abundancia de suelos bien conservados, es probable que, en un futuro próximo, los suelos de América Latina tengan una contribución fundamental para abastecer de alimento a una población humana en continuo crecimiento. A pesar de ello, dentro de la comunidad científica, aquellos en contra de la ampliación de la superficie de cultivo en la región, defienden que muchos suelos de LAC presentan serias limitaciones para su explotación agrícola (p. ej. son demasiado superficiales, demasiado húmedos, muy secos o pobres en nutrientes).

Las variaciones en los mercados tienen un fuerte impacto en las prácticas agrícolas, por lo que el reciente incremento de la superficie agrícola ha ido acompañado de un cambio en el tipo de productos que se cultivan. De este modo, aunque la producción de alimentos básicos ha sido primordial tradicionalmente, y la seguridad alimentaria es un tema de creciente interés tanto en LAC como a nivel mundial, gran parte de la región está transformando su agricultura para responder a un nuevo modelo económico que favorece el comercio, y la producción agropecuaria destinada a la exportación desempeña un papel fundamental en la economía de muchos países, como es el caso de Argentina.

Simultáneamente, se evidencia una debilidad creciente de la capacidad de la región para producir alimentos básicos, ya que gran parte se destina a la exportación.

Soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas

Los suelos próximos a las ciudades se revalorizan rápidamente cuando se convierten en terrenos urbanizables en los que desarrollar actividades industriales, zonas residenciales, infraestructuras turísticas, construcción de caminos o depósitos de residuos sólidos, entre otros. Además, el suelo es una fuente de materias primas tales como turba, grava, arena, arcilla o rocas, destinadas principalmente a la construcción.

Secuestro y almacenamiento de carbono

El suelo tiene un gran potencial como sumidero de carbono. La captación de este elemento reduce el efecto invernadero y los posibles cambios climáticos en nuestro planeta. Esto es posible gracias a que el carbono atmosférico absorbido por las plantas se convierte en materia orgánica, una parte de la cual es retenida y acumulada en el suelo. Dependiendo del tipo de ecosistema, el carbono se almacena principalmente en la cubierta vegetal (como sucede en los bosques tropicales), o en el suelo (p. ej. en las praderas).

En el contexto de futuras estrategias de mitigación del cambio climático, América Latina se considera una región importante en materia de captura de carbono. Esto se debe principalmente a que el 60% de los bosques tropicales del planeta se encuentra en este continente. En 2006, la FAO [10] reportó que el stock de biomasa del planeta en bosques correspondía a 529,5 gigatoneladas de carbono. De este total, los bosques de América Latina y el Caribe albergan 170 gigatoneladas. Cuando esta cifra se pondera por la superficie, se observa que América Latina y el Caribe almacena el 32% de las existencias de carbono en bosque del planeta, en un área que tan solo supone el 15% de la superficie terrestre. Esto pone de relieve la importancia de los bosques como fuentes globales de almacenamiento de carbono, no sólo para los habitantes de LAC, sino también para el resto del planeta.Según datos de la FAO de 1996, las tasas de secuestro de carbono para Latinoamérica son mayores que en Norteamérica.

El potencial de secuestro de carbono para Latinoamérica es de 0,1 a 0,2 Pg C/año, contando con la Amazonia y si se adoptan las medidas adecuadas en cuanto a la gestión del territorio en las ecorregiones de Cerrados, Llanos y Pampas (p. ej. barbecho natural o reforestación). En estas regiones, a diferencia de lo que sucede en la cuenca amazónica, el gran potencial de acumulación de carbono reside en el suelo, más que en la cubierta arbórea.

Almacén del patrimonio geológico y arqueológico

Una gran parte de los restos que nos informan sobre la herencia humana y la historia ambiental reciente de nuestro planeta están enterrados en el suelo, esperando a ser descubierta por arqueólogos y paleoecólogos. La función del suelo de almacenar el patrimonio geológico y arqueológico será de mayor calidad cuanto menos se deteriore el mismo, es decir, cuanto menos se degraden las condiciones ambientales. El patrimonio geológico, por ejemplo, se conserva mejor cuanto menos intensos sean los procesos de formación de suelo y/o los procesos de degradación. Este enfoque también puede aplicarse al patrimonio arqueológico; por ejemplo, de entre los factores que más influyen en la conservación de este patrimonio destacan la actividad biológica, la infiltración de agua estacional, la eliminación del bosque o la oxidación.

Los paisajes actuales constituyen la herencia de procesos climáticos, geomorfológicos y edafológicos que la naturaleza ha ido modelando durante miles o millones de años. Sobre esos escenarios, el hombre ha desarrollado numerosas actividades agrícolas, ganaderas, culturales, recreativas. Los suelos preservan los yacimientos arqueológicos, registrando el momento de abandono del lugar a través de la cobertura de estos con la adición de una nueva capa de suelo. Esto permite la consolidación cronológica del paisaje, la génesis y evolución de un nuevo suelo.

Reserva de agua, filtro y transformación de nutrientes

El suelo desempeña una función crucial en el ciclo hidrológico, al favorecer la captación e infiltración de agua, y con ello la recarga de los acuíferos. También interviene en los ciclos de los diferentes elementos químicos, así como en las transformaciones de energía y residuos materiales de los ecosistemas. La mayor parte de energía que almacena la materia orgánica del suelo proviene de la energía obtenida del sol mediante la fotosíntesis.

Reserva de biodiversidad

El suelo representa una de las reservas más importantes de biodiversidad. La diversidad biológica del suelo es mayor que la que existe sobre él, y se contempla como la última frontera para la investigación de la biodiversidad en la superficie terrestre. Sin embargo, los estudios sobre la biodiversidad del suelo son escasos o inexistentes, sobre todo en las regiones menos exploradas del planeta.

La mayoría de los organismos del suelo se desconocen todavía: se estima que la fauna actualmente descrita de nemátodos, ácaros y protozoos representa menos del 5% del número total de especies existentes.

La relación entre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema es particularmente evidente en el suelo. Los suelos proporcionan un gran número de servicios de los ecosistemas, gracias a las complejas comunidades de organismos que habitan en ellos. La biota del suelo contribuye, directa o indirectamente, al ciclo de los nutrientes y la descomposición de materia orgánica, la formación de la estructura del suelo y al control del régimen del agua.

Ruinas arqueológicas de la cultura maya, edificadas sobre suelos calcáreos. Tulum, Yucatán, México. (CG)

Suelo y agua

La *infiltración* es el proceso físico que implica el movimiento del agua a través de la superficie del suelo. La capacidad de infiltración del agua está relacionada con la porosidad (la cantidad de espacio dentro del suelo) y la permeabilidad (la capacidad del suelo para ser atravesado por líquidos). A su vez, estos factores están determinados por la textura y la estructura del suelo, el contenido de humedad inicial, la composición y el hinchamiento de los minerales de arcilla, lo que puede hacer que se formen grietas. El agua que se ha infiltrado en el suelo luego puede ser liberada a través de la evapotranspiración o del flujo subsuperficial.

La *percolación* es el paso lento de un fluido a través de un material poroso, en este caso es el movimiento del agua a través del suelo como consecuencia de la gravedad y de las fuerzas capilares. La zona del suelo en la que los poros se encuentran saturados de agua es donde se acumula el agua subterránea. Ésta puede moverse tanto vertical como horizontalmente. El límite superior de la zona saturada de agua se conoce como nivel freático.

Cuando el nivel freático intercepta la superficie, el agua brota de manera natural a través de surgencias en las laderas o en fondos de valle (manantiales). Las aguas subterráneas alimentan el flujo base de ríos y arroyos durante los periodos secos.

La única fuente de agua dulce que tiene la Península de Yucatán (México) son sus aguas subterráneas. Los cenotes son ventanas abiertas a estas aguas. Algunos de ellos eran sagrados para los mayas, hace más de 500 años. (MVR)

¿De qué está hecho el suelo?

El suelo se compone de una mezcla compleja de partículas minerales y orgánicas que representan los productos de la meteorización y de los procesos bioquímicos. Las rocas son erosionadas en fragmentos, mientras que la vegetación y los organismos muertos se transforman en materia orgánica del suelo. Además de estos elementos sólidos, también encontramos líquidos y gases en este complejo sistema.

La fracción líquida del suelo está formada por una disolución acuosa de las sales y los iones más comunes (p. ej. Na^+, K^+) y por una amplia serie de compuestos orgánicos. Esta fase líquida del suelo desempeña un papel fundamental en el sistema como vehículo de las sustancias químicas. Los poros y grietas del suelo albergan la parte gaseosa, constituida fundamentalmente por los gases atmosféricos, aunque con una mayor concentración de dióxido de carbono que el existente en la atmósfera de la Tierra. Esto se debe al metabolismo respiratorio de los seres vivos del suelo, incluidas las raíces y los hongos. También pueden aparecer gases como metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), ambos comunes en suelos con mal drenaje.

Textura y estructura del suelo

La **textura** describe la proporción de las partículas minerales presentes en el suelo en función de su tamaño [11]. Las principales clases de partículas, según la clasificación de la FAO: arcilla (<0,002 mm), limo (0,002 - 0,63 mm) y arena (0,063 - 2,0 mm). El rango de tamaños para cada clase puede variar en los diferentes países. Las partículas grandes de arena pueden a su vez dividirse en gruesas, medias y finas.

La **estructura** se refiere al arreglo o disposición física de las partículas del suelo (también llamados agregados) y el espacio entre ellas. La estructura del suelo tiene una gran influencia en el movimiento del agua y el aire, y también en el crecimiento de las raíces. Depende de factores tales como el material parental, la mineralogía, la actividad biológica, las condiciones ambientales, la gestión del suelo y la cantidad de arcilla y materia orgánica.

El suelo visto “de perfil”

Si cavamos un hoyo y observamos la sección vertical que aparece, conocida como perfil, podremos ver, en la mayoría de los casos, una serie de capas más o menos paralelas a la superficie. Estas capas se conocen como "horizontes" y son el resultado de procesos geológicos, químicos y biológicos en el material parental durante la vida del suelo. Los suelos relativamente jóvenes, como los que se originan a partir de los sedimentos de ríos, dunas o cenizas volcánicas, pueden tener horizontes poco diferenciados o incluso carecer de ellos. A medida que aumenta la edad del suelo, los horizontes son generalmente más fáciles de observar (hay excepciones, como por ejemplo los suelos tropicales o en el permafrost).

La mayoría de los suelos presentan generalmente tres o cuatro horizontes (puede haber más o menos), definidos principalmente por el color, textura, estructura, contenido en materia orgánica y presencia de carbonatos (sus características químicas se pueden medir en el laboratorio). Algunos suelos muestran un cambio gradual de un horizonte a otro, mientras que otros varían de manera más brusca entre ellos.

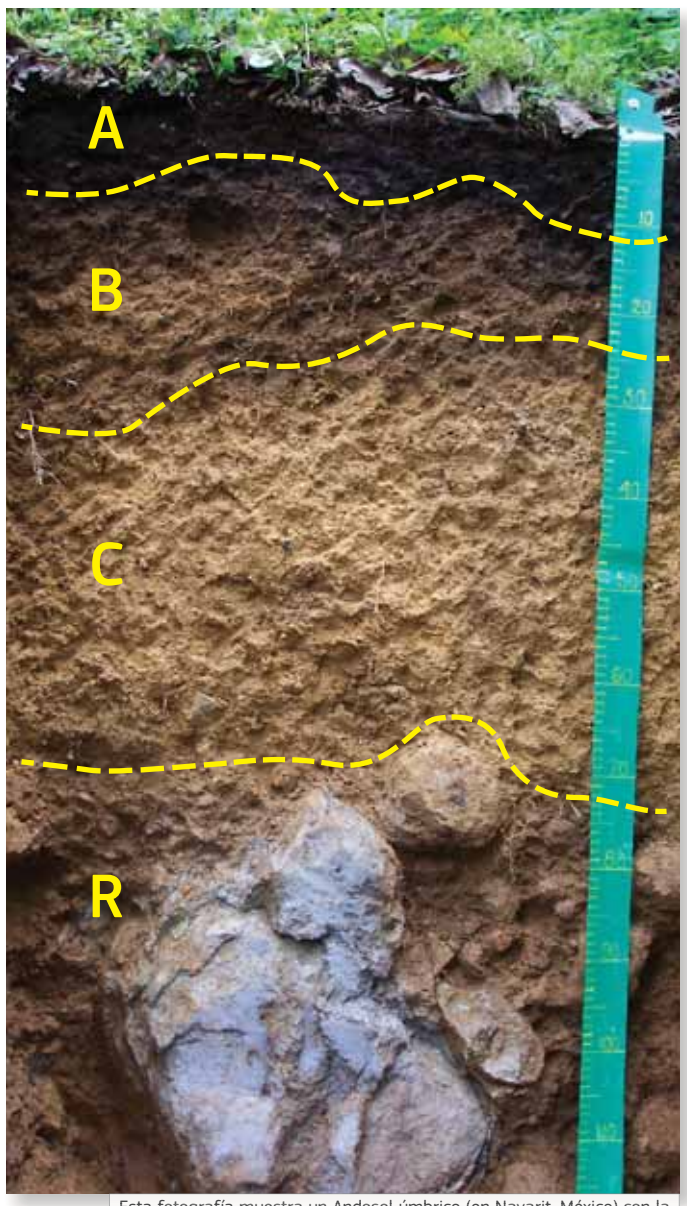
La identificación y descripción de los horizontes del perfil es una parte importante del estudio de los suelos. Los horizontes principales se suelen representar con una letra mayúscula, generalmente seguida de varios caracteres alfanuméricos indicadores de las características del suelo.

¿Qué se entiende por suelo pesado o ligero?

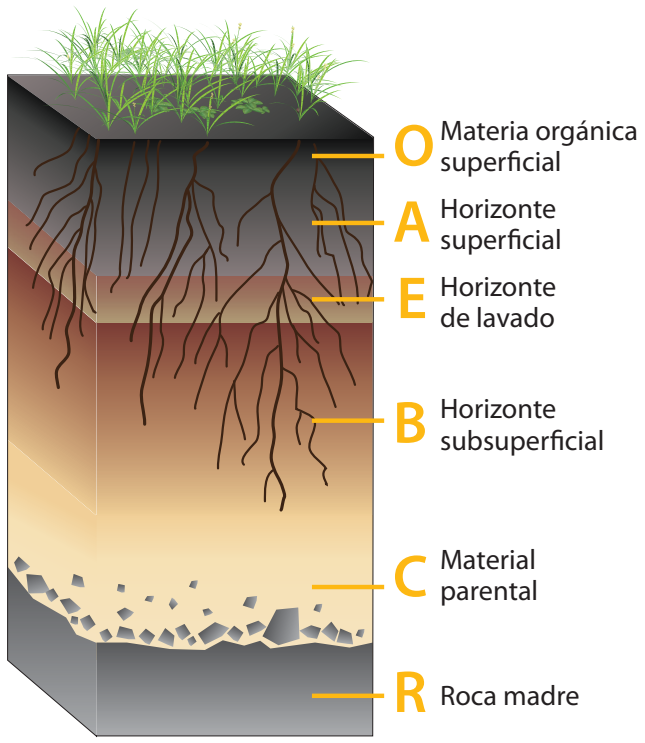
Los términos pesado o ligero se emplean en el contexto agrícola. Se refieren a la facilidad con la que se puede trabajar un suelo, la cual depende de su textura. Los suelos pesados contienen una mayor proporción de arcilla o partículas de limo y retienen más humedad que los suelos con partículas más grandes, como la arena. En consecuencia, son más difíciles de arar que los suelos arenosos ligeros.

El ABC de los suelos

Al examinar un perfil, normalmente encontraremos restos de plantas en la fina capa superior, también conocida como horizonte orgánico (“horizonte O“). Bajo el horizonte O, suele aparecer una capa oscura que contiene una mezcla de materia orgánica y minerales. Este horizonte, identificado por la letra A, contiene la mayor parte de la materia orgánica del suelo (de ahí su color más oscuro). Es aquí donde se da la mayoría de procesos biogeoquímicos (crecimiento de la biomasa, descomposición de los residuos orgánicos y liberación de nutrientes, formación de ácidos orgánicos y reacciones de estos con los minerales). Si la capa superficial del suelo es eliminada a causa de la erosión o la actividad humana, con ella desaparece la mayor parte del potencial ecológico de los suelos. Aunque esta capa superficial del suelo puede regenerarse con el tiempo, pueden ser necesarios cientos o miles de años para que recupere su condición original (lo que no siempre es posible). Debajo de la capa superior del suelo (horizontes O y A) se encuentra el subsuelo mineral, compuesto por una o más capas de colores brillantes, identificados por la letra B. En todos los suelos excepto en los Podzols, los horizontes B son más pobres en materia orgánica que el horizonte superficial (de ahí su diferente tonalidad). El color marrón, amarillo o rojizo indica su origen a partir de óxidos de hierro o minerales de arcilla, mientras que los tonos grises o verde-azulados evidencian una formación bajo condiciones de reducción. Según se avanza en profundidad, la estructura del suelo se va haciendo menos evidente, a medida que disminuye la influencia de los factores formadores. Es entonces cuando encontramos la capa identificada como horizonte C. Esta capa se encuentra generalmente por encima de rocas más duras, y sus características distan mucho de las de los horizontes precedentes, A y B. Puede contener fragmentos de la roca subyacente. Por último, se denomina horizonte R a la capa de rocas más duras, por debajo del suelo.



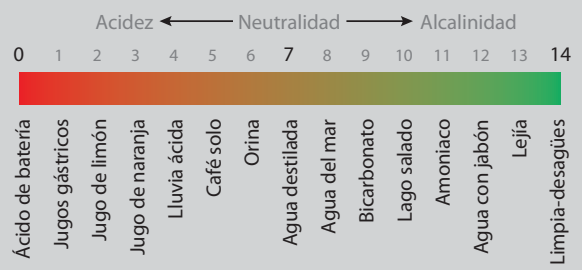
Esta fotografía muestra un Andosol úmbrico (en Nayarit, México) con la clásica secuencia de horizontes (A, B, C). El horizonte C (28-69 cm) es de color amarillo pálido y procede de la meteorización de la capa de roca andesita (R) que aporta el material mineral necesario para el desarrollo de los horizontes A y B. El horizonte superior (0-12 cm), denominado como A, tiene un color más oscuro, consecuencia de un alto contenido en materia orgánica especialmente en los primeros 10cm de espesor. Bajo este horizonte se sitúa el horizonte B (12-28 cm) de color pardo amarillo debido al enriquecimiento de las arcillas con materiales de hierro, aluminio, sílice y ceniza volcánica. En general, un horizonte orgánico (O), de espesor variable, está presente por encima del horizonte A (ausente cuando el suelo ha sido arado). (CSA)



Este esquema de un perfil teórico muestra los horizontes más importantes del suelo y su relación con el material original o parental, el desarrollo de las raíces y los procesos formadores del suelo. El horizonte E se da en suelos minerales cuando los materiales arcillosos, hierro y aluminio, han sido destruidos o lavados hacia capas más profundas por el agua de percolación. Los horizontes E suelen ser de tonos más claros y textura suelta. Podemos encontrar también horizontes I (presencia de fragmentos de hielo), L (sedimentos depositados en un cuerpo de agua) y W (presencia de capas de agua). (LJ)

¿Qué es el pH?

Los suelos se pueden dividir según su valor de pH, en ácidos o básicos (alcalinos) . El índice de pH es un número que indica el grado de acidez, y se basa en la concentración de iones hidrógeno en una solución. El pH del suelo se mide mezclando una muestra de suelo con agua desionizada, KCl o CaCl. La escala de pH va de 0 a 14, aunque los suelos presentan típicamente valores de entre pH 4 y pH 8. Un suelo neutro tiene un pH de 7. Los índices de pH de los suelos alcalinos varían de 8 a 11 (fuertemente alcalino), mientras que los suelos fuertemente ácidos tendrán un pH inferior a 4.



El pH y el color de las flores

Las hortensias (género *Hydrangea*) pueden poseer flores rosas, blancas, o azules, dependiendo en parte del pH del suelo. En suelos relativamente ácidos (pH entre 4,5 y 5) las flores se hacen azules, en suelos menos ácido (pH entre 6 y 6,5) las flores adquieren un color rosa, y en suelos alcalinos (pH alrededor de 8) las flores crecen blancas.

El color azul de las hortensias está relacionado con la presencia en el suelo de potasio, hierro y aluminio, mientras que altas concentraciones de fósforo y nitrógeno favorecen los tonos rosados y rojos. (F)

¿De dónde vienen los suelos de LAC?: factores formadores de suelo

Las características del suelo pueden variar de manera considerable de un lugar a otro, como se observa en las imágenes de la derecha. En los siguientes apartados se describen los principales factores formadores de suelo que determinan las propiedades del mismo.

El origen de la Edafología

Vasili Vasílievich Dokucháyev, considerado el padre de la Edafología, fue un destacado geógrafo y edafólogo ruso, y la primera persona que propuso que las variaciones geográficas en las características del suelo estaban relacionadas también con las variaciones climáticas y topográficas, así como con factores geológicos (material parental o roca madre). Sus ideas fueron desarrolladas por otros científicos, como Hans Jenny, quien en 1941 publicó su obra *Factores formadores del suelo (Factors of Soil Formation)*, donde establecía que las propiedades observadas en el suelo resultan de la interacción de muchas variables [12]. Las más importantes son: material original (material parental o roca madre), clima, organismos vivos, especialmente vegetación, topografía o situación en el paisaje y tiempo. Jenny expresó esta relación en la ecuación:

suelo = f (material original, clima, organismos, topografía, tiempo)

De esta manera, las variaciones en el material orginal, clima o la edad del suelo, determinan las características específicas de un suelo determinado. Por ejemplo, la meteorización de una roca madre sólida a través de los ciclos de calentamiento-enfriamiento o congelación-deshielo (determinados por la topografía y el clima), dan lugar a una matriz de fragmentos de roca conocida como regolito. Si la alteración continúa, los fragmentos darán lugar a sedimentos más finos que contienen minerales cristalinos que provienen de la roca. Estos sedimentos de textura fina presentan condiciones favorables para la germinación de semillas y para el establecimiento de líquenes y musgos. El crecimiento de la vegetación se ve favorecido por la descomposición del mineral en moléculas o componentes que servirán de nutrientes a las plantas. Después de que las plantas se hayan establecido con éxito, las hojas muertas caerán en la superficie y comenzarán a formar finas capas de materia orgánica, las cuales alimentarán el próximo ciclo del crecimiento de la planta, devolviendo los nutrientes al suelo. Con el paso del tiempo, el material original se va cubriendo de capas de materia orgánica, permitiendo así que se asienten plantas de mayor tamaño. La pendiente y orientación del lugar determinarán el drenaje y el aporte y/o eliminación de material. Así es como se formará un suelo con características que reflejan la interacción entre varios factores.

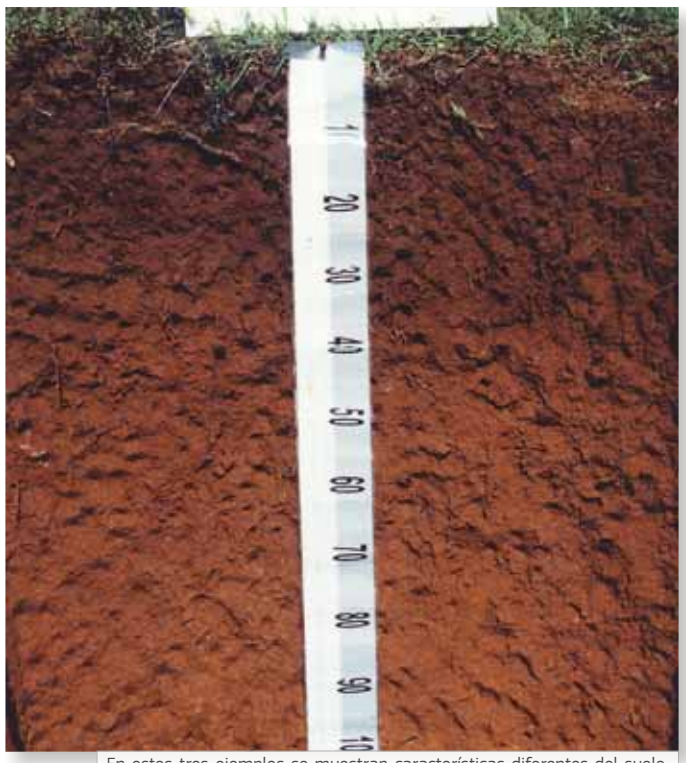
Sin embargo, si las condiciones climáticas cambian, podría reducirse la meteorización y con ello el suministro de material parental, y la liberación de minerales. Por otro lado, bajo otras condiciones climáticas también podría darse una vegetación más exuberante, dando lugar a más materia orgánica y capas más profundas. En ambos casos, las características finales del suelo serían distintas.

A pesar de que los principios básicos de la formación del suelo antes mencionados son plenamente aceptados hoy en día, existe alguna controversia respecto a la interrelación de los factores formadores del suelo. El clima tiene una clara influencia sobre los organismos vivos, los cuales forman parte de los procesos formadores de suelo. No obstante, en ocasiones sucede que el microclima que se da en la superficie del suelo es muy diferente del clima regional. El microclima puede estar determinado por la topografía, la cual resulta del efecto combinado del clima con la geología subyacente.

Un factor adicional muy importante que no debe ser ignorado es la influencia de las actividades humanas. Los procesos y características del suelo pueden ser fuertemente alterados como resultado de la gestión y uso del suelo. La eliminación de la vegetación natural o el drenaje o fertilización artificiales del suelo son sólo ejemplos de cómo se pueden cambiar las características de éste por la acción humana.

La unidad más pequeña de suelo

El pedón es la unidad tridimensional más pequeña para el estudio del suelo, y no debe tener menos de 1 m², para poder observar el rango lateral de variabilidad.



En estos tres ejemplos se muestran características diferentes del suelo, producto de la interacción entre los distintos factores formadores. La imagen superior muestra un suelo profundo, de textura gruesa, rico en hierro, que se ha desarrollado bajo clima tropical. Al encontrarse en terreno llano, el encharcamiento periódico hace que muestre un característico patrón moteado por debajo de los 100 cm. (CCG)

En la imagen de arriba se observa un suelo de textura fina con gran cantidad de arcillas expandibles, procedentes de la alteración de la roca original (basalto). El color gris es un indicador de la ausencia de hierro. (CCG)

Este suelo se ha desarrollado sobre sedimentos ricos en yeso y bajo un clima árido. Al igual que los anteriores, se encuentra en un terreno predominantemente llano. Las variaciones fundamentales con respecto a los otros ejemplos se deben a diferencias en las propiedades del material original. (CCG)

América Latina y el Caribe

El término compuesto de América Latina y el Caribe (abreviado en este atlas como LAC) se utiliza para designar a todos los territorios del Hemisferio Occidental se extienden al sur de los Estados Unidos. Estos territorios forman parte del continente americano, con una extensión de unos 22 millones de km² y una con una población de 577 millones de habitantes. De norte a sur, encontramos primero la República Mexicana, seguido de Centroamérica, región rodeada por los océanos Atlántico y Pacífico y unida a México por el istmo de Tehuantepec. El istmo de Panamá marca el extremo sur de la región.

El Caribe es la región formada por el mar Caribe, sus islas y las costas que lo rodean. Se localiza al sureste del golfo de México y América del Norte, al este de América Central, y al norte de América del Sur.

Este mapa muestra los principales elementos geográficos de LAC. (LJ)

América del Sur, está atravesada por la línea ecuatorial en su extremo norte, quedando así con la mayor parte de su territorio comprendida dentro del Hemisferio Sur. Está situada entre el océano Atlántico y el océano Pacífico, mientras que el Mar Caribe delimita por el norte y el océano Antártico su extremo sur. Representa el 42% del continente americano y está habitada por el 6% de la población mundial. El punto más alto de LAC es el Aconcagua (de 6.961 m snm), montaña situada en la Cordillera de los Andes (Argentina). Los países ubicados en el llamado "Cinturón de Fuego del Pacífico" presentan uno de los mayores niveles de sismicidad y vulcanismo del mundo, fenómenos relacionados entre sí, que aparecen como efectos secundarios de la subducción de la Placa de Nazca bajo la placa Continental. Chile tiene la mayor cadena de volcanes del mundo después de Indonesia, con unos 2.000 volcanes identificados, 500 potencialmente activos y varias erupciones recientes.

«América Latina»

- El término «América Latina» suele referirse cultural y exclusivamente a los países de habla española y portuguesa del continente americano incluyendo Puerto Rico, aunque sea un Estado Libre Asociado a los EE.UU. Haití se suele incluir en ocasiones porque comparte la isla de La Española con la República Dominicana.
- Según la definición de la Real Academia Española, «América Latina» es el conjunto de países del continente americano en los que se hablan lenguas romances (castellano, portugués y francés).
- En América del Sur, existen dos países que tienen otras lenguas oficiales: neerlandés (Surinam) e inglés (Guyana).
- En la región del Caribe existen seis idiomas oficiales, lo que refleja la diversidad histórica y cultural de la región. Estos son: español (Cuba, República Dominicana y Puerto Rico), francés (Guadalupe, Haití, Martinica, San Bartolomé y San Martín), inglés (Anguila, Antigua y Barbuda, Bahamas, Barbados, Islas Vírgenes Británicas, Islas Caimán, Dominica , Grenada, Jamaica, Montserrat, Puerto Rico, Saba, St. Eustatius, St. Kitts y Nevis, St. Lucia, St. Maarten, St. Vincent y las Granadinas, Trinidad y Tobago, Islas Turcas y Caicos y las Islas Vírgenes de EE.UU.), holandés (Aruba, Bonaire, Curazao, Saba, San Eustaquio y San Martín), criollo haitiano (idioma oficial de Haití) y papiamento (lengua oficial de Aruba, Curazao y Bonaire).

1. Material parental

El material geológico inalterado representado generalmente por la roca madre o por un material transportado y depositado es conocido como material parental. Se compone de minerales, los cuales pueden estar consolidados o no, que sufren la acción de otros factores a lo largo del tiempo, manteniéndose en parte inalterados y en parte sometidos a la meteorización física, química o biológica. La influencia del material parental como fuente de minerales se hace más patente en los suelos jóvenes, siendo menos evidente en los suelos más desarrollados.

La composición mineralógica, granulometría y permeabilidad de los suelos, son los rasgos más importantes originados por el material parental. Suelen ser la fuente más clara de información sobre la formación y evolución de los suelos.

Las rocas que contienen en su composición mayor cantidad de minerales fácilmente degradables, evolucionan más rápidamente que aquellas formadas por minerales estables como el cuarzo. La granulometría y la porosidad del material parental marcan el ritmo de la meteorización y la edafización, ya que están directamente relacionadas con la penetración y circulación del aire y agua, condicionando la fragmentación y los procesos biogeoquímicos.

La imagen muestra un fragmento de basalto expulsado (izquierda) que fue el material de origen del suelo rico en arcillas esmectíticas (derecha). La variación en el color refleja los diferentes minerales que están presentes en ambas rocas. (CCG)

Tipos de rocas

Ígneas: están formadas por magma solidificado y son el origen del resto de rocas. Se suelen diferenciar por su contenido en cuarzo, relacionado con el grado de acidez que presentan. Algunos ejemplos de rocas ígneas son el granito (ácida), la dolerita o el basalto (básicas).

Sedimentarias: se forman en la superficie de la corteza terrestre a partir de materiales que se depositan en capas o estratos. Se llaman detríticas o clásticas si se originan a partir de trozos de otras rocas (p. ej. conglomerados y areniscas); evaporíticas, formadas por concentración y precipitación de sales (p. ej. el yeso); orgánicas, formadas por acumulación de restos de seres vivos (p. ej. dolomías); y por último carbonáticas, formadas por la precipitación de sales carbonáticas (p. ej. la roca caliza).

Metamórficas: son rocas ígneas o sedimentarias que, sin llegar a fundirse, han estado sometidas a grandes presiones y temperaturas, sufriendo como resultado cambios mineralógicos y estructurales. Ejemplos de rocas metamórficas son el gneis (ácido) y el mármol (básico).

Las areniscas columnares

El diaclasado columnar es muy frecuente en los basaltos, así como en zonas áridas o en ambientes evaporíticos, donde los suelos son fangosos y se desarrollan en la superficie grietas de desecación con tendencia a adquirir formas geométricas.

Sin embargo, en rocas areniscas este tipo de formación es muy raro. En la imagen de abajo se puede observar un ejemplo de Paraguay. Estas formaciones se manifiestan en diversos países del mundo (p. ej. Israel, Libia, Alemania o Escocia).

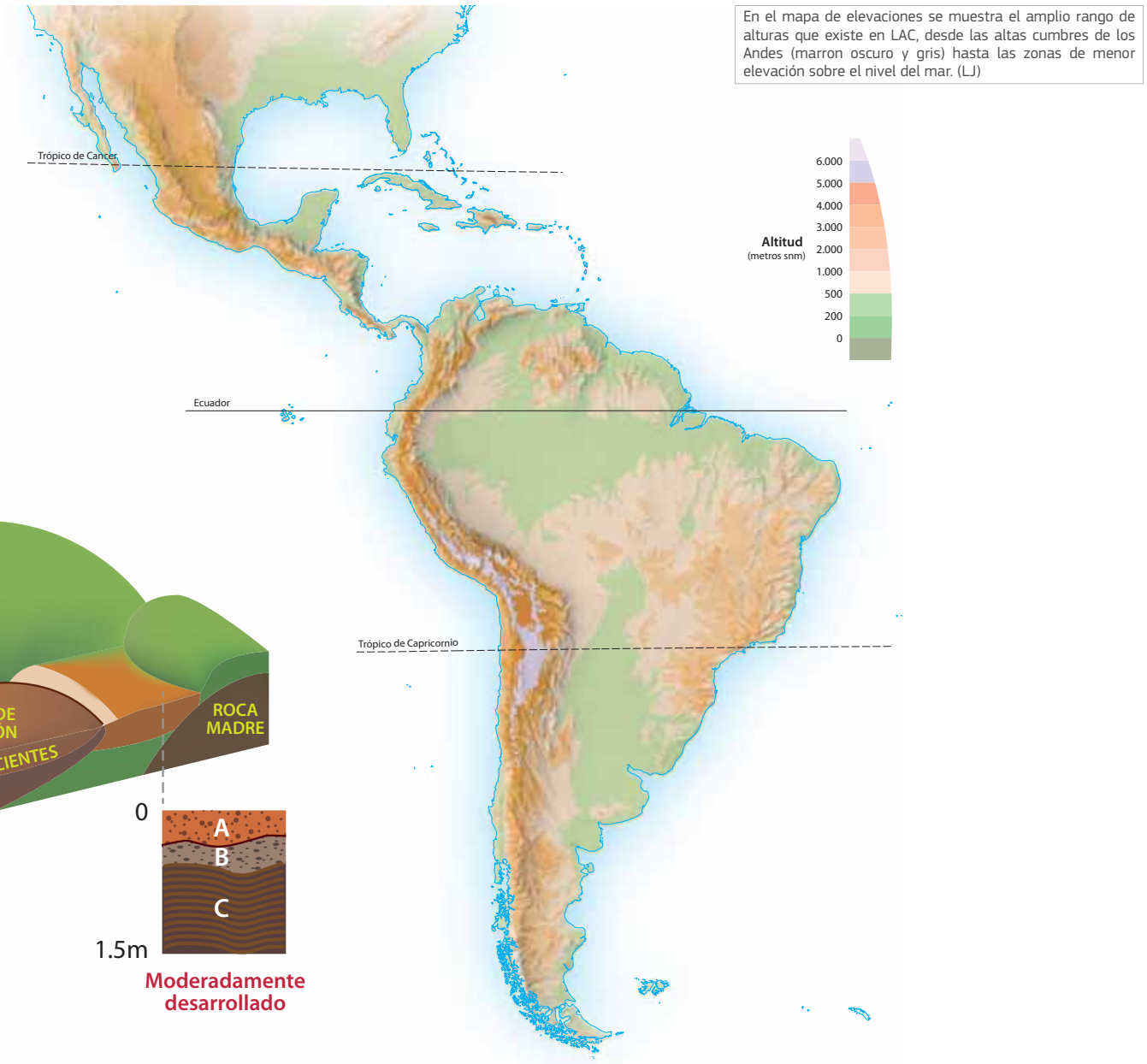
Diaclasado columnar, Paraguay. (AER)

El mapa muestra la litología superficial de LAC. Ésta está formada por rocas (material mineral consolidado) y por depósitos o material no consolidado (coluvial, eólico, fluvial, glaciar, lacustre, marino y orgánico). La categoría piroclástica engloba material consolidado (p. ej. lavas) y no consolidado (p. ej. cenizas volcánicas). (ISRIC/JRC)

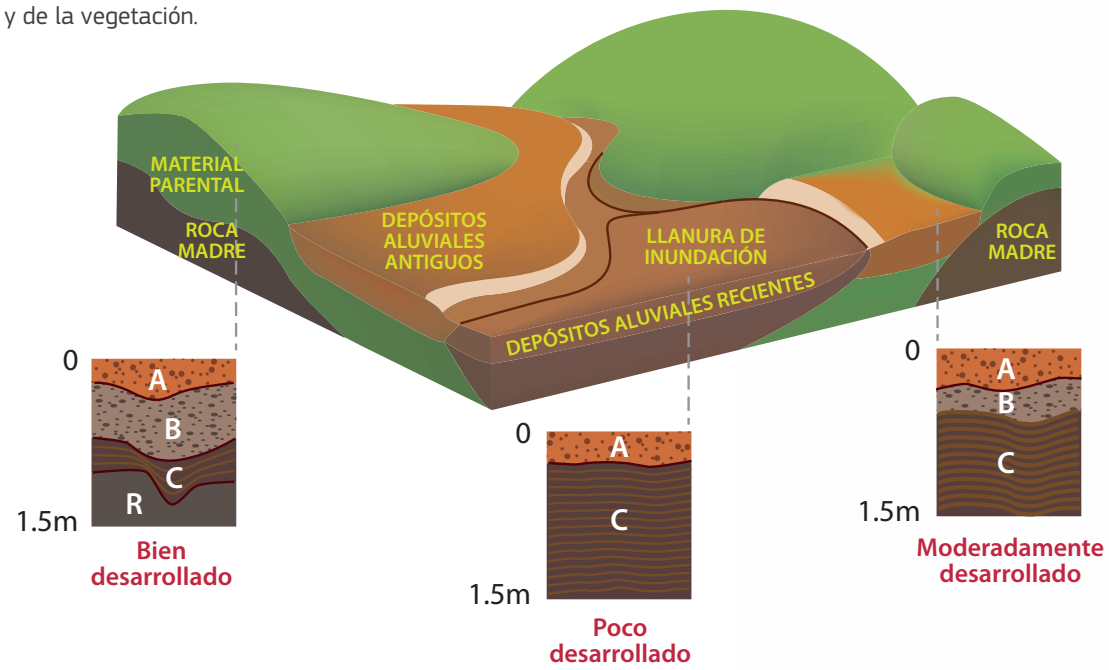
2. Relieve

La expresión del relieve es otro de los aspectos fundamentales en la formación de suelos. La pedogénesis influye en el relieve y viceversa. El relieve también afecta al clima, pudiéndose apreciar grandes cambios en las condiciones climáticas entre regiones que presentan distintas formas de relieve. Igualmente, determina variaciones en el patrón de distribución de la vegetación.

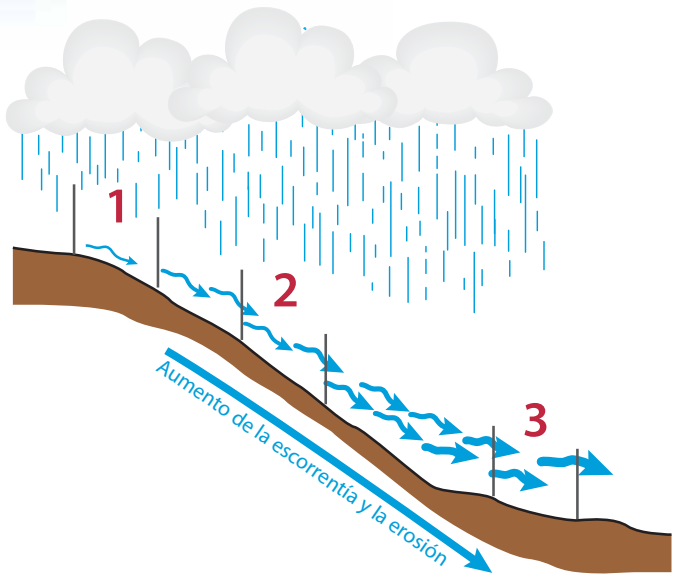
Desde el punto de vista edáfico, los elementos del relieve más importantes son la inclinación y longitud de las laderas, la posición fisiográfica y la orientación. Los procesos de erosión y acumulación (el transporte de sedimentos tanto vertical como lateral por el flujo del agua) también están relacionados con las características topográficas. El relieve determina especialmente la cantidad de agua que se infiltra, se mueve y se acumula en los suelos, y, a su vez, la acción del agua condiciona gran parte de los procesos edafogenéticos. Asimismo, el relieve, conjuntamente con el clima, determina las características de los suelos y de la vegetación.



En el mapa de elevaciones se muestra el amplio rango de alturas que existe en LAC, desde las altas cumbres de los Andes (marron oscuro y gris) hasta las zonas de menor elevación sobre el nivel del mar. (LJ)



Arriba: el siguiente gráfico ilustra la relación entre la topografía y el desarrollo del suelo. Los suelos de materiales aluviales recientes muestran un desarrollo menor que los suelos sobre otro tipo de material parental. (USDA)



Derecho: La posición en la ladera determina las características del suelo. Los suelos de las posiciones superiores no están tan afectados por erosión hídrica (1), mientras que los suelos de la parte más empinada de la pendiente están sujetos a erosión hídrica muy intensa (2). Las partes más bajas (3) reciben más agua y más sedimentos: en ocasiones la erosión se comporta como un factor formador de suelo transportando material parental y depositándolo al pie de las laderas. (JRC/LJ).

La catena de suelos

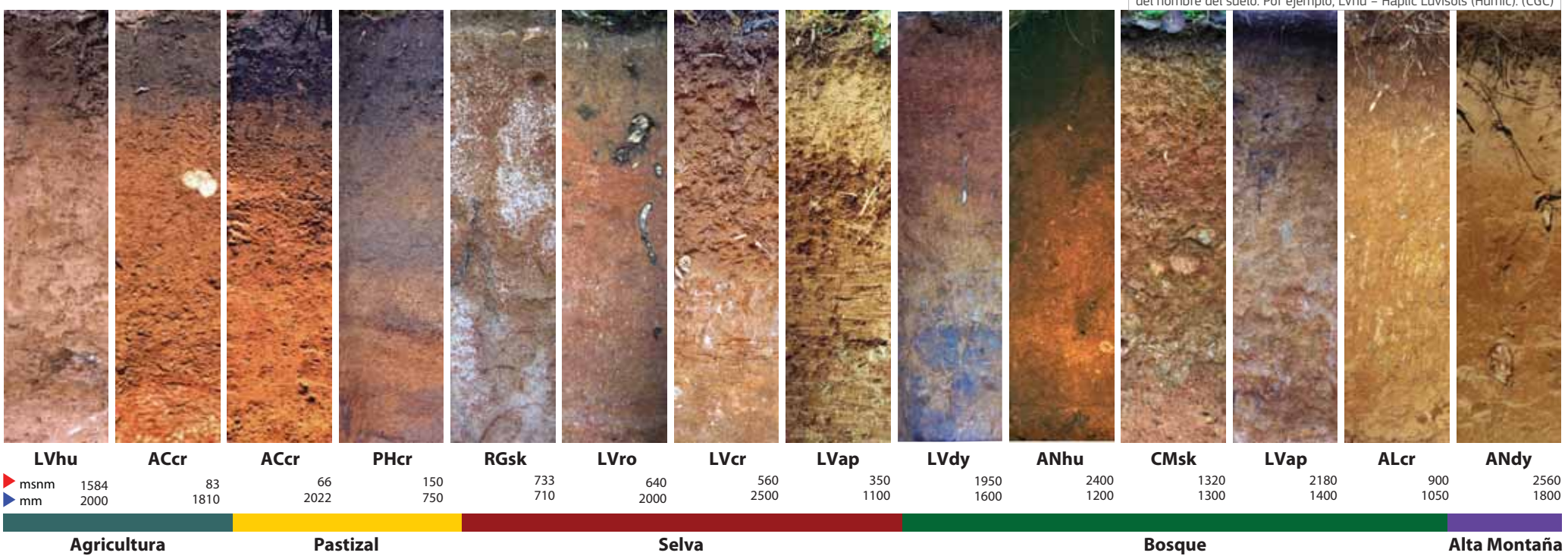
Catena es el origen en latín de la palabra cadena. Se utiliza para describir la secuencia de suelos en una ladera en la que el material que ha originado el suelo es el mismo.

En este caso, el relieve es el factor dominante en la formación de suelo. Éste determina principalmente el espesor del mismo y el movimiento del agua sobre él. Explicado de manera sencilla, las características del suelo al pie de una ladera pueden ser muy diferentes a aquellas del suelo ubicado más arriba o en zonas de pendiente más fuerte.

La teoría de la cadena se origina a partir de un estudio de indentificación de suelos (publicado en 1947) llevado a cabo entre 1935 y 1936 por un funcionario agrícola Inglés, Geoffrey Milne, en la actual Tanzania (África).

El concepto de catena se utiliza a menudo en los estudios de suelos. A nivel del conocimiento local, los agricultores indígenas ya sabían que la topografía determina los distintos tipos de suelo.

Abajo: Serie de perfiles que ilustran las variaciones en las características del suelo de acuerdo con los principales factores pedogenéticos (por ejemplo, paisaje, relieve, clima). Ver página 58-59 para la explicación del nombre del suelo. Por ejemplo, LVhu = Haplic Luvisols (Humic). (CGC)



3. Clima

Los procesos de meteorización física y bioquímica están directamente relacionados con el clima local. Este clima cambia a lo largo del proceso de formación del suelo y su influencia puede constatarse al observar un perfil. La acción del clima en la formación del suelo es decisiva y tiene que ver con el aporte de agua al suelo y la temperatura. Ambos factores, humedad y temperatura, influyen en los procesos básicos de formación de los suelos.

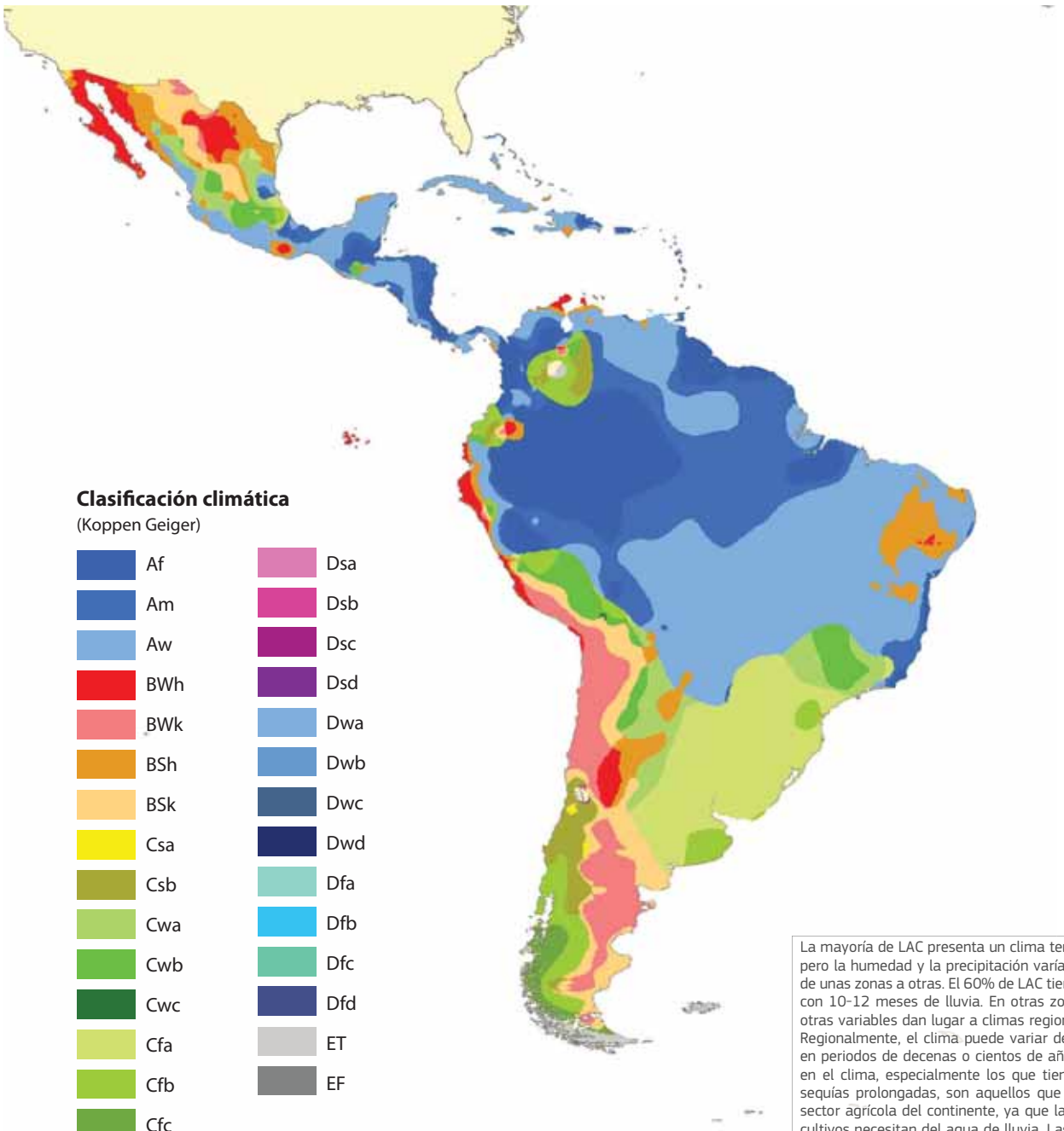
Por otra parte, el clima también influye en otros factores formadores, como los factores bióticos (p. ej. la vegetación) y el relieve. Su acción conjunta condiciona el contenido en materia orgánica y su grado de evolución en un suelo dado. Así, aunque en los climas tropicales o ecuatoriales, muy cálidos y húmedos, se produce una gran cantidad de materia orgánica, dado que ésta se degrada rápidamente en esas condiciones ambientales, los suelos de las regiones templadas presentan por lo general más materia orgánica y de mayor calidad que los primeros.

La cantidad de arcilla presente en un suelo aumenta con las precipitaciones y con la temperatura (ambos favorecen la alteración de los materiales del suelo). Pero también existe una relación entre el tipo de minerales presentes y el volumen de precipitaciones. El tipo y la cantidad de arcilla están directamente relacionados con la acción del clima sobre el material parental. Los climas más cálidos y húmedos favorecen la formación del tipo de arcillas consideradas minerales secundarios, favoreciendo también la formación de arcillas de tipo 1:1 (ver Glosario), como la caolinita, y sesquióxidos de hierro y aluminio (ver página 24).

Por otro lado, aquellas propiedades morfológicas y físicas de los suelos relacionadas con el contenido y la calidad de las arcillas y la materia orgánica (p. ej.: color, textura, estructura o permeabilidad) también se ven influenciadas por el clima. Lo mismo sucede con la fracción coloidal del suelo, formada asimismo por materia orgánica y arcillas, por lo que su capacidad de cambio está relacionada de manera directa con las condiciones climáticas (lo mismo sucede, por tanto, con la fertilidad de los suelos).

Evapotranspiración

La pérdida de agua de una superficie por evaporación directa del suelo y por transpiración de la vegetación (devuelta a la atmósfera en forma de vapor). Se expresa en mm por unidad de tiempo.



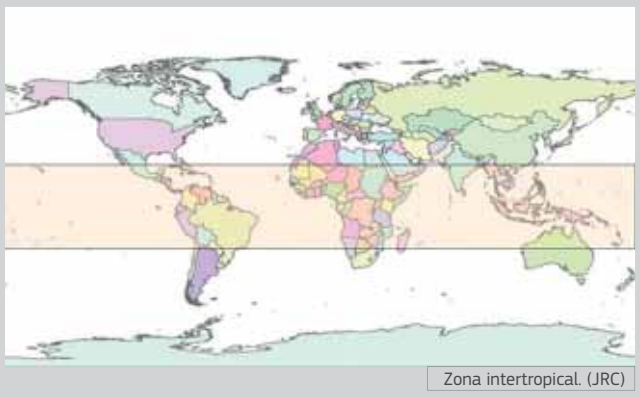
La mayoría de LAC presenta un clima templado o cálido, pero la humedad y la precipitación varían enormemente de unas zonas a otras. El 60% de LAC tiene clima tropical con 10-12 meses de lluvia. En otras zonas, la altitud y otras variables dan lugar a climas regionales diferentes. Regionalmente, el clima puede variar de manera cíclica en periodos de decenas o cientos de años. Los cambios en el clima, especialmente los que tienen que ver con sequías prolongadas, son aquellos que más afectan al sector agrícola del continente, ya que la mayoría de los cultivos necesitan del agua de lluvia. Las zonas áridas y semiáridas representan el 14% de LAC [13]. (JRC)

En el mapa se muestra la clasificación Koppen Geiger para LAC. Esta clasificación establece las siguientes categorías: clima tropical (A), con temperatura media superior a los 18°C todos los meses del año y las precipitaciones anuales son superiores a la evapotranspiración. Se subdivide en: tropical-ecuatorial (Af), tropical monzónico (Am), tropical con invierno seco (Aw) y tropical con verano seco (As); clima seco (B), en el que las precipitaciones anuales son inferiores a la evapotranspiración. Se divide, a su vez en: semiárido (BS, con las categorías semiárido cálido -BSh- y semiárido frío -BSk-) y árido (BW, incluye árido cálido-BWh- y árido frío-BWk-); clima templado (C), en el que la temperatura media del mes más frío está entre 18°C y -3°C, la del mes más cálido es superior a 10°C y las precipitaciones exceden la tasa de evapotranspiración. Éste se subdivide en Cf (precipitaciones constantes), Cfa (subtropical sin estación seca, verano cálido), Cfb (oceánico, verano suave), Cfc (subpolar oceánico), Cw (invierno seco), Cwa (subtropical con estación seca, verano cálido), Cwb (templado con invierno seco, verano suave), Cwc (subpolar oceánico con invierno seco), Cs (verano seco), Csa (mediterráneo, verano cálido), Csb (oceánico mediterráneo, verano suave) y Csc (subpolar oceánico con verano seco); el clima templado continental (D) se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor de -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. Las precipitaciones exceden la tasa de evapotranspiración. Se subdivide en: Df (precipitaciones constantes), Dfa (continental sin estación seca), Dfb (hemiboreal sin estación seca, verano suave, invierno frío), Dfc (subpolar sin estación seca, verano suave y corto e invierno frío), Dfd (subpolar sin estación seca, verano suave y corto e invierno muy frío), Dw (invierno seco), Dwa (continental con invierno seco, verano cálido, invierno frío), Dwb (hemiboreal con invierno seco, verano suave, invierno frío), Dwc (subpolar con invierno seco), Dwd (subpolar con invierno seco, verano suave y corto, invierno muy frío), Ds (verano seco), Dsa (continental mediterráneo, verano cálido, invierno frío), Dsb (hemiboreal mediterráneo, verano suave, invierno frío), Dsc (subpolar con verano seco, verano suave y corto, invierno frío), Dsd (subpolar con verano seco, verano suave y corto, invierno muy frío); por último, el clima frío (E), se caracteriza porque la temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 °C. La vegetación suele ser escasa o nula. Se subdivide en ET (clima de tundra) y EF (clima polar).

Los trópicos

Los trópicos marcan zonas de la Tierra donde los rayos solares inciden de manera directa al menos una vez durante el año solar. Esta zona queda delimitada por el Trópico de Cáncer, situado aproximadamente a 23° 26' 16" N, y el Trópico de Capricornio, a 23° 26' 16" S.

La región comprendida entre los dos trópicos se conoce como zona intertropical. Dado que las líneas de los trópicos vienen definidas por un concepto puramente matemático. Desde el punto de vista biogeográfico, los trópicos pueden extenderse más allá de los paralelos de Cáncer y Capricornio. Por ejemplo, los valles medio y bajo del río Paraná son subtropicales, pero forman parte de la región biogeográfica neotropical que incluye la Patagonia y demás regiones australes del continente.



Zona intertropical. (JRC)

El Niño y La Niña

La Oscilación Sur de El Niño (conocida también como ENSO, por sus siglas en inglés), debe su nombre a los marineros peruanos del siglo XIX, quienes entonces reportaban estos cambios meteorológicos que acontecen en la época de Navidad (el nacimiento del "Niño" Jesús) a lo largo de la costa del océano Pacífico en América del Sur. Durante este evento, la temperatura del agua aumenta y se producen lluvias en lugares normalmente secos. Ya en los primeros registros oceanográficos se hallan evidencias de estos periodos de frío y calor en el océano Pacífico.

El término "El Niño", hace que, consecuentemente, los episodios fríos se conozcan como "La Niña". Durante estos periodos, la temperatura del agua a lo largo de la costa del océano Pacífico en América del Sur desciende y las condiciones de aridez se intensifican. En otras zonas de LAC, El Niño puede causar sequías e inundaciones, con los consecuentes impactos negativos medioambientales, económicos y sociales. Los episodios de La Niña suelen tener efectos diferentes (normalmente opuestos) a los del Niño.

Los indicios del desarrollo del Niño son: aumento de la presión superficial en el océano Índico, Australia e Indonesia, caída de la presión atmosférica en la zona central y oriental del océano Pacífico, cambios en la dirección o debilitamiento de los vientos alisios, calentamiento del aire en la costa pacífica sudamericana y desplazamiento de agua templada hacia la región pacífica oriental, lo que resulta en un aumento de las precipitaciones en América del Sur y sequía al oeste del área del Pacífico.

La diversidad de paisajes ilustra la variedad de ambientes climáticos existentes en LAC. **Arriba:** el altiplano boliviano se sitúa entre las cadenas montañosas de los Andes a una altitud de más de 4.000 m. (RV); **Abajo:** la exuberante Amazonia peruana. (JAO)

Temperatura

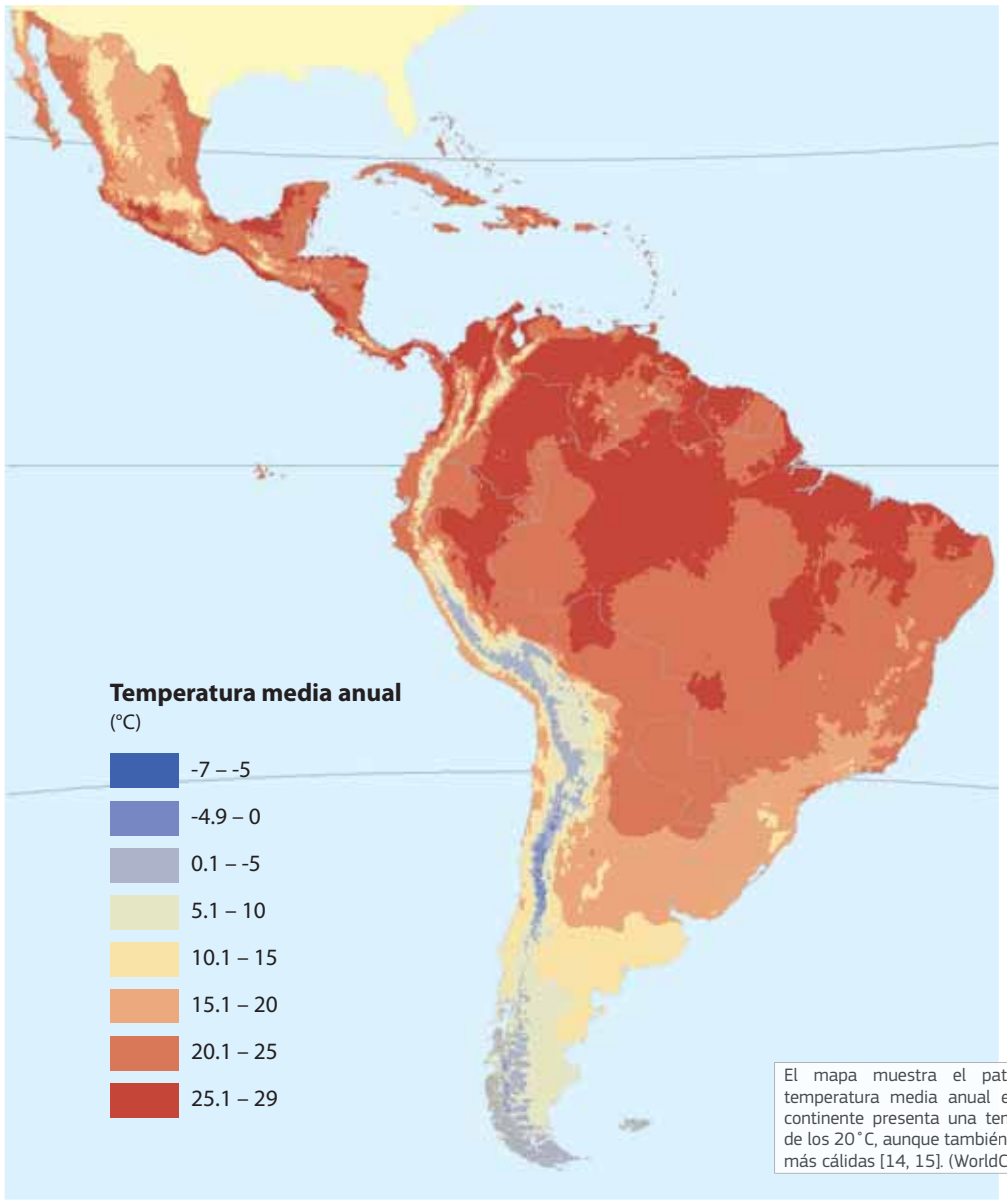
El mapa de la derecha muestra el patrón de distribución de la Temperatura Media Anual (TMA) en LAC. Los valores más altos (rojo oscuro) se dan en la Cuenca del Amazonas, noreste de Brasil, Venezuela, Colombia, norte de Perú y Centroamérica. El máximo se registra en Baja California (Norte de México). En el Delta de San Luis Río Colorado, México, en agosto de 1953, se alcanzaron los 60°C (registro no oficial). Veinte años antes también en México, en San Luis, se habían registrado 58°C (136,4°F) el 11 de agosto de 1933. En el norte de México se da la mayor amplitud del rango de temperaturas en LAC, con una variación de más de 38°C de verano a invierno. En la zona de Ciudad Juárez, las temperaturas estivales pueden superar los 37°C, mientras que en invierno se dan temperaturas bajo cero.

Cerca del Ecuador las temperaturas no son excesivamente altas, siendo los valores diarios medios de entre 24 y 27°C durante todo el año. La extensa cobertura de nubes y las fuertes lluvias evitan que las temperaturas se eleven. La diferencia diaria entre la temperatura diurna y la nocturna es de 2 a 5°C, mayor que el rango anual (2°C).

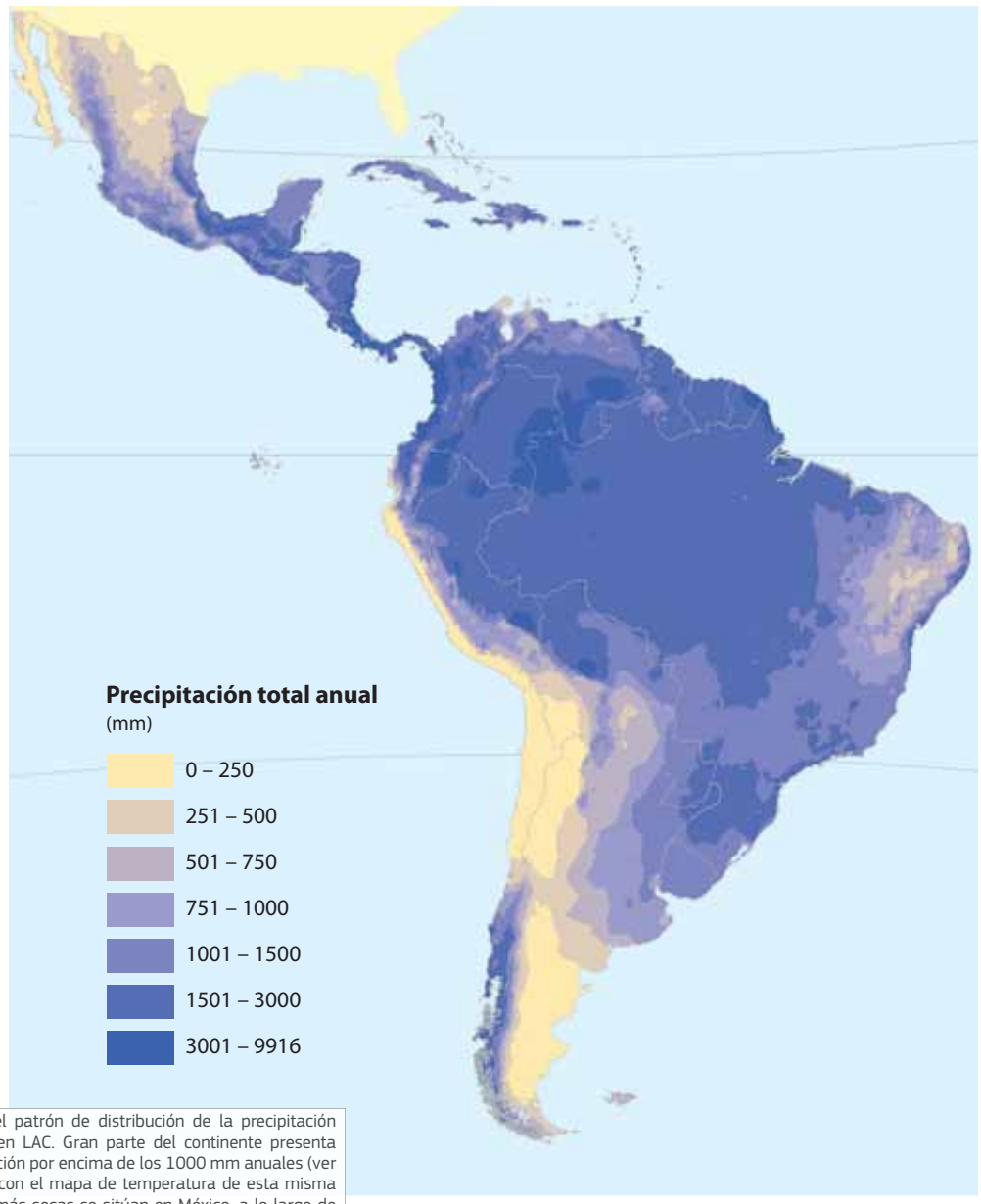
Las regiones más frías de LAC, en color azul, se sitúan en la cadena montañosa de los Andes, especialmente en los tramos situados entre Argentina y Chile, Chile y Bolivia y el sur de Perú. Tanto las heladas como las nevadas son comunes en las cadenas montañosas más altas y en el sur de Chile y Argentina. Existen numerosos glaciares, como el Perito Moreno, uno de los pocos del mundo que continúa en fase de crecimiento.

Meteorización y clima

Existen estudios que demuestran que las tasas de meteorización en las zonas tropicales, donde la temperatura y la humedad presentan unos valores muy altos, son hasta 3,5 veces mayores que las de aquellas de zonas con clima templado.



El mapa muestra el patrón de distribución de la temperatura media anual en LAC. La mayor parte del continente presenta una temperatura media por encima de los 20°C, aunque también existen algunas áreas mucho más cálidas [14, 15]. (WorldClim/JRC)



El mapa muestra el patrón de distribución de la precipitación total media anual en LAC. Gran parte del continente presenta valores de precipitación por encima de los 1000 mm anuales (ver la correspondencia con el mapa de temperatura de esta misma página). Las áreas más secas se sitúan en México, a lo largo de la costa del Pacífico y en la Patagonia [14, 15]. (WorldClim/JRC)

Precipitaciones

En el mapa de la izquierda se observa el patrón de distribución de la Precipitación Media Total Anual (PMA, en mm de lluvia o de agua equivalente a nieve). Las precipitaciones se distribuyen de manera muy irregular en LAC: el desierto de Atacama es el lugar más seco del mundo (PMA es de 1mm). Otras áreas muy secas, con menos de 250 mm de PMA se sitúan en el norte de México, la costa peruana, el norte de Chile, suroeste de Bolivia, noroeste de Argentina y la Patagonia (sur de Argentina). Por otro lado, a lo largo de la costa del Pacífico, en Colombia, se han llegado a registrar 8.000 mm de precipitación, ya que se trata de una de las partes más húmedas del planeta. Incluso sin tener en cuenta los casos extremos, la mayoría de la cuenca del Amazonas registra más de 2.000 mm/año, y gran parte de ésta, especialmente en la frontera entre Colombia y Brasil, excede los 3.000 mm/año.

A través de los registros de lluvias en el periodo 1960-2000 se pudieron analizar los patrones y tendencias de la cantidad de precipitación en forma de lluvia. A través de esta evaluación se detectaron cambios (más humedad) en Ecuador, norte de Perú y la región que engloba el sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y el norte y centro de Argentina, mientras que se observó un descenso de las precipitaciones en el sur de Perú y el sur de Chile.

En relación con la formación de suelo, unas condiciones más húmedas propician la meteorización química, elevan los niveles de materia orgánica fresca y la lixiviación de minerales y materia orgánica. Por otro lado, las lluvías fuertes o prolongadas pueden llevar a elevadas tasas de erosión en suelos saturados de agua, mientras que la falta de lluvias favorece la formación de costras y la acumulación de sales, como sucede en muchos desiertos con suelos salinos de LAC.

Récords de precipitaciones

A nivel mundial, existen varios récords de precipitaciones, y LAC posee al menos uno de ellos. El récord de mayor intensidad se registró en la región del Caribe, en Guadalupe, en 1970, cuando cayeron 38 mm de agua en un minuto. El mayor registro de precipitaciones a nivel mundial se recogió en la India en 1860 (concretamente en Cherrapunji, 26.466 mm de lluvia durante ese año). También en dicho país asiático se ha llegado a registrar la mayor precipitación total anual (al noreste, en Mawsynram, con 11.872 mm). La intensidad de la lluvia está directamente relacionada con un importante proceso de degradación: la erosión hídrica.

Régimen de temperatura del suelo

La temperatura es un factor determinante en los procesos de formación de suelo, la distribución natural de las plantas y el control de los procesos biológicos que tienen lugar en él. Por debajo del punto de congelación no existe actividad biológica ni el agua se mueve en forma de líquido. Entre 0 y 5°C, el crecimiento radicular y la germinación de la mayoría de las semillas son prácticamente inexistentes.

Cada pedón tiene un régimen de temperatura característico que puede medirse y describirse. Este régimen suele caracterizarse mediante los siguientes parámetros: la temperatura media anual del suelo (TMAS); las fluctuaciones medias de esa media en las diferentes estaciones del año; y el gradiente estacional medio, frío o cálido, dentro de la zona de la raíz (profundidad 5-100 cm). Los regímenes de temperatura del suelo son:

- Gélico: suelos con TMAS menor de 0°C. La temperatura media del suelo en verano es de al menos 10°C.
- Cryico: suelos muy fríos (TMAS menor de 8°C). No presentan permafrost, ya que no se encuentran congelados durante todo el año. Aparece en la zona de los Andes y el sur de Chile y Argentina.
- Frígido*: es más cálido en verano que un suelo con régimen cryico, pero su temperatura media anual es menor de 8°C. La diferencia entre la temperatura media del suelo en verano y en invierno es mayor de 6°C.
- Isofrígido*: la TMAS es menor de 8°C; la diferencia entre las temperatura media del suelo en verano e invierno es menor de 6°C.
- Mésico: la TMAS se encuentra en el rango 8-15°C; la diferencia entre la temperatura media del suelo en verano e invierno es mayor de 6°C.
- Isomésico: TMAS se encuentra en el rango 8-15°C; la diferencia entre la temperatura media del suelo en verano e invierno es menor de 6°C.
- Térmico: TMAS se encuentra en el rango 15-22°C; la diferencia entre la temperatura media del suelo en verano e invierno es mayor de 6°C.
- Isotérmico: TMAS se encuentra en el rango 15-22°C; a diferencia entre la temperatura media del suelo en verano e invierno es menor de 6°C.
- Hipertérmico: TMAS mayor de 22°C; la diferencia entre la temperatura media del suelo en verano e invierno es mayor de 6°C.
- Isohipertérmico: TMAS mayor de 22°C; la diferencia entre la temperatura media del suelo en verano e invierno es menor de 6°C.
- Megatérmico: TMAS mayor de 28°C; la diferencia entre las temperaturas medias del suelo en verano e invierno es mayor de 5°C.
- Isomegatérmico: TMAS mayor de 28°C; la diferencia entre las temperaturas medias del suelo en verano e invierno es menor de 5°C.

* (no visible en el mapa).

El mapa muestra el patrón de distribución de los regímenes de temperatura del suelo en LAC. Este factor es determinante en los factores formadores de suelo y los procesos biológicos que en él se dan. La información procede de la base de datos de los Regímenes Globales de Temperatura del Suelo (Global Soil Temperature Regimes) del Departamento de Agricultura de EE.UU (USDA), elaborada a partir de datos de más de 20.000 estaciones climáticas [16, 17]. El régimen megatérmico no se aprecia debido a la escala utilizada; se da únicamente en dos regiones muy pequeñas situadas en México y Paraguay. (USDA/JRC)

El mapa muestra la distribución de los regímenes de humedad del suelo en LAC. Aunque la categoría de permafrost no es visible a esta escala, existe hielo y nieve en las cimas de las montañas más altas de LAC. Esta información procede de la base de datos de los Regímenes Globales de Temperatura del Suelo (Global Soil Temperature Regimes) del Departamento de Agricultura de EE.UU (USDA), elaborada a partir de datos de más de 20.000 estaciones climáticas [16, 18]. (USDA/JRC)

Régimen de humedad del suelo

Los regímenes de humedad del suelo se basan en el nivel del manto freático y la presencia o ausencia de agua disponible para las plantas. Estos regímenes afectan a la formación del suelo y a la gestión y uso del mismo. Las distintas clases de regímenes de humedad que se muestran en el mapa de la izquierda son:

Permafrost: el suelo se encuentra permanentemente helado por debajo de 0 °C durante dos o más años.

- Arídico: clima árido, normalmente seco. La irrigación de los cultivos es necesaria. El suelo permanece seco durante largos periodos.
- Xérico: semiárido o clima mediterráneo. Cultivos de secano si se almacena el agua del suelo. Los suelos pueden ser húmedos en invierno pero secos en verano.
- Údico: clima semiárido. La lluvia se produce durante la estación de crecimiento. Generalmente secos en verano.
- Ústico: clima húmedo. Los suelos suelen estar húmedos y normalmente no es necesaria la irrigación de los cultivos.
- Perúdico: la precipitación excede la evapotranspiración todos los meses, pero el suelo no está saturado durante periodos prolongados.
- Ácuico: el suelo está saturado el tiempo suficiente para que se den condiciones anaeróbicas (no visible en el mapa).

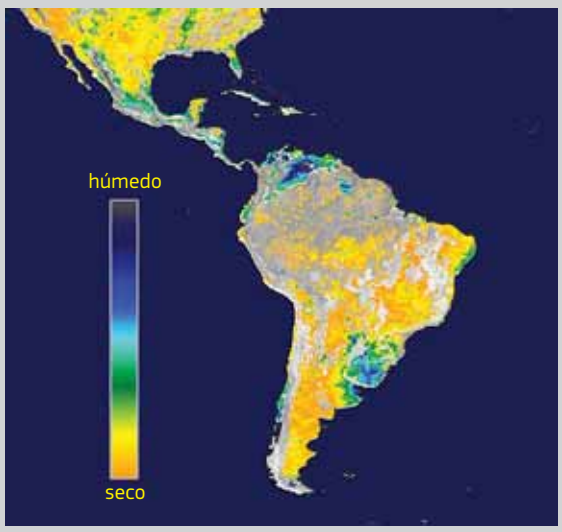
Evaluación de la humedad del suelo

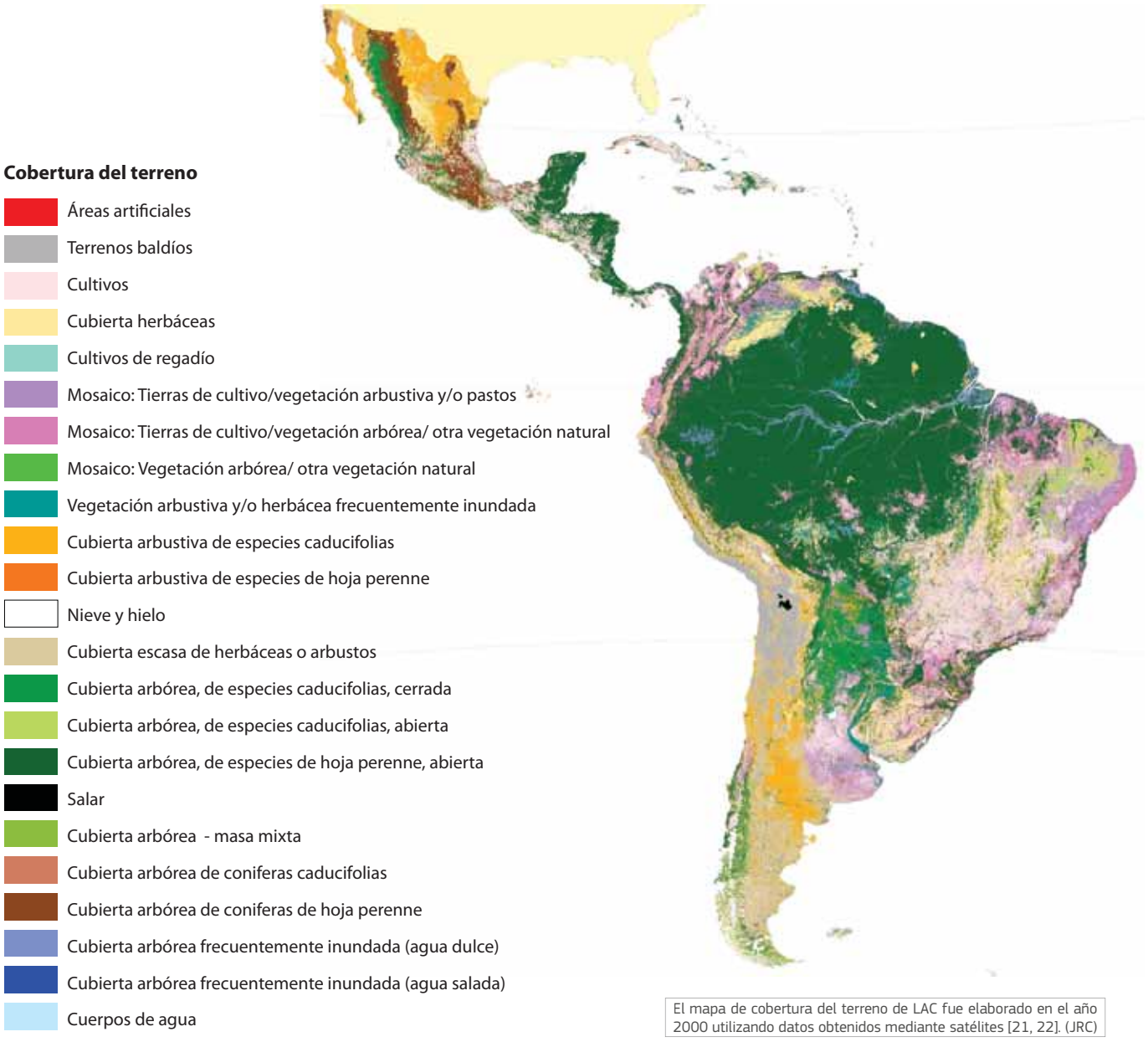
El método de evaluación de las condiciones de humedad del suelo, ha evolucionado de manera considerable en los últimos años, gracias a la incorporación de sensores a los satélites.

En la imagen de la derecha se observan los niveles de humedad del suelo en agosto de 2010 en LAC. La imagen fue obtenida gracias a los datos recopilados por el satélite de la Agencia Espacial Europea SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity).

Los colores naranja y amarillo representan los suelos más secos, mientras que el azul indica humedad.

Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS), European Space Agency. (ESA) [19, 20]





El mapa de cobertura del terreno de LAC fue elaborado en el año 2000 utilizando datos obtenidos mediante satélites [21, 22]. (JRC)

4. Organismos vivos

Se consideran formadores de suelo también los organismos vivos (biota), desde la microfauna hasta la vegetación. Participan como fuente de materia orgánica pero también como agentes directos de procesos edafogenéticos, ya que transforman física, química y biológicamente el suelo, además de transportar, mezclar sus materiales y descomponer la materia orgánica. Todos estos procesos están directamente relacionados con la cantidad y características de los organismos vivos.

La influencia de la biota del suelo se manifiesta con claridad en características como la agregación de partículas, la estructura y la porosidad. Su participación en la descomposición y calidad de la materia orgánica repercute en la fertilidad del suelo.

Los organismos vivos participan también en la protección de los suelos contra la erosión. Es el caso de las plantas, las cuales protegen la superficie del suelo y favorecen la estructura de éste mejorando la permeabilidad y el drenaje.

Un continente muy diverso

En la América Latina y Caribe, la variabilidad de material parental, clima, formas de relieve, vegetación y cronología, da lugar a una gran diversidad de suelos y ecosistemas singulares.

Cobertura del terreno

El término cobertura del terreno ("land cover" en inglés) se utiliza para describir el tipo de elementos que cubre la superficie terrestre (incluyendo vegetación, suelo desnudo, áreas urbanas y cuerpos de agua). Es importante distinguir entre “cobertura del terreno” y “uso del suelo”: un terreno cubierto de arbustos y pastos podría ser un parque urbano, una plantación de árboles frutales o una sabana (p. ej. el Cerrado brasileño), según su uso.

En la imagen de la izquierda se muestran los distintos tipos de cobertura del territorio en LAC para el año 2000, según los datos obtenidos gracias a sensores colocados en satélites.

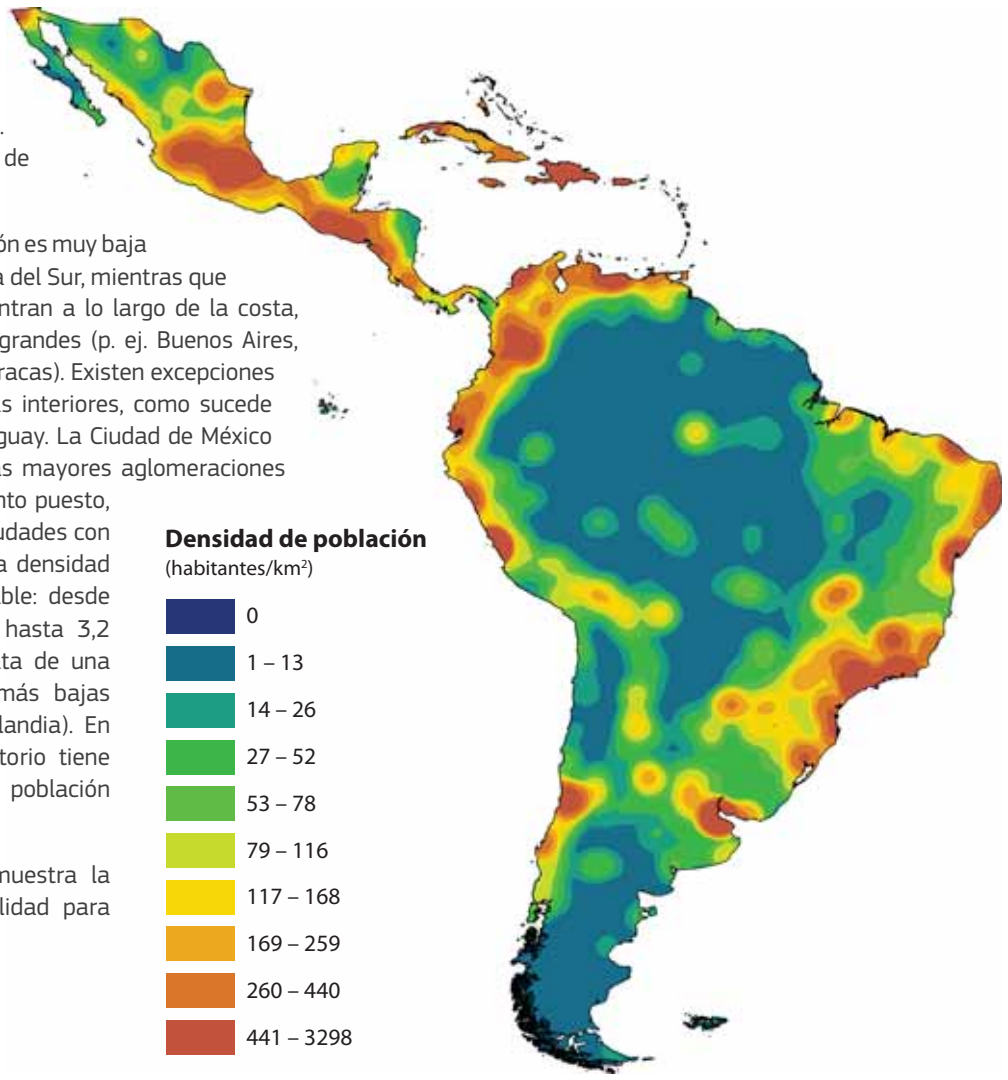
5. El factor antrópico

Los asentamientos humanos dependen en gran medida del clima y de la disponibilidad de agua y de terreno fértil. Este patrón da como resultado que las actividades socio-económicas se concentren en determinados lugares, donde se desarrollan las infraestructuras para que dichas actividades se lleven a cabo. El mapa de la derecha muestra la densidad de población de LAC (número de personas por km2). Las zonas menos pobladas se representan en azul mientras aquellas donde existe una mayor densidad de población se representan en naranja y rojo.

Por lo general la densidad de población es muy baja en las regiones interiores de América del Sur, mientras que las densidades más altas se concentran a lo largo de la costa, donde se sitúan las ciudades más grandes (p. ej. Buenos Aires, Río de Janeiro, Santiago de Chile, Caracas). Existen excepciones de grandes urbes situadas en zonas interiores, como sucede en México, Bolivia, Colombia y Paraguay. La Ciudad de México y São Paulo se encuentran entre las mayores aglomeraciones urbanas del mundo, en tercer y quinto puesto, según datos de Naciones Unidas (ciudades con unos 20 millones de habitantes). La densidad de población en LAC es muy variable: desde 596 habitantes/km^2 en Barbados, hasta 3,2 habitantes/km^2 en Surinam (se trata de una de las densidades de población más bajas del mundo, comparable a la de Islandia). En general, la mayor parte del territorio tiene valores muy bajos de densidad de población (menos de 1 habitante/km^2).

En el mapa de la izquierda se muestra la distribución del índice de accesibilidad para LAC.

El mapa muestra la distribución del índice de accesibilidad para LAC. Las zonas urbanas y aquellas más accesibles se representan con tonos más claros. Las zonas oscuras indican aquellas áreas de difícil o imposible acceso en LAC [24]. (JRC)



El mapa muestra la densidad de población de LAC. Los valores indican el número de personas que habitan, como promedio, en un kilómetro cuadrado. Se pueden distinguir, por su alta densidad de población, las zonas donde se ubican las grandes urbes latinoamericanas (p. ej. Ciudad de México, Río de Janeiro, São Paulo, Buenos Aires, Bogotá, Lima) [23]. (CIESIN/JRC)

6. Tiempo

El período necesario para que el material parental evolucione es muy largo, ya que el ritmo de los procesos edafogenéticos es extraordinariamente lento. Éste puede variar entre 0,001 y 1mm/año, siendo más rápido en climas cálidos y húmedos, donde la actividad de los organismos es más intensa y la vegetación más exuberante.

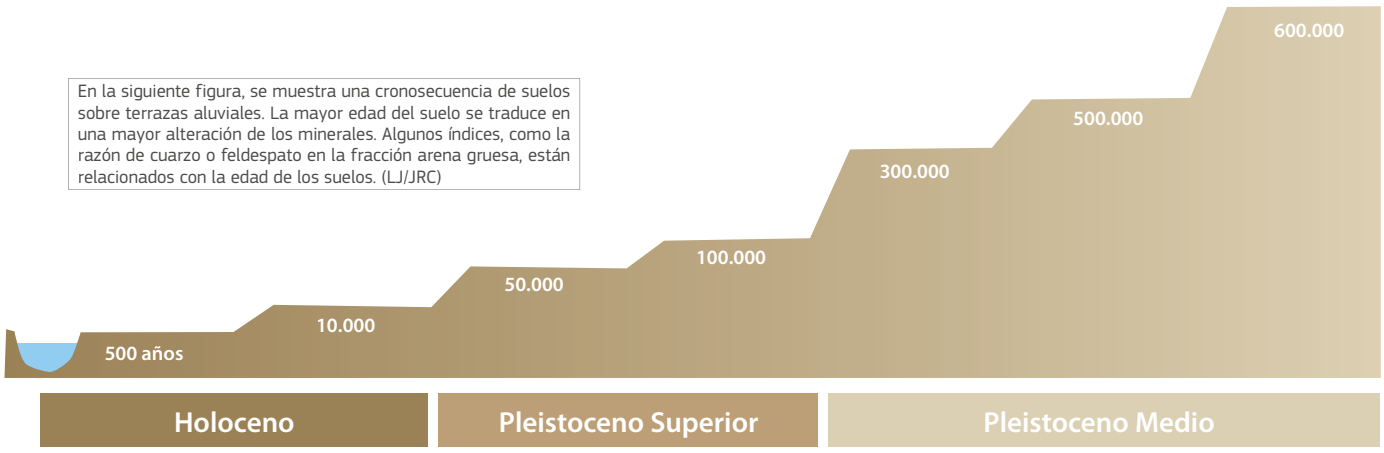
La velocidad de formación de los suelos disminuye con el tiempo hasta su estabilización. Inicialmente, el material parental evoluciona hacia la formación de una capa superficial rica en materia orgánica que se convierte en el horizonte A, considerado de rápida formación. A continuación, se desarrolla el horizonte subsuperficial mineral (B), cuyo proceso de formación es mucho más lento.

Los suelos que han tardado en formarse algunas decenas de miles de años, se consideran de ciclo corto, mientras que aquellos de ciclo largo necesitan hasta cientos de miles de años.

La edad de un suelo puede datarse radiométricamente, aunque existen otros métodos basados en la posición de los distintos horizontes. Los suelos más antiguos no se corresponden necesariamente con un gran desarrollo del perfil. Esto sucede únicamente si los demás factores de formación de suelo han permanecido constantes.

Algunas propiedades de los suelos presentan un desarrollo creciente a lo largo del tiempo, mientras que otras tienen el comportamiento opuesto. Sin embargo, todas alcanzan un estado de equilibrio. Un suelo se considera en estado de equilibrio cuando la tasa de creación y destrucción de suelo se igualan. Este concepto teórico es importante para entender la edafogénesis, aunque, en la práctica, los procesos de formación de suelo permanecen siempre activos.

No obstante, en condiciones naturales, en las etapas posteriores al estado de equilibrio los suelos evolucionan tan lentamente que estos cambios pueden considerarse como poco significativos.



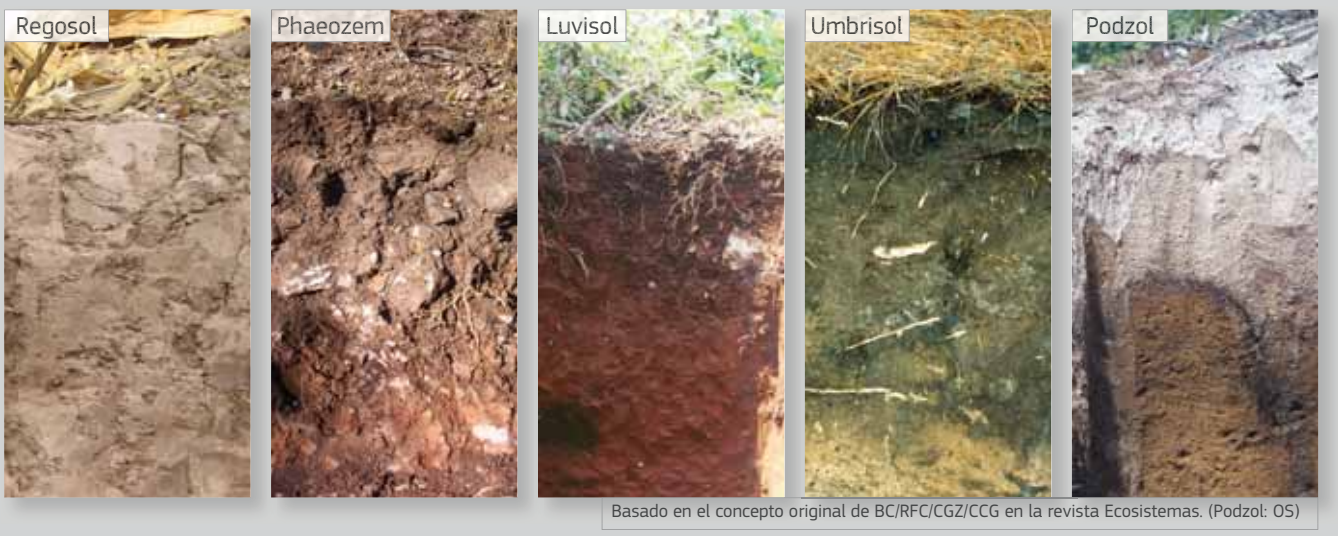
En la siguiente figura, se muestra una cronosecuencia de suelos sobre terrazas aluviales. La mayor edad del suelo se traduce en una mayor alteración de los minerales. Algunos índices, como la razón de cuarzo o feldespato en la fracción arena gruesa, están relacionados con la edad de los suelos. (LJ/JRC)

En la imagen de arriba se muestra un Acrisol profundo ubicado en el Departamento de San Pedro (Paraguay). Este tipo de suelos requiere un gran período de tiempo para su formación (ver gráfico en esta página, abajo a la derecha). (AER)

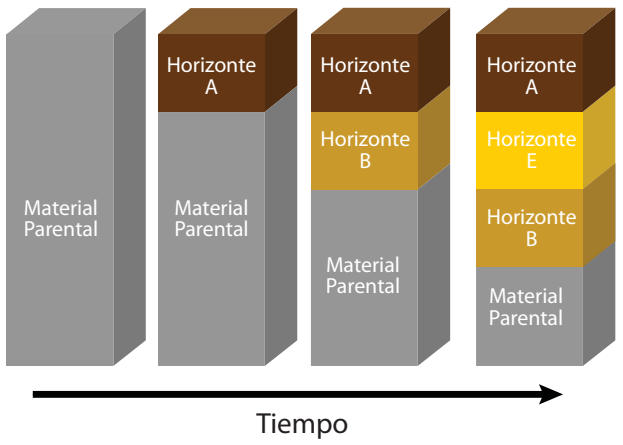
Cronosecuencia de suelos y vegetación

Podemos observar una cronosecuencia en el paisaje o en el suelo cuando todos los factores formadores del suelo (litología, clima, organismos vivos, relieve, tiempo y actividad humana) se mantienen constantes excepto uno: el tiempo.

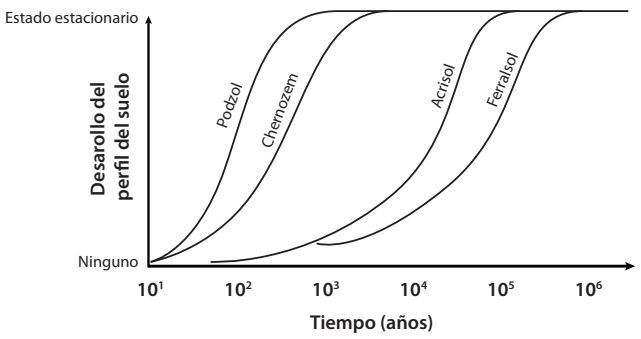
En la imagen se observan perfiles de suelo desarrollados en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña en El Rincón, Sierra Norte, Oaxaca-México.



Basado en el concepto original de BC/RFC/CGZ/CCG en la revista Ecosistemas. (Podzol: OS)



En el esquema coloreado de arriba se muestra de manera simplificada el desarrollo teórico de un suelo a lo largo del tiempo, bajo condiciones de humedad. El material inalterado de la roca madre está expuesto a los procesos de meteorización. La acumulación y descomposición de la materia orgánica lleva eventualmente al desarrollo de un horizonte A. Mucho más tarde, los procesos de formación de suelo darán lugar a la formación de un horizonte B, con acumulación de materia orgánica, arcilla, hierro o aluminio, a menudo derivados del horizonte A. En condiciones de humedad, el horizonte superficial sufrirá un proceso de lavado (lixiviación) mediante el cual, parte del horizonte se transformará en un horizonte eluvial (horizonte E). (JRC)



A lo largo del tiempo, los suelos alcanzan un estado de equilibrio en el cual la tasa de formación es igual a la tasa de destrucción. Este estado es conocido como suelo maduro, un suelo estable que actúa como soporte de un ecosistema. Como se observa en el gráfico, el suelo A necesita un tiempo menor para alcanzar sus características (p. ej. Cambisol), a diferencia de lo que sucede con el suelo B (p. ej. Ferralsol). (JRC)

Procesos de formación de suelo

Procesos principales

Una vez expuestos los factores formadores, pasaremos a analizar los procesos pedológicos que determinarán las propiedades específicas de un suelo concreto a lo largo de su existencia. Ciertas acciones de tipo biológico, químico y físico transforman, transportan (translocan) y/o destruyen el material del suelo. Además, estos procesos pueden variar a lo largo del tiempo, como respuesta a variaciones climáticas o del uso del suelo. Los procesos principales de formación del suelo son: meteorización, acumulación, remoción, translocación y transformación [25].

Meteorización

La meteorización consiste en la destrucción física de la estructura de la roca, lo que facilita después los cambios químicos en los minerales. La meteorización puede ser física, química o biológica (aunque ésta, en realidad, es una manifestación de reacciones físicas y químicas).

Meteorización física

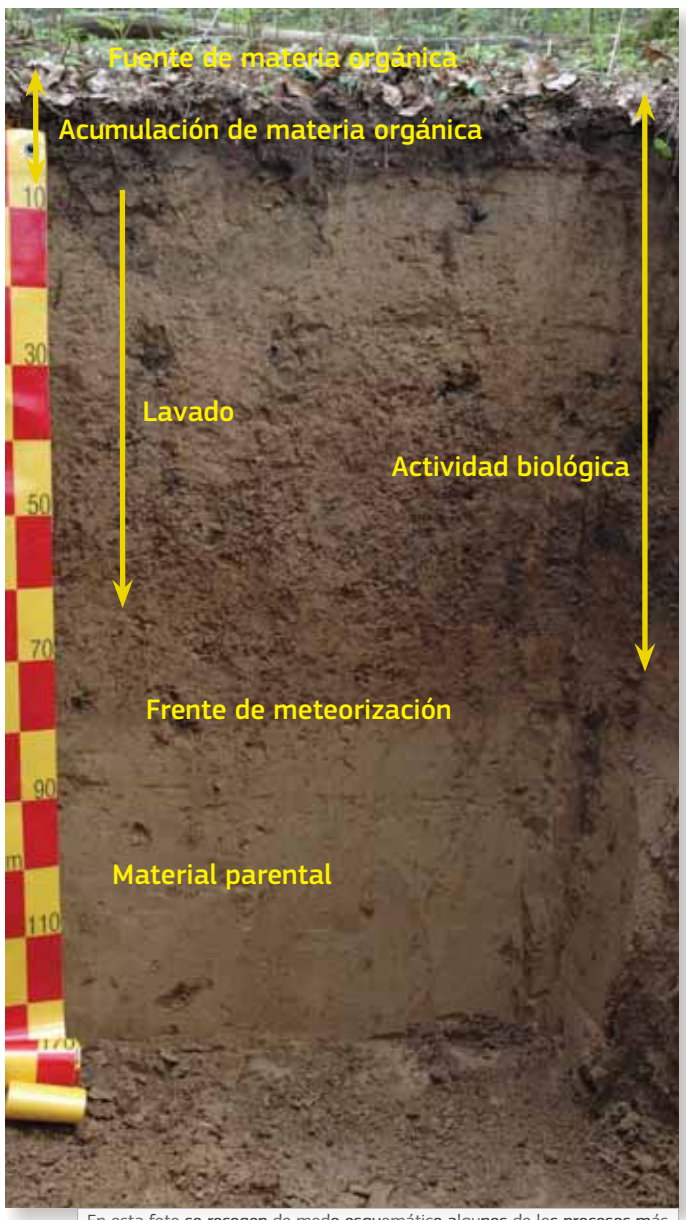
En la meteorización física, las rocas se desintegran, aunque sin variar su composición química. Un ejemplo de este proceso (típico en ambientes desérticos) es la fragmentación debida a la repetición sucesiva del congelamiento y deshielo del agua presente en el suelo como consecuencia del cambio de temperatura entre el día y la noche (cuando el agua se congela su volumen aumenta en un 11%, lo que provoca grandes presiones si se produce en espacios estrechos como las grietas de las rocas).

Estas transformaciones dan lugar a una capa de material suelto que yace sobre la roca sólida . A este material disgregado se le llama regolito y puede tratarse de una fina capa u ocupar varias decenas de metros de profundidad (en algunos suelos, las capas de regolito pueden alcanzar los 150 m). Normalmente se puede apreciar una clara frontera entre el regolito y la roca original. Esta estrecha zona se conoce como frente de meteorización, ya que es donde este proceso es más activo.

Meteorización química

La meteorización química es un proceso gradual y constante. Se produce al reaccionar el agua o elementos ácidos con el material parental. Esto conduce a la formación de lo que se conoce como minerales secundarios (a partir de los compuestos originales presentes en la roca). Bajo condiciones de humedad y temperatura altas (p. ej. en los trópicos), la meteorización química es mucho más intensa.

La destrucción de la roca madre a través de la meteorización física se observa claramente en la foto de arriba. El frente de meteorización está situado a unos 65 cm. El agua es capaz de vencer las resistencias horizontales de la roca, propiciando la fractura en bloques y lajas. (EM)



En esta foto se recogen de modo esquemático algunos de los procesos más importantes en la formación y evolución del suelo. El color oscuro de la parte superior del perfil de arriba indica la acumulación de materia orgánica por la descomposición de restos vegetales (hojarasca, raíces). El color más rojizo que se aprecia más abajo es producto de la rubificación, un proceso en el que el hierro se deriva de materiales primarios para formar óxidos de hierro móviles que forman una película que envuelve a las partículas del suelo, aportándoles ese color. Las capas púrpura y blanca de la base del perfil son estratos de lutitas y limolitas de la geología subyacente a partir de la cual se ha desarrollado el suelo. (PS)

El agua es el elemento clave en este proceso. Dado que el dióxido de carbono atmosférico se disuelve en el agua de lluvia, ésta es ligeramente ácida (pH aproximado de 5,6 en ambientes no contaminados). Por ello, las precipitaciones hacen que algunos minerales, por su solubilidad (p. ej. evaporitas como la sal y el yeso) o su inestabilidad inherente relativa a las condiciones de la superficie (p. ej. silicatos primarios como feldespato, mica, augita, hornblenda y olivino), se disuelvan lentamente dando lugar a productos secundarios como minerales arcillosos (p. ej. caolinita, illita, vermiculita y esmectita), hierro y óxidos de aluminio, carbonatos y nutrientes como calcio y potasio.

En las rocas calizas, las cuales contienen carbonato cálcico, se produce uno de los procesos de meteorización por disolución más conocidos, la carbonatación. El carbonato de calcio reacciona con el ácido carbónico presente en la lluvia y forma bicarbonato cálcico que después se disuelve y lava con el movimiento del agua.

Los procesos en los que el agua actúa como disolvente pueden ser más fuertes si otros gases, tales como el dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, están presentes en la atmósfera. Estos óxidos, al reaccionar con el agua producen ácidos más fuertes (pH de 4,5 o incluso 3,0). A nivel microscópico, las moléculas de agua pueden disociarse en hidrógeno, con carga positiva (H^+) e hidroxilo, con carga negativa (OH^-) (consultar la sección Glosario para las definiciones de ión y catión).

El ión de hidrógeno es capaz de penetrar la red cristalina de los silicatos y carbonatos. Su carga positiva altera el balance de la carga del mineral en cuestión haciendo que se liberen cationes al suelo. El proceso queda ilustrado en la siguiente ecuación:

mineral + agua = ácido+ base + residuo

Ejemplo: feldespato + agua = ácido de silicio+ hidróxido de potasio + illita

Este proceso se conoce como hidrólisis. En el ejemplo de arriba, la hidrólisis aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y otras propiedades relacionadas con su fertilidad.

Otros procesos químicos que contribuyen a la meteorización son los que implica la pérdida (oxidación) y ganancia (reducción) simultánea de electrones. El material que recibe los electrones se convierte en el agente reductor, porque disminuye el número de electrones del otro material. Estos intercambios se denominan reacciones redox. Al oxidarse los materiales, la desestabilización de la carga hace que la estructura del material se degrade.

Evidencias de meteorización química en esculturas de piedra caliza. Chichén-Itzá, México. (CG)

La meteorización biológica

Este proceso está causado por las actividades de los organismos vivos y tiene componentes tanto físicos como químicos. Un ejemplo de meteorización biológica física es la fragmentación de la roca por efecto del crecimiento de las raíces en pequeñas grietas o la alteración de la superficie por animales (p. ej. termitas). La meteorización biológica química puede estar causada por actividad bacteriana o ácidos orgánicos fuertes procedentes de raíces u otro tipo de materia orgánica. Recientemente se ha demostrado que la tasa de meteorización en superficies cubiertas por líquenes es de 3 a 4 veces mayor que la que se produce sobre un suelo desnudo.

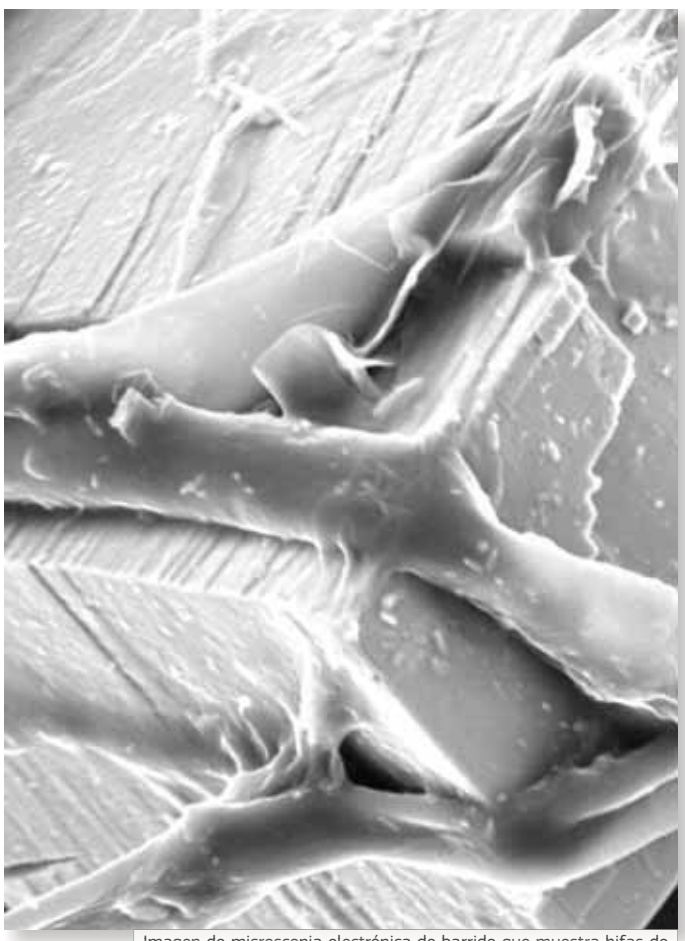


Imagen de microscopia electrónica de barrido que muestra hifas de hongos (los filamentos) que atacan a un cristal de galena (plomo). Aún queda mucho por descubrir sobre el papel de la biota del suelo en los procesos de meteorización. (KK)

Acumulación

Los procesos más importantes de acumulación son los de materia orgánica, dando lugar a horizontes superficiales oscuros ricos en ésta, denominados horizontes A, o en el caso extremo de una acumulación masiva, produciendo suelos orgánicos. Los procesos de acumulación varían como respuesta al tipo de vegetación, con diferentes aportes y tipos de materia orgánica, al tipo de régimen de temperatura y a las condiciones de drenaje, todo lo cual altera las tasas de descomposición.

Remoción o sustracción

En este proceso el agua remueve ciertos materiales y los desplaza hacia abajo hasta alcanzar el nivel freático o bien quedan depositados en horizontes muy profundos. Así, en zonas secas, con balances hídricos deficitarios, las bases y sales no llegan a ser eliminadas del suelo, sino que se acumulan en el subsuelo. Por el contrario, en zonas muy húmedas, sujetas a procesos de lavado (lixiviación), se encuentran suelos muy pobres en nutrientes básicos para las plantas, ya que los cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y K^{+}, respectivamente) han sido sustraidos de la solución del suelo, y enriquecidos con cationes insolubles (p. ej. silicio, hierro y aluminio). Un ejemplo de pérdida o sustracción lo constituye la pérdida por lavado (lixiviación) de sales, en la que disminuye el contenido de nutrientes en solución del suelo disponibles para las plantas.

Translocación

Los principales procesos de translocación o movimiento se producen desde la superficie hacia el subsuelo y son resultado del lavado (o remoción) parcial de ciertos materiales y compuestos siguiendo una cierta secuencia cronológica. Así, los primeros compuestos que normalmente se translocan son los carbonatos. Su lavado da lugar a un horizonte cámbico (pobre en carbonatos) y en las zonas de acumulación se pueden encontrar horizontes cálcicos y, en los casos en que los carbonatos se han cementado, petrocálcicos.

Desde el punto de vista cronológico, los siguientes materiales que sufren el proceso de translocación suelen ser las partículas de arcilla. Esto favorece un enriquecimiento del subsuelo y origina un horizonte conocido como árgico, característico de suelos con un grado de evolución de intermedio a avanzado. Junto con la arcilla se suele movilizar el hierro, sobre todo en climas subhúmedos. La formación de un horizonte en arcilla, menos permeable, puede provocar la saturación de agua en las épocas de lluvia, lo que da lugar a fenómenos de óxido-reducción o de hidromorfismo, que llegan a afectar al horizonte plíntico (ver Glosario).

Un caso de menor ocurrencia en los trópicos bajos es la translocación de hierro y aluminio por la materia orgánica quelatante que produce en superficie una capa muy blanca (por falta de hierro) llamada horizonte álbico seguida de una capa negruzca de materia orgánica y una rojiza en el subsuelo (horizonte spódico, o plácico si se endurece).

Transformación

Los procesos de transformación afectan principalmente a la disposición de las partículas sólidas del suelo o a su mineralogía. En materiales de origen aluvial la sedimentación ordena las partículas minerales en láminas. Las raíces, la macrofauna y los cambios de volumen al humedecerse y secarse provocan su rápida fragmentación en forma de bloques o prismas, resultando en un cierto tipo de horizonte cámbico. En suelos arcillosos, y si esos cambios de volumen son muy acusados, con el tiempo se llegan a producir grandes grietas y estructuras en forma de cuña con caras de fricción (ver página 22).

Por otra parte, básicamente en todos los suelos se producen transformaciones minerales por efecto de la meteorización, descomposición o hidrólisis de los minerales primarios como feldespatos, minerales ferromagnésicos o micas, en minerales secundarios como las arcillas y los sesquióxidos de hierro y aluminio. Los minerales que se forman serán diferentes, dependiendo del ambiente en que nos encontremos. En un ambiente húmedo donde el lavado es intenso son típicos los horizontes férricos. En el caso de los suelos derivados de cenizas volcánicas, por transformaciones minerales se forma una arcilla llamada alófana. Por otro lado, en las zonas inundadas permanente o periódicamente o con altos niveles freáticos, los suelos están saturados con agua y carecen de oxígeno durante todo el año o gran parte del mismo. En ellos los compuestos de hierro y manganeso son reducidos y permanecen así hasta ser drenados del horizonte (así se forma el horizonte gléyico).

Una vez descritos los procesos generales, pasamos a presentar aquellos relacionados específicamente con determinadas condiciones ambientales (lixiviación, podsolización, destrucción de arcillas, movimiento de las partículas arcillosas, procesos en suelos de climas semi-áridos, procesos en suelos salinos, procesos en suelos encharcados, arcillas hinchables y procesos en suelos bajo clima tropical húmedo).

Lixiviación o lavado

Este proceso es un caso particular de translocación, concepto explicado en la columna de la izquierda.

Cuando las precipitaciones son abundantes y existe un superávit de agua durante gran parte del año (la cantidad de precipitación es mayor que la tasa de evaporación) los poros del suelo, de los que el agua había desaparecido durante la estación seca, se saturan. El agua percola y se incorpora a las aguas subterráneas. Con el paso del agua las sales solubles del suelo (como los cloruros, nitratos, sulfatos o carbonatos) se disuelven y son lavadas hacia capas más profundas junto con otros compuestos orgánicos y minerales. En los climas más secos, estas sales pueden reprecipitar y dar lugar, por ejemplo, a un horizonte rico en carbonato de calcio. En regiones más húmedas el material puede llegar a desaparecer por completo del suelo.

La tasa y extensión del lavado están determinadas por dos factores:

a. La movilidad de un elemento, basada en su solubilidad en agua y el efecto del pH sobre esa solubilidad (p. ej., los cloruros y sulfatos son muy móviles, mientras que el titanio es insoluble incluso a pH 2,5);
b. y la tasa de percolación, la cual depende del clima, la textura del suelo y la pendiente del terreno. En regiones secas, incluso aquellos elementos más móviles (p. ej. cloruro de sodio) tienden a quedarse en la superficie, dando lugar a suelos salinos.

A medida que el nivel de humedad aumenta, la pérdida de sales, compuestos orgánicos y sílice también aumenta, y se dice que el suelo ha sido lavado.

Cuando el carbonato cálcico está presente en un suelo, el pH tendrá valores alrededor de 8 y el color del suelo será blanquecino o con tonos claros. En ocasiones, los suelos ricos en carbonatos presentan una buena fertilidad (aunque ciertas especies no toleran los carbonatos, como p. ej. el durazno, el castaño y algunas variedades de pera). Cuando se produce el lavado, el valor del pH baja y se liberan calcio, potasio, sodio y magnesio procedentes de los minerales arcillosos y del humus, que son reemplazados por hidrógeno y aluminio. Si no se da entonces un cambio en los factores formadores del suelo ni hay intervención humana, el pH del suelo alcanzará valores por debajo de 7 (pudiendo llegar a 4), considerándose un suelo ácido.

Los suelos muy ácidos se consideran poco aptos para el cultivo de alimentos. Estos suelos suelen requerir el aporte de carbonato cálcico (práctica conocida como "enmienda caliza") para elevar el grado del pH hasta cifras más aceptables para la producción agrícola. Los valores de pH por debajo de 5,5 pueden ocasionar la liberación de aluminio, tóxico para algunas plantas.

En algunas ocasiones, los elementos inmóviles pueden ser lavados al combinarlos con componentes orgánicos (p. ej., ácidos orgánicos o aminoácidos) derivados de la humificación de materia orgánica de origen vegetal o de los microorganismos del suelo. Este proceso, conocido como queluviación, es un importante mecanismo para aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Los quelatos son de gran importancia en la gestión de los micronutrientes: liberan iones metálicos lentamente y proveen a las plantas de un suministro continuo de microelementos sin alcanzar nunca las concentraciones tóxicas.

Proceso de humificación. (CCG)

Arcilla

El término “arcilla” puede tener varios significados:

i Una partícula del suelo de diámetro inferior a 2 µm;

ii Una clase textural que contiene más del 40% de partículas arcillosas, menos del 45% de arenas y menos del 40% de limos.

iii Un material natural compuesto originalmente por minerales de grano fino, el cual es plástico en condiciones apropiadas de humedad y se endurece al secarse. Aunque la arcilla suele contener filosilicatos, puede contener otros materiales que le confieran plasticidad y se endurezcan al secarse.

Plasticidad del suelo debida al alto contenido en arcilla. Departamento Central, Paraguay. (AER)

Podsolización

La podsolización es el lavado (concretamente, queluviación; ver página anterior) del aluminio y del hierro que puedan estar presentes en los óxidos insolubles de la capa superior del suelo por acción de aquellos ácidos orgánicos fuertes que se liberan durante la descomposición de la materia orgánica vegetal. El agua de percolación redeposita estos elementos, junto con la materia orgánica, en capas más profundas del suelo, dejando a su paso una zona lavada arenosa. La mezcla redepositada de materia orgánica, hierro y aluminio da lugar a un horizonte cementado que actúa como barrera al paso de materia orgánica. A lo largo del tiempo, debido a esta obstrucción, se va acumulando materia orgánica hasta formar un horizonte subsuperficial rico en humus. El hierro precipitado aporta un color anaranjado o rojizo al horizonte B.

El producto final de la podsolización es un tipo de suelo llamado Podzol, que se caracteriza por la presencia de un horizonte subsuperficial de deposición (horizonte espódico). Sus características exactas dependerán de distintos factores como las características del material parental, las condiciones de humedad y el tipo de vegetación.

Aunque los Podzols son muy comunes en las latitudes más septentrionales del Hemisferio Norte, en LAC no abundan. Se encuentran tan sólo bajo determinadas circunstacias ecológicas: en las áreas de bancos de arena de la costa brasileña y algunas zonas en el interior de la Amazonia. También aparecen allí donde se dan condiciones extremas de frío y humedad, al sur del continente americano.

Destrucción de las arcillas

La destrucción de las arcillas es un importante proceso en la formación de los suelos. La lixiviación de los cationes conduce a la acumulación de iones de hidrógeno que son atraídos por la superficie de los minerales de arcilla y la materia orgánica. No obstante, este estado es inestable y lleva a la eventual desintegración de la estructura cristalina de la arcilla, liberándose aluminio y sílice en el proceso.

Como resultado, el suelo muestra menos arcilla y mayor valor de pH en la superficie que en el subsuelo. Se pueden encontrar patrones de distribución de arcillas parecidos en los que la arcilla de la superficie del suelo ha sido redistribuida más que destruida (ver siguiente apartado).

El movimiento de las partículas arcillosas

Un proceso común en la formación del suelo es el movimiento de partículas de arcilla o translocación de un horizonte a otro. Esto implica la iluviación o transferencia mecánica, por efecto del agua de percolación, de las partículas de la superficie del suelo. Éstas son redepositadas en las capas más profundas del suelo, sobre otras partículas o en las cavidades y poros del suelo.

Se trata de un proceso que depende de la textura del suelo y de su química. Si existe un sistema de poros continuo y uniforme, el agua de percolación transporta las partículas hacia abajo. Tales condiciones se dan cuando el suelo se encoge y fractura durante la estación seca. La arcilla se acumula donde terminan las grietas y termina el movimiento del agua, o donde el agua penetra en los agregados secos permaneciendo la arcilla en la superficie de los agregados (estos recubrimientos arcillosos se llaman cutanes).

Otro proceso que modifica la distribución de las partículas de arcilla en suelo es la erosión por las gotas de lluvia. El impacto de éstas mueve las partículas más finas pendiente abajo, dejando tras de sí limo y arena. Aunque este proceso ocurre de manera generalizada, se ve favorecido por algunas prácticas de cultivo en zonas en pendiente.

Suelos condicionados por el clima (semi) árido, con acumulación secundaria de yeso, caliza o sílice

Cuando la precipitación es menor que la evapotranspiración y las altas temperaturas hacen que el agua subterránea aflore a la superficie, aparecen distintos tipos de suelo que muestran acumulaciones significativas de carbonato cálcico (suelos calizos), sulfato de calcio dihidrato (yeso) o dióxido de silicio (sílice).

El proceso más importante en suelos con acumulaciones secundarias de **calizas** (carbonato cálcico: $CaCO_3$) es el movimiento del carbonato desde el horizonte superficial hacia una capa de acumulación a cierta profundidad. La disolución de la calcita y la subsiguiente acumulación en un horizonte cálcico se rige por dos factores:

- La presión de CO_2 en el suelo
- y la concentración de iones disueltos en el agua del suelo.

La presión de CO_2 en los poros del suelo suele ser mayor en el horizonte A, donde la actividad respiratoria de las raíces y microorganismos provoca niveles de CO_2 de 10 a 100 veces mayores que en la atmósfera a ras del suelo. Como consecuencia, la calcita se disuelve, permitiendo que los iones Ca^{2+} y HCO^{3-} se muevan hacia abajo por efecto de la percolación, especialmente durante e inmediatamente después de un episodio de lluvia. La calcita también puede disolverse por la percolación de agua con poca concentración de Ca^{2+}.

La precipitación de la calcita sucede por una disminución de la presión del CO_2 (con un consiguiente incremento en el valor de pH del suelo) o por un incremento de la concentración de iones cuando se excede la capacidad de solubilidad del carbonato de calcio disuelto.

La calcita no precipita de manera uniforme a lo largo de la matriz del suelo. Los canales de las raíces y los agujeros excavados por la microfauna actúan como conductos de ventilación en los que la presión del CO_2 es mucho menor que en el suelo de alrededor. Cuando la disolución de calcio alcanza estos espacios, pierde CO_2 y la calcita precipita en las paredes de los canales. Cuando los estrechos canales radiculares se llenan de calcita, estos actúan como molde, dando lugar a una estructura de calcita que tiene la forma de la raíz y se conoce como pseudomicelio (ver Glosario).

Otras estructuras características de los suelos con acumulaciones de carbonato cálcico son los nódulos calizos (caliche), duros o blandos, capas de continuas o láminas de caliche y "barbas" de caliza bajo las piedras. Donde existen procesos de erosión, las concreciones calizas pueden aparecer en la superficie del suelo.

Cuando el **yeso** ($CaSO_4.2H_2O$) proveniente del material parental yesífero se disuelve, es movilizado por el agua y precipita en una capa de acumulación al desaparecer el agua. Cuando la humedad del suelo experimenta un movimiento predominantemente hacia arriba (por ejemplo cuando el superávit de evaporación neta se da por un largo periodo de tiempo), aparece en la matriz del suelo un horizonte rico en yeso. El yeso también puede ser lixiviado de la superficie en inviernos húmedos y reacumulado en capas más profundas en forma de polvo o material suelto.

Con el tiempo los cristales de yeso pueden aglomerarse, dando lugar a capas compactadas o costras superficiales, las cuales pueden alcanzar decenas de centímetros de espesor. El yeso puede precipitar en forma de canales radiculares (pseudomicelio gípsico), en huecos, arenas cristalinas sueltas o en horizontes fuertemente cementados (petrogípsicos). A veces forma unas estructuras masivas cristalinas conocidas como rosas del desierto.

En multitud de regiones áridas (aunque no exclusivamente), los suelos conocidos como Durisols contienen en el subsuelo capas muy duras de materiales ricos en **silicio**. Estos materiales van desde arenas y gravas cementadas a matrices irregulares enriquecidas con pequeñas partículas de silicio. Las condiciones bajo las que se desarrollan dichas estructuras están poco estudiadas, ya que actualmente la formación de este tipo de suelos se da muy raramente, por lo que casi todas estas formaciones son fósiles. Algunas teorías sobre la acumulación de estos materiales apuntan a la precipitación del agua subterránea rica en sílice en climas áridos/semiáridos o a la intensa meteorización en climas templados húmedos.

Los suelos con niveles bajos de yeso y carbonato cálcico en la parte superior del suelo (0-30 cm) pueden soportar cierto pastoreo y cultivos de secano. El caliche se utiliza frecuentemente en la construcción de carreteras.

Suelos salinos

Un suelo se considera salino si su concentración en sales es de aproximadamente 2.500 partes por millón. Los suelos afectados por sales solubles o sus iones ocupan una parte significativa de LAC; se encuentran principalemente en la parte sur del continente, en Argentina y Chile, y también en Paraguay y Bolivia. Asimismo encontramos suelos salinos en México, Perú, Brasil, Venezuela y en alguna isla del Caribe.

Las sales solubles se liberan a partir de la meteorización de las rocas de un material parental con altos niveles de sal (p. ej. antiguos sedimentos marinos o depósitos de evaporación), lo que resulta en un agua de lavado y por extensión un agua subterránea, salina. Por ello, la mayoría de los suelos salinos se desarrollan donde dicha agua subterránea aflora a la superficie y, al evaporarse, deposita las sales que lleva disueltas. Estas sales también pueden aparecer en depresiones del terreno, transportadas por agua que llega de zonas más altas. En zonas secas, la salinidad del suelo puede darse incluso cuando el nivel freático se encuentra a dos o tres metros de profundidad.

Los principales iones responsables de la salinización son: Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-} y Cl^-. La reacción entre el suelo y las sales variará dependiendo de la composición química de ambos. Las sales que contienen sodio (Na) le otorgan movilidad a los elementos orgánicos, lo que eventualmente puede hacer que esos sean lavados, dando lugar a un horizonte de lixiviación. El valor de pH de estos suelos suele ser 9.

También pueden aparecer sales en en los suelos agrícolas que son irrigados artificialmente, ya que todo agua (incluso el agua de lluvia) contiene sales disueltas. Cuando los cultivos absorben el agua, quedan las sales en el suelo. Éstas se van acumulando y deben ser lavadas de manera artificial de la zona de la raíz aplicando más riegos. Las salinización puede aumentar por el mal drenaje o debido al uso de agua salina para el riego.

Los suelos salinos se dan igualmente en lagos estacionales o cuencas cerradas de lechos de lagos, también conocidos como salinas o salares.

Arriba: afloramiento de sal en suelos bajos con el nivel freático poco profundo. Valle del Bajo Piura, Perú, año 2006. (Al). **Abajo**: vista general del Salar del Huasco, en la Región de Tarapacá (Chile). El Salar está contenido en una extensa cuenca endorreica que limita en el extremo sur con el valle de Collacagua. Está situado muy próximo a la frontera con Bolivia. (HLB)

Salar del Huasco (Chile). Este salar está situado en el extremo sur del valle de Collacagua, dentro de una extensa cuenca endorreica, cerca de la frontera con Bolivia. Se trata de un ecosistema muy rico y frágil ubicado a más de 3.700 msnm, el cual fue declarado sitio RAMSAR (humedal de interés internacional) en 1996 y Parque Nacional en el año 2010. (HLB)

Suelos encharcados o hidromórficos

Cuando llueve, el agua percola a través del suelo, drenando en la mayoría de los casos. Sin embargo, en algunos lugares, debido a la textura del suelo o a la presencia de barreras impermeables, los poros y cavidades del suelo se saturan de agua. Esta zona del terreno se puede encontrar relativamente cerca de la superficie (< 2 m) y se conoce como nivel freático (ver Glosario). Dicha situación suele ser consecuencia de la presencia de estratos impermeables en el subsuelo y/o depresiones en el paisaje (p. ej. en zonas de marisma cerca de la costa).

A este estado del suelo (permanente o temporal), en el que se encuentra saturado de agua se le denomina hidromorfía y tiene un efecto en las propiedades del mismo, en su formación y en su evolución. También influye en sus posibilidades de explotación, de ahí que existan en la bibliografía numerosos términos que hacen alusión a este estado en todos los sistemas de descripción y clasificación de suelos (p. ej.: propiedades hidromórficas, horizontes de colores abigarrados, motas de bajo croma - menor de 2 - , decoloraciones, régimen ácuico, gleyzación o pseudogleyzación).

La Química de los suelos encharcados

En los suelos saturados de agua no hay espacio para el aire (O_2), ya que los poros se encuentran llenos de agua. La materia orgánica se descompone y los electrones son capturados por los compuestos: $NO3^-$, Fe_2O_3, SO_2^{-4} ó CO2.

Algunas de las reacciones químicas más importantes que se producen en estos suelos son:

- Mineralización del nitrógeno orgánico: debido a la falta de oxígeno se produce la acumulación de amoníaco.
- Desnitrificación: la mayoría de los nitratos (bien de origen natural o bien procedentes de la fertilización) desaparecen como resultado de este proceso:

$$2NO_3^- + 10e^- + 12H^+ \rightarrow N_2 + 6H_2O$$

- Reducción de hierro e incremento de su solubilidad:

$$Fe_2O_3 + 2e^- + 6H^+ \rightarrow 2Fe^{2+} + 3H_2O$$

- Reducción del manganeso e incremento de su solubilidad.
- Reducción de sulfatos, resultando en ácidos sulfhídricos y minerales sulfuros (p.ej. pirita):

$$SO_4^{2-} + 8e^- + 10H^+ \rightarrow H2S + 4H_2O$$

- Reducción del dióxido de carbono:

$$CO_2 + 8e^- + 8H^+ \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

Los suelos saturados de agua impiden la circulación de los gases a través de los poros del suelo; la carencia de aire impide el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas.

Arriba: típico perfil de un suelo encharcado periódica o permanentemente. Las propiedades gleycas (p. ej. color verde azulado) no son visibles en la foto, ya que se encuentran por debajo del nivel del agua en este caso. Este tipo de suelos se desarrolla allí donde el drenaje es pobre o inexistente. (CCG)

Al encharcarse un suelo, la máxima proporción de oxígeno disuelto en el agua es de aproximadamente un 3%. Esta pequeña cantidad es rápidamente consumida por los microorganismos aeróbicos del suelo y las raíces, en los primeros estadíos del encharcamiento. Además de la drástica disminución en la cantidad de oxígeno, el encharcamiento imposibilita el escape y/o la ruptura por oxidación de gases como el etileno o el dióxido de carbono, ambos producidos por las raíces y los microorganismos del suelo. La acumulación de estos elementos puede interferir en el crecimiento de las raíces y la realización de sus funciones (p. ej. el etileno ralentiza el crecimiento de las raíces, mientras que el dióxido de carbono puede causar daños severos a las raíces de determinadas especies). Algunas plantas son resistentes a las condiciones de hidromorfía, ya sea por adaptaciones anatómicas (aerénquima), morfológicas (proliferación o elongamiento de las raíces) o metabólicas.

Si existe materia orgánica en el suelo encharcado, la actividad metabólica de los microorganismos originará un déficit de oxígeno, iniciándose la reducción (ver Glosario). En estas condiciones, el óxido férrico se transforma en su forma más soluble: óxido ferroso. Éste aporta un color grisáceo o azulado al suelo, mientras que la desintegración de óxidos férricos genera un color amarillento o rojizo (este efecto se puede observar en algunos de los poros más grandes en los que aún queda algo de oxígeno, delatando la redeposición de los óxidos férricos).

Suelos con arcillas hinchables

En regiones con estaciones secas y húmedas muy diferenciadas y donde el material parental es rico en esmectitas (minerales arcillosos expandibles, los suelos presentan durante los periodos secos grietas profundas que desaparecen en la estación húmeda, al cerrarse por efecto de la expansión de las esmectitas al absorber el agua.

El batido del material subyacente hacia la superficie, a menudo crea un microrrelieve conocido como gilgai, donde la superficie de la tierra se vuelve irregular con montículos alternados con pequeñas depresiones. (MF)

Además de la formación de grietas por el encogimiento de las arcillas, en la superficie se forman estructuras granulares o de terrones que caen en las grietas. Cuando el suelo se humedece de nuevo, parte del espacio requerido por éste para recuperar su volumen, está ocupado por las partículas que han caido en las grietas, provocando una tensión cortante en el material del suelo. Según aumenta la presión por el aporte de agua, algunos bloques de suelo sucumben a estas fuerzas y se deslizan unos sobre otros. Los planos de corte se conocen como caras de fricción y exhiben superficies pulidas y agrietadas en la dirección del corte. La intersección de los planos de corte en forma de cuña produce agregados angulares en bloques que tienden a aumentar con la profundidad (lo que probablemente refleja el gradiente de humedad). Como consecuencia del movimiento interno del suelo y la deposición de agregados de superficie en grietas profundas, el subsuelo ha sido empujado hacia la superficie y mezclado. Este proceso se conoce como batido o pedoturbación. La mezcla constante de los materiales del suelo resulta en un horizonte A situado a mucha profundidad. Este tipo de suelos suele desarrollarse al pie de las laderas o en planicies, como resultado de la meteorización de basaltos o redeposición de sedimentos aluviales ricos en esmectita.

Este Vertisol de Venezuela presenta las grietas características que aparecen al secarse el suelo. Este tipo de suelos aparece cubriendo grandes extensiones en México, Nicaragua, Cuba, Jamaica, Venezuela y Uruguay. Son difíciles de cultivar, ya que sólo pueden trabajarse durante un pequeño periodo de condiciones propicias de humedad: son muy duros al secarse y pegajosos cuando están mojados. (JC)

Principales procesos de formación del suelo en climas tropicales húmedos

Una gran parte de LAC se encuentra bajo clima húmedo tropical. Éste se caracteriza por temperaturas altas constantes (temperatura media anual es de alrededor de 26°C), precipitaciones frecuentes y abundantes (más de 2.000 mm anuales) y una humedad. En estas condiciones la meteorización química, la lixiviación y la translocación se combinan para dar lugar a una gran variedad de suelos. La geología de la roca madre influye también sobre las propiedades químicas del suelo.

A continuación se describen los principales procesos de formación de suelo que se dan en estos lugares: ferralitización, formación de plintita y formación de suelos con alto contenido en aluminio.

1. Ferralitización

Los suelos de los trópicos húmedos presentan las siguientes características: son de profundidad media, están fuertemente erosionados, son rojos o amarillentos y no tienen límites muy marcados entre sus horizontes. La meteorización es intensa debido a la elevada humedad y temperatura. Si estas condiciones se mantienen durante un largo periodo de tiempo, dan como resultado un suelo de varios metros de profundidad, con una proporción de fragmentos de la roca original menor del 5%.

Las altas temperaturas del suelo y la percolación intensa disuelven y movilizan los minerales primarios, mientras que los compuestos menos solubles como los sesquióxidos de hierro y aluminio, la caolinita y los granos gruesos de cuarzo permanecen en la matriz del suelo. Estos procesos se conocen como ferralitización. El color rojizo se debe a la presencia de hematita (Fe_2O_3), un mineral compuesto de óxido férrico (en climas más templados, es la goethita el compuesto que domina en la composición de los suelos, aportando en este caso un color más amarillento).

Las condiciones que favorecen la ferralitización son un bajo pH del suelo, estabilidad geomorfológica durante periodos prolongados de tiempo y un material parental de fácil meteorización y con alto contenido en hierro y aluminio.

El contenido en arcilla y la textura son relativamente constantes al avanzar en profundidad. Esto es debido a la actividad biológica, que se encarga de mezclar los distintos materiales (en las regiones tropicales, el principal agente responsable de la mezcla de suelo son las termitas; mientras que en las zonas templadas lo son las lombrices de tierra).

La foto de abajo, tomada en Brasil, muestra un perfil de Ferralsol típico: profundo, sin horizontes diferenciados y de color rojizo. (LMSB)

Si bien estos suelos son capaces de mantener altos niveles de vegetación natural (p. ej. bosque lluvioso tropical), su puesta en cultivo es problemática. La cantidad de nutrientes vegetales (p. ej. Ca, Mg, K, P) suele ser deficiente. El pH bajo, junto con un alto nivel de hidróxidos de hierro y aluminio, hace que el fósforo no esté disponible para las plantas. La densa vegetación natural se debe pues a un ciclo de nutrientes auto-sostenible; si este ciclo se interrumpe, (p. ej. como resultado de la deforestación y la subsiguiente conversión en tierras agrícolas o para pastos), el suelo pierde rápidamente su fertilidad y es vulnerable a los procesos de degradación (p. ej. erosión). Las prácticas tradicionales agrícolas de tala y cultivo temporales tenían en cuenta este ciclo.

Arriba: en Brasil, los Plinthosols (allí conocidos como Plintossolos) cubren aproximadamente el 6% de la superficie del país. Las mayores extensiones se dan en la Amazonia, Baixada Maranhense, norte de Piauí, sudeste de Tocantins, Ilha do Bananal, nordeste de Goiás, Pantanal y en los bordes de las mesetas del Altiplano Central. La plintita (material constituido básicamente por una mezcla de arcilla y óxidos de hierro, casi o completamente sin materia orgánica) se aprecia claramente en este tipo de suelos. (MBON)

"Nitidización"

En Cuba, en varias zonas de Centroamérica y en algunos lugares de Brasil tiene lugar un proceso derivado de la ferralitización conocido como "nitidización". Dicho proceso puede resultar en suelos que contienen unas estructuras blocosas características de forma nuciforme (como nueces) poliédrica y de caras brillantes (por ello reciben el nombre de Nitisols) producidas por la presión. Estos suelos suelen ser profundos y se desarrollan sobre productos de la meteorización muy finos procedentes de material parental de medio a básico, con un alto contenido en caolinita y/o hierro (de ahí el color rojo). En algunos casos pueden contemplarse como suelos jóvenes que ejemplifican los procesos de ferralitización. A través de la hidrólisis intensiva de los minerales y el lavado del sílice y las bases, los procesos de hinchado y encogimiento resultan en los elementos estructurales ya descritos.

Petroplintita que aparece como una capa dura en la superficie del suelo. (CG)

2. La formación de la plintita

En terrenos planos o suavemente inclinados, sometidos a fluctuaciones de las aguas subterráneas y donde el suelo es rico en hierro, puede aparecer un material llamado plintita (del griego *plinthos*, ladrillo). La plintita, antiguamente conocida como laterita, es una acumulación subsuperficial de hidróxidos de hierro, arcilla caolinítica y cuarzo. Se forma generalmente por la segregación del hierro presente en el suelo, como consecuencia de la saturación de agua del mismo. Este hierro con frecuencia procede de tierras altas y ha sido transportado por el agua en forma de óxido ferroso en condiciones anaeróbicas. La concentración de hierro también puede aumentar debido a la eliminación de cationes de sílice e iones básicos a través de la lixiviación de los compuestos disueltos por la meteorización.

En algunos casos, cuando la plintita está expuesta a ciclos repetidos de humedecimiento y secado, ésta se convierte en petroplintita (plintita endurecida irreversiblemente, también conocida como laterita. Ver foto abajo, en esta página). (CG)

Inicialmente, el hierro ferroso precipita en concreciones arcillosas de óxido férrico blandas, de color rojo oscuro. Cuando ha precipitado la cantidad de hierro suficiente y la tierra comienza a secarse, la arcilla blanda se endurece de manera irreversible. Este proceso suele comenzar al eliminarse la vegetación, dejando así la superficie del suelo expuesta. La plintita puede aparecer en forma de concreciones (esquelética) o como una capa continua (petroplintita), también conocida como piedra de hierro. Los suelos con petroplintita son especialmente abundantes en la zona de transición del bosque tropical a la sabana, especialmente en áreas que antiguamente fueron más húmedas. A veces, cuando la plintita no está demasiado concentrada para formar una capa continua, da lugar a pisolitos, una capa densa de nódulos. Dichas capas a veces se pueden encontrar cerca de la superficie debido a la remoción de la tierra entre los pisolitos por las termitas para construir sus nidos.

La plintita expuesta, puede conducir en última instancia a modificar el relieve original, ya que funciona como una capa protectora contra la erosión del suelo subyacente. Con el paso tiempo, las partes del suelo que carecen de esta capa protectora desaparecen, mientras que las que están cubiertas por la plintita pasan a formar parte de las zonas más altas del paisaje.

Rocas ácidas o básicas

El concepto de roca ácida, o material parental ácido, se refiere a menudo a rocas ígneas que contienen una cantidad significativa de sílice (SiO2). Ejemplos de ello son el granito o la riolita.

Por el contrario, el término básico se aplica a rocas carentes de cuarzo y que contienen minerales como el feldespato o la biotita. Ejemplos de rocas básicas son el basalto, la dolerita y el gabro.

Es cada vez más frecuente el uso del término máfico en lugar de básico.

3. Formación de suelos con alto contenido en aluminio

La meteorización de minerales arcillosos como la vermiculita y la esmectita a través de los procesos anteriormente descritos puede elevar el contenido en aluminio de los suelos. En la práctica, estos procesos están restringidos a ambientes en los que el material parental es básico (con esmectita disponible) o silíceo (con vermiculita), el clima es húmedo y la topografía permite el movimiento del agua.

La mayoría de los minerales silíceos producidos por los procesos de meteorización originales se disuelven y son lixiviados del suelo. El resto de minerales arcillosos son translocados desde la parte superior del suelo para formar un horizonte rico en arcillas. Estos minerales arcillosos son a su vez meteorizados, liberando así gran cantidad de aluminio soluble (dependiendo de la composición de la roca original también puede liberarse hierro o magnesio).

En esta fotografía se muestra un perfil de un suelo, en Brasil, que contiene altos niveles de aluminio. Este tipo de suelo es común en las zonas tropicales y subtropicales. El alto nivel de aluminio en los suelos tiene su origen en la rápida meteorización de arcillas de alta actividad como la vermiculita y la esmectita. (HS)

Bauxita

En las áreas tropicales caracterizadas por las estaciones lluviosas, podemos encontrar laterita y bauxita. Estos minerales ricos en aluminio se forman como consecuencia de las altas temperaturas y la gran cantidad de bacterias que descomponen totalmente la materia orgánica del suelo. La bauxita es una forma especial de petroplintita (ver página anterior): contiene una alta proporción de óxidos de aluminio y por lo tanto menos hierro.

¿Sabías que... :

- Latinoamérica es la responsable del 32% de la producción mundial de bauxita. Actualmente, Brasil es el tercer productor a nivel global (con 31 millones de toneladas en 2011), después de Australia (número 1) y China (número 2).
- La denominación de bauxita tiene su origen en un pueblo del sur de Francia, Les Baux, donde se descubrió por primera vez que contenía aluminio, siendo nombrada de esta manera por el geólogo francés Pierre Berthier en 1821.
- La bauxita es la principal mena del aluminio, uno de los metales más importantes debido a su gran cantidad y variedad de usos (hoy en día, tan sólo superado por el hierro/acero). El aluminio se usa en forma pura, aleado con otros metales o en compuestos no metálicos. En estado puro se aprovechan sus propiedades ópticas para fabricar espejos (tanto domésticos como industriales – p. ej. para telescopios reflectores-). Su uso más popular es como papel aluminio, de un espesor tan pequeño que resulta fácilmente maleable y por ende apto para embalaje alimentario. También se usa en la fabricación de latas y tetrabriks.

Los minerales arcillosos

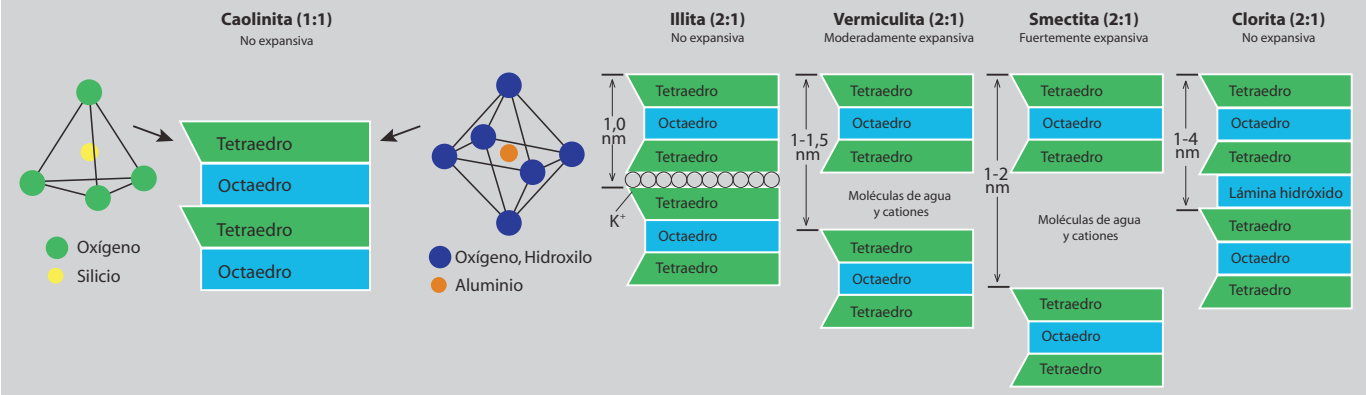
Los minerales de la arcilla son un grupo reducido de partículas cristalinas, concretamente filosilicatos de aluminio hidratados (p. ej. caolinita, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$), a veces con cantidades variables de hierro, magnesio, metales alcalinos, tierras alcalinas y otros cationes.

Los minerales de las arcillas tienen estructuras similares a las micas, formando láminas planas hexagonales de grosor inferior a 2 micrómetros. Esto da lugar a partículas con superficies muy grandes. La illita y la caolinita tienen una superficie específica de 97 m^2/g y 16 m^2/g respectivamente. Para comprender este concepto, la estructura puede compararse con una baraja de cartas. Cuando están apiladas las cartas, la baraja es pequeña, pero si colocamos una carta a continuación de otra, se puede cubrir una gran superficie.

Normalmente nos referimos a los minerales de arcilla como 1:1 (una capa tetraédrica combinada con una octaédrica - caolinita) o 2:1 (una lámina octaédrica entre dos hojas de mica tetraédricas - esmectita). Entre estas capas se puede almacenar gran cantidad de agua.

Los minerales de arcilla tienen la propiedad de actuar como imanes para ciertas partículas cargadas (cationes y aniones) y retenerlos hasta que sean requeridos por las plantas. Los términos de baja y de alta actividad se utilizan para describir este proceso. Los minerales de arcilla inalterados tienen un área superficial relativamente grande y son capaces de retener los cationes nutrientes básicos tales como calcio, magnesio, potasio y sodio. Estos cationes pueden ser liberados al sistema de raíces cuando sea necesario y se les aplica el término de "alta actividad" debido a su elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC). Ejemplos de tales arcillas son la vermiculita y la montmorillonita. Como resultado, estas arcillas tienden a producir suelos muy fértiles. Sin embargo, la contracción y expansión del suelo debido a la expansión y contracción de los minerales arcillosos por los ciclos de humedecimiento y secado se traducirá en un drenaje deficiente.

En las arcillas de baja actividad sucede lo contrario: al estar más degradadas, poseen menos superficie que las arcillas de alta actividad. Por lo tanto, tienen una menor capacidad para retener y suministrar nutrientes (es decir, baja CIC). Estas cuestiones tienen implicaciones en la gestión agrícola del suelo, ya que en ocasiones es necesario añadir nutrientes de manera artificial o gestionar el contenido en materia orgánica del suelo para que los nutrientes estén disponibles para las plantas.



Principales procesos de formación de suelos volcánicos

Estos suelos se desarrollan a partir de materiales de origen volcánico (como cenizas, tobas, piedra pómez y lava) y presentan una alta proporción de vidrio volcánico (también conocido como obsidiana). La meteorización del material poroso volcánico libera iones de aluminio (Al^{3+}), que junto con la materia orgánica (humus) forma compuestos órgano-minerales estables (son estables porque el aluminio evita la degradación de la materia orgánica), como por ejemplo la alófana, la imogolita (ambos aluminosilicatos). El hierro ferroso libre (Fe^{2+}) suele precipitar en forma de ferrihidrita.

La mayoría de los materiales volcánicos son amorfos (ver Glosario). Estos tienen una gran área superficial, por lo que pueden absorber gran cantidad de agua (la principal diferencia entre un sólido cristalino y un sólido amorfo es su estructura; en un sólido cristalino existe una ordenación de los átomos a largo alcance, mientras que en los sólidos amorfos no se puede predecir donde se encontrará el próximo átomo). Sin embargo, debido a su alta capacidad de intercambio aniónico estos materiales se caracterizan por una fuerte fijación de fosfatos, lo que implica que los cultivos en este tipo de suelos suelen requerir grandes aportes de fósforo.

Perfil de un suelo volcánico (Andosol) en Chile. Los colores de la capa superficial y del subsuelo, suelen ser distintos según la región en la que se desarrolle el suelo, más oscuro en las regiones frías que en las tropicales. El horizonte superficial es muy poroso y presenta terrones o estructura granular. (MF)

Cultivo de maíz sobre suelo volcánico en Ecuador. Los suelos volcánicos tienen un gran potencial agrícola debido a que son muy fértiles, especialmente cuando se trata de cenizas neutras o básicas que no han sido expuestas a un lavado excesivo. La fuerte fijación del fosfato se puede remediar aplicando enmiendas calizas, material orgánico o fertilización con fósforo. Los suelos volcánicos son fáciles de trabajar y tienen buenas propiedades en cuanto al almacenamiento de agua. (SLCS)

Principales procesos de formación de suelos orgánicos

La acumulación, descomposición y almacenamiento de la materia orgánica es uno de los procesos clave formadores de suelo y es responsable del mantenimiento de ciertas funciones del mismo. La materia orgánica del suelo proviene de restos animales y vegetales (fundamentalmente de estos últimos). En aquellos ecosistemas donde la productividad vegetal es alta (como es el caso de los ecosistemas tropicales húmedos), las temperaturas son bajas o existe un exceso de agua, la materia orgánica no descompuesta se acumula en la superficie del suelo. Con el tiempo, estos residuos vegetales son aprovechados por organismos del suelo tales como bacterias, hongos o lombrices. Durante este proceso el agua, el dióxido de carbono y diversos compuestos orgánicos (p. ej. azúcares, almidones, proteínas, hidratos de carbono, ligninas, ceras, resinas y ácidos orgánicos) son transformados en compuestos inorgánicos tales como sales de amonio (NH^{4+}), fosfato ($H_2PO_4^-$) y sulfato (SO_4^-), a través de un proceso denominado mineralización. Algunos de estos compuestos son inmovilizados mediante su incorporación a los exoesqueletos de los macroinvertebrados del suelo y sólo están disponibles para las plantas cuando mueren y se descomponen. Este proceso, junto con la liberación de CO_2 del suelo, es vital para el crecimiento de las plantas.

La incorporación anual de los residuos animales y vegetales al suelo varía según la región climática, el tipo de vegetación y el uso de la tierra. Los bosques tropicales devuelven al suelo cerca de 15 toneladas de desechos vegetales al año, mientras que en las praderas templadas esta cifra es 8 toneladas/año, 2 para los suelos agrícolas y tan sólo 0,1 para los bosques alpinos. Las raíces contribuyen con su descomposición a elevar estas cifras en un 30-50%.

Manglares en la costa del Golfo de México, cerca de Tamasopo (México). Este paisaje es caracterizado por Histosols sobre sedimentos marinos. Cuando se drenan estas areas tienen potencialidad de producir suelos ácido sulfatados. (CG)

• Formación de turba

La turba es un material orgánico oscuro, poco consolidado, rico en materia orgánica. Está formado por una masa esponjosa en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Estos no llegaron a descomponerse por el frío, la naturaleza ácida del terreno, o bien debido a la falta de oxígeno en condiciones de encharcamiento (estado denominado anaeróbico). Las turba aparece en distintos tipos de humedales, como ciénagas o pantanos. El crecimiento de la turba y su grado de descomposición (o humificación) dependen principalmente de su composición y del grado de encharcamiento. Se distinguen tres tipos de turba: sáprica (muy descompuesta, con las fibras vegetales poco reconocibles), hémica (moderadamente descompuesta, en la que las fuentes de materia orgánica son musgos y herbáceas) y fíbrica (ligeramente descompuesta, fibras vegetales claramente reconocibles, la mayoría son musgos del género *Sphagnum* y restos vegetales leñosos).

La turba se acumula de manera muy lenta (varios mm por año). Esto debe tenerse en cuenta a la hora de explotar las turberas ya que su recuperación puede llevar cientos o hasta miles de años.

• Formación de humus

La descomposición de la materia orgánica lleva a la formación de nuevos materiales, conocidos en su conjunto como humus, una sustancia de color negruzco – debido a la gran cantidad de carbono que contiene – amorfa y menos susceptible a la descomposición. Las características específicas del humus dependen de la naturaleza de la vegetación y del suelo.

En zonas de vegetación de hoja caduca (tanto árboles como especies herbáceas), aparece una fina capa (de unos 5 cm de espesor) de materia orgánica fresca, es decir, sin descomponer, sobre un suelo parduzco y poroso, en el que la materia orgánica y la mineral se mezclan por la acción de organismos como las lombrices de tierra. Existe una transición gradual hacia el suelo mineral. Este humus se conoce como mull.

Por el contrario, en bosques de coníferas la capa de materia orgánica fresca es más gruesa (>15 cm) y contiene una capa de materia orgánica parcialmente descompuesta donde crecen hongos. En este caso, el límite con el suelo mineral es más evidente, frecuentemente de color negro, por el material completamente humificado, poco drenado y sin lombrices de tierra. Se conoce como humus mor.

Un tipo intermedio de humus entre el mor y el mull, es el moder.

Las características del suelo tienen una gran influencia en la formación del humus, especialmente los niveles de calcio, nitrógeno y fósforo. Un bosque con especies de hoja caduca formará humus de tipo mull en suelos calizos fértiles, mientras que sobre suelos arenosos ácidos, poco fértiles, se formará humus de tipo mor.

La capa orgánica del suelo se conoce como horizonte O o H.

H: corresponde a acumulaciones de materia orgánica fresca o parcialmente descompuesta en la superficie del suelo, la cual está saturada de agua durante largos periodos.

O: corresponte a una capa de materia orgánica fresca sin descomponer o ligeramente descompuesta sobre la superficie del suelo, sin que ésta esté afectada por el encharcamiento durante largos periodos. El contenido mineral de estos horizontes es muy bajo.

La materia orgánica en los horizontes H y O puede dividirse en: i) ligeramente descompuesta, cuando es posible reconocer a simple vista restos de plantas; ii) moderadamente descompuesta, cuando es difícil distinguir los restos vegetales a simple vista; iii) fuertemente descompuesta, cuando la capa orgánica está completamente descompuesta sobre el suelo mineral.

Suelos en los que la actividad humana es un factor formador

Los suelos cultivados han sufrido cambios en sus propiedades químicas debido a la mezcla de la capa superficial con el subsuelo a través de las labores agrícolas. Sin embargo, existen numerosos ejemplos en el territorio de LAC en los que en lugar de deteriorarse se formó suelo, o bien se cambiaron profundamente sus propiedades a través de actividades humanas como la adición de materia orgánica en forma de desechos domésticos, el aporte de agua en forma de riego o ciertas formas de cultivo. Ejemplos de estas actividades son:

1. Arado de gran profundidad, a menudo con formación de terrazas;
2. fertilización o enmiendas con carbón, fertilizantes orgánicos (abonos orgánicos y verdes, desechos domésticos, excrementos humanos). Ejemplo de ello es la *terra preta* brasileña (ver foto abajo y una explicación más detallada en la página 122);
3. adición de tierra (p. ej. arena de playa, conchas de moluscos) o sedimientos a través de la irrigación; y
4. cultivos con encharcamiento, como los arrozales.

Un caso especial de modificación del suelo por la actividad humana es el drenajeo. Se trata de una actividad que supone un gran impacto sobre el suelo, ya que modifica la frecuencia y duración de los periodos en los que el suelo se encuentra saturado de agua. En suelos encharcados de manera natural, el drenaje permite cultivarlos, permitiendo que el oxígeno circule. Sin embargo, prácticas como el drenaje de las turberas pueden resultar en una pérdida de suelo irreversible.

Suelos jóvenes

En zonas áridas o áreas montañosas es difícil encontrar evidencias de los procesos de formación de suelos (a excepción de la meteorización del material parental). El desarrollo del perfil es inapreciable debido al lento ritmo de los procesos pedogenéticos, dadas las condiciones climáticas poco favorables (p. ej. sequía prolongada). Los niveles de materia orgánica son generalmente muy bajos.

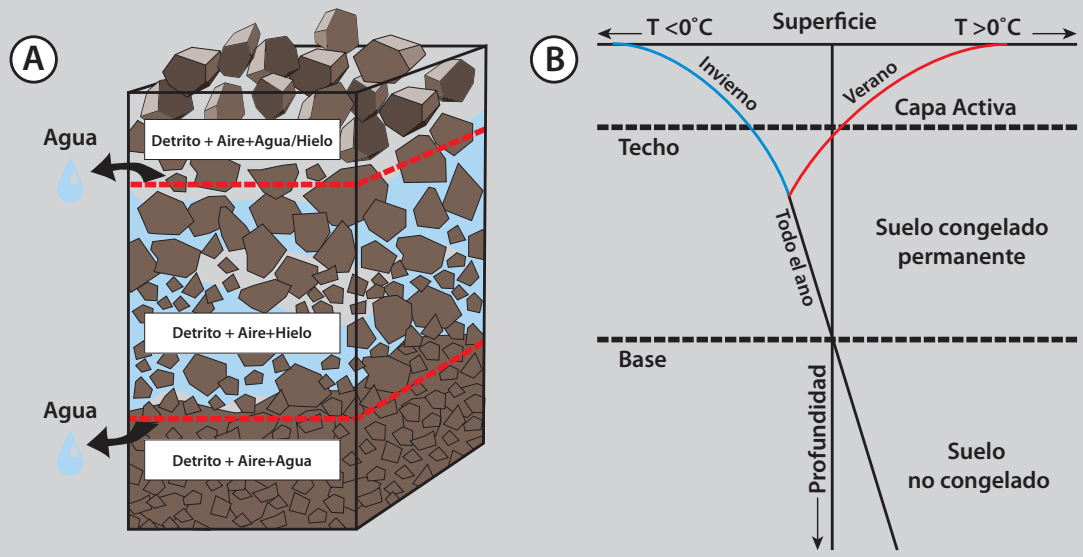
La escasez de productos alterados permite observar colores similares a los del material original, es decir, la química del suelo es parecida. En estos suelos jóvenes, el desarrollo de un delgado horizonte superficial, poco estratificado y/o cambios sutiles en color y/o estructura bajo el mismo pueden indicar el inicio del desarrollo de un horizonte A. Con el paso del tiempo (o por cambios en las condiciones climáticas), la expresión de los horizontes se volverá más evidente y las propiedades del suelo empezarán a diferenciarse de las de la roca madre (horizonte C). La escasa coherencia de la matriz hace que estos suelos jóvenes sean muy propensos a la erosión en zonas de fuertes pendientes.

Perfil de terra preta con grandes fragmentos de cerámica, en el sitio arqueológico de Hatahara, en la cuenca del Amazonas, Brasil. (EHN)

Suelos afectados por el frío

Aunque LAC se asocie muchas veces con ambientes cálidos, también podemos encontrar permafrost en los ambientes periglaciares de los Andes al norte de la Patagonia. Sobre estos suelos se dan ciclos de congelación y deshielo.

La combinación entre temperaturas bajo cero y la presencia de agua y hielo, es lo que diferencia a estos suelos de los de zonas no congeladas permanentemente. En ocasiones, el espesor del suelo congelado puede superar los 50 metros. Una de las características más importantes del permafrost es la capacidad de los suelos congelados para funcionar como reserva de agua sólida. A medida que un suelo congelado permanente se desarrolla, va captando agua la cual se transforma en hielo y se almacena. Durante el verano, parte de este agua es liberada, sobre todo de la capa activa que cubre al permafrost.



¿Cómo es un suelo congelado permanente en los Andes?

El carácter pedregoso del ambiente periglacial Andino le confiere características únicas, como por ejemplo el efecto de aislante térmico que tiene el aire entre los bloques de la parte superficial, protegiéndolo del calor.

En la imagen de la izquierda, la figura A representa de manera esquemática un sección del suelo de los Andes con permafrost y los materiales que lo componen. El esquema de la derecha (figura B) describe la variación en profundidad de la temperatura durante un año. La parte azul indica las temperaturas más frías durante el invierno, la roja las más cálidas durante el verano; el resto del año la temperatura varía entre estos dos extremos. Desde donde se unen ambas curvas hacia abajo, la temperatura del suelo no depende de las fluctuaciones estacionales: mantiene un gradiente constante.

El suelo congelado permanente tiene un techo o límite superior que lo separa de una capa superior y una base o límite inferior que lo separa del resto de la litósfera. Estos límites coinciden con la isoterma de 0°C anual.

La capa superior que protege al suelo congelado permanente, se conoce como la capa activa. Ésta se congela durante el invierno y se descongela en los meses de verano, entregando agua a los ríos de montaña. Parte del agua procede del derretimiento de la parte superior del permafrost, si está en desequilibrio con el clima actual.

Por debajo del suelo congelado permanentemente se encuentra el suelo no congelado asociado al calor interior de la Tierra, el cual derrite el hielo. A diferencia del agua generada en la capa activa, el agua de la base fluye de manera constante hacía los ríos y/o acuíferos durante todo el año. (LR)

Argentina es el segundo país después de Chile en términos de superficie cubierta por el hielo (alberga aproximadamente el 15% de la superficie cubierta por hielo en América del Sur). En la foto de arriba aparece un valle donde predomina el permafrost de montaña en los Andes Secos, (Mendoza, Argentina). Se puede apreciar el carácter blocoso de la superfice de los suelos afectados por los ciclos de congelamiento y descongelamiento (crioclastia) típico de los ambientes periglaciales y un espectacular glaciar rocoso, también denominado glaciar de escombros. Estas crioformas son la expresión morfológica del permafrost conocido como reptante. (LR)

Principales procesos biológicos de formación del suelo

Para completar la enumeración de procesos clave en la formación del suelo, es fundamental incluir la actividad de los organismos vivos. Cada vez se le da mayor importancia a este componente (especialmente a los macroinvertebrados) como factor regulador de los procesos del suelo. Los procesos biológicos incluyen desde la fragmentación de la roca madre por efecto de las raíces, hasta la influencia de los seres vivos en el ciclo de los nutrientes, la bioperturbación o la descomposición de los minerales arcillosos por parte de las bacterias.

En un sentido amplio, la actividad de los organismos del suelo está estrechamente relacionada con el clima. La actividad biológica es prácticamente nula en regiones cálidas y secas. Con bajas temperaturas o condiciones muy húmedas, la actividad bacteriana es más débil, por lo que la materia orgánica tiende a acumularse. En las condiciones de calor y húmedad de los trópicos, los hongos y bacterias son muy activos. En zonas templadas, aquellos animales que construyen galerías o madrigueras, como pequeños mamíferos, escarabajos o lombrices, pueden tener una gran influencia en los procesos del suelo, ya que facilitan el movimiento del agua a través de estos canales y galerías. En los trópicos, el papel de las termitas y hormigas es de vital importancia en el reciclado de nutrientes y la redistribución de las partículas del suelo.

Arriba: termitero en Lagoa Formosa (Minas Gerais, Brasil) en un paisaje de pastizales de la sierra tropical. La matriz del suelo puede ser homogeneizada de manera muy intensa gracias a la la acción de las termitas, hormigas, gusanos y otra fauna del suelo, dando lugar a lo que se conoce como pedoturbación biológica. (HS)
Abajo: los túneles formados por las lombrices de tierra crean en el suelo macroporos y canales que permiten la infiltración del agua y la circulación del aire. (RH)

Las termitas

Las termitas son insectos que forman colonias y cuya estructura social es muy sofisticada. Dichos insectos dividen el trabajo en grupos específicos, producen generaciones superpuestas y se ocupan del cuidado de los individuos jóvenes de manera colectiva. Se alimentan principalmente de materia vegetal muerta, por lo general en forma de madera, hojarasca o excrementos de animales.

Procesos de formación de suelo en LAC

En LAC, por su gran extensión, podemos encontrar una enorme variedad de procesos de formación. Diversas latitudes cruzan el continente, desde la subtropical en el mar Caribe, pasando por la ecuatorial o tropical, hasta llegar a zonas templadas al sur de Argentina y Chile. A esta variabilidad hay que sumarle la zonificación vertical, con altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 6.000 m.

Todo lo anterior produce grandes variaciones en las temperaturas y su estacionalidad, lo que influye en los procesos de meteorización de los compuestos minerales y la acumulación de materia orgánica. Por otra parte, también existen distintos tipos de material parental o sustrato geológico: se pueden encontrar desde materiales calcáreos de origen marino, sobre todo en las islas del Caribe, hasta materiales de carácter ígneo muy antiguos, como los escudos de Guayana y de Brasil, los cuales originan *in situ* multitud de tipos de suelo así como aluviones derivados de ellos con un alto grado de meteorización (como sucede en Venezuela, parte de las Guayanas y Brasil). Por otro lado, cabe mencionar la diversidad de materiales existente (rocas metamórficas y calizas) en las grandes planicies aluviales de sedimentos más recientes derivados de los Andes, situadas al norte del continente y en Uruguay. En cuanto a los materiales de origen volcánico, estos predominan tanto en Centroamérica como en Colombia, Bolivia, Chile y Argentina.

A continuación se describen brevemente los principales procesos de formación de suelo en LAC.

Tepuy del sur de Venezuela (parte del Escudo de Guayana). Los tepuyes o tepuis son grandes mesetas cubiertas por areniscas fracturadas. El tepuy vecino contiene el Salto del Ángel, la cascada más alta del mundo, con una caída de 1.000 m. (LC)

Procesos de formación más comunes en Sudamérica

Para facilitar la comprensión del texto, en esta descripción se diferencian los procesos en función de su localización en el subcontinente. Se han definido tres grandes áreas: (i) los grandes escudos o macizos, las áreas geológicas más antiguas y estables, (ii) la cadena montañosa andina, la más larga del mundo, la cual se extiende desde Tierra del Fuego (Chile) hasta Venezuela y (iii) las varias cuencas sedimentarias donde los procesos deposicionales se han producido recientemente o aun están actuando.

1. Los escudos o macizos

El área más extensa en la que los procesos de formación son homogéneos en Sudamérica se deriva principalmente de los tres escudos más antiguos del continente: el de Guayana, ubicado principalmente en Venezuela, el escudo brasileño, principalmente en ese país y en parte de Uruguay, Paraguay y Argentina, y el macizo patagónico, al sur de Argentina. En estas zonas se encuentran los suelos derivados directamente de las rocas de esos macizos y en las áreas contiguas aparecen los aluviones que proceden de los mismos. Estos escudos están constituidos por rocas ígneas del Precámbrico, principalmente ácidas en el escudo de Guayana (p. ej. granitos) y rocas basálticas en los escudos brasileño y patagónico. También podemos encontrar rocas metamórficas como el gneis y sedimentarias como areniscas y aluviones pre-meteorizados de las rocas mencionadas. Ocupan grandes peneplanicies y altiplanicies, todas ellas de gran estabilidad geomorfológica. El clima dominante es el tropical húmedo con periodos secos variables en Guayana y Brasil norcentral.

Ferralsol en el río Jari, selva amazónica, Brasil. (BQ)

El sur del escudo de Brasil posee un clima subtropical, mientras que en el escudo patagónico el clima es templado y más seco. La cobertura vegetal más extensa es la de grandes bosques siempreverdes con gran biodiversidad, como los amazónicos seguida de las sabanas (arboladas y no arboladas). En el escudo patagónico aparecen praderas con vegetación arbustiva. Los suelos formados en estas zonas tropicales y subtropicales, han estado sujetos a miles de años de intemperización, con importantes lavados de bases y acumulación relativa de sesquióxidos de hierro y aluminio.

El grado de meteorización se evidencia por el predominio de arcillas del tipo caolinita, óxidos de hierro como la goethita y de aluminio como la gibsita. Los procesos de acumulación de materia orgánica son pequeños, debido a las altas temperaturas. Los de remoción son en general altos por la gran pluviosidad y lavado. Los de translocación se concentran en los movimientos de arcilla en varios grados hacia el subsuelo, principalmente en los climas más subhúmedos y en materiales mas ácidos. Las transformaciones han consistido fundamentalmente en la conversión de minerales primarios hacia arcillas y sesquióxidos, dadas las altas tasas de remoción de cationes básicos, las altas temperaturas y el largo tiempo de meteorización. Como consecuencia, los suelos predominantes son profundos y rojos (Ferralsols y Acrisols).

Por otra parte, las condiciones en la Patagonia resultan en un escaso grado de evolución del suelo, principalmente por las bajas temperaturas y el poco lavado, dando lugar a suelos muy esqueléticos y superficiales y con baja evolución mineralógica (Leptosols y Regosols).

2. Cadena Montañosa Andina

La segunda gran extensión de procesos de formación de suelos que presenta cierta homogeneidad se sitúa en las cadenas montañosas andinas y en la serranía de la Costa norte. Sus alturas van desde los 300 m hasta más de 6.000 m sobre el nivel del mar (snm), dando lugar a una gran zonalidad vertical de las temperaturas y consecuentemente de la vegetación y los suelos. Esta región es de mediana edad, comparada con la de los Escudos, y de mucha menor estabilidad geomorfológica, ya que está sujeta a importantes movimientos tectónicos. Como resultado encontramos valles compuestos por fallas y terrazas fluviales, resultado de cambios climáticos y procesos erosivos. Los materiales geológicos son de una gran diversidad: desde materiales ígneos en el corazón de la montaña, hasta metamórficos de diversos grados y sedimentarios en las laderas (calizas, esquistos, lutitas y cenizas volcánicas, estas últimas principalmente en Colombia, Ecuador, Bolivia Occidental, Argentina y Chile). La cobertura vegetal es también muy variada por efecto de grandes diferencias en los balances hídricos; desde la vegetación espinosa propia de zonas secas como la Goajira venezolana y colombiana y desiertos del sur de Bolivia y norte de Chile, hasta los bosques subhúmedos y húmedos tropicales presentes en la mayoría del territorio. En las zonas donde se registran las temperaturas más bajas la vegetación es de porte arbustivo (p.ej. en los páramos o punas, sobre los 3.000 msnm).

Las actividades humanas han sido a menudo las responsables de la deforestación de las laderas, lo que ha provocado la eliminación de cobertura vegetal e importantes procesos de erosión.

La combinación de factores formadores ha resultado en una gran variedad de suelos, desde muy poco desarrollados (por ser jóvenes o por estar en zonas muy secas), hasta suelos de mediano desarrollo pedogenético con variadas características químicas y mineralógicas. Los procesos de acumulación de materia orgánica también son diversos: son muy escasos en las zonas secas, mientras que en zonas más húmedas puede llegar a darse una acumulación de moderada a alta de materia orgánica (especialmente bajo bosques, por encima de los 1.000 msnm. En los páramos, debido a las bajas temperaturas, pueden llegar a formarse Histosols). Los procesos de remoción de bases del suelo dependen del balance hídrico, pero en general son de moderados a altos marcando la naturaleza ácida de los suelos, excepto en aquellos de origen calcáreo. Los procesos de translocación son muy evidentes en los suelos calcáreos, con acumulaciones de carbonatos secundarios en el subsuelo. También se pueden observar movimientos de arcilla (horizonte árgico) en los suelos más estables. En casos excepcionales, sobre materiales muy arenosos y donde se producen altas precipitaciones y bajas temperaturas, se identifican movimientos de hierro y aluminio ligados a la materia orgánica en el subsuelo (horizontes espódicos y plácicos), especialmente en páramos. Los procesos de transformación dominantes en esta región son los cambios de mineralogía, desde los minerales primarios hasta estados intermedios como son: de micas a illita y vermiculitas y de materiales volcánicos a alófana. Los suelos representativos de estos procesos y sus distintas combinaciones son los Cambisols, Luvisols, Leptosols y Andosols.

3. Cuencas sedimentarias, planicies y valles

Bajo esta denominación se incluyen las grandes cuencas o zonas deposicionales como la Orinoquía, la Amazonia y la del Río de la Plata, así como numerosos valles y zonas costeras de importancia agrícola regional. Dentro de la Orinoquía se encuentran las grandes planicies aluviales, principalmente en los llanos Venezolanos y Colombianos. Su origen se halla en los sedimentos de variada naturaleza mineralógica derivados de los Andes y, en menor grado, en aquellos premeteorizados del macizo Guayanés. Las condiciones climáticas actuales son predominantemente tropicales subhúmedas y húmedas, dominando en las primeras las sabanas y en las más húmedas los bosques. Desde el punto de vista geomorfológico, estas planicies aluviales se pueden dividir en dos grandes grupos: i) las planicies de inundación o que poseen deltas internos (formados por combinaciones de bancos, bajíos y esteros, con suelos jóvenes y de moderado desarrollo pedogenético), como es el caso de gran parte de los Llanos centrales y sur venezolanos y del Casanare de Colombia, y ii) los llanos altos o altiplanicies, mejor drenados y con suelos más desarrollados, como los del río Meta y el Vichada en Colombia y los Orientales en Venezuela.

Los procesos de formación varían en cada una de estas situaciones. Así, la acumulación de materia orgánica es de baja a moderada en las planicies (según el grado de inundación), alta en el delta del Orinoco y baja en las altiplanicies. La remoción de bases es relativamente baja en las llanuras que se inundan y alta en las mejor drenadas. Las translocaciones dominantes en las zonas con drenaje deficiente son las de carbonatos y seguidas de las de arcilla, acompañadas de hidromorfismo y, en las altiplanicies, de movimiento de arcilla con sesquióxidos. Las transformaciones en las planicies más jóvenes son de formación de estructura (hasta llegar a horizontes vérticos con moderados cambios en la mineralogía), mientras que en las altiplanicies, se produce una fuerte meteorización, siendo dominantes las arcillas caoliníticas. Los suelos resultantes de la combinación de estos procesos son: i) en las planicies de inundación: Fluvisols, Cambisols, Phaeozems, Luvisols, Vertisols, Plinthosols e Histosols, y ii) en las altiplanicies: Acrisols, Arenosols y Ferralsols.

La cuenca amazónica, la mayor cuenca hidrográfica del mundo (6,2 millones de km^2), abarca parte del Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, Guyana y sobre todo Brasil. Incluye las planicies de inundación del Amazonas, mezclas de sedimentos de los Andes y del escudo brasileño. Está formada por suelos de mediano desarrollo pedogenético. Las zonas bien drenadas en colinas y altiplanicies se derivan del escudo brasileño y presentan suelos muy desarrollados. Prácticamente en la totalidad de la cuenca el clima es tropical húmedo y muy húmedo, con cortos periodos secos. La mayoría de su superficie se encuentra cubierta por bosques siempreverdes de una gran biodiversidad. Debido a la pobreza del material de origen, a las altas precipitaciones, altas temperaturas y la estabilidad de sus paisajes, los suelos, aún estando bajo bosque, presentan bajas acumulaciones de materia orgánica y un alto grado de lavado de sus bases. Asimismo, son ricos en hierro y aluminio lo que les confiere variados tonos de rojo y amarillo. El dominio de las arcillas caoliníticas es evidente en estos suelos, denotando su alto grado de transformación. Los suelos dominantes son Acrisols, Ferralsols y Plinthosols.

La cuenca del Río de la Plata, es la segunda cuenca hidrográfica del mundo por su extensión (3,2 millones de km^2) y ocupa el centro sur de Brasil, parte de Bolivia, Uruguay, Paraguay y la parte noroccidental de la Argentina. Está surcada por los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay que desembocan en el Río de la Plata. Buena parte de su basamento es del escudo brasileño, dominado por basaltos, aunque en la región Occidental hay importantes planicies aluviales y la zona sur está dominada por las Pampas de origen eólico (loess) de los Andes argentinos. En la parte brasileña, desde Brasilia hacia el sur, aparecen grandes extensiones de altiplanicies bien drenadas, dominadas por sabanas o cerrados de una gran diversidad de grados de arborización, con suelos bien drenados, rojos, ácidos, pobres en nutrientes, con poca materia orgánica y arcillas caoliníticas. Los suelos dominantes son Acrisols y Ferralsols. Más al sur, encontramos sierras y planaltos con suelos más fértiles, aunque sujetos a procesos erosivos. En el suroeste de la cuenca, en Brasil, parte de Bolivia y Paraguay, ligado al río Paraguay, se encuentra uno de los mayores humedales del mundo, El Pantanal. Se trata de un delta interno relleno de sedimentos aluviales y sujeto a fuertes inundaciones, y por ende dominado por procesos de hidromorfismo, resultando así, en suelos Gleysols y Plinthosols. Al este del río Paraguay y hasta el borde inferior del altiplano andino, se sitúa el Gran Chaco, ocupando parte de Bolivia, Paraguay, Brasil y norte de Argentina. Se considera una gran llanura aluvial, con bosques estacionales y surcados por ríos serpenteantes, con numerosos meandros y planicies muy fértiles (p. ej. planicies de Santa Cruz) y zonas más áridas hacia el oeste y más húmedas hacia el este. Los suelos son más salinos hacia el sur (como en las planicies del río Salado). Consecuentemente sus suelos son muy variados, con procesos de poco lavado hasta muy lavados, poco a mediano desarrollo de translocaciones y de transformaciones minerales, favoreciendo así la presencia de Fluvisols, Cambisols, Luvisols y Solonetz y Solonchaks.

Más al sur aparece la Gran Planicie o la Pampa Argentina, de alrededor de 56 millones de hectáreas, originada por loess proveniente de los Andes (material de origen volcánico), que alberga los mejores suelos de LAC. Es una zona llana, de clima seco en el oeste, subhúmedo en el centro y húmedo hacia el océano Atlántico. Los suelos son ricos en materia orgánica bien humificada, con abundante carbonato de calcio o ricos en bases y sales, sobre todo en las áreas mas secas. También presentan procesos de translocación de arcillas, más acentuados en presencia de sodio, en las zonas más húmedas. Los suelos más representativos son Kastanozems y Phaeozems, aunque también se pueden encontrar Solonchaks y Vertisols.

Finalmente, cabe mencionar los importantes valles y zonas costeras, especialmente de la región del Pacífico: el Valle central de Chile, las costas Peruanas y los valles de los grandes ríos colombianos. El valle central de Chile linda en la parte norte con una región desértica en la que se dan muy pocos procesos de formación (casi únicamente acumulaciones de sales). Las precipitaciones en este valle, así como la vegetación, son suficientes para alterar los materiales aluviales y volcánicos y producir abundante acumulación de materia orgánica, cierto lavado de bases y translocación de arcilla y transformaciones minerales (moderadas). Por ello los suelos más comunes son Phaeozems, Luvisols y Vertisols.

El Parincota (6.342 m) es un volcán situado en la frontera entre Bolivia y Chile. Una de las erupciones más violentas, hace 8.000 años, produjo un deslizamiento de tierra que creó el lago Chungara (en primer plano en la foto). (LG)

La parte sur se encuentra próxima a zonas mas frías y húmedas, donde la actividad volcánica y la glaciar son muy significativas. Allí los suelos están más lavados y poco desarrollados desde el punto de vista pedogenético.

La costa peruana se extiende a lo largo de aproximadamente 2.500 km. Se trata de una zona árida y plana formada por aluviones de las estribaciones andinas. Son suelos jóvenes y de escaso desarrollo a causa de la aridez y la falta de vegetación. En áreas de levantamientos marinos predominan los procesos de acumulación de sales, por lo que encontramos Calcisols y Solonchaks (Fluvisols en el caso de las áreas de deposición de ríos y Arenosols por el efecto del viento). Las estribaciones andinas en forma de colinas se derivan de rocas duras, dando lugar a la formación de Regosols y Leptosols.

Los valles colombianos de gran extensión y fertilidad se corresponden con el valle del Cauca y el del Magdalena. Son planicies aluviales conformadas por los planos de inundación y sus terrazas asociadas. Los planos de inundación tienen los clásicos componentes de bancos, bajos y cubetas o esteros. Se corresponden con climas cálidos, de lluvias estacionales y con diversos materiales aluviales, normalmente jóvenes. Los procesos dependen en gran medida del drenaje. Así, en los bancos más altos, bien drenados y de texturas gruesas, hay poca acumulación de materia orgánica y formación de estructura y escaso lavado de bases; en las zonas intermedias puede haber mayor acumulación de materia orgánica, translocación de arcillas y moderados cambios minerales, mientras en las más bajas hay fuertes ganancias de materia orgánica y fenómenos de formación de horizontes vertidos y de hidromorfismo por el mal drenaje. Los suelos más comunes en estas áreas son: Fluvisols, Phaeozems, Vertisols, Stagnosols y Gleysols. En las terrazas, por su antigüedad, los procesos están más orientados hacia la translocación de arcillas, lavado de bases y transformaciones minerales, dando como resultado Luvisols y posteriormente Acrisols.

Rincón de la Vieja es uno de los cinco volcanes activos en Costa Rica. En el Parque Nacional del mismo nombre se pueden observar las manifestaciones de la intensa actividad geológica: fuentes termales que dan lugar a quebradas de agua muy caliente; lagunas solfatáricas ocupadas por pequeñas depresiones en las que el agua lodosa burbujea continuamente, orificios por donde se elevan chorros de vapor, particularmente durante la estación lluviosa, y volcancitos de lodo en formas y dimensiones muy variadas. (MVR)

Procesos de formación más comunes en México y Centroamérica

1. Región mexicana

Muchos son los procesos que han esculpido el suelo mexicano. Su origen es una historia singular, ya que, a diferencia de otras áreas continentales formadas por grandes placas tectónicas como los Andes sudamericanos, el territorio de México es el resultado de la fusión de muchas placas de orígenes y edades muy diversas. Podemos encontrar cuatro placas: la de Norteamérica, la del Pacífico con la Península de Baja California, la de Cocos al sur y la del Caribe al este. Su entrechoque ha formado montañas y volcanes, de entre los que destaca el Eje Neovolcánico, con más de 900 km de longitud y de 50 a 250 km de ancho, el cual se extiende desde la costa del Pacífico hasta los litorales del Golfo de México. Se formó hace más de 20 millones de años y separa las dos zonas biogeográficas más visibles de este país: Aridoamérica y Mesoamérica (al sur del Eje. Ver Glosario para Mesoamérica).

En Aridoamérica (al norte del Eje), sobresalen los procesos edáficos típicos de climas áridos: cementación, salinización y vertisolización. La cementación es favorecida por una abundancia de carbonatos o sulfatos de calcio en rocas madre, o bien en mantos freáticos poco profundos que al depositarse en las zonas bajas cementan la masa del suelo con la ayuda de una temperatura elevada en el suelo.

La salinización ocurre por evapotranspiración excesiva y por la influencia natural de los 11.000 km de litoral. En las zonas salinas la capa de agua freática está sobresaturada de sales. Cuando asciende por elevación capilar, puede llegar a alcanzar la superficie del suelo. Por la intensa radiación solar este agua se evapora y las sales solubles se acumulan o precipitan. Durante la cristalización, las sales llenan los poros y espacios vacíos del suelo, dispersando las partículas y manteniendo una consistencia friable del suelo aún en estado seco.

La vertisolación es un proceso complejo que puede sintetizarse de la siguiente manera: proceso de inversión del suelo, movimiento del suelo por agrietamiento, expansión y dilatación, formación de facetas de deslizamiento con cutanes de presión y desarrollo en la superficie del terreno de microrelieve gilgai (tal y como se explica en la página 26).

Por otro lado, en Mesoamérica ocurren con más frecuencia procesos asociados a una mayor humedad: gleyzación, lixiviación y humificación entre los más conocidos. El proceso de intemperismo es mucho más intenso en los climas más lluviosos y cálidos debido a la acción de la hidrólisis sobre los minerales primarios de las rocas originales. Cuando el proceso de acumulación de hematita y goethita es intenso, son comunes las coloraciones rojizas en el suelo y la formación de nódulos duros ricos en hierro (ver Ferralitización, página 27).

La existencia de abundante biomasa vegetal en estos lugares genera mayor cantidad de material muerto sobre la superficie, lo que, asociado al predominio de ácidos húmicos (ver "humus" y "humificación" en el Glosario) poco móviles, a la existencia de una alta cantidad de bases (especialmente calcio) y a la presencia de condiciones climatológicas con periodos secos, resulta en la disminución de la mineralización de los residuos orgánicos, conduciendo a una mayor acumulación de materia orgánica en forma de humus.

2. Áreas volcánicas: el Eje Neovolcánico

El proceso más característico que se produce en los suelos volcánicos es la formación de alófana (andosolización). Este compuesto se forma bajo condiciones de mediana a alta acidez en medios saturados o muy húmedos, por la rápida meteorización de vidrios volcánicos o, menos frecuentemente, a partir de feldespatos. A través de procesos de envejecimiento y cristalización la alófana puede originar otros minerales como la metahaloisita o la imogolita.

En el caso particular del Eje Neovolcánico, el proceso más importante es el de andosolización, resultado de la hidrólisis de la ceniza volcánica gracias al buen drenaje en climas húmedos (en los climas secos estos suelos pueden formarse sólo a partir de cenizas básicas recientes). Existe otro proceso de andosolización en el que los quelatos (ver Glosario) están saturados con aluminio relativamente inmóvil (esto es más propio de los Andosols sudamericanos que de los Andosols mexicanos). La características más importantes de estos suelos volcánicos son: alta fijación de fosforo, alta retención de humedad y baja densidad aparente. Estos suelos son sensibles a la erosión hídrica y eólica.

3. Islas del Caribe

Las Islas del Caribe, también llamadas Antillas, surgen en dos etapas bien diferenciadas (conocidas como "Arcos de Islas" y "Periodo Platafórmico"). Se dividen en Antillas Mayores (Cuba, La Española: Haití-Santo Domingo, Puerto Rico y Jamaica) y Antillas Menores (Guadalupe, Martinica, Dominica, Trinidad y otras).

La formación de suelos en estas Islas está condicionada por varios factores, pero principalmente por los procesos geomorfológicos y el clima. Los primeros dan lugar a tres formas del relieve: montañas, alturas y llanuras. El clima tropical, influye en la transformación de las sustancias minerales y el lavado de sustancias, llegando a formarse suelos muy ácidos.

Así, en las regiones montañosas, en relieves estables pueden ocurrir procesos de ferralitización en ocasiones acompañados de lixiviación y con potentes cortezas de intemperismo (ver Glosario). En estos casos pueden estar presentes suelos Ferralsols férricos, Acrisols y Alisols. Sin embargo, en el caso de los relieves inestables, en ocasiones jóvenes, la transformación de sustancias minerales da lugar únicamente a la sialitización (ver Glosario), con suelos jóvenes como Cambisols y Phaeozems (o Luvisols si se produce lixiviación).

En las llanuras jóvenes a partir de sedimentos arcillosos ricos en esmectitas, ocurre la vertisolización, con formación de Vertisols y también pueden estar presentes los procesos aluviales, dando lugar a Fluvisols y la gleyzación, con formación de Gleysols. El proceso de acumulación de turba no es muy común (sólo se presenta de forma significativa en las Antillas Mayores, como p. ej. en Cuba, formando Histosoles).

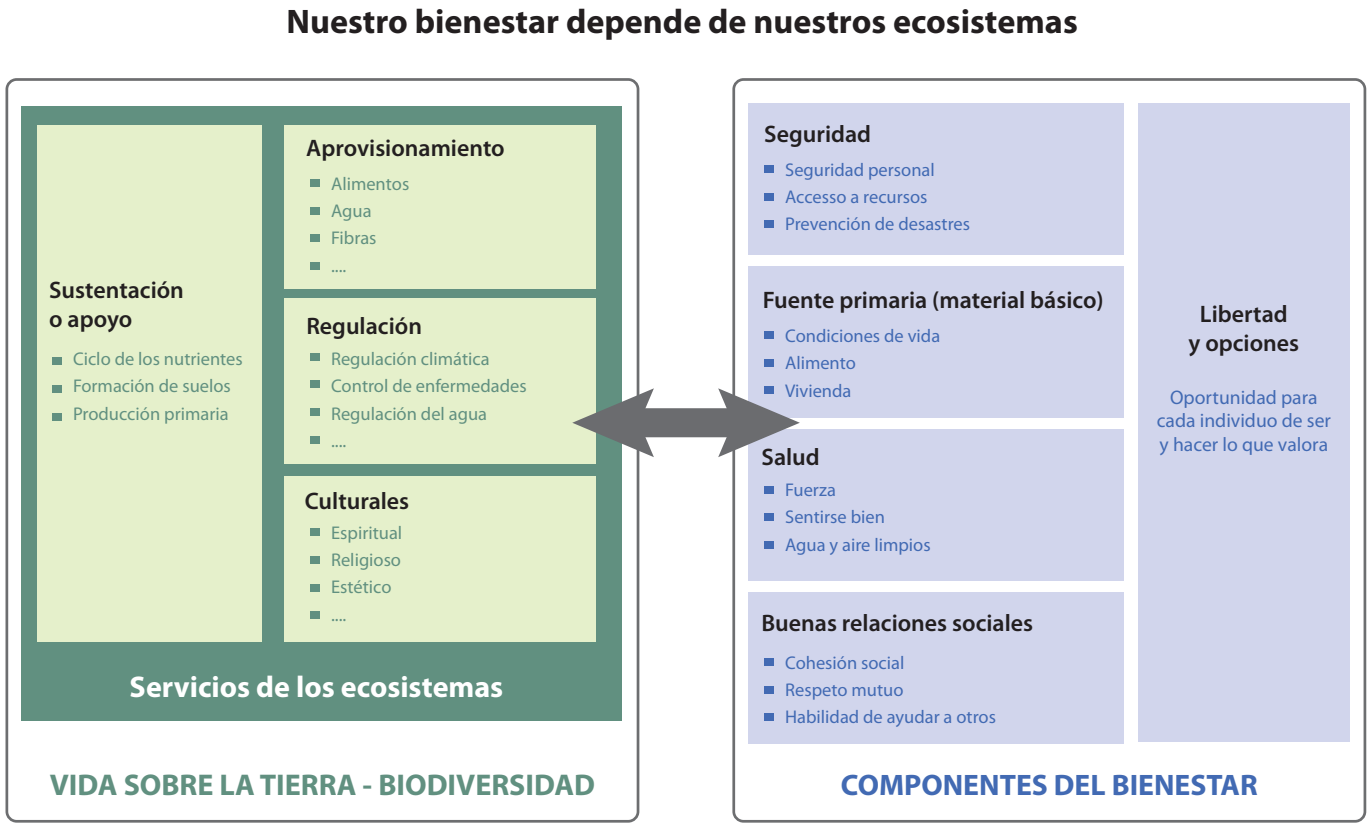
En las llanuras kársticas del Neógeno (ver Glosario) los suelos han evolucionado a través de la ferralitización, la nitidización y la lixiviación, originando Ferralsols, Nitisols y Lixisols, respectivamente. Los Nitisols aparecen en la mayoría de las Islas del Caribe.

En estas islas el vulcanismo se manifiesta poco, a diferencia de lo que sucede en México y Centroamérica. Sólo está presente en tres Islas: Martinica, Dominica y Guadalupe. A partir de los materiales volcánicos la andosolización forma Andosols.

Funciones clave del suelo

Aunque muchas veces no se aprecie como tal, el suelo es el centro de casi todos los procesos de los que dependen los ecosistemas y, por ende, el bienestar de la Humanidad; proporciona, regula y hace de soporte de numerosos servicios de los ecosistemas, de los cuales dependen la seguridad alimentaria, el refugio, control de inundaciones, control de enfermedades y patrimonio cultural, y lo hace a través de cinco funciones fundamentales:

- *Medio físico: hábitat y biodiversidad* – El suelo es el soporte sobre el que se desarrollan las plantas, a la vez que es el hábitat para la fauna y microorganismos del suelo. Ofrece un ambiente muy diverso desde el punto de vista físico, químico y biológico. Los asentamientos humanos dependen de la provisión de alimentos, fibras y combustibles, procedentes de cultivos agrícolas y forestales, que proporciona el suelo.
- *Ciclos de nutrientes* – El suelo almacena, libera y recicla los nutrientes y otros elementos esenciales para la vida. Durante estos procesos biogeoquímicos, los nutrientes son transformados en componentes de fácil absorción para las plantas, almacenados en el suelo, incorporados al agua subterránea o liberados a la atmósfera.
- *Ciclo hidrológico* – El suelo actúa como regulador del drenaje, flujo y almacén de agua; así, queda disponible para los organismos del suelo y los acuíferos se pueden recargar. La compactación puede anular la capacidad del suelo para realizar estas funciones y propiciar eventos potencialmente catastróficos como las avenidas.
- *Filtro y amortiguador* – El suelo actúa como un filtro que protege la calidad del agua, del aire y de otros recursos. Las sustancias tóxicas o el exceso de nutrientes pueden ser regulados, de manera que no estén disponibles para los organismos vivos.
- *Soporte para las actividades humanas y provisión de principios activos medicinales* - Las estructuras construidas por el ser humano se asientan sobre el suelo, el cual también alberga los tesoros arqueológicos. Proporciona el medio donde cultivar los alimentos y también tiene una influencia en la salud humana, ya que muchas medicinas, como algunos antibióticos, se sintetizan a través de bacterias y hongos del suelo.



Fuenta: Evaluación de los Ecosistemas del Milenio

Relación entre los servicios provistos por los ecosistemas y el bienestar humano. Las funciones del suelo juegan un papel fundamental en casi todos los procesos de los ecosistemas. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio define los "servicios ecosistémicos" como aquellos beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas. Esos beneficios pueden ser de dos tipos: directos e indirectos. Se consideran beneficios directos los servicios de aprovisionamiento y los servicios de regulación. Los beneficios indirectos son los servicios de apoyo. Hay también bienes "no materiales" que se clasifican como servicios culturales. (MEA) [5]

Como sucede con algunos parámetros edáficos, las funciones del suelo son difíciles de medir directamente, especialmente cuando se trata de grandes áreas. Por eso, para poder evaluar la calidad y funcionamiento del suelo muchas veces es necesario recurrir a otros indicadores relacionados con dichas funciones.

Alguno de estos indicadores de calidad son descriptivos y de aplicación en el campo (p. ej. si el drenaje es rápido o no) mientras que otros, cuantitativos, han de ser evaluados a través de análisis de laboratorio (p. ej. el valor de pH o el contenido de carbono). Los indicadores se pueden agrupar en tres categorías: químicos (p. ej. la conductividad eléctrica, para poder evaluar los requerimientos nutricionales de las plantas), físicos (p. ej. características hidrológicas del suelo, como la retención de agua, para poder evaluar la estructura) y biológicos (p. ej. los ciclos de nutrientes para evaluar la respiración del suelo). El contenido en materia orgánica trasciende estas categorías, al estar relacionado con todas las funciones y ser al mismo tiempo un indicador de la calidad del suelo.

Ciclos de nutrientes

Se entiende por ciclo de nutrientes la transferencia de elementos entre el suelo, las plantas y la atmósfera. En un ecosistema natural y equilibrado, esta transferencia es autosostenible y cíclica. En el diagrama de la derecha se ilustra de manera general este proceso. Los distintos elementos tienen diferentes "ciclos de vida". Mediante procesos de transformación, estos elementos se crean, almacenándose en el suelo en formas inorgánicas u orgánicas. Si las condiciones lo permiten, algunos elementos son consumidos por los organismos, los cuales, al morir y descomponerse, devuelven los elementos a la tierra para que el proceso pueda continuar.

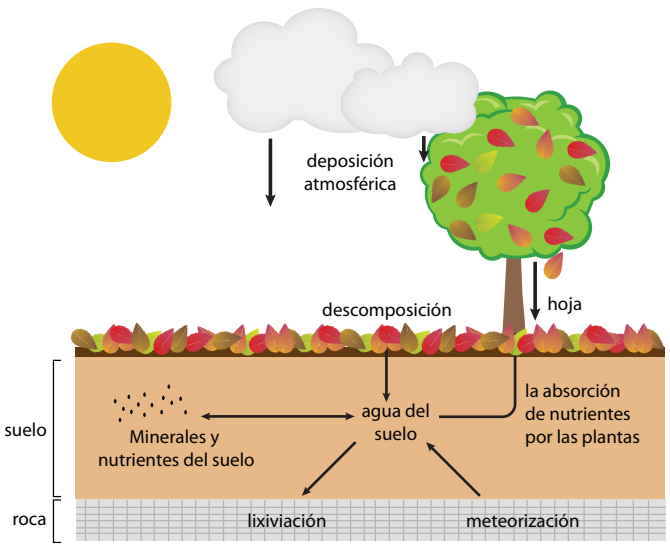
Aunque cada nutriente tiene un ciclo específico, varios elementos aparecen en más de un ciclo. Algunos ciclos, como los del nitrógeno, el carbono, el oxígeno y el azufre, implican transferencias entre la atmósfera, el suelo y las plantas, mientras que otros pueden desarrollar su ciclo únicamente bajo tierra. Las fases más importantes de estos ciclos se refieren al intercambio de nutrientes entre tres ámbitos principales:

- Almacenamiento en el suelo en forma inorgánica: en cada temporada de crecimiento, las raíces de las plantas sólo pueden acceder a una pequeña fracción de las reservas inorgánicas del suelo de fósforo, potasio y calcio, elementos procedentes de la meteorización de los minerales, la lluvia y las partículas presentes en la atmósfera, la mineralización de la materia orgánica y la aplicación de fertilizantes inorgánicos. En estos casos, los nutrientes se componen de iones en la solución del suelo e iones intercambiables adsorbidos por los minerales de arcilla y materia orgánica (véase a continuación);
- Almacenamiento en los organismos vivos en/sobre el suelo: engloba los nutrientes almacenados en animales, plantas y microrganismos. Para los elementos con ciclos rápidos (p. ej. el potasio), el almacenaje de esta forma es muy significativo. Cuando los organismos mueren, se descomponen y pasan a formar parte de las reservas orgánicas del suelo.
- Almacenamiento en/sobre el suelo en los restos de los organismos: de esta manera se cierra el ciclo, al descomponerse los restos de los organismos vivos (ver página 24).

Como resultado, existen importantes diferencias en la distribución de los elementos dentro del suelo. Los nutrientes son liberados en profundidad por la meteorización de los minerales y después son absorbidos por las raíces de las plantas, para a continuación pasar a las partes aéreas de las mismas y, seguidamente, redepositarse en el suelo en forma de materia orgánica fresca. Con el aporte de la precipitación se enriquecen las reservas de la superficie del suelo. El nitrógeno tiende a acumularse en el horizonte A, rico en materia orgánica, y disminuye gradualmente con la profundidad. El fósforo se comporta de manera similar, pero por su escasa movilidad, el 90% tiende a permanecer en los primeros 30 cm del suelo. En el caso del potasio, la cifra se acerca al 50%. El azufre también tiende a acumularse en la superficie en ambientes templados, aunque en el caso de los suelos tropicales se dan concentraciones más altas en el subsuelo.

En realidad, cada ciclo es un proceso de equilibrio entre las entradas y salidas de nutrientes. Las entradas pueden ser naturales, como la fijación biológica de nitrógeno, o desde fuera del sistema (p. ej. fertilizantes orgánicos e inorgánicos). Las salidas de nutrientes incluyen su eliminación completa del sistema a través de las cosechas, el viento, la erosión por agua y la lixiviación.

Una de las principales fuentes de nutrientes de las plantas es la materia orgánica del suelo, la cual mejora las propiedades biológicas, químicas y físicas del mismo. Los residuos vegetales son la principal fuente de materia orgánica del suelo, mientras que el estiércol y la orina son fuentes secundarias. En los campos de cultivo se deben aplicar grandes cantidades de insumos orgánicos con el objetivo de mejorar los niveles de materia orgánica. Sin embargo, muchos métodos de cultivo actuales consumen muchos más nutrientes de lo que devuelven al suelo. La situación es particularmente evidente en el monocultivo de cereales, en el cual se elimina casi toda la planta desde el suelo.



Esquema genérico del ciclo de los nutrientes. Los nutrientes del suelo pueden tener su origen en la atmósfera, la descomposición de los residuos vegetales o la meteorización mineral. Estos quedan retenidos por la materia orgánica y las partículas de arcilla, que los liberan lentamente en la solución acuosa del suelo para que puedan ser utilizados por las plantas. Sin embargo, los nutrientes pueden perderse a través del lavado. (MSS)

El agotamiento de los nutrientes contribuye directamente a la disminución de la producción de alimentos per cápita en las pequeñas explotaciones agrícolas. Sus propietarios no son capaces de aplicar los nutrientes suficientes debido al alto precio de los fertilizantes inorgánicos o a la falta de maquinaria agrícola. La creciente presión sobre la tierra hace que aquellas prácticas tradicionales, como los largos periodos de barbecho, que mejoran el contenido en nutrientes del suelo y restauran su fertilidad sean generalmente difíciles de aplicar.

Las posibles soluciones pasan por practicar una agricultura de conservación que ayude a mantener los niveles de nutrientes naturales a través de prácticas sostenibles de manejo de la tierra o la combinación de abonos orgánicos con insumos inorgánicos. Otras fuentes de insumos orgánicos, como los residuos orgánicos domésticos, residuos agro-industriales y aguas residuales ricas en nutrientes, podrían contribuir a la eficiencia de los ciclos de nutrientes, aunque teniendo cuidado de evitar la contaminación del suelo y de los productos alimenticios. Por último, una mejor comprensión de los procesos químicos y biológicos que determinan la disponibilidad de los nutrientes del suelo para las plantas, permitirá optimizar los ciclos de los nutrientes y maximizar la eficiencia de su uso.

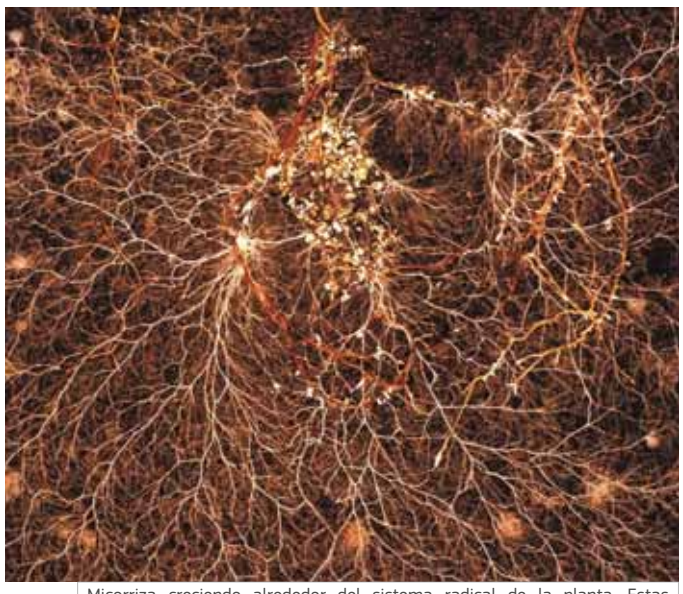
El ciclo del nitrógeno

El nitrógeno (N) es uno de los elementos críticos para las plantas, ya que forma parte de la estructura de la clorofila, los ácidos nucleicos (ADN, ARN) y las proteínas. A pesar de ser abundante en el aire, el nitrógeno atmosférico no puede ser aprovechado por las plantas y animales, por lo que debe pasar a un estado en el que pueda ser utilizado. El agua de lluvia contiene cantidades sustanciales de nitrógeno en forma de amonio (NH_3) y nitrato (NO_3^-). Ambos elementos son de fácil absorción por las raíces de las plantas, una vez que se hallan en el suelo. La descomposición de la materia orgánica da lugar a la mineralización del nitrógeno orgánico, liberándose ión amonio (NH_4^+) en el suelo. Bajo ciertas condiciones de temperatura, humedad, aireación y con la presencia de determinadas especies de vegetales, el ión amonio se oxida y pasa a nitrato (NO_3^-), ambos disponibles para las plantas. El nitrógeno también puede darse en el suelo como resultado de la meteorización mineral, orina o por la aplicación de fertilizantes minerales.

Existen ciertos tipos de bacterias (p. ej. género *Rhizobium*) que pueden convertir el nitrógeno atmosférico (N_2) en amoniaco (NH_3) a través de una relación simbiótica con los nódulos de las raíces de las plantas leguminosas, como el trébol (género *Trifolium*) o la soja (*Glycine max*). Esto se denomina fijación de nitrógeno. Hemos aprendido de estas simbiosis que se desarrollan en condiciones naturales y ahora las usamos para hacer más eficiente nuestra agricultura. Las bacterias fijadoras de nitrógeno capturan dicho elemento atmosférico para que pueda ser utilizado por la planta. De esta manera, es posible producir unas 45 millones de hectáreas de soja en Latinoamérica sin que sea necesario fertilizar con nitrógeno.

Las plantas transforman el amoniaco en óxidos de nitrógeno y aminoácidos, los cuales forman proteínas y otras moléculas. A cambio, la planta proporciona azúcares a las bacterias fijadoras de nitrógeno y mantiene un ambiente anaeróbico (libre de oxígeno) cerca de las raíces para que las bacterias puedan existir. El pH del suelo, los niveles de materia orgánica y la disponibilidad de micronutrientes como el cobre, pueden influir en la distribución y actividad de estas bacterias.

En los ecosistemas naturales, el crecimiento de la planta es relativamente lento y la captura anual de nitrógeno es baja (p. ej. 30 kg N/ha) si se compara con la de los cultivos, mucho más demandantes en nitrógeno (p. ej. 500 kg N/ha). Por otro lado, la cosecha supone generalmente la extracción de materia orgánica que en el ciclo natural habría pasado a descomponerse sobre el suelo. Esto significa que hay una exportación de N y otros elementos del suelo a otro lugar. En estos casos el ciclo natural del N es insuficiente para mantener el crecimiento óptimo del cultivo y es necesario añadir N al suelo de manera artificial. La adición de fertilizantes para contrarrestar la deficiencia en N del suelo, resulta en un aumento del crecimiento vegetal, mayor cantidad de proteínas y mayores rendimientos en la producción de grano y frutos.



Micorriza creciendo alrededor del sistema radical de la planta. Estas relaciones simbióticas permiten a la planta explorar más volumen de suelo del que alcanza con sus raíces, al sumársele a esta labor las hifas del hongo. Así, capta con mayor facilidad ciertos elementos (fósforo, nitrógeno, calcio y potasio) y agua del suelo. La protección brindada por el hongo hace que, además, la planta sea más resistente a los cambios de temperatura y a la acidificación del suelo derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio. Ciertas reacciones fisiológicas del hongo inducen a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada. El término se deriva del griego *mykos* (hongo) y *riza* (raíz). (IDP)

Sin embargo, el exceso de N (por encima de lo que puede ser utilizado por las plantas) puede ser lavado del suelo y terminar acumulándose en los cuerpos de agua. Bajo ciertas condiciones, esto puede provocar un crecimiento de la población de bacterias, disminuyendo así la concentración de oxígeno en el agua, hasta el punto de ocasionar la muerte de peces y otros organismos acuáticos.

El ciclo del fósforo

EL fósforo (P) es otro elemento vital para las plantas, ya que forma el esqueleto de las moléculas de AND y ARN y las membranas celulares; y regula el proceso de división celular y la formación de proteínas. La deficiencia de fósforo puede darse en áreas donde se producen grandes precipitaciones o en suelos arcillosos ácidos o calizos pobres. Los síntomas de esta falta de P son un crecimiento deficiente y manchas verde-azuladas en las hojas en lugar de amarillas. Debido al movimiento del P en las plantas, las hojas más antiguas son las primeras en presentar estos síntomas. Los frutos se vuelven pequeños y de sabor ácido.

Dado que el P es un elemento muy reactivo, nunca se encuentra como elemento libre en el medio natural. En las rocas aparece en forma de fosfato (PO_4^{3-}), mientras que fuera de éstas se libera a partir de la descomposición de la materia orgánica, dando lugar a los ortofosfatos (p. ej. $H2PO_4^-$, HPO_4^-). Estos compuestos son absorbidos rápidamente por las partículas del suelo o inmovilizados por las bacterias que se nutren de P (p. ej. *Aspergillus*). El fósforo, tanto el inorgánico como el presente en la materia orgánica, suele estar poco disponible para las plantas.

Los suelos del trópico húmedo en LAC

El trópico húmedo de América Latina tiene una mayor proporción de suelos ácidos que sus contrapartes en Asia y África, con el 81% de la superficie cubierta por Ferralsols, Acrisols, Alisols y Umbrisols (Oxisoles, Ultisoles y Dystropepts según la clasificación americana, Soil Taxonomy). Las limitaciones del suelo más comunes en la Amazonia son la deficiencia en fósforo (90% del área), toxicidad por aluminio (73%), la sequía (53%), y las bajas reservas de nutrientes (50%) [26].

Como consecuencia de las bajas concentraciones de P disponible en el suelo y la competición entre los microorganismos del suelo, muchas plantas han desarrollado una relación simbiótica con un tipo de hongo. Esta relación da lugar a las micorrizas, las cuales permiten extender y mejorar el sistema de raíces de la planta para facilitar la rápida absorción del P (ver imagen en esta página, arriba).

Los elementos del suelo y el crecimiento de las plantas

Macronutrientes

Los macronutrientes son esenciales para el crecimiento de las plantas y se necesitan en grandes cantidades [108].

Potasio (K). Es fundamental para la mayoría de las funciones de las plantas, como el control estomático, mantenimiento de la turgencia de los tejidos y del balance de cargas durante la absorción selectiva de iones a través de las membranas radiculares. También funciona como enzima en muchas reacciones bioquímicas. El potasio es muy móvil y es de fácil extracción de las hojas de las plantas para poder ser utilizado por los microorganismos del suelo y raíces. En suelos ácidos, el K puede encontrarse formando parte de minerales insolubles (micas y feldespatos), disponible parcialmente en minerales arcilloso del tipo 2:1 (ver página 24), más disponible cuando se encuentra asociado a arcillas y humus en forma de coloide, y muy disponible cuando está en disolución. El K disuelto en el suelo como ión es lavado con facilidad, aunque estas pérdidas a causa de la erosión no suponen un grave problema.

Calcio (Ca). Forma parte de las paredes celulares de las plantas. Ayuda a mantener el P disponible en la zona de la raíz, uniéndolo a otros iones. Al estar unido a las paredes celulares, no es lavado de las hojas ni circula en la planta. La deficiencia de Ca provoca un crecimiento lento, el reviramiento de las hojas jóvenes y la muerte de las yemas terminales. El Ca es lavado fácilmente del suelo.

Magnesio (Mg). Es el átomo central de la molécula de clorofila, además de una importante enzima. La deficiencia en Mg se manifiesta a través de coloración amarillenta entre las nerviaciones de las hojas. Los valores bajos de pH en el suelo disminuyen la disponibilidad de este elemento para las plantas.

Fósforo (P). De vital importancia para muchas funciones de las plantas. Es el elemento clave de la mayoría de los fertilizantes y suele ser deficiente en suelos no fertilizados. El P forma la "columna vertebral" de las moléculas de AND y ARN, regula la división celular, el desarrollo de la raíz y la formación de proteínas (ver el texto adyacente). Es responsable del aumento en el rendimiento de los cultivos.

Micronutrientes

Son elementos esenciales para el crecimiento de la planta, pero que se requieren en pequeñas cantidades (< 100 ppm de la planta). Suelen funcionar como enzimas.

Hierro (Fe). Procede de la meteorización química de los minerales. La cantidad de Fe en las plantas es varios órdenes de magnitud menor que la que se encuentra en el suelo mineral. El hierro transporta electrones en las enzimas y también desempeña un importante papel en la fijación de N y la formación de la clorofila.

Manganeso (Mn). Es un elemento crítico en funciones como la fotosíntesis, respiración y metabolismo del N. Suele ser abundante en suelos ácidos, pudiendo alcanzar niveles tóxicos si el pH es menor de 6,5. Generalmente es lavado de los suelos ácidos y tiene a acumularse en los alcalinos.

Zinc (Zn). Controla las hormonas del crecimiento en las plantas e interviene en la síntesis de proteínas. Casi la mitad de los cultivos de cereales del mundo presentan deficiencia en zinc, llevando a rendimientos escasos. Además, la deficiencia de Zn es el quinto factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades en los países en vías de desarrollo. La presencia de Zn en el suelo está asociada estrechamente a la de magnesio.

Cobre (Cu). Es especialmente abundante en suelos ácidos arenosos y un importante activador de enzimas que se encuentra fundamentalmente en los cloroplastos de las hojas.

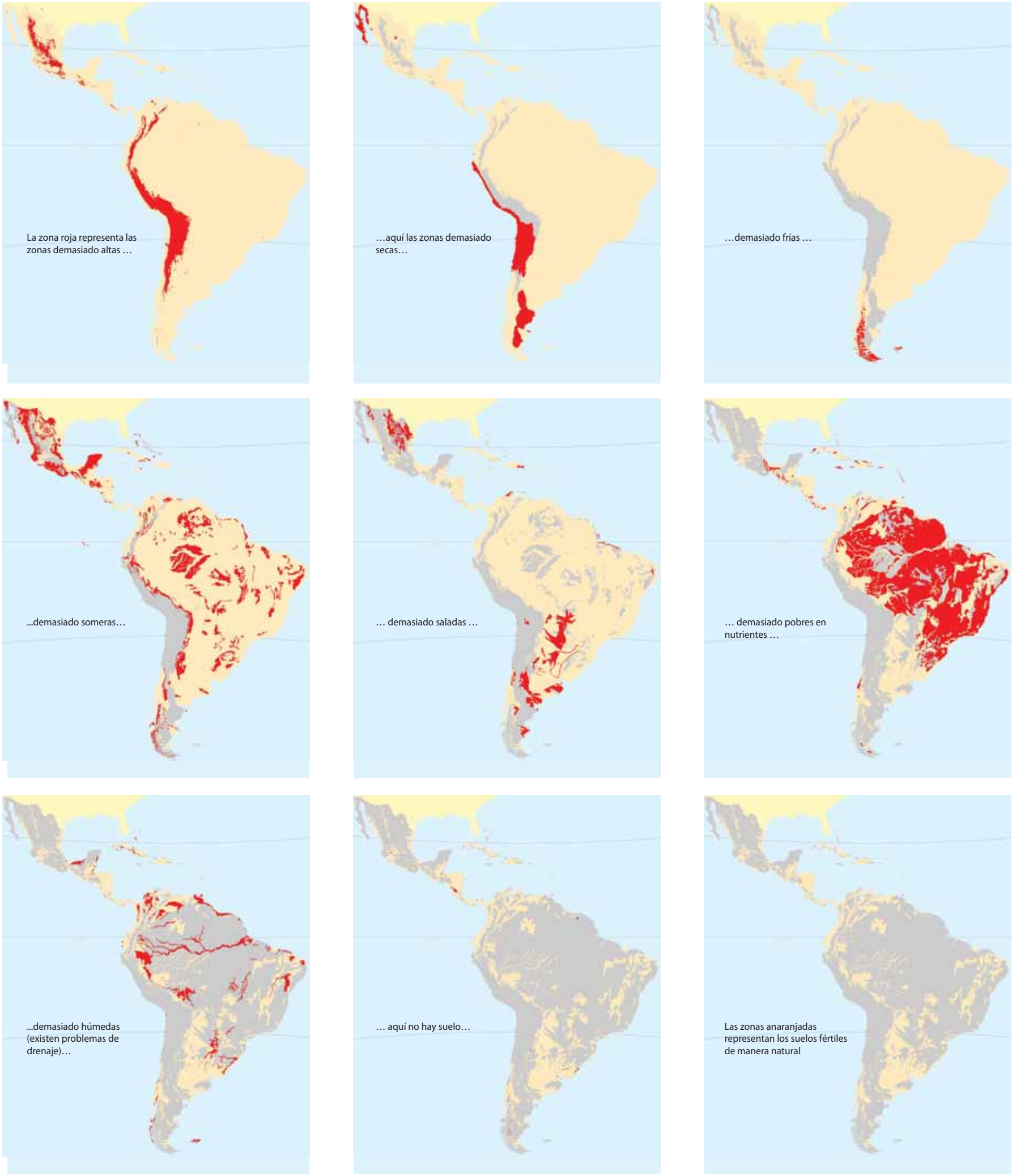
Contaminantes

Son elementos que causan inestabilidad, desorden o daños al ecosistema. Altos niveles de estos elementos pueden tener efectos tóxicos.

Aluminio (Al). Este elemento no es utilizado en cantidades significativas por las plantas. En el suelo, inmoviliza el P y aumenta generalmente la acidez y concentración de algunos cationes. El aluminio se convierte en tóxico a partir de 1 ppm para algunas plantas y sobre 15 ppm para la mayoría.

Plomo (Pb). Se une a la materia orgánica del suelo y se acumula en ciertos tejidos de las plantas. En concentración suficiente puede provocar daños cerebrales.

¿Dónde están los suelos naturalmente fértiles en LAC?



El suelo es el corazón de la seguridad alimentaria. Los suelos sanos son necesarios para mantener la vida en la Tierra: para el cultivo de alimentos y la obtención de forraje, de combustible para calentar y cocinar, de materiales para la construcción de infraestructuras y utensilios diversos.

Desgraciadamente, las condiciones necesarias para que un suelo sea fértil de manera natural poseen una distribución muy poco extensa en LAC. En esta página se ilustran las limitaciones medioambientales para la producción agrícola. Para poder evaluar la extensión de suelos potencialmente fértiles, se han eliminado aquellas zonas que presentaban algún tipo de limitación al respecto relacionada con la fisiografía, el clima y las características del suelo, que pudieran suponer un impedimento para la producción agrícola intensiva.

El primer paso ha sido descartar la extensión de terreno por encima de 2.000 msnm, lo que supone un 8% del continente. Incluso si en LAC se desempeña en algunas zonas la agricultura a esta altitud, no se puede considerar adecuada para un tipo de agricultura intensivo. Después se ha calculado el porcentaje de extensión cuyo limitante son las bajas temperaturas (1,6%) o un clima demasiado seco (4,8%).

En lo que respecta a las características del suelo, se han excluido los suelos demasiado superficiales (los cuales suman un 15,2%, a las áreas ya excluidas), demasiado salinos (5,5%), demasiado pobres en nutrientes (34%) y por último, demasiado húmedos (5,3%).

De el área restante se han excluido los cuerpos de agua y las áreas urbanas.

Los suelos potencialmente fértiles de LAC

En el mapa de arriba se muestran, sin sombrear, los suelos fértiles de manera natural, los cuales suponen aproximadamente un 25% del continente. Existen sin embargo ciertas limitaciones a nivel local, como la pendiente, que no se pueden evaluar de manera adecuada a esta escala. Los mapas que aquí se representan expresan una visión generalizada – ya que existen métodos para cultivar en lugares donde las condiciones no son óptimas de manera natural –, no obstante estos son relevantes en el debate sobre la fertilidad del suelo y la producción de alimentos.

Vida en el suelo y biodiversidad

La gran variedad y cantidad de formas de vida que existen en nuestro planeta son posibles gracias a la particular combinación de condiciones que ofrecen la luz del sol, nuestra atmósfera con su efecto protector, el agua y la delicada membrana que recubre la parte expuesta de la tierra: el suelo. En la Tierra, la vida se desarrolla bien en los océanos (71% de la superficie del planeta) o bien en las masas continentales. En tierra firme (aquella superficie que no está cubierta por hielo o agua), la vida tiene sustento en el suelo. Aunque estamos habituados a admirar la sorprendente biodiversidad que se genera sobre el mismo en forma de diferentes paisajes (p. ej. praderas, bosques, selvas, los campos de cultivo), también hay vida dentro del suelo, ya que la mayoría de las funciones del mismo dependen de la diversidad de formas de vida que alberga por debajo de su superficie (multitud de especies, géneros, familias y comunidades de organismos que componen la biodiversidad del suelo). Por ello, a veces se hace referencia al suelo como capa biológica, un producto de la actividad de los distintos organismos que en él habitan.

La importancia del suelo radica en su capacidad de sostén de la vida vegetal. Ésta (el principal tipo de productores primarios), mediante la fotosíntesis es capaz de fijar el carbono al producir biomasa vegetal, formando así la base de las cadenas tróficas (o alimenticias) de los seres vivos. Los herbívoros dependen de esta biomasa vegetal, y los carnívoros a su vez se alimentan de ellos. Los desechos resultantes de estas relaciones sirven de alimento a los organismos descomponedores. De esta manera el suelo es el generador principal de productos y servicios terrestres.

Sabemos que el suelo funciona como un gran organismo vivo capaz de mantener en el tiempo una inmensa y compleja actividad biológica: respira y cambia de manera constante. Esto es posible gracias a que los descomponedores eliminan gran cantidad de residuos, que de otra manera se acumularían e impedirían el desarrollo de la vida. La actividad microbiana en el suelo convierte las estructuras de carbono de los residuos de las plantas en distintos tipos de moléculas orgánicas, colectivamente llamados materia orgánica del suelo (MOS). Inicialmente, la estructura de estos residuos es simple, ya que se encuentran en forma de azúcares, aminoácidos y celulosa, fácilmente utilizables por muchos organismos. Su vida útil es relativamente corta como consecuencia de su fácil descomposición. Pero en la medida en que son utilizados y reutilizados sucesivamente por otros seres vivos de mayor tamaño, se van transformando en sustancias más complejas llamadas humus (ver página 29). El humus está íntimamente ligado con la fase inorgánica o mineral del suelo, y al no ser ya una fuente de energía, permanece en el suelo por periodos de tiempo relativamente prolongados. Los procesos que se desarrollan en el suelo son responsables del color y la estructura del mismo, propiedades necesarias para clasificar los suelos y evaluar su estado de salud.

Por primera vez en la Historia, nuestra civilización es ahora más urbana que rural y las actividades humanas han intensificado el uso del suelo. Prácticamente no existen lugares naturales que no hayan sido intervenidos por el hombre.

La intensificación del uso agrícola del suelo causa conflictos. Los suelos idóneos para la agricultura son generalmente los mejores para el desarrollo de las ciudades y su infraestructura. Con la intensificación, se abusa del suelo, lo cual conlleva su deterioro y la limitación o eliminación de sus funciones y capacidad productiva. La pérdida de la cobertura vegetal, la sobre-preparación de la tierra y la extracción permanente de nutrientes, causan erosión y disminuyen tanto el potencial productivo de los suelos como su biodiversidad, además de, en muchas ocasiones, contaminarlo con sustancias tóxicas (p. ej. residuos industriales, pesticidas), disminuyendo igualmente su capacidad productiva.

Reciclaje de comida

En los Llanos colombianos existe una diminuta lombriz que se alimenta de las excreciones de otra lombriz de mayor tamaño (*Martiodrilus sp.*) siguiendo los canales verticales excavados por ésta. El resultado es una combinación de pequeños pellets fecales con nutrientes disponibles para las plantas.

Las raíces utilizan los nutrientes de los pellets producidos por las lombrices. (JJJ)

Afortunadamente, en el suelo encontramos también una maravillosa propiedad: la resiliencia o capacidad de resistir los cambios (de manera limitada) para mantener su condición natural. Sin embargo, para que la resiliencia funcione, el ser humano debe tener una mayor conciencia de los procesos naturales y, ahora más que nunca, de los límites en los cuales puede funcionar el suelo incluyendo los nuevos eventos del cambio climático.

Biodiversidad del suelo en LAC

En los suelos tropicales encontramos un gran número de organismos, lo que en parte se explica por el enorme tamaño de estas regiones y su alto grado de endemicidad (es decir, la ocurrencia de especies que sólo existen en esas áreas exclusivamente). Por ejemplo en Brasil se han descrito más de 50.000 especies que habitan en el suelo y entre la hojarasca (ver tabla adyacente). Sólo algunas de ellas son de gran tamaño, como algunas lombrices de tierra; la mayoría son organismos microscópicos (p. ej. nemátodos, lombrices diminutas) o pequeños macroinvertebrados (p. ej. insectos, escarabajos y hormigas). Los suelos tropicales también albergan una gran diversidad de especies de hongos.

Los organismos del suelo pueden tener grandes efectos a nivel global. Por ejemplo, la lombriz de tierra *Pontoscolex corethrurus*, original del norte de América del Sur, se ha expandido en los últimos 600 años a la mayoría de las regiones tropicales del mundo. En algunos casos, cuando su población incrementa de manera significativa en lugares despejados de la selva, provoca la compactación de la superficie del suelo, debido a su alta producción de residuos muy finos, haciendo que el agua no pueda infiltrarse, y como consecuencia impactando negativamente en el crecimiento de las plantas. Otra especie de lombriz, *Enantiodrilus borellii*, tiene una influencia aún mayor y realmente domina el paisaje de las sabanas del oriente boliviano con sus torres que pueden alcanzar los 30 cm de altura. Estas torres parecen ser la respuesta a las frecuentes inundaciones que se producen en la región (provincia de Beni). Estos "ingenieros" del ecosistema, también pueden tener efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas, como es el caso de la lombriz anécica (género *Martiodrilus*) de los Llanos colombianos, al mejorar la calidad del suelo. La eliminación de esta lombriz conduce a la desestabilización del sistema de suelo.

La diversidad de hormigas en las regiones tropicales, especialmente en los bosques, es también considerable. Por ejemplo, se pueden encontrar más de 500 especies en un área de 10 km^2. Actualmente, hay 12.513 especies descritas a nivel mundial, de las cuales aproximadamente el 25% se encuentra en América del Sur.

¿Sabías que ...?

- En una parcela de terreno de 10 x 10 m en Perú se encontraron 114 especies de hormigas.
- En un solo árbol de la selva amazónica se capturaron 82 especies de hormigas.

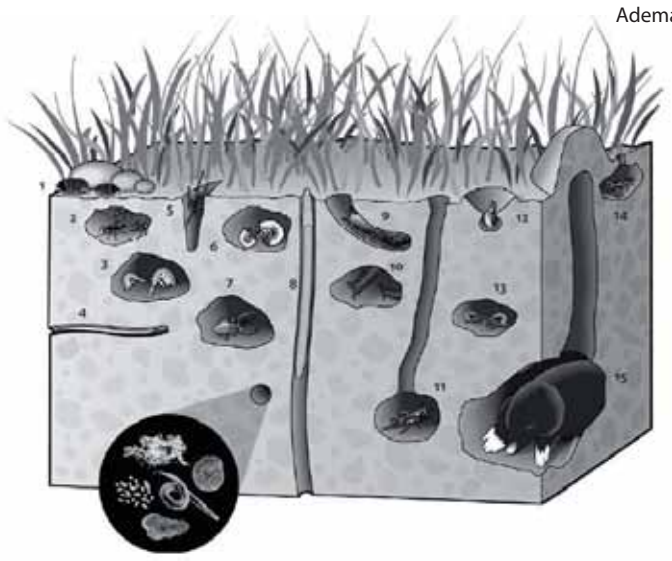
Grupo taxonómico Nombre común *(científico)*	Número de especies[1] Brasil	 Mundo
Microfauna		
Protozoos (Protista)	[3.060-4.140]	36.000
Nemátodos (Nematoda)	[1.280-2.880]	15.000
Rotíferos (Rotifera)[2]	457	2.000
Tardígrados (Tardigrada)[2]	67	750
Mesofauna		
Dipluros (Diplura)	-	659
Ácaros (Acari)	1.500	45.000
Enquitreidos (Enchytraeidae)	100	800
Pseudoescorpiones (Pseudoscorpionida)	>100	3.235
Colémbolos (Collembola)	199	7.500
Macrofauna		
Hormigas (Formicidae)	2.750	11.826
Escarabajos (Coleoptera)	30.000	350.000
Lombrices (Megadriles)	306	3.800 [8.000]
Opiliones (Opiliones)	951 [1.800]	5.500
Ciempiés (Chilopoda)	150	2.500
Milpiés (Diplopoda)	-	10.000
Scorpiones (Scorpionida)	119	1.259
Caracoles (Gastropoda)	670 [2.000]	30.000
Araneae (Aranae)	2587 [10.000]	38.884
Termitas (Isoptera)	290 [600]	2.800
Onicóforo (Onychophora)	4	90
Oniscídeos (Isopoda)[2]	135	4.250

1. Número de especies clasificadas.
2. Incluye especies terrestres y acuáticas.
3. Fuente: modificado de Brown, G.G. et al., 2006. Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. Sistemas Agroflorestais: Bases científicas para o desenvolvimento sustentado. Campos dos Goytacazes, UENF, 6, Parte IV, p. 217-242).

Los números entre paréntesis corresponden a estimaciones.

Arriba: número de especies de organismos del suelo en Brasil, en comparación con el resto del mundo.[3]

Lombriz gigante (*Rhinodrilus sp.*) de la Amazonia brasileña. Estas lombrices pueden llegar a medir 2 m de longitud. Forman parte de la dieta de algunas poblaciones nativas amazónicas. (BRCP)



Además de seres microscópicos como bacterias, nemátodos, hongos y protozoos.

Izquierda: ejemplos de la vida en el suelo:

1. Cochinillas o bichos bola
2. Hormigas
3. Colémbolos
4. Lombrices de tierra que habitan cerca de la superficie
5. Arañas
6. Melolóntidos
7. Pseudoescorpiones
8. Lombrices de tierra que viven a grandes profundidades
9. Babosas
10. Miriápodos
11. Grillo
12. Larvas de hormiga león
13. Ácaros
14. Dermápteros ("tijeretas")
15. Topo

No sólo existe vida en la Tierra, sino dentro de ella. En el diagrama de arriba se muestran algunos ejemplos de algunos de los habitantes del suelo y sus hábitats. Esta presencia de organismos vivos es uno de los factores que convierte el suelo en un recurso renovable. (ECOM/LJ)

Suelo y herencia cultural

Conservación del patrimonio cultural y el paisaje

El suelo almacena y protege gran parte de nuestro patrimonio cultural, como los restos arqueológicos y el paisaje. Los suelos de LAC están repletos de esta herencia, ya que, a lo largo de distintas épocas, han habitado sobre ellos desde pequeñas comunidades indígenas hasta grandes civilizaciones, como los Mayas, los Aztecas o los Incas, haciendo uso a su paso de los recursos naturales y modificando el paisaje a través de sus actividades. Existen numerosos ejemplos de objetos y restos humanos preservados en el suelo a lo largo de los siglos (como las momias de los Andes o, más "modernas", como las momias de Guanajuato, en México) gracias a las propiedades de un determinado suelo. También las variaciones en color y textura de los horizontes del suelo, delatan la presencia de asentamientos humanos en épocas pasadas, como sucede con las "tierras negras" o *terra preta de índio* (ver página 122).

Además de aportar material para la datación de los asentamientos, estos restos arqueológicos nos dan una idea sobre las creencias de las antiguas sociedades, a través del estudio de las prácticas de enterramiento y los objetos encontrados.

Las condiciones del suelo también modelan hábitats muy diversos, los cuales, junto con las prácticas de gestión específicas, crean paisajes muy valorados por la sociedad en su conjunto. Por ejemplo, los suelos muy fértiles y productivos dan lugar a paisajes agrícolas, como sucede en los viñedos de la zona central de Chile. En esta región se asienta la mayor cantidad de población del país y es ahí donde nacen las tradiciones más típicas del campo chileno.

Es importante preservar los suelos con alto potencial de albergar patrimonio cultural a través de una gestión adecuada. Para ello es necesario controlar las prácticas de cultivo como el arado profundo, que no debe realizarse en aquellos lugares susceptibles de albergar restos arqueológicos en la primera capa del suelo o sensibles a la erosión.

Las momias de LAC

Las características del suelo son un componente crítico en la preservación de objetos y restos orgánicos. Estos últimos (así como los objetos de origen orgánico, como por ejemplo la madera), se deterioran con gran rapidez debido a la actividad biológica y química cuando se entierran en el suelo o se sumergen en el agua. Sin embargo, pueden conservarse relativamente en buen estado en ambientes de sequedad extrema, frío, alcalinidad o de aislamiento de la intemperie o de los microorganismos. Uno de los casos más conocidos en cuanto a la conservación de restos humanos en LAC, quizás sea el de las momias incas andinas. El hallazgo de la momia "Juanita" en el nevado Ampato (Perú) en 1995 a cargo de el arqueólogo de montaña Johan Reinhard y el andinista Miguel Zárate, se hizo famoso a nivel mundial por el buen estado de conservación del cuerpo gracias a las bajas temperaturas. Los científicos estimaron que Juanita murió a los 13 ó 14 años de edad, aproximadamente entre 1440 y 1450 d.C. Se cree que fue parte de una ceremonia de capac cocha (podría traducirse como "obligación real"), una ofrenda humana frecuente en el Imperio inca en honor al dios Viracocha. Actualmente se encuentra en un museo de Arequipa, Perú, en una urna a unos -19°C. Después de Juanita, en 1999, se han producido otros impresionantes hallazgos, también en las cumbres nevadas de los Andes, que superan en estado de conservación al de la conocida momia. Se trata de las momias de Llullaillaco, un volcán peruano no lejos de la frontera con Chile, el cual albergaba en su cumbre tres cuerpos de jóvenes incas conservados casi en perfecto estado durante 500 años. Más allá del interés turístico, estos hallazgos suponen fuentes de investigaciones históricas, etnológicas, antropológicas y sociológicas que posibilitarán conocer aspectos aún discutidos del periodo prehispánico.

No tan lejanas en el tiempo, las momias de Guanajuato, en México, son igualmente un ejemplo de preservación de restos humanos gracias a las extremas condiciones del suelo. Con casi 150 años de historia, las Momias de Guanajuato se han convertido en parte de la cultura de la ciudad, muy próspera durante el virreinato español. Los cuerpos fueron enterrados en su mayoría durante un brote de cólera en dicha ciudad en el año 1833 y actualmente son una célebre atracción turística de este estado mexicano. El inventario del "Museo de las Momias de Guanajuato" cuenta con más de cien cuerpos, los cuales no fueron embalsamados, sino que su momificación se produjo de forma natural gracias a las condiciones del suelo.

Las imágenes de la izquierda corresponden al Museo de las Momias de Guanajuato. Mediante avanzadas técnicas es posible conocer la edad aproximada en el momento del fallecimiento, el entorno social y hasta se puede hacer la reconstrucción facial. (IAM)

A partir de las excavaciones realizadas en 2002 en el sitio arqueológico de Teotihuacan (en la zona central de México) en la conocida como Pirámide de la Luna, se confirmó que los teotihuacanos tenían nexos con los mayas, tras descubrir un enterramiento que conservaba varios objetos de jade (el yacimiento más cercano de este mineral se encuentra en el valle de Motagua, Guatemala); los objetos realizados con esta piedra eran sólo utilizados por miembros de familias reales o gobernantes de las sociedades mayas. Ya se habían encontrado con anterioridad enterramientos en lugares mayas que sugerían alguna relación con visitantes de Teotihuacan. Ambos grupos colaboraron uno con otro en cuestiones comerciales y de política. Arqueólogos, historiadores y antropólogos han formulado diversas hipótesis para explicar la decadencia y abandono del sitio (alrededor del año 700 d.C.); entre ellas, la más aceptada afirma que los teotihuacanos terminaron con los recursos naturales: erosionaron el suelo, el cual dejó de ser útil para la agricultura y acabaron con el agua. El lugar, de fértil, se transformó en desértico. Así en el s. VIII, la población se diseminó por el centro del país y aún más lejos, pues algunos llegaron hasta los territorios que hoy ocupan El Salvador y Nicaragua. Los aztecas descubrieron la ciudad y le dieron el nombre que hasta hoy conserva —y que significa "el lugar donde se reúnen los dioses". (CG)

Los organismos vegetales utilizan el suelo como soporte, una de las muchas funciones que cumple este medio físico del que se ocupa el Atlas. La foto corresponde a la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde, en Costa Rica, conocida por ser uno de los santuarios tropicales de vida silvestre más destacados de LAC, con gran variedad de árboles, orquídeas, helechos arbóreos, enredaderas y musgos. (MVR)

La clasificación de suelos: nombrar y agrupar

De las páginas previas se puede concluir que el suelo presenta diferentes características dependiendo de su profundidad o su localización geográfica. Exceptuando los glaciares, cuerpos de agua y zonas urbanas, el suelo cubre de manera continua la superficie terrestre. Los cambios graduales en las características del mismo hacen que muchas veces la comparación entre distintos suelos sea difícil. Para intentar solventar este problema, se han desarrollado varios métodos para su caracterización. Esta importante tarea se conoce como clasificación de suelos y es una de las ramas más avanzadas de las Ciencias del Suelo.

Clasificar no es otra cosa que agrupar en categorías, o como la palabra indica, "clases" relevantes según el objetivo de dicha clasificación. El propósito de cualquier sistema de clasificación es organizar el conocimiento de manera que las propiedades de los objetos puedan recordarse, así como comprender la relación entre ellos con un fin determinado (p. ej. la gestión del suelo). El proceso implica la formación de clases mediante el agrupamiento de los elementos en base a las propiedades que tienen en común. Clasificar ayuda a abordar la complejidad cuando hay demasiados objetos como para considerarlos de manera individual; al agrupar los elementos de acuerdo a sus similitudes de comportamiento o de propiedades, se pueden crear clases útiles para la organización del conocimiento, lo que también permite simplificar los procesos de toma de decisiones.

Las primeras clasificaciones de suelos se basaban en características individuales como la textura (limosa, arcillosa o arenosa) o el material parental (p. ej. material aluvial o gravas). A finales de 1880, el geólogo ruso Dokucháyev, hoy en día considerado el padre de las Ciencias del Suelo, fue el primero en proponer una clasificación más "científica" basada en la combinación de las características del suelo y su formación. Este enfoque, conocido como el principio genético, sigue sirviendo de guía para muchas clasificaciones nacionales de suelos. Una de sus particularidades es que distingue aquellas características de origen geológico de las que son resultado de los procesos formadores de suelo.

Los diferentes enfoques de la clasificación de suelos

A lo largo del s. XX se desarrollaron nuevos sistemas de clasificación de suelos como resultado del creciente interés por la conservación y gestión de este recurso. Estos sistemas hicieron énfasis en distintos aspectos, tanto básicos como aplicados. Algunos sistemas se basan en identificar rasgos naturales, mientras que otros se centran en características técnicas.

Las clasificaciones naturales se ocupan de la diferenciación de los suelos en base a sus propiedades intrínsecas, comportamiento u origen, sin hacer referencia al uso que se hace de ellos. Algunos ejemplos son:

i. Agrupación según las principales características ecológicas, como por ejemplo los suelos de los desiertos o del bosque tropical lluvioso. Estos grupos, geográficamente homogéneos, pueden tener propiedades y funciones diversas.
ii. Agrupación según procesos de desarrollo, en función de la interpretación de los factores formadores del suelo y la génesis del mismo. Esta clasificación se conoce como genética. En ella, el suelo es considerado como un cuerpo natural con una historia y ecología propias.

Las clasificaciones técnicas están relacionadas con un propósito concreto de la gestión del suelo. Los suelos pueden clasificarse entonces en función de variables como:

- Hidrología: se agrupan los tipos de suelo según el régimen del agua (p. ej. drenaje).
- Capacidad agrícola: agrupación de acuerdo con la capacidad de los suelos para soportar determinados cultivos.
- Usos del suelo: agrupación basada en la gestión del territorio para diferentes usos.
- Fertilidad: agrupación basada en la disponibilidad de ciertos nutrientes.
- Ingenieril: agrupación según la capacidad del suelo para soportar cargas y estructuras.

Las Ciencias del Suelo, a diferencia de otras disciplinas científicas como la Botánica, no poseen un sistema de clasificación universalmente aceptado. Muchos países han desarrollado sus propios métodos de clasificación basados en conceptos nacionales o necesidades prácticas y a menudo utilizan nombres locales basados en la identificación de ejemplos típicos. Estos enfoques complican la comparación entre suelos de diferentes países, ya que normalmente no existe una equivalencia entre los distintos sistemas taxonómicos. La leyenda de la FAO para el Mapa Mundial de Suelos y la clasificación Soil Taxonomy fueron un intento de abarcar esta problemática: la necesidad de un sistema de clasificación aceptado a nivel mundial.

Tendencias actuales

En la actualidad existen numerosos sistemas de clasificación, los cuales se sirven de criterios cuantitativos que conllevan trabajo de campo y análisis de laboratorio para evaluar las características del suelo y poder emplazar con precisión el tipo de suelo en una de las clases jerárquicas. Estos enfoques han sido utilizados en muchos países para revisar sus propios sistemas nacionales. Los parámetros cuantitativos facilitan la comparación entre distintos sistemas de clasificación, ya que las características específicas permiten hacer comparaciones de manera más sencilla que los conceptos más amplios. Algunos ejemplos de estos sistemas de clasificación son la clasificación Soil Taxonomy de la USDA (ver cuadro de la derecha) y la Base Referencial Mundial (World Reference Base for Soil Resources, conocida por sus siglas WRB, ver página 50); esta última es el sistema utilizado en la presente publicación.

La WRB está basada en la Leyenda del Mapa Mundial de los Suelos (FAO, 1974, 1988). La primera edición de la WRB es de 1998 y la segunda de 2006. En 2014 se publicará la tercera edición, que incluirá un solo documento para clasificar perfiles y crear leyendas de mapas (en la segunda edición son dos documentos separados, ver páginas 44 y 60). La idea de la WRB como sistema internacional es de que sirva como "paraguas", englobando los sistemas nacionales. Las características de los suelos que son considerados importantes en algunos sistemas nacionales deben ser consideradas en la WRB para facilitar el enlace entre un sistema nacional y la WRB.

¿Es posible un sistema universal de clasificación de suelos?

La mayoría de los sistemas de clasificación de suelos se desarrolló con un fin concreto, a menudo diferente de los objetivos que se plantean hoy en día.

En el pasado, los suelos propicios para el desarrollo de actividades agrícolas recibían una mayor atención. Además, las condiciones particulares de cada país aportaban enfoques específicos del recurso suelo, siendo poco frecuentes las visiones más holísticas. Esta situación ha dado como resultado, en muchas ocasiones, falta de entendimiento entre los miembros de la comunidad científica.

La interpretación actual de las funciones del suelo, más amplia, y la necesidad de comprender el papel que éste desempeña en los procesos ecológicos, requieren una mayor comprensión y descripción del mismo (en particular de los suelos antropogénicos, los de climas fríos y los de climas tropicales). Además, la mayoría de las claves utilizadas en las clasificaciones se elaboró antes del "boom" de las nuevas tecnologías de observación, almacenamiento y tratamiento de datos por ordenador.

En un congreso celebrado en 2009 en Godollo (Hungría) con motivo del centenario de la I Conferencia Internacional de Agroecología (considerada la primera conferencia sobre Ciencias del Suelo a nivel internacional), los participantes reclamaron a la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS, por sus siglas en inglés: International Union of Soil Sciences) tratar la cuestión de la falta de un lenguaje común dentro de la comunidad científica en lo que a taxonomía de suelos se refiere.

Por todo ello, durante el Congreso Mundial de Ciencias del Suelo, celebrado en 2010 en Brisbane (Australia), el consejo de la IUSS aceptó por unanimidad la "Resolución Godollo" y estableció un grupo de trabajo para coordinar la investigación y el desarrollo de estándares comunes, métodos y terminología en el estudio de los suelos hacia un nuevo sistema universal de clasificación. En este contexto, el término "universal" se refiere a que el sistema es de aceptación y aplicación común dentro de la comunidad de científicos del suelo.

Para más detalles sobre el desarrollo de este sistema se puede consultar la página web del servicio de conservación de los recursos naturales de USDA (el Departamento de Agricultura de EE.UU, en inglés):

http://soils.usda.gov/technical/classification/Univ_Soil_Classification_System/

De las cuatro imágenes que se muestran abajo, la pareja de arriba corresponde a suelos muy distantes geográficamente, pero que sin embargo presentan las mismas características, lo que implica que deberían ser agrupados bajo el mismo rango de clasificación (en este caso, Grupo de Suelo de Referencia: Phaeozem, según la clasificación WRB, que se explicará más adelante en la página 44). (GS, MF)

Las fotos de la linea inferior tienen características muy contrastantes. Se trata de un Andosol (a la izquierda) y de un Leptosol (a la derecha), situados en un ambiente árido. Sin embargo, la naturaleza del material parental, la profundidad del suelo y el contenido en materia orgánica, hacen que pertenezcan a categorías diferentes. (CCG, JAO)

Desarrollo de la clasificación de suelos en LAC

La clasificación de suelos en América Latina y el Caribe se desarrolló principalmente en la segunda parte del siglo XX (entre 1960 y 1990, aproximadamente), con el objetivo de inventariar el recurso suelo en los países de la región. Aquellas naciones vinculadas históricamente a Francia (se hubieran independizado de ésta o no), como la Guayana Francesa, Martinica o Haití usaron el sistema francés [27]. Este sistema de clasificación fue desarrollado para el territorio francés y luego se extendió a todo el mundo, incluyendo el Trópico [28]. Cabe mencionar que actualmente Francia usa otro sistema de clasificación de suelos, pero sus territorios de ultramar, actuales o ya separados, siguen utilizando la clasificación antigua.

En Surinam se dio una situación diferente. En esta ex-colonia holandesa se desarrolló una nueva clasificación, debido a que el sistema utilizado en Holanda [29] no servía para un país con clima tropical. Basándose en los trabajos de Van der Eyk [30], el Ministerio del Desarrollo de Surinam desarrolló su propio método para la clasificación de suelos, que incluía elementos de las clasificaciones de Holanda y de EE.UU.

La mayor parte de los países Latinoamericanos adoptó la Taxonomía de Suelos de los EE.UU (última edición: Soil Survey Staff [31]). Esto se debió en gran parte a la coincidencia temporal del inventario de suelos en la América Latina con la elaboración de la primera versión de la clasificación norteamericana. La Taxonomía de Suelos (Soil Taxonomy, en inglés) fue un sistema ambicioso que proporcionó un esquema de clasificación de todos los suelos del mundo, desde los polos hasta el Trópico. El carácter universal de esta clasificación permitió su aceptación en muchos países de la región. Además, en ciertas etapas el Servicio de Suelos del Departamento de Agricultura de los EE.UU (USDA) dió apoyo técnico a los colegas de América Latina y el Caribe, lo que también contribuyó a la promoción de esta clasificación en el Hemisferio Oeste (hay que tener en cuenta que América Latina es seguramente la principal área de influencia de EE.UU; el gobierno de este país y sus grandes empresas agropecuarias han tenido un papel determinante en la región a lo largo de todo el s. XX).

Sin embargo, muchos países como Brasil, Cuba y Uruguay no estaban satisfechos con la Taxonomía de Suelos norteamericana, especialmente por la poca atención que se prestaba a los suelos tropicales. Los expertos de EE.UU estudiaban principalmente los suelos de Puerto Rico, lo que en realidad no es representativo del Trópico debido al pequeño tamaño de la isla. Además, el uso de la clasificación de los EE.UU requería extensos análisis de laboratorio y datos de humedad y temperatura del suelo; ambas demandas eran difíciles de cumplir en América Latina. Brasil y Uruguay desarrollaron unas clasificaciones de suelos que repetían parcialmente los conceptos y la estructura de la Soil Taxonomy, incluyendo parcialmente los conceptos y taxones de la Leyenda del Mapa de los Suelos del Mundo de FAO-UNESCO, así como algunas ideas originales de sus propias escuelas nacionales de ciencias del suelo. En Cuba el proceso fue diferente: los edafólogos cubanos, basándose en las escuelas rusa, francesa y china, desarrollaron un sistema de clasificación original e integral que no tiene análogos directos en otras partes del mundo.

Los edafólogos mexicanos, al igual que sus homólogos en Brasil, Cuba o Uruguay, consideraron insuficientes los datos de laboratorio y de monitoreo de los regímenes de humedad y temperatura de suelos, como para seguir la Soil Taxonomy norteamericana [32]. Por ello, la Comisión de Estudios del Territorio Nacional [33] aceptó la leyenda del Mapa de FAO-UNESCO, con unas mínimas modificaciones, como base para el inventario de suelos del país. El sistema utilizado actualmente en México es la segunda edición de la WRB 2006 [34], aunque en muchos trabajos científicos, especialmente en el la parte norte del país, se usa la Soil Taxonomy.

Atendiendo al número de países de LAC y los sistemas de clasificación de suelos que utilizan, se puede concluir que la mayoría de ellos usa la Soil Taxonomy de EE.UU, seguida de la clasificación francesa. Estas dos clasificaciones se emplean en casi el 90% de los países de América Latina y el Caribe.

Aunque la inmensa mayoría de los países de la región usan la clasificación estadounidense, el peso geográfico y demográfico de Brasil y México aumenta considerable el impacto de otras clasificaciones (nacionales o WRB) dentro del conjunto regional.

A continuación se describen brevemente las clasificaciones existentes en LAC (Soil Taxonomy, clasificación francesa, clasificación brasileña, clasificación cubana, clasificación uruguaya, clasificación de Surinam, clasificaciones indígenas y finalmente, la utilizada en esta publicación: la WRB).

Soil Taxonomy

La Taxonomía de Suelos (Soil Taxonomy) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) es la clasificación oficial de los EE.UU y se aplica en todo el territorio estadounidense incluyendo Puerto Rico, ubicado en la zona del Caribe. Además, la Soil Taxonomy está aceptada como sistema de clasificación de suelos con fines cartográficos y de investigación científica en muchos otros países de LAC, entre los que se encuentran Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Honduras, Guatemala, Jamaica, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana y Venezuela.

La Soil Taxonomy surge del sistema propuesto por el gran edafólogo norteamericano Guy Smith y se conoce como se conoce como la Séptima Aproximación. Este sistema fue publicado en 1960 y desde entonces se ha difundido en todo el mundo. El sistema se basa en los horizontes, materiales y propiedades diagnósticas para distinguir los suelos, así como en los regímenes de humedad y temperatura del suelo. Para el diagnóstico del suelo se emplean los criterios morfogenéticos observados en campo, junto con los datos de los análisis de las propiedades químicas y físicas en laboratorio. Los límites entre los taxones de suelos son estrictos. La Soil Taxonomy es un sistema jerárquico que consta de seis niveles: órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos, familias y series.

Los órdenes representan los taxones más generales agrupados según una (máximo, dos) característica común. Los 12 órdenes son:

- Alfisols – suelos con un horizonte de iluviación de arcilla (acumulación por el flujo con el agua percolante) con alta saturación de bases.
- Andisols – suelos derivados de cenizas volcánicas.
- Aridosols – suelos de clima árido.
- Entisols – suelos casi sin desarrollo.
- Gelisols – suelos de clima frío, con una capa permanentemente congelada.
- Histosols – suelos orgánicos (principalmente turba).
- Inceptisols – suelos en fase inicial de desarrollo.
- Mollisols - suelos con una capa superficial rica en humus.
- Oxisols – suelos tropicales muy intemperizados.
- Spodosoles – suelos ácidos muy lixiviados con iluviación de hierro, aluminio y humus.
- Ultisoles – suelos con un horizonte de iluviación de arcilla con baja saturación de bases.
- Vertisols – suelos arcillosos que se expanden con la humedad y se contraen cuando están secos.

Los subórdenes se distingen según los regímenes de humedad en Alfisoles, Andisols, Inceptisoles, Mollisoles, Oxisoles, Spodosoles, Ultisoles y Vertisols, mientras que en los Aridisoles, Entisoles, Gelisoles e Histosoles, se determinan según otros criterios. Los grandes grupos poseen *horizontes diagnósticos* (ver Glosario) principales, mientras que los subgrupos tienen horizontes, propiedades o materiales adicionales. Las familias indican las características cualitativas y cuantitativas de la textura, mineralogía, saturación de bases y regímenes de temperatura, entre otros. Por último, las series de suelos son las unidades más pequeñas del sistema y tienen una secuencia de horizontes con un rango estrecho de propiedades. El nombre de las series hace referencia a su textura y al lugar donde fue descrita por primera vez.

Clasificación francesa

Entre 1967 y 1992, el sistema oficial de clasificación de suelos en Francia y sus territorios de ultramar fue la clasificación de la Comisión de Pedología y Cartografía de Suelos [27] (aún se utiliza en algunos países africanos). ORSTOM (Oficina de la Investigación Científica y Técnica de Ultramar) [28] modificó ligeramente este sistema para permitir su uso en las regiones tropicales. La clasificación francesa es una taxonomía jerárquica con cuatro niveles principales: clases, subclases, grupos y subgrupos. Los límites entre las clases no son estrictos; la caracterización de muchos taxones es descriptiva. Las clases reflejan la etapa de desarrollo en que se encuentra el suelo, así como el proceso principal de edafogénesis. Estas clases son:

Arriba: mapa de suelos de Sudamérica elaborado por el Ministerio de Agricultura de la URSS. (Eudasm/ISRIC). [34b]

http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/EUDASM.htm

Abajo: los suelos de la cuenca del río Jaguaribe (Brasil) a una escala de 1:1.000.000, producidos de acuerdo con la clasificación francesa Orstom (Office de la recherche scientifique et technique outre mer) en 1970. (IRD Sphaera No. 827) [34c]

- Suelos minerales gruesos.
- Suelos poco evolucionados.
- Vertisols – suelos arcillosos que se expanden en húmedo y se contraen en seco.
- Andosols - suelos derivados de cenizas volcánicas.
- Suelos calcio-magnésicos – suelos derivados de la roca caliza u otras rocas carbonáticas.
- Suelos isohúmicos – suelos con una capa profunda rica en humus.
- Suelos brunidificados – suelos con un horizonte B transformado por los procesos edáficos.
- Suelos podzólicos – suelos con una capa de iluviación de hierro, aluminio y humus.
- Suelos con óxidos de hierro – suelos tropicales moderamente intemperizados.
- Suelos ferralíticos – suelos tropicales muy intemperizados.
- Suelos hidromorfos – suelos saturados con agua.
- Suelos sódicos – suelos salinos y alcalinos.
- Planosols – suelos con una capa superficial que presenta signos de encharcamiento periódico.

Las subclases indican las condiciones climáticas de formación del suelo. Los grupos corresponden a un perfil teórico del suelo, mientras que los subgrupos incluyen información adicional sobre los horizontes y/o los procesos edafogenéticos secundarios.

Clasificación brasileña

El inventario de los suelos de Brasil comenzó en 1947 [35], sin embargo, hasta 1964 no se desarrolló un sistema de clasificación y evaluación de suelos. La última versión de la clasificación fue publicada en 2006 [37]. En una primera etapa, la clasificación de los suelos brasileños fue muy general, para después ir construyéndose "de arriba a abajo", desarrollando poco a poco los taxones de bajo nivel [36]. La clasificación de los suelos tropicales muy intemperizados fue la prioridad de los edafólogos brasileños, ya que ocupan grandes áreas del país. La estructura de esta clasificación recuerda en rasgos generales a la Soil Taxonomy de EE.UU; los niveles taxonómicos son, al igual que en la clasificación norteamericana: órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos, familias y series. Los límites entre los taxones son estrictos. Una diferencia fundamental entre las clasificaciones de suelos de los EE.UU y de Brasil es que en la clasificación brasileña no se aplican los criterios de los regímenes de humedad y de temperatura del suelo. Los órdenes de la clasificación de suelos de Brasil son los siguientes:

- Argissolos - suelos con un horizonte de iluviación de arcilla de baja saturación de bases.
- Cambissolos - suelos con un horizonte B transformado por los procesos edáficos.
- Chernossolos - suelos con una capa superficial profunda rica en humus.
- Espodossolos - suelos ácidos muy lixiviados con iluviación de hierro, aluminio y humus.
- Gleissolos - suelos saturados con agua.
- Latossolos - suelos tropicales intemperizados.
- Luvissolos - suelos con un horizonte de iluviación de arcilla de alta saturación de bases.
- Neossolos - suelos casi sin desarrollo.
- Nitossolos – suelos intemperizados con una buena estructura.
- Organossolos - suelos orgánicos (principalmente turba).
- Planossolos - suelos con una capa superficial con signos de estancamiento periódico.
- Plintossolos – suelos intemperizados con una capa cementada por el hierro.
- Vertissolos - suelos arcillosos que se expanden con la humedad y se contraen cuando están secos.

Los subórdenes se distinguen según la morfología y las propiedades químicas del suelo. Los grandes grupos presentan secuencias de los horizontes principales y también indican diferencias semi-cuantitativas en las propiedades del suelo. Los subgrupos quedan definidos por las diferencias cuantitativas en las propiedades. Las familias indican las clases de mineralogía y de textura. Las series, como en la clasificación de los EE.UU, designan un suelo particular con un estrecho rango de características morfológicas y químicas.

Perfil de suelo clasificado según el sistema brasileño como Argissolo. (HS)

Clasificación cubana

Cuba tiene una gran ventaja en el ámbito de estudio del suelo: la isla posee una larga historia en lo que respecta al desarrollo de la agricultura, por lo que muchos investigadores se han ocupado del estudio de los suelos cubanos. Desde el inicio del siglo XX Cuba fue visitada por los edafólogos de los EE.UU, Francia, la Unión Soviética y China [38]. Gracias al intercambio de ideas los especialistas cubanos lograron integrar los conceptos de varias escuelas y desarrollar su propia escuela de las Ciencias del Suelo. Entre otros logros, los edafólogos de Cuba desarrollaron su particular clasificación de suelos [39, 40]. La clasificación cubana es una taxonomía jerárquica de seis niveles. Los límites entre los taxones son estrictos, aunque en muchas situaciones pueden evitarse los costosos análisis y limitar el diagnóstico al análisis morfogenético del perfil en el campo. El nivel taxonómico más alto es el grupo de tipos de suelos, que agrupa los suelos con un mismo proceso edafogenético principal. Los grupos de tipos de suelos son:

- Alíticos - suelos con un horizonte de iluviación de arcilla de baja saturación de bases.
- Anthrosols – suelos fuertemente transformados por los humanos.
- Ferrálicos - suelos tropicales moderamente intemperizados.
- Ferríticos – suelos tropicales muy intemperizados ricos en óxidos de hierro.
- Fersialíticos – suelos tropicales ligeramente intemperizados.
- Fluvisols – suelos aluviales.
- Halomórficos – suelos salinos.
- Hidromórficos – suelos saturados con agua.
- Histosols – suelos orgánicos.
- Húmicos sialíticos – suelos ricos en humus, principalmente derivados de las rocas ricas en bases.
- Pardos sialíticos – suelos con un horizonte B pardo.
- Poco evolucionados – suelos con desarrollo mínimo de los horizontes.
- Vertisols - suelos arcillosos que se expanden con la humedad y se contraen en seco.

Los tipos de suelos representan las secuencias principales de los horizontes. Los subtipos representan las transiciones entre los tipos de suelos o las modificaciones cualitativas en el perfil. Los géneros se definen como las modificaciones cualitativas o semicualitativas de las características químicas o mineralógicas del suelo. Las especies se dividen según la profundidad de la capa superficial y del contenido en carbono orgánico en ésta. Por último, las variedades indican la textura del horizonte A del suelo.

En la fotografía de arriba se muestra el paisaje correspondiente al perfil de la imagen de la izquierda. Es una formación geológica denominada *Río Bonito*, en bosque subtropical y pastos con relieve ondulado (Brasil). (HS)

Clasificación uruguaya

Al comienzo de los inventarios de suelos en Uruguay se aplicaba la clasificación de suelos de EE.UU o bien la leyenda del Mapa de los Suelos del Mundo de FAO-UNESCO. En 1976 la Dirección de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca del país publicó la clasificación propia de Uruguay [41]. Esta clasificación es una taxonomía jerárquica de ocho niveles: órdenes, grandes grupos, subgrupos, clases, subclases, tipos, familias y fases, con estrictos límites cuantitativos entre los taxones. Los grandes grupos se asemejan a los grupos desarrollados en la leyenda del mapa de la FAO y parcialmente en la Soil Taxonomy, pero el grado de detalle a otros niveles hace que sea muy diferente de su fuente inicial. El sistema tienevseis órdenes:

- Suelos poco desarrollados (incluye los grandes grupos: Litosoles, Arenosols, Fluvisols y Inceptisoles).
- Suelos melánicos (incluye los grandes grupos: Brunosoles y Vertisols).
- Suelos saturados lixiviados (incluye los grandes grupos: Argisoles y Planosols).
- Suelos desaturados lixiviados (incluye los grandes grupos: Luvisols y Acrisols).
- Suelos halomórficos (incluye los grandes grupos: Solonetz, Solonetz Solodizados y Solods).
- Suelos hidromórficos (incluye los grandes grupos: Histosols y Gleysols).

Los grandes grupos se distinguen según la dirección y/o la intensidad del proceso edafogenético principal. Los subgrupos se dividen en función del proceso edafogenético secundario. El nivel de clase indica la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC) y su saturación de bases, mientras que las subclases indican la naturaleza del horizonte diagnóstico superficial. El tipo muestra el grado de translocación de arcilla y la presencia de un horizonte de iluviación. La familia depende de la textura del horizonte A. Por último, la fase se usa para señalar algunas propiedades importantes desde el punto de vista agronómico.

Clasificación de Surinam

La cartografía de suelos de Surinam se inició a mitad del s. XX, aunque no se unificaron criterios hasta el año 1978 [42]. La nueva clasificación incorporó entonces numerosas ideas de la Soil Taxonomy (p.ej. las series de suelos y la estructura de la clasificación), teniendo también en cuenta los avances de la escuela holandesa.

La clasificación está enfocada a la cartografía; los tres primeros niveles son geomorfológicos (forma del terreno, paisaje y elementos del paisaje) y sólo el cuarto está relacionado con el suelo. Este nivel edáfico se subdivide en cinco subniveles que se corresponden con la estructura de Soil Taxonomy: órdenes, grupos, subgrupos, familias y series. Los nueve órdenes son:

- Suelos de turba.
- Suelos esqueléticos.
- Suelos de arena blanqueada.
- Suelos de arcilla marina jóvenes.
- Suelos calcáricos.
- Suelos cámbicos.
- Suelos de arcilla marina antiguos.
- Suelos saprolíticos.
- Suelos caoliníticos.

Los criterios para definir grupos, subgrupos y familias incluyen el tipo de drenaje, la presencia de ciertos horizontes y materiales, así como la textura del suelo.

La clasificación de suelos y el clima

Uno de los primeros sistemas de clasificación de los suelos, basado principalmente en el clima, los agrupaba en tres categorías:

- Azonales: suelos inmaduros que se encuentran en las primeras etapas de su desarrollo;
- intrazonales: son los desarrollados bajo condiciones en las que predominan los factores edafogenéticos pasivos, como la composición de la roca madre, la pendiente o la acción humana; y
- zonales: desarrollados bajo la acción de los factores activos de formación del suelo, en especial el clima, durante un largo periodo de tiempo.

Clasificaciones indígenas

El suelo posee un valor espiritual, mitológico y práctico en la mayoría de las culturas agrícolas del mundo. Así, algunas culturas han desarrollado nombres especiales para identificar suelos con propiedades particulares. Debido a que la agricultura es una actividad comunitaria, la terminología edafológica forma parte del lenguaje común y se desarrolla junto con él. Existen diferencias significativas respecto al conocimiento del suelo por parte de los distintos miembros de una comunidad de acuerdo a su edad, género o estatus social, por lo que este conocimiento en su conjunto puede ser considerado como una sabiduría colectiva de una comunidad determinada. La agricultura no es la única función del suelo, sin embargo, aquellas sociedades agrícolas poseen un conocimiento más extenso sobre este, a diferencia de lo que sucede en culturas de tipo nómada y de cazadores, en las que este conocimiento es mucho más general.

Para la gestión y conservación del suelo, los campesinos se sirven de sistemas de clasificación. Aunque el objetivo principal de la mayoría de los sistemas indígenas de clasificación está relacionado con el cultivo de la tierra, en ocasiones se desarrollan clasificaciones con otros propósitos.

En las sociedades agrícolas, se le presta una atención especial a la característica principal de la "madre tierra": la fertilidad, la cual proviene, según algunos mitos y leyendas, de la sangre o esperma de un dios o héroe. En la imagen de abajo se muestra un tejido realizado en México en el que se plasma la visión de la cultura Otomí sobre el mundo, en la que se incluye el suelo y su fruto predilecto en América: el maíz. (IAM)

Tipos de clasificación indígena

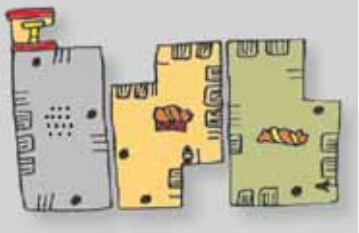
- **Clasificaciones agrícolas:** los suelos se clasifican según su productividad e idoneidad para determinados cultivos. La denominación del suelo está relacionada con atributos internos del suelo (los campesinos conocen bien la correspondencia entre esos atributos y la productividad de los cultivos). Además, los agricultores poseen un amplio conocimiento sobre el tiempo de maduración o la resistencia a la erosión eólica e hídrica, lo que sirve como una base importante para la toma de decisiones en la gestión de la tierra en cada comunidad rural.
- **Clasificaciones paisajísticas:** en las sociedades no agrícolas (cazadores y nómadas), el conocimiento del suelo suele ser mucho más generalista. Sin embargo, en algunos lugares se pueden encontrar observaciones interesantes sobre la relación suelo-paisaje. Algunas de las propiedades que se tienen en cuenta en las clasificaciones de este tipo son: los periodos de inundación de los suelos aluviales, la presencia de sales comestibles (para los animales), la vegetación natural o la posición en el relieve. Un buen ejemplo de este tipo de clasificación es la clasificación maya de los suelos de Yucatán (México), donde la mayoría no son cultivables por tratarse de suelos someros, pero se clasifican según su posición topográfica. Esto es un ejemplo del reconocimiento de la relación entre los elementos del paisaje por parte de las comunidades rurales.
- **Clasificaciones de propósito múltiple:** el uso del suelo como fuente de materiales de construcción, pigmentos o fuente de sustancias medicinales, entre otros, también queda con frecuencia recogido en las clasificaciones tradicionales locales. En el centro de México, las capas cementadas de los suelos volcánicos, denominadas tepetates, se utilizan para la fabricación de ladrillos.

Las imágenes sobre estas líneas corresponden a la realización de un levantamiento de suelos con el apoyo de la comunidad indígena de lacandones (Chiapas, México). Ellos reciben pagos por servicios ambientales (p. ej. captura de carbono) y por ello son los primeros interesados en la realización de dichos levantamientos, financiados por el gobierno del Estado de Chiapas con el apoyo de los técnicos forestales. La información que de ahí se deriva se almacena en un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se utiliza para obtener a mediano plazo evidencias de captura de carbono. (MIAF)

A nivel mundial, desde la llanura de Rusia a los Andes peruanos, los suelos arcillosos han sido utilizados para este fin, ya sea en estado puro o mezclados con materiales orgánicos (paja). También se presta atención especial a los materiales del suelo utilizados para la producción de piezas de cerámica (un ejemplo de ello es la louça de barro del estado de Paraíba, Brasil). Otras clasificaciones tienen que ver con la extracción de minerales para fabricar pinturas. Por último, algunos suelos son comestibles: los quechuas en los Andes del sur de Perú, denominan q'ulp'a a un tipo de suelo utilizado como alimento por la población local (posiblemente por su contenido en arcillas esmectíticas que absorben fitotoxinas, abundantes en la comida local).

Cartografía de tierras campesinas

Existen evidencias de una tradición cartográfica desde épocas prehispánicas, en particular, en dos documentos excepcionales: los Códices de Vergara y de Santa María Asunción, donde se muestran las tierras pertenecientes a individuos de diferentes familias. En ellos se incluye la representación pictórica de los tipos de tierra dentro de cada parcela. En la actualidad no se elaboran mapas, pero los agricultores aún conservan un conocimiento no formal mediante el cual localizan y clasifican las tierras.



Representación de parcelas en códices con valores perimetrales y glifos de clases de tierras en el centro. (CAOS)

Los criterios más abundantes para la clasificación del suelo locales son el color y la textura. En algunos casos se pueden combinar entre sí y también con otros criterios como la pedregosidad, propiedades físicas y químicas específicas y regímenes de humedad y temperatura del suelo. Todo ello evaluado a nivel local.

La recopilación de información del suelo y otros recursos naturales requiere una gran cantidad de tiempo y dinero, sobre todo si se ignora el conocimiento de las comunidades locales. La idea de complementar los levantamientos de suelos con el conocimiento indígena no es nueva. El mapeo de suelos durante los siglos XVIII y XIX se realizó entrevistando a los agricultores, hasta que se sustituyó por los inventarios tipo "pala y barrena", por considerarse conocimiento “no científico”.

Sin embargo, el uso de las taxonomías indígenas permite ahorrar tiempo en la realización de un inventario de recursos naturales, ya que asegura la incorporación de información relevante para el desarrollo de los recursos locales. También es posible conocer de esta manera las características del suelo durante todo el año y la forma en que éstas varían. En lo que a cartografía se refiere, los miembros de la comunidad pueden identificar los suelos típicos y su delimitación, con lo que el edafólogo puede verificar la información de la que dispone. Los suelos que los agricultores identifican pueden asemejarse mucho a los de los sistemas científicos: ciertas taxonomías locales son incluso más detalladas que aquellas llevadas a cabo por pedólogos. Igualmente, las taxonomías locales pueden servir de guía para delineación de los polígonos de suelos en el paisaje para la cartografía y para identificar la separación de clases que se utilizan en la clasificación. Sin embargo, las clasificaciones indígenas del suelo son válidas únicamente a nivel local. Para superar las limitaciones de la información obtenida a partir de encuestas etnoedafológicas, éstas pueden regionalizarse.

Conocimiento local

La Etnoedafología es una disciplina científica que aúna ciencias sociales y naturales. Trata de cómo la gente entiende y maneja la tierra. El término fue propuesto por B. Williams y C.A. Ortiz Solorio en 1981. Desde la perspectiva antropológica, se estudia la visión cultural de los suelos y el paisaje, mientras que desde la ciencia del suelo se analiza la forma en que los suelos se valoran y gestionan. La mayoría de los estudios etnoedafológicos recientes se ocupan de la clasificación de la tierra (57%).

Las taxonomías locales tienen un valor actual económico, social y cultural y han de ser documentadas y estudiadas antes de que se pierdan, ya que aportan información sobre la tierra y las personas que la manejan. La erosión cultural ha acabado con muchas taxonomías indígenas del suelo y amenaza a muchas otras.

Campesino de los Andes bolivianos describiendo su suelo. (RV)

Criterio	Clase en quechua	Clase en español	Uso potencial	Evaluación local
Posición en transecto/clima	Chillijallpas	Suelos fríos	Papa lucky, cañahua y cebada	Buen suelo
	Koñijallpas	Suelos calientes	Papa huayku, papa dulce, granos	Muy buen suelo
Textura	Machujallpa	Suelo arcilloso	Papa huayku, trigo, cebada grano, avena	Buen suelo
	Chancajallpa	Suelo rocoso	No muy apto, cebada	Mal suelo
Color	Yanajallpa	Suelo negro	Papa lucky, cebada, avena	Muy buen suelo
	Kellujallpa	Suelo amarillo	Papa huayku, trigo	Suelo regular

Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB)

De 1971 a 1981, la FAO y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) publicaron el Mapa Mundial de Suelos 1:5.000.000. para el cual confeccionaron una leyenda, que se usaba también como sistema de clasificación de suelos. El mapa se utilizó en multitud de proyectos financiados por Naciones Unidas y, a lo largo del tiempo, muchos países han ido modificándolo y adaptando la leyenda a sus necesidades. Como consecuencia, muchas de las unidades de suelo del sistema de la FAO se utilizan en varios países y tienen significados similares.

La Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) se desarrolló bajo el auspicio de la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS), tomando como base la leyenda de la FAO y valiéndose de la correlación internacional de los distintos sistemas de clasificación de suelos [43]. Se utilizaron criterios objetivos procedentes tanto de trabajo de campo como de análisis de laboratorio, con el fin de clasificar de manera sistemática los diferentes tipos de suelo en Grupos de Suelo de Referencia (GSR). Éstos se pueden caracterizar más mediante adjetivos denominados calificadores.

Dicho sistema no busca sustituir los sistemas nacionales de clasificación de suelos, sino servir como denominador común para la comunicación a nivel internacional.

Características de la Base Referencial Mundial (WRB)

La WRB actual, publicada en 2006, consta de 32 Grupos de Suelo de Referencia (GSR). Tanto los GSR como los calificadores se definen a través de:

- *materiales de diagnóstico:* son los materiales de partida;
- *propiedades de diagnóstico:* son resultados de la formación del suelo o bien el reflejo de procesos formadores;
- *horizontes de diagnóstico*: también son resultados de formación de suelo pero con una distinta expresión horizontal y un espesor determinado.

Los GSR y los calificadores se identifican por la presencia o ausencia de horizontes, propiedades y materiales de diagnóstico en ciertas profundidades. Adicionalmente se usan otros criterios como textura o saturación de bases.

En la WRB del 2006, los calificadores están subdivididos en calificadores prefijos (se colocan delante del nombre del GSR) y calificadores sufijos (después del nombre del GSR). Este sistema sólo se usa para la clasificación de suelos individuales (pedones). Para los mapas se usa la "Guía para construir leyendas de mapas a escala pequeña usando la WRB", publicada en 2010 (ver página 60).

El suelo de la imagen corresponde a un Lixisol profundo, moderadamente bien drenado, con un horizonte A superficial marrón amarillento, seguido de un horizonte E bastante claro. Ambos son muy porosos y están compuestos de arcilla arenosa. El horizonte Bt muestra un aspecto multicolor debido a los recubrimientos arcillosos procedentes de la iluviación de arcillas de las capas superiores. En el horizonte inferior, llamado Bw, sin embargo, el origen de la coloración reside en la alteración de los minerales. El horizonte Bt tiene una permeabilidad limitada causando una saturación temporal del horizonte A y E, con transporte lateral de la humedad hacia el valle. Según la WRB, se trata de un Stagnic, Cutanic, Vetic Lixisol (Albic, Clayic, Chromic). (OS)

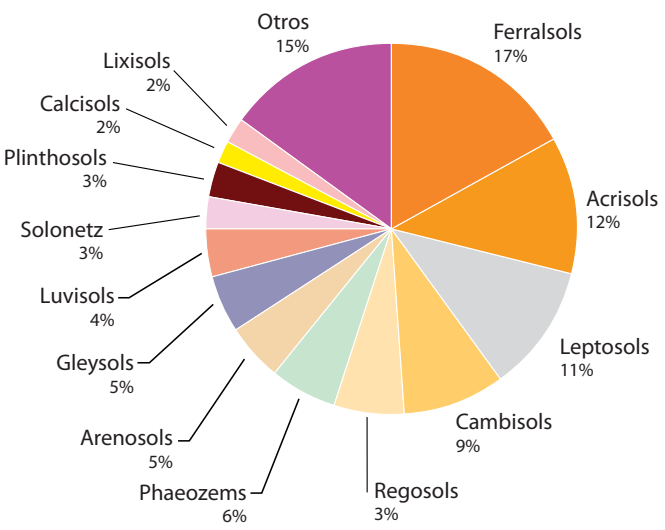
Clave para los Grupos de Suelos de Referencia (GSR)

Los GSR se asignan a conjuntos basados en los factores o procesos que más claramente condicionan la formación del suelo. La secuenciación de los grupos se hace de acuerdo a los siguientes principios:

1. Primero se distinguen los suelos orgánicos (**Histosols**) del resto de suelos (inorgánicos).
2. La segunda diferenciación consiste en reconocer la actividad humana como un factor formador de suelos, de ahí la posición de los **Anthrosols** y **Technosols** después de los **Histosols**.
3. El siguiente grupo está formado por suelos con limitación severa para el enraizamiento de las plantas (**Cryosols** y **Leptosols**). Los **Cryosols** comprenden los tipos de suelo mineral afectados por el permafrost (capa permanentemente congelada durante dos o más años consecutivos) muchas veces mostrando hielo visible. Los **Leptosols** se encuentran principalmente en áreas montañosas y son suelos poco profundos sobre roca continua o muy pedregosos.
4. Luego sigue un conjunto de GSR que están o han estado fuertemente influenciados por el agua: **Vertisols, Fluvisols, Solonetz, Solonchaks** y **Gleysols**. Los **Vertisols** son suelos arcillosos con una alta proporción de arcillas expandibles. En la superficie de estos suelos se forman profundas y anchas grietas (que se abren y cierran periódicamente) cuando éste se seca. Los **Fluvisols** aparecen en valles fluviales y engloban depósitos aluviales recientes, lacustres y marismas costeras. Los **Solonchaks** presentan una alta concentración de sales solubles en alguna época del año. Se dan en climas áridos y semi-áridos o regiones costeras. Los **Solonetz** son suelos altamente alcalinos (pH > 8,5) y poseen un horizonte subsuperficial arcilloso, denso y fuertemente estructurado, con una alta proporción de iones de sodio y/o magnesio. Los **Gleysols** son suelos saturados con agua freática por periodos suficientemente largos como para desarrollar un característico patrón de color. Este patrón se distingue por sus colores rojizos, parduzcos o amarillentos en la superficie de los agregados y/o en la capa o capas superficiales del suelo en combinación con colores grisáceos/azulados, indicadores de una mayor influencia del agua subterránea.
5. El siguiente conjunto está formado por suelos en los que el hierro (Fe) y el aluminio (Al) juegan un papel importante: **Andosols, Podzols, Plinthosols, Nitisols y Ferralsols** (los tres últimos se encuentran principalmente en los trópicos). Los **Andosols** se desarrollan a partir de cenizas y otros materiales volcánicos. Se caracterizan por la rápida meteorización de los minerales volcánicos. Los **Podzols** presentan un típico horizonte subsuperficial de color gris ceniza, decolorado por la pérdida de materia orgánica y óxidos de hierro, sobre un horizonte oscuro de humus y compuestos de hierro. Su distribución en LAC queda limitada a las zonas templadas y pequeños enclaves en los trópicos. Los **Plinthosols** contienen plintita, una mezcla pobre en humus, rica en hierro y arcillas caoliníticas con cuarzos y otros componentes y que, por exposición repetida a mojado y secado, se transforma irreversiblemente en una capa con nódulos duros, un *hardpan* (ver Glosario) o agregados irregulares. Los **Nitisols** son suelos tropicales profundos, bien drenados, rojizos, con una diferenciación de horizontes difusa y un horizonte subsuperficial con una estructura poliédrica fuertemente desarrollada con elementos nuciformes de bordes planos y superficie brillante. Los **Ferralsols** son los típicos suelos de las zonas tropicales, rojizos o amarillos y muy meteorizados.
6. El siguiente grupo engloba los suelos anegados estacionalmente: **Planosols** y **Stagnosols**. Los **Planosols** poseen un horizonte superficial de color claro, con textura gruesa y signos de encharcamiento periódico, sobre un subsuelo denso, de permeabilidad lenta y con mayor contenido en arcilla que el horizonte superficial. Son típicos de regiones planas que se encharcan estacionalmente. Los **Stagnosols** presentan un moteado característico de los procesos de oxidación-reducción, debido a la inundación periódica.
7. A continuación se agrupan los suelos que se dan principalmente en zonas secas de estepa (p. ej. sabanas). Presentan una capa superficial bien desarrollada rica en humus y en bases. Los **Chernozems** cuentan con un horizonte superficial grueso, oscuro y rico en humus. Los **Kastanozems** se encuentran en regiones más secas que los anteriores y también presentan un horizonte superficial rico en humus, aunque no tan oscuro como el de los **Chernozems** y menos grueso. Los **Phaeozems**, debido a las condiciones de mayor humedad en las que se encuentran, están más lavados, y por ello la saturación en bases del horizonte superficial es menor.
8. El siguiente grupo engloba suelos de regiones secas con acumulación de yeso (**Gypsisols**), sílice (**Durisols**) o carbonato cálcico (**Calcisols**).
9. A continuación le sigue un conjunto de suelos con un subsuelo rico en arcilla (horizonte árgico). Los suelos pueden agruparse según tengan: a) baja saturación en bases, con arcillas tanto de alta como de baja actividad (respectivamente, **Alisols** y **Acrisols**) o b) alta saturación en bases, con arcillas de alta o baja actividad (**Luvisols** y **Lixisols**, respectivamente). En los **Albeluvisols**, el horizonte superior penetra en el de acumulación de arcilla formando una especie de lenguas (ver página 61).
10. El último grupo está formado por arenas muy homogéneas y suelos con meteorización limitada: **Umbrisols, Arenosols, Cambisols** y **Regosols**. Los **Umbrisols** se asocian a materiales ácidos y a regiones con exceso de precipitación. Bajo estas condiciones se desarrollan capas ácidas profundas y de color pardo oscuro denominadas horizontes úmbricos (del latín *umbra, sombra*). Los **Arenosols** son suelos arenosos desarrollados en arenas recién depositadas tales como dunas en desiertos y playas. Los **Cambisols** han desarrollado un horizonte cámbico: un horizonte subsuperficial que muestra evidencias de alteración respecto de horizontes subyacentes. Los **Regosols** forman un grupo taxonómico que contiene todos los suelos que no pudieron acomodarse en alguno de los otros GSR. En la práctica, son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados.

Grupos de Suelos de Referencia en LAC

El gráfico muestra la proporción de los principales GSR de Latinoamérica con respecto a la superficie total de suelo. Los GSR que ocupan el 1% ó menos de la superficie han sido agrupados en la categoría "otros". El área total de LAC es de unos 21 millones de km^2, lo que supone aproximadamente un 14% de la superficie de suelos global. En LAC existe una gran diversidad de suelos, ya que se pueden encontrar todos los grupos de referencia comprendidos en la clasificación WRB. Es importante destacar que aproximadamente el 30% de los suelos de LAC presentan un carácter tropical o subtropical: Ferralsols (17%), Acrisols (12%), Lixisols (2%) y Plinthosols (1%). Otros grupos bien representados en el continente son: Cambisols (9%), Regosols (6%), Phaeozems (6%), Gleysols (5%), Luvisols(4%), Solonetz (3%). Arenosols (5%) y Calcisols (2%).



Cómo identificar un suelo siguiendo la WRB

A modo de ejercicio de clasificación, examinaremos con detalle este perfil de la región brasileña de Boa Vista.

La foto de arriba muestra el perfil de un suelo tipo Stagnic Solonetz (ST). Este suelo procede de gneis, una roca metamórfica compuesta por los mismos minerales que el granito (cuarzo, mica y feldespato). Es moderadamente profundo y presenta unas características de drenaje irregulares. La capa entre 0 y 18 cm constituye el horizonte superficial arado (Ap), al que sigue un horizonte E (18-30 cm). Ambos son arenosos debido a la lixiviación de minerales de arcilla hacia los horizontes subyacentes. Por su color claro, el E se clasifica como álbico; la raíz latina del término (albus) hace referencia al color claro debido al lavado de hierro y materia orgánica. El siguiente horizonte, Btn, es un nátrico, cuya raíz árabe (natroon) significa "sal". Esta capa se caracteriza por su alto contenido en sodio o magnesio intercambiables y por su elevado contenido en arcillas. La transición del horizonte E al B es abrupta y en forma de lenguas. Las columnas del horizonte B destacan por tener la parte superior redondeada, y se conocen localmente como "cabeça de gato" ("cabeza de gato").

El siguiente paso consiste en identificar los calificadores prefijos y sufijos adecuados. Siguiendo las reglas de la WRB 2006, el nombre completo de este suelo sería: Stagnic Solonetz (Albic, Abruptic, Magnesic). Stagnic significa que presenta condiciones reductoras en algún momento del año debido a las aguas estancadas y una translocación de hierro, ya sea lateralmente fuera del perfil o hacia el interior de los agregados; Abruptic hace referencia al aumento repentino en el contenido de arcilla de un horizonte respecto al horizonte precedente; Albic significa que contiene un horizonte de color claro; y, por último, Magnesic indica la presencia de magnesio intercambiable.

Calificadores de la WRB

En esta sección se explican los términos necesarios para entender las leyendas de los distintos mapas de este atlas (ver página 58-59).

Abruptic (abrúptico): tiene un cambio textural abrupto dentro de 100 cm de la superficie.

Acric (ácrico): tiene un horizonte de acumulación de arcilla con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) baja y una saturación con bases baja.

Albic (álbico): tiene un horizonte de color claro con bajo contenido en óxidos de hierro y de materia orgánica.

Alic (álico): tiene un horizonte de acumulación de arcilla con una alta CIC y una saturación con bases baja.

Alumic (alúmico): el subsuelo está saturado de aluminio.

Andic (ándico): tiene una o más capas de espesor acumulado de 30 cm o más, con minerales de bajo grado de ordenamiento (alófanas e imogolitas) o con complejos de sustancias orgánicas con aluminio, y siempre con ferrihidrita.

Anthraquic (antrácuico): tiene un suelo superficial modificado por el cultivo de arroz (inundado), causando un piso de arado relativamente denso y procesos de reducción dentro y encima de dicho piso.

Arenic (arénico): textura arenosa franca, fina o gruesa en una capa de al menos 30 cm de espesor dentro de 100 cm de la superficie.

Aridic (arídico): tiene características de sequedad (por ejemplo, color claro, poca materia orgánica, evidencia de la actividad eólica y/o alta saturación con bases).

Brunic (brúnico): tiene una capa que cumple los criterios de meteorización del horizonte cámbico, pero no los criterios de textura de dicho horizonte.

Calcaric (calcárico): que tiene 2% o más de carbonato de calcio entre 20 y 50 cm de profundidad.

Calcic (cálcico): tiene un horizonte que está enriquecido con carbonatos secundarios y un contenido equivalente en carbonato cálcico ($CaCO_3$) del 15% o más.

Carbic (cárbico): tiene un horizonte de iluviación de materia orgánica sin iluviación de óxidos de hierro (sólo en Podzols).

Chromic (crómico): tiene una capa subsuperficial de color rojizo al menos 30 cm de espesor.

Clayic (árgico): textura arcilllosa en una capa de al menos 30 cm de espesor dentro de 100 cm de la superficie.

Cutanic (cutánico): con revestimientos de arcilla en algunas partes de un horizonte árgico.

Drainic (drénico): tiene un horizonte hístico que drena artificialmente dentro de los 40 cm de la superficie.

Duric (dúrico): tiene un horizonte con nódulos desde débilmente cementados hasta endurecidos por sílice secundario (SiO_2).

Ekranic (ekránico): presenta una roca dura técnica, como asfalto o cemento (sólo en Technosols).

Ferralic (ferrálico): tiene un horizonte donde la parte arcillosa está dominada por arcillas de baja capacidad de intercambio catiónico.

Ferric (férrico): tiene un horizonte con alto contenido en hierro y moteado que comienza dentro de 1 m de la superficie.

Fibric (fíbrico): presenta, después de frotado, dos tercios o más (en volumen) de material orgánico consistente en tejido vegetal reconocible, dentro de 1 m de la superficie.

Fluvic (flúvico): tiene estratificación por sedimentación aluvial reciente.

Folic (fólico): tiene una capa orgánica superficial gruesa, no saturada con agua.

Fractipetric (fractipétrico): tiene un horizonte cementado o endurecido que está quebrado en terrones.

Gellic (gélico): tiene una capa a temperaturas de 0 °C o menos durante dos o más años consecutivos dentro de 2 m de la superficie.

Geric (gérico): tiene un horizonte fuertemente meteorizado con una fracción de arcilla que tiene una CIC muy baja y/o una predominancia de intercambio aniónico.

Gleyic (gléyico): tiene influencia del agua freática en una capa de 25 cm o más dentro de 100 cm de profundidad, con colores neutros, azulados o verdosos en la capa de saturación permanente y/o colores de óxidos de hierro en las superficies de los agregados en la capa de ascenso capilar.

Gypsic (gípsico): tiene un horizonte que presenta acumulaciones de yeso secundario.

Hemic (hémico): presenta, después de frotado, entre un sexto y dos tercios (en volumen) de material orgánico consistente en tejido vegetal reconocible dentro de 1 m de profundidad.

Histic (hístico): tiene una capa orgánica superficial gruesa saturada con agua.

Humic (húmico): tiene un contenido promedio de humus relativamente alto dentro de los primeros 50 cm del suelo mineral.

Hydric (hídrico): tiene, dentro de 100 cm de profundidad, una o más capas con un espesor combinado de al menos 35 cm, y con una retención de agua del 100% o más en muestras sin secar (sólo en Andosols).

Leptic (léptico): la roca continua comienza antes de 1 m de profundidad.

Luvic (lúvico): tiene un horizonte de acumulación de arcilla con CIC y saturación de bases altos.

Melanic (melánico): tiene un horizonte melánico que comienza antes de los 30 cm de profundidad (sólo en Andosoles).

Mollic (mólico): tiene un horizonte superficial oscuro, rico en humus y con una saturación en bases alta.

Nitic (nítico): tiene un horizonte subsuperficial arcilloso con agregados brillantes bien desarrollados y con contenidos altos en óxidos de hierro.

Novic (nóvico): suelo cubierto por una capa de sedimentos recientes (material nuevo) de entre 5 y 50 cm de espesor.

Oxyaquic (oxiácuico): saturado con agua rica en oxígeno durante un período de 20 o más días consecutivos.

Pelic (pélico): tiene una capa superficial muy oscura (sólo en Vertisoles).

Petric (pétrico): tiene una capa fuertemente cementada.

Plinthic (plíntico): tiene un horizonte con una acumulación de óxidos de hierro en forma concrecionar o reticular, el cual se endurece de manera irreversible al exponerse a condiciones repetidas de humedad y secado formando nódulos duros o una capa lámina dura.

Profondic (profóndico): que tiene un horizonte rico en arcilla en la que el contenido de arcilla no disminuye en un 20% o más de su máximo dentro de 1,5 m de la superficie.

Protic (prótico): carece de horizontes en desarrollo (sólo en Arenosols).

Rendzic (réndzico): tiene un horizonte mineral superficial oscuro, rico en humus, el cual contiene o está inmediatamente por encima de material calcáreo con un contenido del 40% o más de carbonato de calcio equivalente.

Rheic (rhéico): tiene un horizonte saturado predominantemente con agua freática o flujo de agua superficial que comienza antes de los 40 cm de profundidad (sólo en Histosoles).

Rhodic (ródico): tiene una capa subsuperficial de al menos 30 cm de espesor, de color rojo oscuro.

Salic (sálico): tiene un horizonte rico en sales solubles.

Sapric (sáprico): presenta, tras frotarlo, menos de un sexto (en volumen) de material orgánico consistente de tejido vegetal reconocible dentro de los 100 cm de profundidad.

Silandic (silándico): presenta una o más capas de espesor acumulado de 15 cm o más, con propiedades ándicas y dominancia de alófanas e imogolitas (sólo en Andosols).

Siltic (límico): tiene una textura limosa en una capa de al menos 30 cm de espesor dentro de 1 m de la superficie.

Skeletic (squelético): tiene un 40% o más (en volumen) de grava en los primeros 100 cm del suelo.

Sodic (sódico): tiene 15% o más de Na o Mg intercambiables.

Stagnic (stágnico): presenta condiciones reductoras en algún momento del año debido a las aguas estancadas y traslocación de hierro, ya sea lateralmente, fuera del perfil, o dentro de los agregados.

Thionic (tiónico): tiene una capa rica en azufre, de al menos 15 cm de espesor, dentro de 100 cm de la superficie.

Umbric (úmbrico): tiene un horizonte superficial oscuro, rico en humus y con una saturación en bases baja.

Vertic (vértico): tiene un horizonte arcilloso subsuperficial en el que se aprecia el movimiento de masas de suelo.

Vitric (vítrico): tiene una o más capas de espesor acumulado de 30 cm o más con vidrios volcánicos y con una cantidad de limitada a moderada de alófana, imogolita o complejos de sustancias orgánicas con aluminio (sólo en Andosols).

Xanthic (xántico): tiene un horizonte ferrálico de color amarillento pálido de por lo menos 30 cm de espesor situado dentro de 150 cm de la superficie.

Tipos de suelos principales en LAC

Ayuda para el lector

En esta sección se describen los tipos de suelos principales que podemos encontrar en LAC (seguidos por los tipos de suelos secundarios) siguiendo el esquema de la clasificación WRB, donde se denominan Grupos de Suelos de Referencia (GSR). Las siguientes páginas servirán de ayuda al lector para tener una idea general sobre las características clave de cada tipo de suelo, sus paisajes asociados y el patrón aproximado de distribución en LAC.

En LAC podemos encontrar los 32 tipos de suelos de la clasificación WRB. Los suelos se presentan en dos grupos: primero aquellos 13 que tienen un área de extensión significativa (tipos de suelos principales) y luego 18 tipos más, los cuales se dan con menor frecuencia (tipos de suelos secundarios). En ambos casos, los suelos han sido ordenados alfabéticamente siguiendo el sistema de clasificación descrito anteriormente. Únicamente los Albeluvisols no se muestran aquí debido a que su ocurrencia documentada en LAC es mínima.

Para cada tipo de suelo se da una definición clara y concisa y una descripción de las características principales, cubierta vegetal y uso. Cada descripción se complementa con un mapa de distribución, una imagen de un perfil típico y una imagen de paisaje típico.

El color asociado al título de cada apartado (tipo de suelo) es el utilizado en la leyenda de las páginas 58 y 59 y en la leyenda de los mapas regionales que le siguen. De esta manera, un color específico en el mapa se corresponde con el color de esta sección por lo que se pueden consultar las características básicas del suelo en cuestión (p. ej.: rojo = Andosol).

No hay que olvidar que un tipo de suelo en concreto no está restringido al área mostrada en el mapa. Por un lado, los mapas sólo muestran el tipo de suelo dominante, el cual puede ir acompañado de varios suelos asociados. Además, la escala pequeña no permite mostrar áreas de distribución menores.

Toxicidad por aluminio en los Acrisols

Este problema puede darse en suelos con valores bajos de pH (<5) en los que el complejo de intercambio catiónico está dominado por el aluminio, como sucede en Ferralsols y Acrisols. El problema se agrava cuando hay dominancia de arcillas con baja capacidad de intercambio catiónico, especialmente en suelos en los que escasea la materia orgánica. El lavado de las bases a causa de las altas precipitaciones (típicas de los trópicos húmedos), se convierte en un grave limitante para la mayoría de los cultivos, aunque existen plantas tolerantes al aluminio intercambiable, como la piña y el té. La toxicidad por aluminio afecta al 39% de la edafósfera de LAC.

Acrisols

Suelos de moderada a fuertemente ácidos con un subsuelo rico en arcilla y con baja capacidad de retención de nutrientes (del latín ***acer***, ácido)

Los Acrisols son suelos ácidos dominados por caolinita y con un horizonte subsuperficial de acumulación de arcilla. Son muy abundantes en la zona sur de la cuenca amazónica. Son pobres en nutrientes, por lo que requieren fertilización u otras acciones si se quieren cultivar de manera satisfactoria.

Izquierda: los Acrisols están naturalmente cubiertos por selvas tropicales y subtropicales. La agricultura de subsistencia, en parte itinerante, ocupa grandes áreas de Acrisols. Como se ve en la imagen, es posible también que se den en pastos, aunque depende en gran medida de la aplicación de pautas adecuadas de gestión del suelo. (SC)

Abajo: este Acrisol de Perú posee un horizonte superior de color claro en el cual la arcilla ha sido lixiviada y depositada en el subsuelo, de color rojizo. Debido a su estructura poco desarrollada, los Acrisols son susceptibles a la sequía, la compactación, la formación de costras y la erosión. (JNR)

El **mapa** muestra dónde son dominantes los Acrisols. Cubren cerca del 12% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Ultisols.

Arenosols

Suelos arenosos de fácil erosión, bajo contenido en agua disponible y baja capacidad de retención de nutrientes (del latín, ***arena,*** arena)

Los Arenosols son de los suelos más extensos a nivel mundial. Se pueden distinguir dos grupos según su génesis: depósitos de arenas recientes (desiertos, playas o dunas) y arenas cuarzosas que se acumulan residualmente por la intemperización *in situ* avanzada de los otros minerales, generalmente bajo clima tropical húmedo. En Latinoamérica, estos suelos son especialmente aptos para el cultivo de coco, mandioca y maíz. Si se ubican en regiones semiáridas, tan sólo toleran un pastoreo muy extensivo de escaso rendimiento.

Izquierda: paisaje de un Arenosol poco desarrollado en una peniplanicie de la Amazonia y la Orinoquía colombiana. Los Arenosols se ubican, principalmente, en Colombia, Venezuela, Surinam, Brasil, Perú, Paraguay y Argentina. Estos suelos son muy susceptibles a la erosión, especialmente cuando se pierde la cobertura vegetal (como sucede con el sobrepastoreo). (RS)

Abajo: suelo arenoso en Mato Grosso do Sul, Brasil. El color más oscuro de los primeros 70 cm se debe a la acumulación de materia orgánica (presencia de raíces) y al diferente grado de humedad. (PS)

El **mapa** muestra dónde son dominantes los Arenosols. Cubren cerca del 5% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Psamments.

Calcisols

Suelos con acumulación significativa de calcio (Ca) secundario, situados generalmente en zonas secas (del latín ***calx***, cal)

Los Calcisols tienen carbonatos secundarios que precipitan cuando el agua del suelo se sobresatura de iones calcio y bicarbonato. El calcio procede principalmente de la intemperización de materiales calcáreos (p.ej. calizas), pero también de yeso o feldespatos. Los Calcisols se extienden por zonas áridas y semiáridas, donde el agua de lluvia no penetra a mucha profundidad o donde el agua freática que asciende se evapora. Ambos fenómenos provocan la precipitación de los carbonatos. Si el contenido en carbonatos es alto se forma una capa cementada, impenetrable para las raíces de las plantas.

Izquierda: la falta de agua y/o la presencia de horizontes cementados cerca de la superficie limitan la actividad agrícola en los Calcisols. La imagen corresponde a un paisaje en el que los Calcisols aparecen en el valle (en las partes más altas y menos profundas encontramos Leptosols con carbonatos primarios). La ganadería extensiva es el principal uso de las zonas montañosas con Calcisols como la de la imagen en la sierra de Tamaulipas, noroeste de México. (CCG)

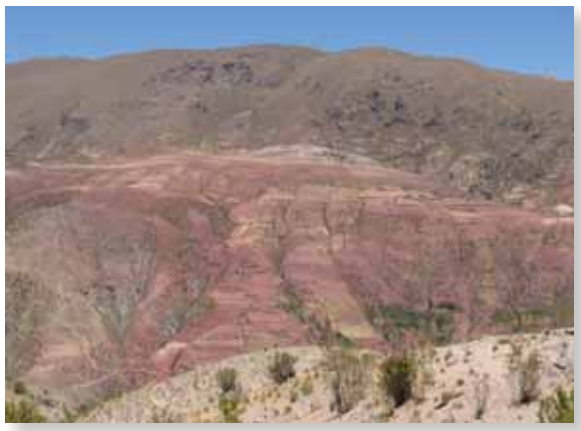
Abajo: este Calcisol de Chile se ha desarrollado en un depósito de conchas marinas. Los carbonatos secundarios se han redepositado en un nivel inferior formando una capa cementada. El contenido en materia orgánica es muy bajo. (MF)

El **mapa** muestra dónde son dominantes los Calcisols. Cubren cerca del 2% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Inceptisols (Calcixerepts o Calciustepts), o Aridisols (Calcids).

Cambisols

Suelos moderadamente desarrollados, con al menos un horizonte subsuperficial incipiente (del galolatino, ***cambiare***, cambiar)

Los Cambisols muestran evidencias de formación de suelo a través de variaciones en el color, remoción de carbonatos o yeso o formación de minerales de arcilla. Estos suelos cubren grandes superficies en una amplia gama de paisajes (tanto llanos como montañosos), climas y tipos de vegetación.



Izquierda: este ejemplo de la cordillera de los Andes orientales, en Bolivia, demuestra que los Cambisols soportan diversos tipos de agricultura, aunque la erodibilidad, la pedregosidad y la escasa profundidad pueden actuar como factores limitantes. (RV)

Abajo: este perfil muestra un Cambisol de Chile que se ha desarrollado a partir de depósitos no consolidados. Por debajo de la capa superficial se observa un horizonte escasamente diferenciado con signos visibles de formación de óxido de hierro. El contenido en materia orgánica es bajo. (PS)

El **mapa** muestra dónde son dominantes los Cambisols. Cubren cerca del 9% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Inceptisols.

Ferralsols

Suelos muy alterados con baja capacidad de retención de nutrientes (del latín ***ferrum***, hierro y ***alumen***, aluminio)

Los Ferralsols son relativamente frecuentes en América Latina y se encuentran asociados a menudo con los Acrisols. Son comunes en áreas donde se producen fuertes lluvias y los terrenos son antiguos (Terciario). Estos suelos sufren fuertes procesos de meteorización que llevan a la pérdida de la mayoría de los minerales meteorizables y el lavado de gran cantidad de silicio y cationes básicos. Por esta razón, están dominados por compuestos estables como caolinita, óxidos de aluminio y óxidos de hierro, estos últimos responsables del color intenso (rojo y amarillo).

Izquierda: los Ferralsols se dan principalmente en las regiones tropicales y subtropicales, principalmente sobre terrenos geológicamente antiguos y estables. La foto corresponde a la selva en el norte de la cuenca amazónica (Brasil). (GG)

Abajo: este perfil de Brasil muestra el color rojo típico de los Ferralsols. Se puede ver un horizonte superficial más oscuro y menos rojo, en el que el contenido de carbono orgánico es alto, aunque en algunos casos se puede perder debido a la deforestación y a prácticas agrícolas inadecuadas. (LMSB)

El **mapa** muestra dónde son dominantes los Ferralsols. Cubren cerca del 17% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Oxisols.

Gleysols

Suelos con agua freática que alcanza la superficie (del ruso, ***gley***, masa de barro)

Los Gleysols se dan principalmente en depresiones del terreno donde el agua subterránea que fluye o que asciende por capilaridad llega a la superficie del suelo. En la parte baja aparece hierro reducido, junto con coloraciones grisáceas-azuladas. Desde abajo, el agua asciende por capilaridad y se evapora en la superficie de los agregados, donde el hierro se oxida por el oxígeno del aire, dando así lugar a motas pardas, rojas o amarillas. Sus mayores extensiones se localizan en los trópicos húmedos (escudo guayanés, Amazonia y regiones andinas húmedas).

Izquierda: los Gleysols se encuentran frecuentemente en humedales. En la imagen se observa un humedal en México. Aunque ocupando menores superficies que en los trópicos húmedos, también se encuentran Gleysols en América del Norte, Mesoamérica y América austral. (CCG)

Abajo: los tonos grisáceos y las motas anaranjadas en la parte baja del perfil (sobre el agua) son indicadores de las condiciones reductoras constantes. Por debajo del nivel del agua el suelo presenta un color gris. La foto corresponde a un Gleysol de Brasil. (HGS)

El **mapa** muestra dónde son dominantes los Gleysols. Cubren cerca del 5% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos dentro de los subórdenes ácuicos.

Leptosols

Suelos poco profundos sobre roca dura continua o con mucha grava (del griego ***leptós***, delgado)

Los Leptosols tienen poco contenido en tierra fina, por lo que su capacidad para almacenar agua es mínima. Se pueden distinguir dos tipos: suelos poco profundos que recubren una masa rocosa y suelos altamente pedregosos, que, localmente, pueden ser profundos. Están muy extendidos por todo el mundo y se encuentran principalmente en las regiones montañosas, los desiertos y en zonas donde el suelo se ha erosionado. En estos suelos suelen desarrollarse actividades como el pastoreo extensivo o el aprovechamiento forestal.

Izquierda: esta colina cerca de Lima, en Perú, está dominada por Leptosols. Entre los afloramientos rocosos se pueden apreciar pequeños parches de tierra fina, aunque son las rocas lo que predomina en la superficie. El material parental se encuentra muy expuesto a la intemperie y a las bajas temperaturas. (JNR)

Abajo: este perfil de Perú muestra un Leptosol poco profundo y pedregoso, donde prácticamente no hay desarrollo del subsuelo. (JNR)

El **mapa** muestra la ubicación de las zonas donde los Leptosols son los suelos dominantes. Cubren cerca del 11% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Entisols.

Lixisols

Suelos ligeramente ácidos con un subsuelo rico en arcilla y con baja capacidad de retención de nutrientes (del latín ***lixivia***, sustancias lavadas)

Los Lixisols son suelos moderadamente ácidos o neutros dominados por caolinita y con un horizonte subsuperficial de acumulación de arcilla. Los horizontes superficiales de estos suelos no son muy estables estructuralmente, por lo que son propensos a la formación de costras y/o la erosión si se dejan expuestos al impacto directo de las gotas de lluvia (por la eliminación de la cubierta vegetal). El uso de la maquinaria pesada o del arado cuando el suelo está húmedo es muy perjudicial para el suelo.

Izquierda: en la imagen se observa un Lixisol cultivado en Carabobo, Venezuela. El uso de la maquinaria pesada o del arado cuando el suelo está húmedo produce severos impactos como la compactación y el deterioro de la estructura del terreno. (ST)

Abajo: el perfil rojizo corresponde a un Lixisol de Venezuela. La mayoría de estos suelos aparece en ambientes tropicales subhúmedos o semiáridos con bajo contenido en carbono orgánico. (ST)

El **mapa** muestra las áreas en las que el Lixisol es el tipo de suelo dominante. Cubren cerca del 2% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Alfisols.

Luvisols

Suelos poco ácidos con un subsuelo rico en arcilla y con alta capacidad de retención de nutrientes (del latín ***luere***, lavar)

Los Luvisols (al igual que Lixisols, Acrisols y Alisols) presentan una marcada diferenciación textural dentro del perfil, debido a la migración de las arcillas desde la superficie hacia el interior del suelo. Se caracterizan por una elevada saturación con bases y por contener arcillas de alta actividad. Se ubican principalmente en paisajes jóvenes con periodo de sequía en México, Cuba, República Dominicana, Nicaragua, Ecuador, Perú, Venezuela, Brasil, Uruguay y Argentina. Los suelos de este grupo, a excepción de algunas unidades, resultan ser aptos para una gran variedad de usos.

Izquierda: imagen de un cultivo en Venezuela sobre Luvisols, muy aptos para la agricultura debido a su fertilidad. En condiciones de pendiente es necesario tomar medidas para minimizar la erosión. (ST)

Abajo: en el perfil se puede distinguir el horizonte húmico superficial seguido de un horizonte lixiviado. A partir de 60 cm aparece el horizonte árgico, en el que se concentra la arcilla procedente de los horizontes superficiales. (JEVP)

El **mapa** muestra las áreas en las que el Luvisol es el suelo dominante. Cubren cerca del 4% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Alfisols.

Phaeozems

Suelos ligeramente ácidos o neutros con un horizonte mineral superficial grueso y oscuro (del griego ***phaiós***, oscuro y del ruso, ***zemlja***, tierra)

Los Phaeozems se caracterizan por un horizonte mineral superficial oscuro, rico en humus. Se encuentran principalmente en las regiones templadas subhúmedas. Su humedad relativamente elevada impide que se acumulen los carbonatos secundarios o sales solubles. Debido al alto contenido en humus e iones de calcio que se unen a las partículas del suelo, los Phaeozems presentan una estructura muy permeable y bien agregada. Son suelos fértiles que se encuentran en las pampas sudamericanas o bosques de zonas elevadas del trópico.

Izquierda: esta imagen muestra un paisaje de Phaeozem en Monagas, Venezuela. Este tipo de suelos también existe en las grandes praderas de América del Norte y las estepas templadas de Eurasia. (ST)

Abajo: en este ejemplo de la zona de Mar del Plata, en Argentina, el horizonte superficial de color oscuro se superpone a un subsuelo bien estructurado de color castaño. (PS)

El **mapa** muestra las áreas en las que el Phaeozem es el suelo dominante. Cubren cerca del 6% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Mollisols.

Plinthosols

Suelos con acumulación de óxidos de hierro en forma nodular o reticular (del griego ***plinthos***, ladrillo)

Los Plinthosols se desarrollan sobre materiales caoliníticos ricos en óxidos de hierro. Las reacciones químicas causadas por la presencia de agua subterránea o estancada dan lugar a una redistribución de los óxidos de hierro en un patrón reticular o nodular con espacios intermedios pobres en hierro y de color claro. Estos horizontes reciben el nombre de plintita y se endurecen con el humedecimiento y secado repetidos. La presencia de la plintita puede limitar el uso de estos suelos. Para evitar el endurecimiento, las capas superiores deben ser protegidas contra la erosión.

Izquierda: cultivo de caña de azúcar en Plinthosols en una topografía suavemente ondulada del noreste de Brasil. (MBON)

Abajo: este perfil de Venezuela muestra un Plinthosol clásico con los característicos nódulos rojos de plintita por debajo de los 35 cm de profundidad. En la parte superior, el desplazamiento del hierro en condiciones de saturación de agua resulta en una coloración grisácea. El endurecimiento de la plintita resulta en una lámina dura continua (petroplintita, laterita, rocas de hierro) o en nódulos duros discretos (pisolitos). (ST)

El **mapa** muestra la ubicación de las zonas donde los Plinthosols son el suelo dominante. Cubren cerca del 3% de LAC. Soil Taxonomy clasifica estos suelos bien como Oxisols o como Ultisols.

Regosols

Suelos poco desarrollados en material no consolidado (del griego ***rhegos***, manto)

Los Regosols son suelos de materiales blandos, poco evolucionados y con escasa materia orgánica. Su producción agraria suele ser más bien escasa y, como sucede en el caso de los Leptosols, buena parte de ellos se dedica al pastoreo extensivo. En otras ocasiones se preserva la vegetación natural o bien se reforestan las laderas. Generalmente, su uso agrícola sólo resulta rentable en climas húmedos y frescos.

Izquierda: paisaje con Regosols en Bolivia. Se pueden observar las cárcavas que se forman debido a la erosión por escorrentía superficial del agua de lluvia. Los afloramientos rocosos son típicos de este tipo de suelos. (RV)

Abajo: Regosol de un área de acumulación de estratos de diferentes colores, con débil meteorización y poca acumulación de materia orgánica. (RV)

El **mapa** muestra dónde son dominantes los Regosols. Cubren cerca del 6% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Entisols.

Solonetz

Suelos con un horizonte de acumulación de arcilla y sodio (del ruso ***sol***, sal)

Los Solonetz muestran un horizonte subsuperficial con acumulación de arcilla y una alta proporción de sodio y/o magnesio intercambiables. Esto da lugar a un suelo muy alcalino, típicamente con una estructura columnar bien desarrollada. Estos suelos suelen estar asociados a materiales no consolidados (en su mayoría sedimentos de textura fina, terrenos llanos y climas semiáridos. El subsuelo de los Solonetz suele endurecerse en la estación seca y se vuelve pegajoso cuando está mojado, por lo que su puesta en cultivo es problemática.

Izquierda: palmeral en un Solonetz arcilloso en el Departamento Presidente Hayes, en Paraguay. Un problema habitual de los Solonetz es la acumulación de agua sobre los suelos secos durante los aguaceros. (PAJ)

Abajo: Solonetz bien desarrollado en Chile con un horizonte superficial de color marrón claro (0 - 40 cm) por encima de un horizonte oscuro, rico en arcilla y sodio (40 - 80 cm). Por debajo de los 80 cm aparece un horizonte cálcico. Se puede ver claramente la estructura columnar o prismática típica de los Solonetz. (PS)

El **mapa** muestra dónde son dominantes los Solonetz. Cubren cerca del 5% de LAC. Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Alfisols (p. ej. Natraqualfs).

Suelos secundarios en LAC: aunque son importantes localmente, los tipos de suelo que se describen a continuación ocupan pequeñas extensiones (<2% de la superficie de LAC).

Alisols

Suelos de moderada a fuertemente ácidos con un subsuelo rico en arcilla y con alta capacidad de retención de nutrientes (del latín ***alumen***, aluminio)

Estos suelos presentan un alto contenido de arcilla en la parte subsuperficial, como consecuencia de la migración desde la parte superior. Los Alisols tienen una saturación en bases baja a ciertas profundidades y arcillas de alta actividad (p. ej. vermiculita, illita y montmorillonita) en el horizonte rico en arcilla. Se dan principalmente en zonas húmedas subtropicales y templadas; este clima produce acidez y lixiviación de bases. La meteorización de los silicatos primarios puede liberar gran cantidad de aluminio – a menudo a niveles tóxicos-.

Izquierda: perfil profundo, marrón-rojizo característico de los Alisols, correspondiente a un terreno dedicado a la producción de vino en Chile. La naturaleza ácida del suelo evita la pudrición de las raíces. (MF)

Abajo: en este paisaje ondulado del centro de Chile cubierto de viñedos, los Alisols son los suelos dominantes. Estos suelos se dan en terrenos geológicamente jóvenes. (MF)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Ultisols.

Andosols

Suelos jóvenes desarrollados principalmente a partir de materiales con vidrios volcánicos (del japonés ***an***, oscuro y ***do***, suelo)

Muchos Andosols se derivan de ceniza volcánica, piedras pómez u otro material volcánico. La meteorización rápida de los vidrios da lugar a la formación de minerales con bajo grado de ordenamiento, como alófanas e imogolitas (Silandic Andosols) o de complejos de sustancias orgánicas con aluminio (Aluandic Andosols). Ambos tienen óxidos de hierro como la ferrihidrita. Los Andosols aparecen en regiones volcánicas en todo el mundo; sin embargo, los Aluandic Andosols también pueden desarrollarse en otros materiales ricos en silicatos bajo meteorización ácida, en climas húmedos y perhúmedos.

Izquierda: Silandic Andosol de Chile. La meteorización rápida de los vidrios volcánicos bajo condiciones de alto pH resulta en la formación de alófanas e imogolitas. (PS)

Abajo: paisaje de Aluandic Andosols. Las principales actividades agrícolas comprenden la producción de avena y maíz. San Lorenzo, Departamento de San Marcos, Guatemala. (HTV)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Andisols.

Anthrosols

Suelos formados por la actividad humana (del griego ***ánthropos***, hombre)

Los Anthrosols se forman por actividades ligadas al uso del suelo, como la adición de materiales orgánicos, desechos domésticos, cal, carbón vegetal, sedimentos lacustres (como en las chinampas mexicanas) o la carga de sedimentos del agua de riego. Habitualmente estos materiales añadidos se entierran profundamente en el suelo original. Muchos arrozales y antiguas tierras de regadío también pueden ser considerados como Anthrosols. Sin embargo, los suelos que contienen una cantidad significativa de artefactos recientes (p.ej.,residuos de mineros o escombros) se consideran Technosols, no Anthrosols.

Izquierda: *terra preta de índio* (TPI - Hortic Anthrosol). Se formó por la adición de grandes cantidades de carbón, huesos, estiércol y fragmentos de cerámica a un suelo caolinítico relativamente infértil (el horizonte amarillo) durante un largo periodo de tiempo. (WGT)

Abajo: TPI cultivada con maíz, muy oscura y fértil, en la cuenca del Amazonas. (WGT)

En Soil Taxonomy no existe equivalencia, pero muchos de estos suelos están calificados como Anthrepts.

Chernozems

Suelos con un horizonte mineral superficial profundo, negro y rico en materia orgánica, con carbonatos secundarios en el subsuelo (del ruso ***cherniy***, negro, y ***zemlja***, tierra)

Los Chernozems presentan un horizonte superficial negruzco rico en materia orgánica y con un valor neutro de pH. Aparecen carbonatos secundarios,en los primeros 50 cm a partir del límite inferior de la primera capa rica en humus. Estos suelos muestran una elevada actividad biológica y se encuentran típicamente en áreas de hierbas altas en climas templados subhúmedos o semiáridos (p. ej. en praderas). Se trata de uno de los suelos más productivos del mundo.

Izquierda: en la parte superior del perfil se observa claramente el horizonte mólico, horizonte mineral muy rico en materia orgánica. (PK)

Abajo: paisaje sobre Chernozems en Veracruz, México. (PK)

Soil Taxonomy clasifica estos suelos como Mollisols..

Cryosols

Suelos con permafrost (del griego ***krýos***, frío)

Los Cryosols albergan un subsuelo congelado permanentemente (permafrost). Cuando hay agua presente, ésta se da principalmente en forma de hielo. En los Cryosols la actividad biológica natural o inducida por el hombre está confinada a la capa superficial activa que se deshiela cada verano. Este ciclo de congelación y descongelación puede causar la mezcla del material de la capa activa, proceso conocido como crioturbación.

Izquierda: Cryosol formado en loess en la tundra del norte de Alaska (EE.UU). La materia orgánica, fuertemente crioturbada, se encuentra dispersa por los distintos horizontes. En este caso, el límite del permafrost se encuentra a 50 cm de la superficie. Éste indica el comienzo de la masa de hielo. (CP)

Abajo: permafrost de montaña en los Andes Secos (Mendoza, Argentina). Se trata de un típico paisaje de los ambientes periglaciales. (LR)

Soil Taxonomy clasifica estos suelos como Gelisols.

Durisols

Suelos con acumulación de sílice secundaria (del latín ***durus***, duro)

Los Durisols están principalmente asociados con superficies antiguas en ambientes áridos y semiáridos y acomodan suelos poco profundos que contienen sílice (SiO_2) secundaria dentro de 100 cm de la superficie del suelo. La sílice puede formar nódulos independientes endurecidos o una dura capa continua.

Izquierda: perfil con el horizonte endurecido (duripan) que se encuentra a unos 80 cm de la superficie. Estación experimental Las Cardas, provincia de Elqui, IV Región de Coquimbo (Chile). (OS)

Abajo: valle con vegetación dispersa en los márgenes del desierto de Atacama (Chile). (OS)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Durids, Durustepts y Durixerepts.

Fluvisols

Suelos jóvenes propios de llanuras de inundación, valles, lagos, deltas o playas (del latín ***fluvius***, río)

Estos suelos se encuentran en depósitos aluviales en llanuras de inundación, valles, deltas y marismas costeras en todos los continentes y en todas las zonas climáticas. Muchos Fluvisols se inundan periódicamente de manera natural. Presentan estratos y la diferenciación de horizontes es débil. Muchos de ellos tienen gran cantidad de humus en la parte superficial. Aparecen con frecuencia rasgos típicos de procesos de oxidación-reducción, especialmente en la parte inferior del perfil.

Izquierda: en este perfil de un Fluvisol mexicano, los primeros 40 cm se caracterizan por la presencia de sedimentos en capas por deposición de arenas finas, como resultado de un lento flujo de agua. Alrededor de los 30 cm se da un cambio abrupto en el flujo, ya que iaparecen materiaesl más gruesos. Por debajo de los 40 cm la predominancia de arenas gruesas mezcladas con gravas es igualmente indicadora de condiciones de flujos más turbulentos. La carencia de horizontes por debajo de los 40 cm sugiere una deposición continua durante un largo periodo de tiempo. (CCG)

Abajo: valle fluvial en Tapacarí, Bolivia. Se observa la llanura de inundación con cultivos inundados a ambos lados del cauce. (RV)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Fluvents.

Gypsisols

Suelos con acumulación de yesos secundarios, situados generalmente en zonas áridas (del griego ***gýpsos***, yeso)

Los Gypsisols son suelos con una acumulación sustancial de yeso secundario ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Estos suelos se encuentran en regiones muy secas. Muchos de ellosaparecen en depresiones del terreno y reflejan antiguos lechos de lagos que se secaron por evaporación. La vegetación natural es escasa y está dominada por arbustos xerofíticos o especies herbáceas vivaces.

Izquierda: en el perfil se observa la acumulación de yeso en la matriz del suelo, especialmente entre 40 y 80 cm (horizonte gypsico). (JNR)

Abajo: paisaje típico de Gypsisols en una zona árida de Perú, cercana a la costa. Los Gypsisols suelen aparecer en áreas donde la evapotranspiración es mucho mayor que la cantidad de precipitaciones. (JNR)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Gypsids.

Histosols

Suelos ricos en materia orgánica que se desarrollan generalmente bajo condiciones de exceso de agua o bajas temperaturas (del griego ***histós***, tejido)

Los Histosols son suelos formados por material orgánico. Incluyen desde los suelos de las turberas de regiones árticas y boreales, hasta los suelos manglares y bosques pantanosos en los trópicos húmedos. La mayoría se da en depresiones del terreno.

Izquierda: detalle del suelo en un valle alto andino. (JNR)

Abajo: paisaje correspondiente al suelo de la izquierda. Se trata de una cabecera de cuenca en altitudes sobre los 3.900 msnm, donde, las temperaturas son muy bajas (incluso por debajo de 0° C), las precipitaciones son abundantes y la vegetación está compuesta por pastos naturales nativos. (JNR)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Histosols.

Kastanozems

Suelos con un horizonte mineral superficial oscuro y rico en materia orgánica, con carbonatos secundarios en el subsuelo (del latín ***castanea***, castaño, y ruso ***zemlja***, tierra)

Los Kastanozems tienen un perfil similar al de los Chernozems, únicamente el horizonte superficial es más claro y tanto su contenido en humus como su espesor suelen ser menores. Además, suelen presentar mayores acumulaciones de carbonatos secundarios en la parte subsuperficial. Comprenden suelos de pastizales o matorrales secos. Los Kastanozems son suelos potencialmente ricos; la falta periódica de humedad es el obstáculo principal para alcanzar altos rendimientos agrícolas. En LAC se pueden encontrar, por ejemplo, en los valles interandinos.

Izquierda: este Kastanozem se encuentra en las llanuras del norte de México. El color oscuro de la capa superior se debe a la acumulación de materia orgánica. (CCG)

Abajo: paisaje correspondiente al perfil. Se trata de un ecosistema de matorral típico de la zona, y constituye una de las áreas más fértiles de la región. Sólo aquellos Kastanozems que cuentan con riego se mantienen productivos todo el año. (CCG)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Mollisols.

Nitisols

Suelos rojizos profundos con una estructura bien desarrollada y agregados nuciformes (del latín ***nitidus***, brillante)

Los Nitisols son suelos tropicales profundos bien drenados, con límites difusos entre horizontes. Tienen un horizonte subsuperficial típicamente rojo con al menos 30% de arcilla y estructura en bloques angulares que fácilmente se deshacen en los característicos elementos brillantes, de bordes planos o nuciformes. La meteorización es relativamente avanzada pero los Nitisols son mucho más productivos que la mayoría de los otros suelos tropicales. Muchos Nitisols se correlacionan con los "nitossolos" de la clasificación nacional brasileña.

Izquierda: el color rojo de este ejemplo de Cuba indica la presencia de gran cantidad de óxidos de hierro. Nótese la falta de límites claros entre horizontes y los agregados en forma de nuez. (OMU)

Abajo: cultivo de col y lechuga en Cuba. Los Nitisols se caracterizan por su productividad, a pesar de su elevada capacidad de fijación de fosfatos. En este país son muy demandados por los agricultores para la producción de cultivos variados como caña de azúcar, tabaco, hortalizas, y café. (OMU)

En Soil Taxonomy estos suelos pertenecen a las categorías Oxisols, Ultisols e Inceptisols.

Planosols

Suelos con un cambio abrupto de textura entre un horizonte superficial y un horizonte subsuperficial más arcilloso, causando una acumulación de agua (del latín ***planus***, plano)

Los Planosols tienen un horizonte superficial de textura más gruesa, bajo del cual yace un subsuelo denso, lentamente permeable y más rico en arcilla, lo que causa un estancamiento de agua con condiciones reductoras periódicas. El hierro reducido de la superficie se lava lateralmente fuera del perfil, dejando un horizonte de color claro y concentrándose en la parte subsuperficial en forma de motas. En el mundo, los Planosols concentran sus mayores extensiones en las regiones subtropicales y templadas con una alternancia clara de estación seca y húmeda (p. ej. Paraguay, Argentina y el sur de Brasil).

Izquierda: el perfil corresponde a un suelo de México. Se puede apreciar el típico cambio abrupto de textura: de gruesa en el horizonte superficial de color claro, pasando por una textura más fina del horizonte oscuro subyacente, hasta llegar a una estructura más densa en el subsuelo. (CCG)

Abajo: terreno llano, típico de los Planosols. Estos suelos se dan a nivel de paisaje en todo el mundo y a menudo están asociados a amplios valles fluviales. (ER)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Albaqualfs, Albaquults y Argialbolls.

Podzols

Suelos ácidos arenosos con un horizonte lavado sobre un horizonte de acumulación de materia orgánica, aluminio y hierro (del ruso ***pod***, abajo, y ***zola***, ceniza)

Los Podzols son suelos con un horizonte subsuperficial superior típicamente gris ceniza, decolorado por la pérdida de materia orgánica y óxidos de hierro, sobre un horizonte de acumulación oscuro con humus iluvial, seguido por otro horizonte de acumulación de color pardo a rojizo con óxidos de hierro. Aparecen en áreas húmedas en las zonas boreal o templada y localmente en los trópicos. La presencia de capas orgánicas es común en áreas de bajas temperaturas. Debido al bajo nivel de nutrientes, de retención de humedad y de pH, los Podzols son poco atractivos para la agricultura.

Izquierda: se trata de suelos arenosos desde la superficie, con acumulación de materia orgánica y /u óxidos de hierro en la parte más profunda del suelo. Son suelos generalmente muy pobres y ácidos. La toxicidad por aluminio y deficiencia de P son problemas comunes. El perfil corresponde a Brasil, donde se distribuyen de manera desigual a lo largo de la zona litoral, y algunos lugares de la Amazonia Occidental interior, donde alcanzan grados altos de expresión. (Emprapa)

Abajo: paisaje de Podzol en Brasil. (Emprapa)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Spodosols.

Solonchaks

Suelos con acumulación de sales solubles (del ruso ***sol***, sal)

Los Solonchaks son suelos que tienen alta concentración de sales más solubles que el yeso (p.ej.: cloruro de sodio o sulfato de magnesio). Estas sales pueden moverse en el perfil a lo largo del año. Los Solonchaks están confinados en zonas climáticas áridas y semiáridas. Sus características limitan el crecimiento de las plantas dependiendo de la cantidad de sales, la profundidad a la que se encuentren y la composición de las mismas.

Izquierda: es evidente la acumulación de sal en los primeros 50 cm del suelo (horizonte sálico) (ISRIC).

Abajo: los Solonchaks aparecen en regiones muy áridas, como es el caso de este paisaje boliviano. (RV)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Salids.

Stagnosols

Suelos con agua estancada periódicamente (del latín ***stagnare***, estancar)

Los Stagnosols son suelos con una capa de agua estancada de manera estacional. El drenaje está periódicamente impedido en el suelo subsuperficial y causa un estancamiento periódico del agua de lluvia, produciéndose condiciones reductoras. El hierro, en forma reducida, se traslada al interior de los agregados, donde se reoxida y forma concreciones o motas de colores intensos. La saturación periódica de agua es un problema para el uso del suelo. En algunos sistemas de clasificación, estos suelos reciben el nombre de pseudogleys.

Izquierda: se pueden apreciar en el perfil el intrincado patrón de color de este tipo de suelos. El color uniforme de los 30 cm superior es debido al cultivo en los años pasados. (EM)

Abajo: los paisajes típicos de los Stagnosols destacan por ser llanos, como éste de la costa del Golfo de México. (CCG)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Epiaqualfs, Epiaquults y Epiaquepts.

Technosols

Suelos que han sido sellados o que contienen materiales de origen artificial (del griego ***technikós***, hecho con habilidad)

Los Technosols albergan gran cantidad de artefactos creados por el hombre (p. ej. basura doméstica, residuos de construcciones o residuos industriales), o bien contienen material extraído a la superficie (p. ej. vertidos de minas o derrames de petróleo) o han sido sellados artificialmente (p. ej. carreteras). Frecuentemente contienen materiales tóxicos. La mayoría de estos suelos se situan en entornos urbanos o áreas mineras.

Izquierda: típico perfil de Technosol, el cual muestra evidencias de antiguas construcciones en la parte superior del mismo. (ER)

Abajo: vertedero donde se depositan residuos procedentes de construcciones de infraestructuras. Aunque los Technosols pueden tener cierta importancia a nivel local, en una escala continental ocupan menos del 1,5% de la superficie de LAC. (ER)

No tienen equivalente en Soil Taxonomy.

Umbrisols

Suelos ácidos con un horizonte mineral superficial oscuro y rico en materia orgánica (del latín ***umbra***, sombra)

Los Umbrisols tienen un horizonte mineral superficial rico en materia orgánica pero con un contenido bajo en nutrientes. Suelen estar asociados a material parental de naturaleza ácida y/o áreas en las que se producen fuertes lluvias. En LAC, los Umbrisols son comunes en la cordillera de los Andes de Colombia, Ecuador y, en menor proporción, en Venezuela, Bolivia y Perú. También se dan en Brasil (p. ej. en la Serra do Mar).

Izquierda: suelo arcilloso con 33cm de profundidad y con acumulación de humus en el horizonte mineral superficial. Tiene pH neutro pero saturación de bases menor a 50% a partir de los 14cm de profundidad. El lugar correspondiente al perfil se encuentra en un clima templado húmedo de la gran meseta duranguense (2.620 msnm), la cual es parte de la Sierra Madre Occidental, México. (CCG)

Abajo: bosque nuboso en el Parque Henri Pitter, Venezuela. Las nubes se forman por la acción de masas de aire húmedo ascendentes, lo que propicia la producción de materia orgánica y un fuerte lavado, resultando en la formación de Umbrisols. (ISRIC)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Inceptisols.

Vertisols

Suelos ricos en arcilla que experimentan expansión y contracción (del latín ***vertere***, voltear)

Los Vertisols son suelos muy arcillosos con alta proporción de arcillas expandibles. Su denominación hace referencia a la remoción constante del material de suelo. En su parte subsuperficial aparecen agregados en forma de cuña con superficies pulidas y acanaladas (slickensides). Al secarse (lo que ocurre casi todos los años), forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo. Los Vertisols se encuentran típicamente en posiciones bajas del paisaje tales como fondos de lagos secos, cuencas de ríos, terrazas inferiores de ríos y otras tierras bajas, y allí donde el clima muestra una alternancia entre la época húmeda y la seca. Aparecen en la mayoría de los países de LAC.

Izquierda: perfil de Vertisol de México que presenta las típicas grietas, resultado del encogimiento de los minerales arcillosos durante los periodos secos. (CCG)

Abajo: campo de cereales cosechado: los Vertisols son muy fértiles (aunque requieren precaución en el uso de maquinaria). (CCG)

Soil Taxonomy clasifica la mayoría de estos suelos como Vertisols.

Los suelos de LAC: fortalezas, oportunidades, deficiencias y amenazas

En esta sección se destacan las fortalezas, deficiencias, oportunidades y amenazas de los tipos de suelo principales de LAC, de cara a la utilización del suelo como recurso agrícola principalmente.

Acrisols

Fortalezas: grandes áreas de estos suelos están cubiertas de vegetación natural o bien se gestionan mediante sistemas de roza y quema (agricultura nómada).

Oportunidades: pueden ser muy productivos si se fertilizan. Sin embargo, la fertilización debe aplicarse de forma repetida, en pequeñas cantidades y cerca de las plantas, ya que los Acrisols no tienen capacidad para retener una gran cantidad de nutrientes. Las especies tolerantes a la acidez, como la piña o el té, y aquellas poco exigentes, como la mandioca, pueden cultivarse con éxito. Dado el bajo contenido en arcilla en la parte superficial y la estructura débil, es necesario proteger el suelo si se va a dejar desnudo durante largos periodos de tiempo. La preparación del suelo junto con la eliminación de malas hierbas, permite que el agua de lluvia se infiltre en el suelo, evitando así la erosión. Los sistemas agroforestales son una alternativa para preservar la materia orgánica y evitar la erosión.

Deficiencias: tienen baja capacidad de retención de nutrientes y poco humus. Suelen ser bastante ácidos.

Amenazas: los Acrisols son susceptibles a la erosión y el decapado cuando se dejan sin ningún tipo de cubierta.

Arenosols

Fortalezas: los suelos arenosos son fáciles de trabajar.

Oportunidades: dado que los Arenosols se extienden por las zonas semiáridas del continente, el uso de la tierra está normalmente limitado al pastoreo extensivo. Con suficiente precipitación o con sistemas de riego, podrían cultivarse cereales a pequeña escala, melones, legumbres y especies forrajeras, siempre con fertilización.

Deficiencias: son pobres en materia orgánica, nutrientes y capacidad de retención de agua. Requieren fertilización y, en climas subhúmedos y semiáridos, los cultivos tienen que regarse frecuentemente para mantener la humedad.

Amenazas: Sin medidas para la conservación del suelo, los Arenosols de regiones semiáridas son propensos a la erosión eólica e hídrica.

A pesar de no ser uno de los grupos más abundantes en LAC, los Vertisols tienen una gran importancia en términos relativos. La imagen corresponde a la República Dominicana e ilustra el laboreo del suelo en una plantación de mandioca (*Manihot esculenta*) sobre un Vertisol que posee su color oscuro característico. Son suelos muy productivos, siempre que se disponga de la tecnología adecuada (si no, sólo es recomendable su uso ganadero extensivo y/o un uso forestal moderado). La mandioca se cultiva en todo el país durante los doce meses del año y es uno de los alimentos más consumidos. (PNR)

Calcisols

Fortalezas: su puesta en cultivo puede ser exitosa si se cuenta con irrigación.

Oportunidades: en la región mediterránea de LAC (Chile), estos suelos se utilizan para agricultura intensiva (hortalizas, árboles frutales, vid).

Deficiencias: la fertilización con nitrógeno, fósforo y oligoelementos como hierro y zinc es necesaria, ya que estos elementos son escasos en los Calcisols.

Amenazas: la falta de vegetación hace que los Calcisols sean propensos a la erosión eólica e hídrica.

Cambisols

Fortalezas: los Cambisols generalmente constituyen buenas tierras agrícolas y permiten un uso intensivo (especialmente aquellos con alta saturación de bases).

Oportunidades: dependiendo de su profundidad, pueden tener una alta capacidad para la retención de agua. Los Cambisols situados en los trópicos húmedos son típicamente pobres en nutrientes pero todavía son más ricos que los Acrisols o Ferralsols asociados. Además tienen una mayor CIC, lo que representa una ventaja a la hora de retener los elementos de la fertilización.

Deficiencias: los Cambisols fuertemente meteorizados son poco fértiles.

Todos los suelos existen en LAC

La clasificación WRB establece 32 Grupos de Suelos de Referencia y todos ellos están presentes en Latinoamérica y el Caribe. Esto se debe principalmente al amplio rango de condiciones medioambientales que se da en LAC. Incluso los Albeluvisols, no encontrados en un continente tan extenso como África, pueden aparecer en ambientes periglaciares de América del Sur.

Este tipo de suelo alberga un horizonte superficial delgado y oscuro, sobre un horizonte lavado (de iluviación) que penetra en lenguas en un horizonte de acumulación de arcilla con un límite superior irregular o quebrado, el cual resulta en lenguas del material lixiviado dentro del horizonte iluvial. Están compuestos principalmente por material glaciar no consolidado, materiales de origen lacustre o fluvial y depósitos eólicos (loess). Se dan en planicies llanas a onduladas bajo bosque de coníferas (incluyendo taiga) o bosque mixto con clima templado a boreal con inviernos fríos y veranos cortos y frescos (por esta razón, estos suelos son más abundantes en altas latitudes del Hemisferio Norte). En las lenguas se pueden apreciar unos elementos horizontales que se asemejan a cuñas de hielo, lo que sugiere su formación bajo condiciones de frío intenso. Estas condiciones pueden darse en ambientes periglaciares de LAC.

A pesar de que se tiene constancia de su existencia en LAC, los Albeluvisols son muy difíciles de localizar, ya que antiguamente su característica diagnóstica (lenguas albelúvicas) no se anotaba en los levantamientos de suelos.

Albeluvisol de Alemania en el que se pueden observar las lenguas del horizonte de eluviación hacia el horizonte de acumulación de arcilla (rojizo). (EM)

Amenazas: en áreas montañosas, donde los Cambisols son más frecuentes, hay que tomar medidas para prevenir la erosión que puede producirse cuando el suelo está descubierto. En estos terrenos es mejor mantener una cubierta boscosa o cultivos perennes como el té.

Ferralsols

Fortalezas: albergan vegetación natural, normalmente se trata de selva tropical, o bien se gestionan mediante sistemas de roza y quema. Pueden cultivarse de manera intensiva si se aporta cal y se fertilizan.

Oportunidades: aunque la mayoría de los Ferralsols son ácidos y tienen una saturación alta en aluminio. La cantidad real de aluminio intercambiable es baja, por lo que puede corregirse mediante la aplicación de cal. Sin embargo, el alto contenido en óxidos resulta en la fijación del fósforo de los fertilizantes. Los sistemas agroforestales son una alternativa moderna para mantener la materia orgánica y proveer nutrientes.

Deficiencias: los niveles inherentes de nutrientes y la capacidad de retención de los mismos son muy bajos. Para desarrollar una agricultura intensiva es necesario aplicar enmiendas en pequeñas dosis. La fuerte microagregación lleva a la dominancia de poros grandes; como consecuencia, la mayoría de los Ferralsols presenta una baja capacidad para la retención de agua, por lo que es posible que haga falta un aporte de agua suplementario en periodos anormalmente secos.

Amenazas: mantener la fertilidad del suelo y un cierto contenido en materia orgánica son los requerimientos más importantes en la gestión de los Ferralsols.

Plantación de café (*Coffea spp.*) en Costa Rica sobre un suelo clasificado como Acrisol. (SLCS)

Gleysols

Fortalezas: los Gleysols se dan normalmente en terreno llano. La proximidad al agua subterránea hace de estos suelos un medio idóneo para el cultivo del arroz.

Oportunidades: bien drenados pueden cultivarse o destinarse a la ganadería.

Deficiencias: en el caso de que exista hierro reducido en grandes cantidades, es necesario tomar medidas para evitar ferrosis en las hojas (manchas amarillentas) y bajos rendimientos de cultivo. En la mayoría de los casos será necesario el drenaje y controlar los niveles de agua en el suelo.

Amenazas: encharcamiento, falta de oxígeno para las raíces y compactación.

Leptosols

Fortalezas: constituyen una base sólida para la construcción de infraestructuras.

Oportunidades: los Leptosols se destinan principalmente al pastoreo extensivo y al uso forestal. El uso agrícola requiere medidas consecuentes contra la erosión. En latitudes tropicales los Leptosols pueden dar mayores rendimientos que los Ferralsols.

Deficiencias: presentan una profundidad de enraizamiento limitada, una baja capacidad para la retención de agua y los nutrientes están limitados a la escasa cantidad de tierra fina que haya presente.

Amenazas: riesgo elevado de erosión.

Lixisols

Fortalezas: los Lixisols pueden ser productivos si se remedia la escasa fertilidad inherente con una repetida aplicación de fertilizantes, preferiblemente cerca de las plantas. El encalado no es necesario.

Oportunidades: si se aplica un mantillo superficial durante el barbecho, se puede evitar la formación de una costra superficial. Debido al clima, puede ser necesario el riego para cultivar durante la estación seca o para superar los episodios de sequía durante la estación de lluvias. Es recomendable el uso de captadores de agua para almacenar tanta agua en el suelo como sea posible.

Deficiencias: se dan principalmente en regiones subhúmedas o semiáridas donde se produce poca biomasa, por lo que hay poco humus. Además la parte superficial tiene un bajo contenido de arcilla. Un aguacero intenso puede destruir la estructura del suelo.

Amenazas: son propensos a la erosión, aún más que sus contrapartes ácidos, los Acrisols. Si no se protegen de manera adecuada, puede desarrollarse una costra superficial que impida a la lluvia infiltrarse en el suelo. La escorrentía superficial podría entonces arrastrar la capa superior del suelo (la más fértil). Los Lixisols también son sensibles a la erosión eólica.

Luvisols

Fortalezas: los Luvisols son suelos productivos y de gran importancia agrícola (excepto las unidades: Leptic, Stagnic, Albic y Ferric). Son suelos ricos en arcillas en la parte subsuperficial, tienen una fertilidad de moderada a alta, albergan una gran cantidad de nutrientes minerales y están bien aireados. Pueden encontrarse cubiertos por pastizales, arrozales o cultivos anuales; en algunos casos, en pendientes pronunciadas están cubiertos por bosques y vegetación natural o están aterrazados.

Oportunidades: son suelos que toleran numerosos usos agrícolas.

Deficiencias: en algunas zonas de LAC, debido a su prolongado cultivo se ha erosionado la capa superior, por lo que la materia orgánica debe acumularse de nuevo.

Amenazas: son propensos a la erosión en terrenos con pendientes elevadas.

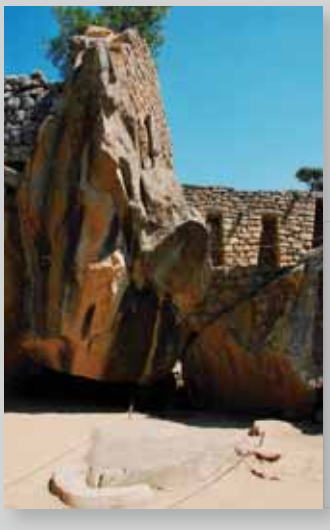
Grandes civilizaciones y Leptosols

En las regiones donde los Leptosols son frecuentes, las culturas y civilizaciones indígenas supieron aprovechar tales terrenos problemáticos, construyendo terrazas para cultivar las fuertes pendientes e incluso acarreando el suelo hacia las mismas a hombros por los campesinos, como en el caso del Santuario histórico de Machu Picchu, al sur de Perú.

Machu Picchu es quizás una de la ciudades más emblemáticas construidas por los Incas en los Andes. En la imagen se observan las terrazas del sector agrícola de la ciudad abandonada. El suelo de sus áreas no techadas está provisto de un sistema de drenaje (capas de grava y rocas) diseñado para evitar salpicaduras y erosión, el cual desemboca en su mayor parte en el "foso" (el desagüe principal de la ciudad) que separa el área urbana de la agrícola. Se calcula que el 60% del esfuerzo constructivo de Machu Picchu se empleó en hacer las cimentaciones sobre terrazas rellenadas con cascajo para un buen drenaje del exceso de agua. Los Incas aprovecharon la tecnología ya inventada, mejorándola y aplicándola de forma generalizada. (MVR)

Los pueblos precolombinos desarrollaron eficientes sistemas de aprovechamiento de los recursos hídricos para la irrigación y drenaje de sus campos. Estas admirables obras de ingeniería hidráulica permitieron transformar pequeños espacios hostiles desde el punto de vista agrícola, en oasis de alta productividad, inmersos en un paisaje de difíciles condiciones climáticas y topográficas.

Hoy en día, algunas de estas obras de ingeniería se utilizan todavía para regar las terrazas de la zona, como es el caso de Tipón, al este de Cuzco, donde se encuentran las ruinas Incas de un complejo de terrazas con un canal de irrigación en perfecto estado de conservación. Se cree que estas terrazas se utilizaban como "laboratorio" para cultivar especies agrícolas en diferentes microclimas.



El Templo del Cóndor en Machu Picchu, muestra una serie de irregularidades en su arquitectura, cuya finalidad era la de fundirse con el entorno, uniéndose con el perfil que ofrecen los afloramientos rocosos de los alrededores. Se trata de un ejemplo de la solidez de los Leptosols para la construcción de infraestructuras, en este caso, de carácter ritual, que ha permitido conservar el patrimonio histórico hasta hoy. (MVR)

No todas las obras de ingeniería hidráulica tenían un fin agrícola, sino que también se construían con fines rituales o sagrados. En la imagen se observa la "fuente de la juventud", en el complejo arqueológico de Ollantaytambo, el cual fue un importante centro agrícola y religioso del Valle Sagrado de los Incas (sur de Perú) en el s. XV. (MVR)

Phaeozems

Fortalezas: los Phaeozems son suelos ricos en materia orgánica y altamente productivos.

Oportunidades: tienen muy buen potencial para la agricultura.

Deficiencias: el cultivo agrícola con labranza intensa y pastoreo con rebaños grandes puede causar la degradación del suelo. También son vulnerables a la erosión eólica.

Amenazas: riesgo de erosión eólica.

Solonetz

Fortalezas: albergan hábitats naturales, ya que no tienen interés agrícola.

Oportunidades: aunque se trata de suelos muy básicos, se puede bajar el pH mediante la aplicación de cal o yeso, que reemplaza los iones de sodio del complejo de intercambio por calcio.

Deficiencias: la parte subsuperficial densa puede limitar el enraizamiento y propiciar el estancamiento del agua. La alcalinidad por su abundancia de sodio, es la causa de desequilibrios de nutrientes y la débil estructura. Cuando los Solonetz se secan, el suelo se endurece y es muy difícil de trabajar, especialmente de manera manual.

Amenazas: riesgo de sufrir erosión eólica y/o hídrica.

El análisis FODA: Fortalezas, Oportunidades - Deficiencias - Amenazas

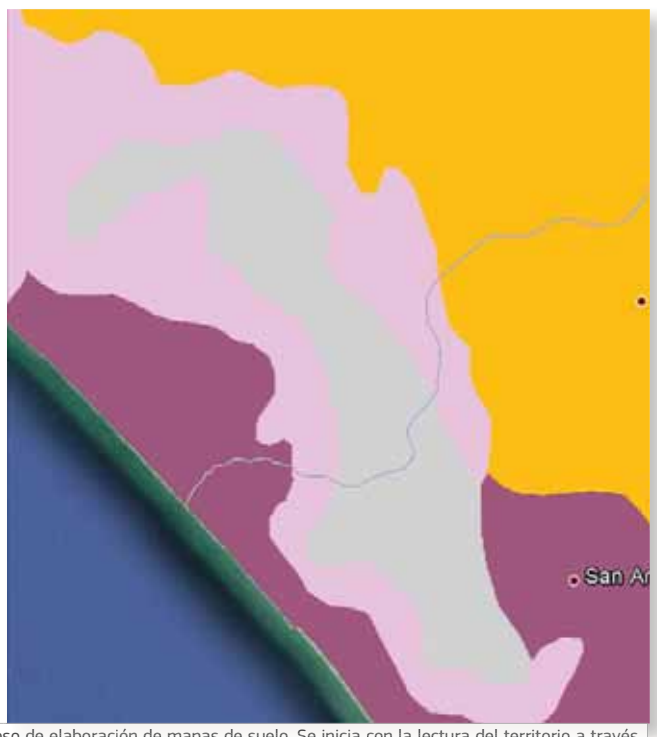
El análisis FODA, también conocido como matriz o análisis DAFO (en inglés se conoce como SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats), es una metodología de estudio de la situación de un recurso, una empresa o un proyecto, analizando sus características internas (Deficiencias y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades), en una matriz cuadrada. Esta herramienta, creada a principios de la década de los setenta, produjo una revolución en el campo de la estrategia empresarial. Más tarde se aplicó a la evaluación de los recursos naturales.

Siguiendo este esquema, en el texto precedente hemos adaptado dicho enfoque a los diferentes tipos de suelo de la clasificación WRB, en relación con las prácticas agrícolas que se podrían llevar a cabo en cada uno:

- Fortalezas: propiedades intrínsecas que lo hacen muy adecuado para la agricultura.
- Deficiencias: propiedades intrínsecas del suelo que lo hacen poco propicio para la agricultura.
- Oportunidades: potencialidad de un suelo teniendo en cuenta factores externos u otras características que puedan darse en él, como p. ej. la profundidad.
- Amenazas: riesgo de degradación de un suelo por efecto de factores externos (p. ej. gestión, condiciones climáticas).

Cartografía de suelos

Estudiantes desarrollando prácticas de manejo de suelos en áreas de Estelí, Nicaragua. (JLMR)



En esta página se muestra, de manera esquemática, el proceso de elaboración de mapas de suelo. Se inicia con la lectura del territorio a través de fotografías aéreas o imágenes de satélite (imagen a la izquierda. Fuente: Google Earth, Digital Globe, NOAA U.S. Navy), para después definir las unidades de suelo (mediante levantamientos de suelo, como se muestra en la imagen del centro. Foto: CCG) y paisaje. A través del estudio de los suelos se estima su distribución y por último se delimitan las unidades gráficamente (imagen a la derecha. Fuente: JRC).

¿Por qué cartografiar los suelos?

El mapeo del suelo puede ser útil para propósitos tales como:

- Proporcionar información para facilitar la gestión del territorio (p. ej. con fines agrícolas) mediante la identificación de los recursos naturales y la capacidad del suelo;
- Proporcionar información estratégica sobre el estado actual del suelo (p. ej. para el desarrollo de políticas nacionales);
- Extrapolar los resultados de estudios locales y redes de monitoreo del suelo;
- Demostrar cómo la variabilidad del suelo local y nacional se inscribe en un patrón global (transnacional).

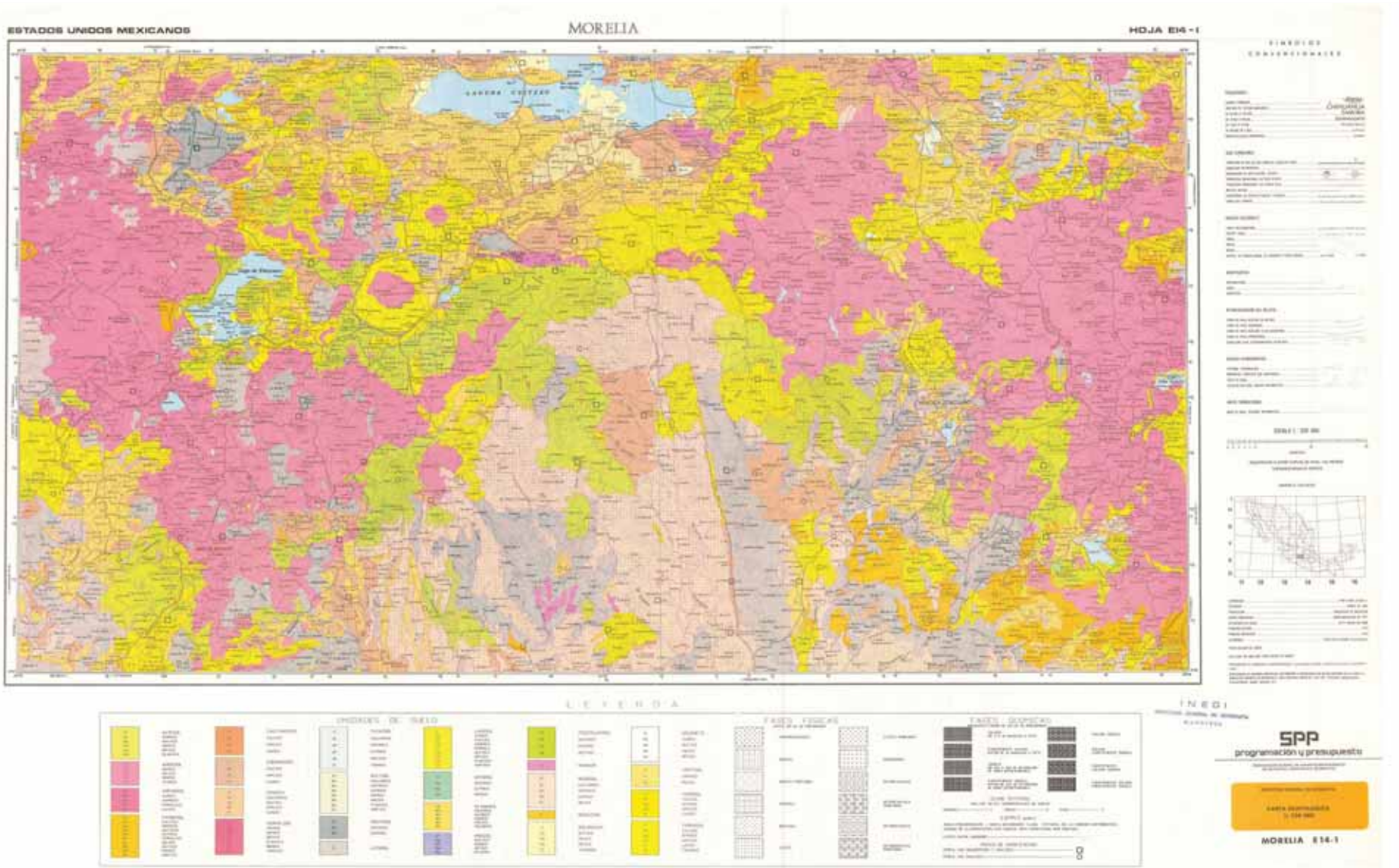
El alcance de la información requerida para cada uno de estos propósitos es variado, aunque se solapan frecuentemente. Por ello, las técnicas utilizadas en la cartografía e inventarios de suelos pueden ser muy diversas dependiendo de la finalidad del mapeo. En general, los estudios de suelos se dividen en generales y específicos.

Los mapas de uso general pretenden cuantificar y describir una amplia gama de propiedades de los suelos, de manera que puedan ser utilizados para aplicaciones diferentes. Este tipo de mapas suele cubrir grandes áreas, desde cuencas hidrográficas hasta continentes. En cambio, los mapas con objetivos específicos están orientados hacia la cuantificación y la variación espacial de una propiedad del suelo dada o atributo (p. ej.: el contenido de nutrientes, la capacidad de retención de agua o la textura). En áreas muy pequeñas se pueden llevar a cabo mapeos aún más específicos, como es el caso de parcelas experimentales o terrenos en los que se desempeña una actividad particular o bien un incidente ha contaminado el suelo.

Evolución de la cartografía de suelos

Desde 1980, la Topografía, ciencia que estudia la representación gráfica de la superficie de la Tierra, ha ido adoptando herramientas informáticas cada vez más sofisticadas.

El uso de tecnología como la teledetección (sensores y cámaras montadas en aviones y satélites utilizados para obtener imágenes), los sistemas de posicionamiento global (GPS) (para georreferenciar la información de los datos recogidos en campo), las tabletas (para las observaciones de campo) y bases de datos (para almacenar la información), hoy en día son usadas habitualmente por las organizaciones encargadas de los levantamientos de suelo. Mediante el uso Sistemas de Información Geográfica (ver página 136), todos estos datos pueden compilarse en un único entorno de computación, para posibilitar la creación de mapas de suelo de una manera precisa. En un futuro, los datos proporcionados por sensores de alta resolución espacial y espectral, junto con los nuevos software geoestadísticos, serán utilizados cada vez más para completar la información de los inventarios de campo.



México ha terminado su cartografía de suelos a escala 1:250.000 en dos sistemas de clasificación de suelos diferentes. El primero está basado en la Leyenda FAO-UNESCO y el segundo sigue la clasificación de la Base Referencial Mundial (WRB) de 1998. En el transcurso de esta actividad se han generado 121 mapas impresos y 146 mapas digitales a esta escala. La imagen corresponde a un mapa impreso de la zona E1503. La hoja se denomina "Morelia" por ser ésta la localidad más importante que aparece en ella. La cartografía a escala 1:250.000 ha sido elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) desde 1983. (INEGI)

¿Cómo se hace un mapa de suelos?

Los mapas de suelos se basan en observaciones de campo y la posterior interpretación de las características del suelo y sus variaciones. Las interpretaciones se realizan a partir de modelos conceptuales que incorporan las características del suelo, los factores y procesos formadores de suelo. Para la mayoría de los mapas de suelos elaborados durante el s. XX, estos modelos conceptuales nunca fueron definidos explícitamente o cuantificados, sino que se basaban en la experiencia de los topógrafos y en las observaciones de las variaciones locales de las propiedades del suelo. Con la llegada de la era digital, estos modelos conceptuales empezaron a cuantificarse, ganando así en solidez [64].

Las observaciones de campo son la clave para hacer buenos mapas de suelos. La ubicación de cada punto de muestreo es elegida por el encargado del trabajo de campo para proporcionar la información de mayor calidad sobre la variación de las características del suelo. Los factores que determinan esta variación, y que por lo tanto se han usado para desarrollar el modelo conceptual de la variación espacial del suelo son la geología local, el paisaje, la vegetación y el clima. Los puntos de inspección se suelen situar en un transecto que atraviesa el territorio por una zona donde la topografía (con pendientes variables que dan lugar a cambios en las propiedades del suelo) y la geología varían. En los casos en que el paisaje es más homogéneo, los puntos de muestreo se sitúan de manera aleatoria. En algunos casos, como sucede con los inventarios nacionales, por ejemplo, los puntos de observación se encuentran a intervalos predeterminados por una cuadrícula regular (por ejemplo de 10x10 km).

Según el método de muestro tradicional, en cada punto se examinan las características del suelo bien por medio de la excavación de un pequeño pozo (para revelar un perfil) o bien mediante el uso de un tornillo sin fin (un tornillo taladrador portátil que transmite el movimiento entre ejes que están en ángulo recto) para extraer muestras de suelo. Mediante ambas técnicas se suele muestrear hasta alcanzar los 2 m de profundidad (si no se encuentra antes la roca madre). Cada punto muestreado es georreferenciado y las características del suelo anotadas en hojas de registro, a menudo en forma de símbolos o notas. En el mapeo de suelos moderno, la información se registra directamente en formato digital o en formularios estandarizados que luego son digitalizados. La información registrada para cada horizonte puede variar, pero generalmente incluye el espesor, color, textura, tamaño y estructura del suelo, presencia de carbonatos y pedregosidad [44]. Para llevar a cabo una evaluación más detallada de las propiedades del suelo, las muestras se analizan en laboratorio. Tras el muestreo de los puntos necesarios, se desarrolla un modelo conceptual de las relaciones entre las características del suelo y la topografía local, material original, clima y uso del suelo. Acto seguido se dibujan fronteras provisionales allí donde cambian las características del suelo (para este aspecto es crucial la observación en campo). Este proceso suele dar lugar a modificaciones del modelo conceptual utilizado para interpolar entre puntos, dibujando así los límites en el mapa utilizado en campo. El resultado del inventario de campo es un conjunto de mapas que delinean los límites entre diferentes áreas del suelo.

Leyenda

- Acrisols
- Alisols
- Andosols
- Arenosols
- Calcisols
- Cambisols
- Chernozems
- Cryosols
- Durisols
- Ferralsols
- Fluvisols
- Gleysols
- Gypsisols
- Histosols
- Kastanozems
- Leptosols
- Lixisols
- Luvisols
- Nitisols
- Phaeozems
- Planosols
- Plinthosols
- Podzols
- Regosols
- Solonchaks
- Solonetz
- Stagnosols
- Technosols
- Umbrisols
- Vertisols

Acrisols	
AC	Acrisols no diferenciados
ACap	Haplic Acrisols (Abruptic)
ACar	Haplic Acrisols (Arenic)
ACau	Haplic Acrisols (Alumic)
ACcr	Chromic Acrisols
ACct	Haplic Acrisols (Cutanic)
ACfr	Ferric Acrisols
ACgl	Gleyic Acrisols
ACha	Haplic Acrisols
AChd	Haplic Acrisols (Hyperdystric)
AChu	Humic Acrisols
ACle	Leptic Acrisols
ACpl	Plinthic Acrisols
ACro	Rhodic Acrisols
ACst	Stagnic Acrisols
ACum	Umbric Acrisols
Alisols	
ALap	Haplic Alisols (Abruptic)
ALau	Haplic Alisols (Alumic)
ALcr	Chromic Alisols
ALct	Haplic Alisols (Cutanic)
ALfr	Ferric Alisols
ALgl	Gleyic Alisols
ALha	Haplic Alisols
ALhu	Humic Alisols
ALpf	Haplic Alisols (Profondic)
ALpl	Plinthic Alisols
ALpp	Petroplinthic Alisols
ALum	Umbric Alisols
Andosols	
ANca	Silandic Andosols (Calcaric)
ANcc	Calcic Silandic Andosols
ANeu	Eutric Silandic Andosols
ANge	Aluandic Andosols (Gelic)
ANha	Andosols no diferenciados
ANhu	Aluandic Andosols
ANhy	Silandic Andosols (Hydric)
ANle	Leptic Silandic Andosols
ANml	Melanic Silandic Andosols
ANmo	Mollic Silandic Andosols
ANsn	Silandic Andosols
ANum	Umbric Aluandic Andosols
ANvi	Vitric Andosols
Arenosols	
AR	Arenosols no diferenciados
ARab	Albic Arenosols
ARad	Eutric Arenosols (Aridic)
ARbr	Brunic Arenosols
ARca	Calcaric Arenosols
ARdy	Dystric Arenosols
AReu	Eutric Arenosols
ARfl	Ferralic Arenosols
ARfo	Folic Arenosols
ARha	Arenosols no diferenciados
ARle	Leptic Arenosols*
ARwl	Hypoluvic Arenosols
ARng	Endogleyic Arenosols
ARpr	Protic Arenosols
ARso	Eutric Arenosols (Sodic)
ARws	Hyposalic Arenosols
Chernozems	
CHcc	Calcic Chermozems
CHha	Haplic Chermozems
CHle	Haplic Chernozems (Leptic)
CHpc	Petrocalcic Chermozems
CHvr	Vertic Chermozems
Calcisols	
CLad	Haplic Calcisols (Aridic)
CLar	Haplic Calcisols (Arenic)
CLha	Haplic Calcisols
CLle	Leptic Calcisols
CLlv	Luvic Calcisols
CLng	Haplic Calcisols (Endogleyic)
CLns	Haplic Calcisols (Endosalic)
CLpt	Petric Calcisols
CLso	Haplic Calcisols (Sodic)
CLwc	Haplic Calcisols (Hypocalcic)
Cambisols	
CMad	Eutric Cambisols (Aridic)
CMan	Andic Cambisols
CMca	Calcaric Cambisols
CMcr	Chromic Cambisols
CMdy	Dystric Cambisols
CMeu	Eutric Cambisols
CMfl	Ferralic Cambisols
CMfr	Dystric Cambisols (Ferric)
CMfv	Fluvic Cambisols
CMge	Dystric Cambisols (Gelic)
CMha	Cambisols no diferenciados
CMhu	Dystric Cambisols (Humic)
CMle	Leptic Cambisols
CMng	Endogleyic Cambisols
CMns	Endosalic Cambisols
CMoa	Dystric Cambisols (Oxyaquic)
CMro	Rhodic Cambisols
CMsk	Skeletic Cambisols
CMso	Eutric Cambisols (Sodic)
CMst	Stagnic Cambisols
CMvr	Vertic Cambisols
Cryosols	
CRle	Leptic Cryosols
ARfo	**Durisols**
DUfp	Fractipetric Durisols
DUha	Haplic Durisols
DUpt	Petric Durisols
Fluvisols	
FLar	Dystric Fluvisols (Arenic)
FLca	Calcaric Fluvisols
FLce	Eutric Fluvisols (Clayic)
FLdy	Dystric Fluvisols
FLeu	Eutric Fluvisols
FLgl	Gleyic Fluvisols
FLha	Fluvisols no diferenciados
FLhi	Histic Fluvisols
FLsl	Eutric Fluvisols (Siltic)
FLst	Stagnic Fluvisols
Ferralsols	
FRac	Acric Ferralsols
FRdy	Haplic Ferralsols (Dystric)
FRgr	Geric Ferralsols
FRha	Haplic Ferralsols
FRhu	Humic Ferralsols
FRoa	Haplic Ferralsols (Oxyaquic)
FRpl	Plinthic Ferralsols
FRro	Rhodic Ferralsols
FRum	Umbric Ferralsols
FRxa	Xanthic Ferralsols
Gleysols	
GLal	Dystric Gleysols (Alic)
GLan	Dystric Gleysols (Andic)
GLaq	Eutric Gleysols (Anthraquic)
GLar	Dystric Gleysols (Arenic)
GLca	Calcaric Gleysols
GLcc	Calcic Gleysols
GLce	Dystric Gleysols (Clayic)
GLdy	Dystric Gleysols
GLeu	Eutric Gleysols
GLfo	Folic Gleysols
GLfv	Eutric Gleysols (Fluvic)
GLha	Gleysols no diferenciados
GLhi	Histic Gleysols
GLhu	Dystric Gleysols (Humic)
GLmo	Mollic Gleysols
GLns	Eutric Gleysols (Endosalic)
GLpl	Plinthic Gleysols
GLpy	Dystric Gleysols (Petrogleyic)

GLso	Eutric Gleysols (Sodic)
GLti	Thionic Gleysols
GLum	Umbric Gleysols
Gypsisols	
GYha	Haplic Gypsisols
GYpt	Petric Gypsisols
Histosols	
HSdr	Sapric Histosols (Drainic)
HSfi	Fibric Histosols
HSha	Histosols no diferenciados
HShm	Hemic Histosols
HSrh	Rheic Histosols
HSsa	Sapric Histosols
HSso	Hemic Histosols (Sodic)
Kastanozems	
KScc	Calcic Kastanozems
KScr	Haplic Kastanozems (Chromic)
KSha	Haplic Kastanozems
KSle	Haplic Kastanozems (Leptic)
KSlv	Luvic Kastanozems
KSpc	Petrocalcic Kastanozems
KSso	Haplic Kastanozems (Sodic)
Leptosols	
LPca	Eutric Leptosols (Calcaric)
LPdy	Dystric Leptosols
LPeu	Eutric Leptosols
LPfo	Folic Leptosols
LPha	Leptosols no diferenciados
LPhk	Hyperskeletic Leptosols
LPhu	Dystric Leptosols (Humic)
LPli	Lithic Leptosols
LPmo	Mollic Leptosols
LPrz	Rendzic Leptosols
LPsk	Eutric Leptosols (Skeletic)
LPum	Umbric Leptosols
Luvisols	
LV	Luvisols no diferenciados
LVab	Albic Luvisols
LVap	Haplic Luvisols (Abruptic)
LVcc	Calcic Luvisols
LVcr	Chromic Luvisols
LVct	Haplic Luvisols (Cutanic)
LVed	Haplic Luvisols (Epidystric)
LVha	Haplic Luvisols
LVhu	Haplic Luvisols (Humic)
LVle	Leptic Luvisols
LVni	Haplic Luvisols (Nitic)
LVpf	Haplic Luvisols (Profondic)
LVro	Rhodic Luvisols

LVsk	Skeletic Luvisols
LVso	Haplic Luvisols (Sodic)
LVst	Stagnic Luvisols
LVvr	Vertic Luvisols
Lixisols	
LXap	Haplic Lixisols (Abruptic)
LXcr	Chromic Lixisols
LXha	Haplic Lixisols
LXhu	Haplic Lixisols (Humic)
LXni	Haplic Lixisols (Nitic)
LXpf	Haplic Lixisols (Profondic)
LXro	Rhodic Lixisols
Nitisols	
NTdy	Dystric Nitisols
NTeu	Eutric Nitisols
NTfl	Ferralic Nitisols
NTha	Nitisols no diferenciados
NThu	Humic Nitisols
NTmo	Mollic Nitisols
NTro	Rhodic Nitisols
NTum	Umbric Nitisols
Phaeozems	
PHar	Haplic Phaeozems (Arenic)
PHca	Calcaric Phaeozems
PHgl	Gleyic Phaeozems
PHha	Haplic Phaeozems
PHle	Leptic Phaeozems
PHlv	Luvic Phaeozems
PHpc	Petrocalcic Phaeozems
PHpd	Haplic Phaeozems (Petroduric)
PHph	Haplic Phaeozems (Pachic)
PHrz	Rendzic Phaeozems
PHsk	Skeletic Phaeozems
PHsl	Haplic Phaeozems (Siltic)
PHso	Haplic Phaeozems (Sodic)
PHst	Haplic Phaeozems (Stagnic)
PHvr	Vertic Phaeozems
Planosols	
PLab	Dystric Planosols (Albic)
PLal	Alic Planosols
PLdy	Dystric Planosols
PLeu	Eutric Planosols
PLlv	Luvic Planosols
PLmo	Mollic Planosols
PLsl	Dystric Planosols (Siltic)
Plinthosols	
PTab	Albic Plinthosols
PTdy	Dystric Plinthosols
PThu	Dystric Plinthosols (Humic)

PTnv	Dystric Plinthosols (Novic)
PTpx	Pisoplinthic Plinthosols
PTst	Stagnic Plinthosols
Podzols	
PZab	Albic Podzols
PZcb	Carbic Podzols
PZgl	Gleyic Entic Podzols
PZha	Entic Podzols
Regosols	
RGad	Eutric Regosols (Aridic)
RGar	Dystric Regosols (Arenic)
RGca	Calcaric Regosols
RGdy	Dystric Regosols
RGel	Epileptic Regosols
RGeu	Eutric Regosols
RGge	Dystric Regosols (Gelic)
RGha	Regosols no diferenciados
RGhu	Dystric Regosols (Humic)
RGle	Leptic Regosols
RGsk	Skeletic Regosols
RGso	Eutric Regosols (Sodic)
Solonchaks	
SCad	Haplic Solonchaks (Aridic)
SCcc	Calcic Solonchaks
SCgl	Gleyic Solonchaks
SCgy	Gypsic Solonchaks
SCha	Haplic Solonchaks
SCso	Sodic Solonchaks
SCvr	Haplic Solonchaks (Vertic)
Solonetz	
SNad	Haplic Solonetz (Aridic)
SNcc	Calcic Solonetz
SNgl	Gleyic Solonetz
SNha	Haplic Solonetz
SNhu	Haplic Solonetz (Humic)
SNmo	Mollic Solonetz
SNpc	Petrocalcic Solonetz
SNst	Stagnic Solonetz
SNvr	Haplic Solonetz (Vertic)
Stagnosols	
STha	Stagnosols no diferenciados
STpl	Albic Stagnosols (Plinthic)
Technosols	
TCek	Ekranic Technosols
Umbrisols	
UMhd	Haplic Umbrisols (Hyperdystric)
UMhu	Haplic Umbrisols (Humic)
UMle	Leptic Umbrisols
UMne	Haplic Umbrisols (Endoeutric)

Vertisols	
VRca	Haplic Vertisols (Calcaric)
VRcc	Calcic Vertisols
VRcr	Chromic Vertisols
VRee	Haplic Vertisols (Epieutric)
VReu	Haplic Vertisols (Eutric)
VRgl	Haplic Vertisols (Gleyic)
VRgy	Gypsic Vertisols
VRha	Haplic Vertisols
VRhu	Haplic Vertisols (Humic)
VRnl	Haplic Vertisols (Endoleptic)
VRnv	Haplic Vertisols (Novic)
VRpd	Haplic Vertisols (Duric)
VRpe	Pellic Vertisols
VRso	Sodic Vertisols
VRst	Haplic Vertisols (Stagnic)
VRsz	Salic Vertisols

Miscelánea	
	Áreas Urbanas
BR	Rocas
CA	Cuerpos de agua
GC	Glaciares
	Ningún dato

(*Leptic Regosols (Arenic))

Información adicional para los elementos de la WRB

Consultar las páginas 44 y 45 para obtener más información sobre la nomenclatura y los calificadores del sistema WRB.

EUTRIC, DYSTRIC Y HAPLIC

- **Eutric (éutrico):** tiene una saturación de bases del 50% o más en la entre 20 y 100 cm de profundidad (es decir, tiende a la acidez).
- **Dystric (dístrico):** tiene una saturación de bases menor del 50%, entre 20 y 100 cm de profundidad (es decir, tiende a la alcalinidad).
- **Haplic (háplico):** sólo se usa si no se aplica ninguno de los calificadores previos.

PREFIJOS

Los siguientes prefijos se pueden utilizar para indicar la profundidad de ocurrencia o para expresar la intensidad de determinadas características del suelo. Siempre se añaden al principio y se combinan con otros elementos en una sola palabra (p. ej.: Endoskeletic).

Endo – característica que comienza entre 50 y 100 cm de la superficie del suelo.

Epi – característica que comienza dentro de los primeros 50 cm de la superficie del suelo.

Hyper – tiene una fuerte expresión de la característica en cuestión.

Hypo – tiene una débil expresión de la característica en cuestión.

Petro – tras una capa fuertemente cementada o endurecida que comienza dentro de los 100 cm de la superficie. La segunda parte del nombre describirá la composición dominante de la capa cementada (p. ej., Petrocalcic = carbonato de calcio).

Piso – más del 40% del horizonte consiste en nódulos endurecidos de plintita.

Debido al mapeo de los distintos datos nacionales, la representación de las áreas urbanas puede variar de un mapa a otro.

Para qué sirve la leyenda de un mapa

La leyenda explica los símbolos cartográficos utilizados en un mapa y sirve para comprender su contenido. Consiste típicamente en un símbolo, o una serie de ellos, con colores o tonos específicos que se repiten de una manera regular.

Elaboración de la leyenda

Las leyendas de los mapas de suelos que aparecen en este atlas están basadas en dos documentos. El primero es la versión de 2006 de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo [44] (WRB, por sus siglas en inglés), utilizada para definir los Grupos de Suelos de Referencia (GSR o RSGs, por sus siglas en inglés) y sus calificadores. Sin embargo, la secuencia de calificadores que aparece en este documento está pensada para unidades de suelo individuales (pedones), pero no para mapas. Es por ello que en 2010 se publicó una guía para la elaboración de leyendas de mapas a pequeña escala usando la clasificación WRB ("Guidelines for constructing small-scale map legends using the WRB"). Según estas directrices, los calificadores se dividen, para cada GSR, en principales y opcionales. Los principales se encuentran ordenados por orden jerárquico (de importancia), mientras que los opcionales no siguen ningún orden y están listados por el alfabeto. Debido a la pequeña escala de nuestros mapas, para la mayoría de unidades de suelo sólo existe un calificador (el primer calificador principal correspondiente). En algunos casos aparece un segundo calificador, el cual procede bien de los principales (siguiendo el orden descendente en la lista) o bien de los opcionales. Este segundo calificador se presenta entre paréntesis detras del nombre del GSR.

En esta página se presentan los GSR ordenados alfabéticamente. La división dentro de cada GSR también sigue este orden (es decir, los calificadores principales se encuentran por orden alfabético). En la página 110 se puede encontrar una breve explicación de las principales características del suelo.

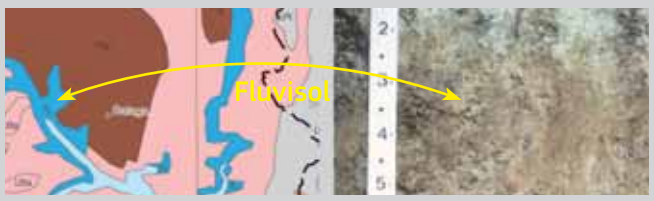
El tipo de suelo más representativo en cada polígono está representado en este atlas en un color que se corresponde con un GSR específico de la clasificación WRB y un código de cuatro caracteres que indica sus características dominantes (ver página 46 para una descripción detallada de cada GSR). Por ejemplo, el recuadro azul con el código GLmo representa Mollic Gleysols en el mapa (suelos con agua subterránea cercana a la superficie y un horizonte superficial oscuro, rico en nutrientes y materia orgánica). Junto con el tipo de suelo dominante, en el mismio polígono, pueden existir otros (ocupando menor superfice), aunque no se encuentren representados en el mapa.

Los mapas de suelos

La siguiente sección del Atlas contiene una serie de mapas que muestran la distribución regional de los Grupos de Suelos de Referencia de la WRB en LAC.

Como se ilustra en el diagrama (abajo), un mapa de suelos muestra las áreas donde las propiedades del suelo, de acuerdo con el sistema de clasificación utilizado, son similares. En este ejemplo, los tonos azules del mapa corresponden al perfil del suelo de la foto, mientras que las zonas rosas y marrones corresponden a otros tipos de suelos.

Un mapa de suelos es una expresión bidimensional de un objeto tridimensional, por lo que sólo queda representado el cambio espacial o geográfico en las propiedades del suelo.



Generalización del mapa de suelos: el caso de México

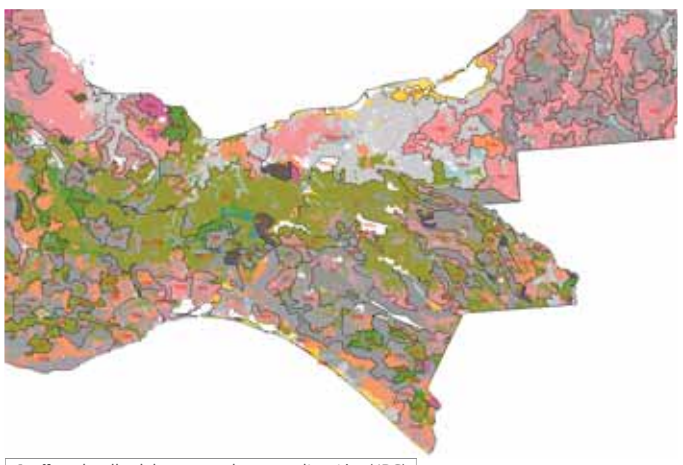
En la elaboración de cartografía es muy común el proceso de generalización, que consiste en reducir la escala de un mapa y adaptar todos sus elementos a la nueva escala y/u objetivos del nuevo mapa que se va a realizar. El objetivo principal de este proceso es producir un mapa impreso de fácil interpretación a partir de una información base considerada demasiado densa para la escala de representación o el propósito del mapa.

La generalización puede ser **geométrica** (cuando se reduce el número de polígonos) o **temática** (cuando se reduce el número de clases). En la mayoría de los casos se combinan ambas.

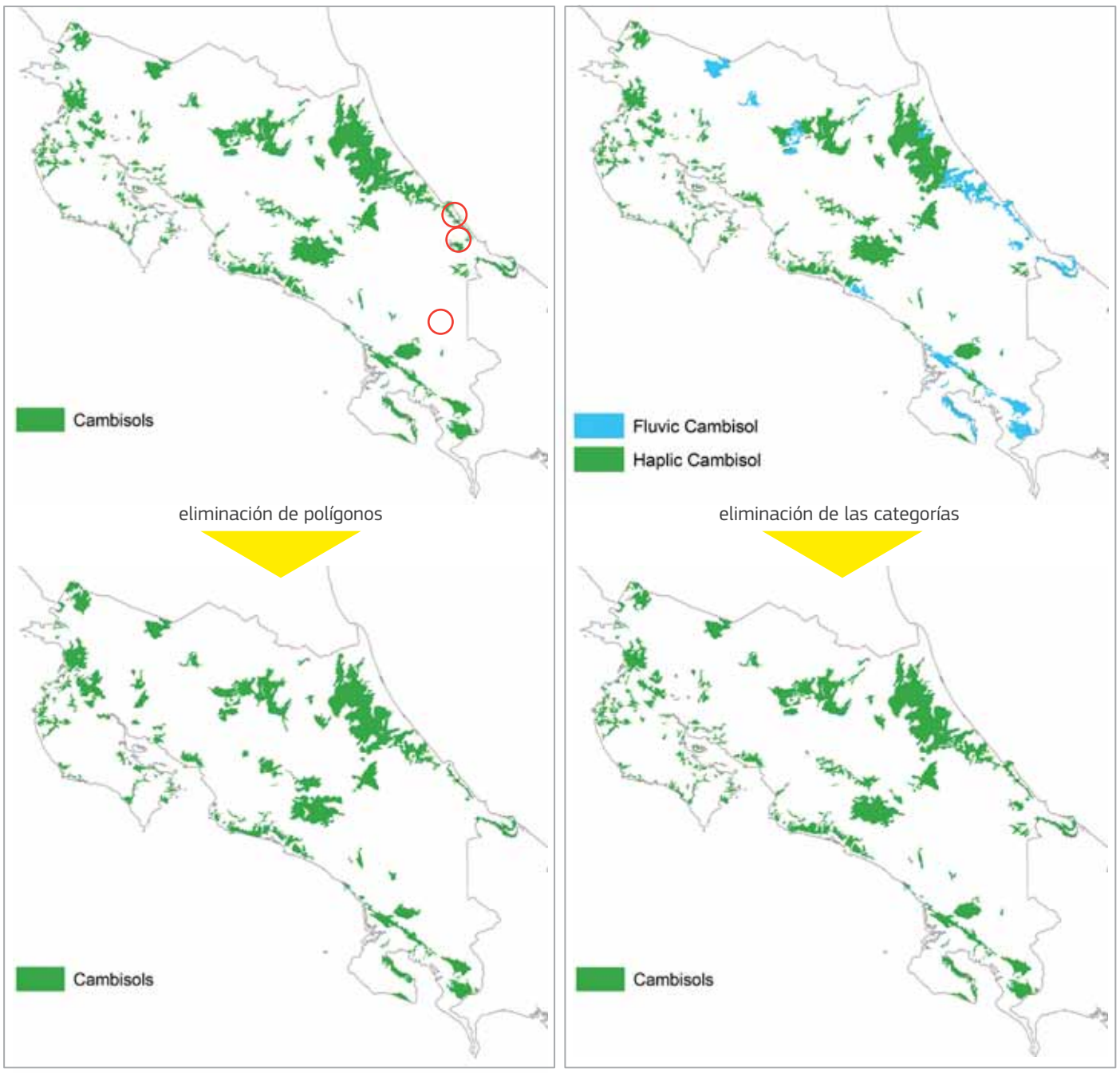
En el caso de los mapas de suelo que se presentan en el Atlas, la generalización fue necesaria para los mapas de algunos países (realizados con escalas grandes), con el fin de incluirlos en el mapa general a escala 1:5.000.000. En las siguientes figuras se describe el proceso de generalización hecho para México, con el fin de integrar el mapa nacional (escala 1:250.000) en el mapa de SOTERLAC.

Arriba: aspecto de los polígonos originales a escala 1:250.000 en el ambiente SOTERLAC. (JRC)

Abajo: aspecto de los vectores generalizados a escala 1:3.000.000 (más próxima a 1:5.000.000) para la futura integración en el mapa SOTERLAC. (JRC)

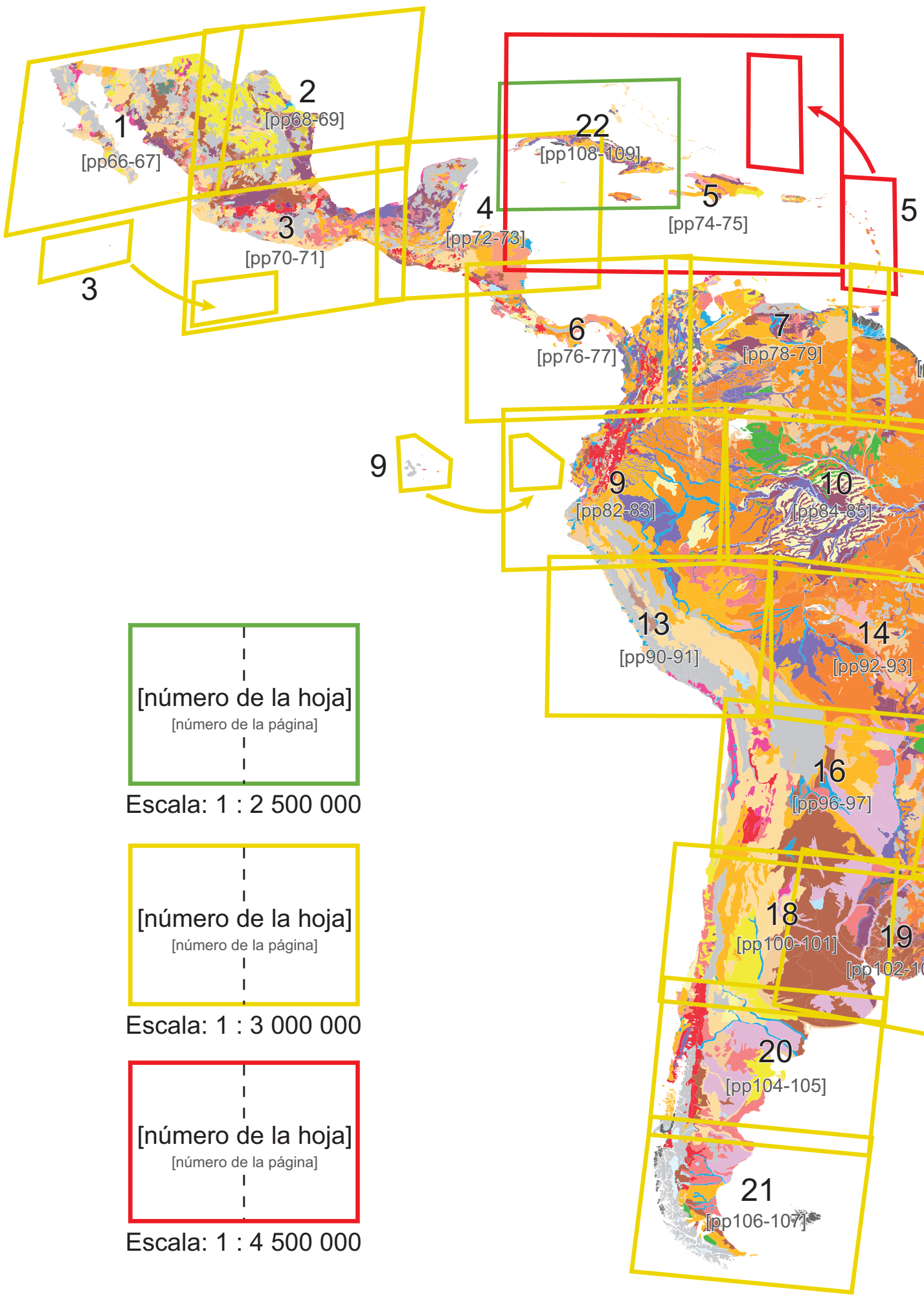


Arriba: detalle del proceso de generalización. (JRC)



Proceso de generalización.
A la izquierda, de arriba abajo, proceso de generalización geométrica. Se puede observar cómo algunos polígonos pequeños desaparecen al generalizar. (JRC)
A la derecha, de arriba abajo, proceso de generalización temática. De dos clases se pasa a una, al considerar todo el conjunto de Cambisols. (JRC)

Índice de las hojas cartográficas



[número de la hoja]
[número de la página]

Escala: 1 : 2 500 000

[número de la hoja]
[número de la página]

Escala: 1 : 3 000 000

[número de la hoja]
[número de la página]

Escala: 1 : 4 500 000

Los principales tipos de suelos en América Latina y el Caribe

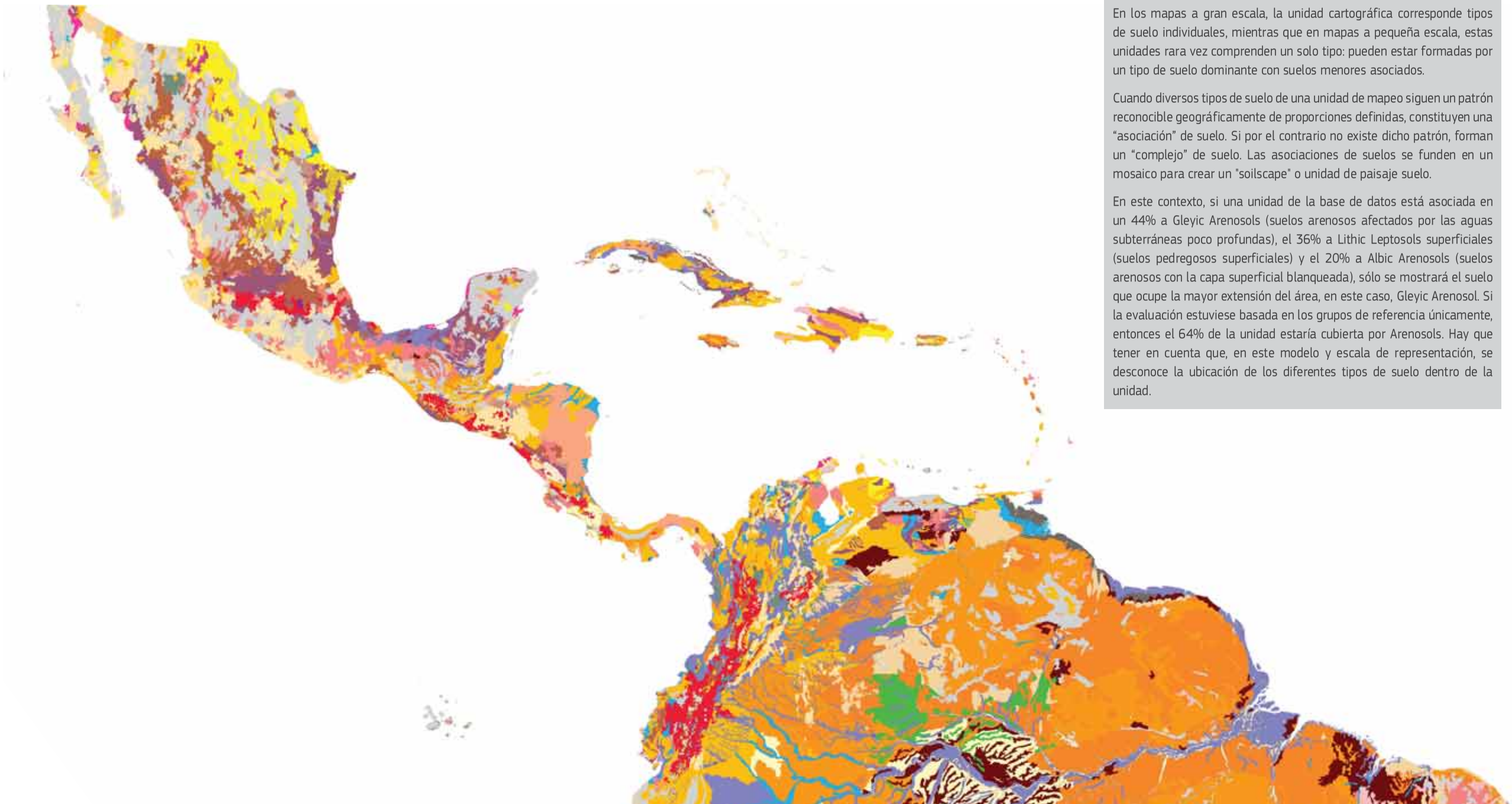
Los mapas que aparecen a continuación corresponden a la actualización de la versión 2.0 de SOTERLAC. Se han integrado los mapas a nivel nacional realizados por algunos países de LAC. Los países que han contribuido con sus propios mapas son los siguientes: México, Cuba, Puerto Rico, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Brasil y Uruguay.

En el mapa se observa la disposición zonal de los suelos en América Latina y la región del Caribe. En la parte central del continente, correspondiente al trópico húmedo, dominan los Ferralsols (marrón anaranjado) y los Acrisols (naranja). Estos suelos son también los más representativos detodo el continente. En esta región, estos dos tipos de suelos dominantes se encuentran asociados a Plinthosols (marrón oscuro), Gleysols, Alisols y Podzols.

Las regiones desérticas en México, Venezuela, Perú y Chile están dominadas por Calcisols (amarillo brillante), Leptosols (suelos poco profundos, en gris), Regosols (rosa pálido), Arenosols (marrón amarillo), Gypsisols (amarillo pálido) y Solonchacks (fucsia). El color púrpura designa la ubicación de los Vertisols, los cuales se sitúan predominantemente en América Central (México principalmente), la zona del Caribe, Venezuela y Colombia. Por otro lado, en rojo se ilustra la distribución de las áreas en las que predominan los Andosols, en su mayoría relacionados con los volcanes de América Central y de la cadena Andina.

En la región de las praderas templadas y sub-tropicales hay suelos de los grupos Phaeozem, Kastanozem, y Chernozem. Estos son muy fértiles y sobre ellos se desarrollan actividades agrícolas orientadas a la producción de cereales, soja y carne (ganadería).

En cuanto a los Nitisols (color salmón) de LAC, se encuentran en su mayoría en América Central y la región del Caribe (Cuba, principalmente). Por otro lado, los Solonetz están muy extendidos por Argentina, Paraguay y Bolivia. Por último, en las zonas urbanizadas y cercanas a las áreas de grandes explotaciones mineras, se pueden encontrar suelos altamente perturbados por la actividad humana, denominados Tecnosols.



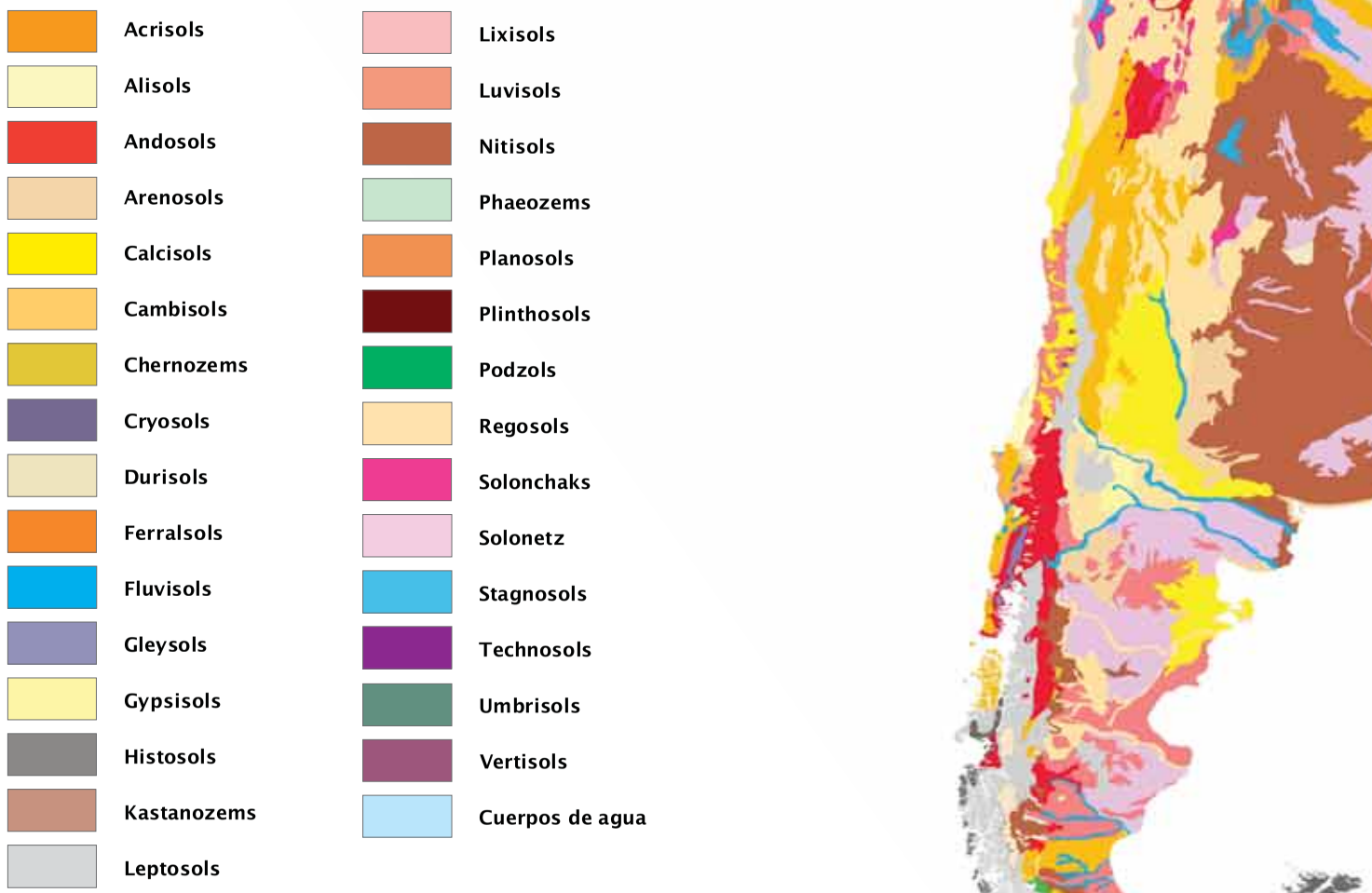
Unidades cartográficas de suelos

La unidad de mapeo o cartográfica es el componente geográfico básico en un mapa de suelos. Un tipo de suelo es un suelo específico con características definibles.

En los mapas a gran escala, la unidad cartográfica corresponde tipos de suelo individuales, mientras que en mapas a pequeña escala, estas unidades rara vez comprenden un solo tipo: pueden estar formadas por un tipo de suelo dominante con suelos menores asociados.

Cuando diversos tipos de suelo de una unidad de mapeo siguen un patrón reconocible geográficamente de proporciones definidas, constituyen una “asociación” de suelo. Si por el contrario no existe dicho patrón, forman un “complejo” de suelo. Las asociaciones de suelos se funden en un mosaico para crear un "soilscape" o unidad de paisaje suelo.

En este contexto, si una unidad de la base de datos está asociada en un 44% a Gleyic Arenosols (suelos arenosos afectados por las aguas subterráneas poco profundas), el 36% a Lithic Leptosols superficiales (suelos pedregosos superficiales) y el 20% a Albic Arenosols (suelos arenosos con la capa superficial blanqueada), sólo se mostrará el suelo que ocupe la mayor extensión del área, en este caso, Gleyic Arenosol. Si la evaluación estuviese basada en los grupos de referencia únicamente, entonces el 64% de la unidad estaría cubierta por Arenosols. Hay que tener en cuenta que, en este modelo y escala de representación, se desconoce la ubicación de los diferentes tipos de suelo dentro de la unidad.



Escala

La escala de un mapa es la relación entre el tamaño del mapa y el área en el terreno. Por ejemplo, un centímetro en un mapa con una escala de 1:100.000, equivale a 100.000 cm (1km) en la realidad.

Los mapas con suficiente detalle como para mostrar la ubicación de parcelas individuales de unas pocas hectáreas de tamaño tienen escalas de 1: 5.000 (1 cm : 50 m) a 1:25.000 (1 cm: 250 m) y son considerados como mapas a gran escala. A nivel regional o nacional, los mapas más apropiados son aquellos realizados a escalas medias, normalmente 1: 100.000 (1 cm: 1 km) o 1:500.000 (1 cm: 5 km).

La mayoría de los mapas mostrados en este atlas, con objeto de dar una perspectiva regional, se basan en mapas compilados a escalas menores de 1: 1.000.000 (1 cm: 10 km). Se consideran mapas a pequeña escala.

El territorio de LAC: visión política y geológica

Mapa Político

Localidad	Número de habitantes
São Paulo	10-20m
Rio de Janeiro	5-10m
Medellín	1-5m
Antofagasta	250,000 - 1,000,000
La Paz	100,000 - 250,000
KINGSTON	Las capitales se muestran en MAYÚSCULAS
	Frontera internacional

Arriba: mapa político de LAC. A esta escala, las fronteras entre países son meramente indicativas. (LJ)

Abajo: principales elementos tectónicos superpuestos a los continentes. (USGS)

Políticamente, LAC está constituida por 33 estados que están plenamente reconocidos por las Naciones Unidas y por algunos territorios pertenecientes a otros estados (p. ej.: la Guayana francesa (Francia), Islas Caimán (Reino Unido)). De estos 33 estados, 20 se encuentran en el continente, mientras que 13 son naciones insulares. El área total de estos 33 estados es de 20.454.918 km^2 , con una población de 583.717.872 habitantes (sin tener en cuenta la Guayana francesa, que cuenta con 60.000 habitantes en 93.200 km^2, ni otros pequeños territorios caribeños).

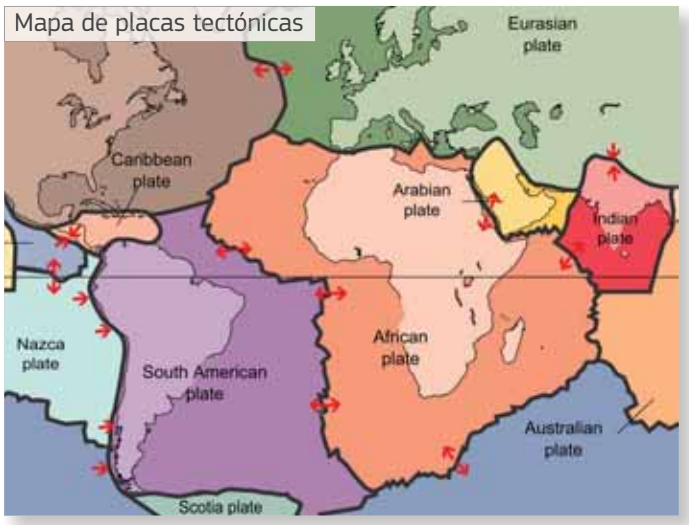
Brasil es, con mucho, el estado más grande (8.514.877 km^2) y más poblado (190.732.694 habitantes), mientras que las Federación de San Cristóbal y Nieves representa el estado más pequeño (261 km^2) y menos poblado, con sólo 38.950 personas repartidas en dos islas.

La población de la mayoría de los países de LAC está creciendo entre el 1 y el 3% por año. Guatemala es uno de los estados que muestra un mayor crecimiento (alrededor del 3%). No obstante, hay países cuya población decrece, como Cuba o Puerto Rico.

Desde un punto de vista geológico, LAC se asienta sobre las siguientes placas tectónicas: la Norteamericana (sobre la cual se encuentra México), la placa del Caribe (donde se encuentran la región del mar Caribe y parte de Centroamérica) y la placa Sudamericana (sobre la que se sitúa subcontinente del mismo nombre).

Estas placas son significativamente mayores que la masa de tierra continental visible (véase la imagen de la derecha). Las flechas rojas sobre el mapa indican la dirección actual del movimiento tectónico. La colisión de la placa de Nazca con la placa Sudamericana es la responsable de la formación de los Andes y de los volcanes de Sudamérica.

Con un fin divulgativo, la información sobre el suelo que se presenta en esta publicación abarca toda la masa terrestre continental de México, Centroamérica, región del Caribe y Sudamérica, así como todas las islas que pertenecen a los estados de LAC. Por ello se incluyen también algunas islas que pertenecen a otros estados (p. ej. Puerto Rico, "terrinorio no incorporado" de EE.UU.), situadas en los placas mencionadas anteriormente.



LAC vista desde el espacio

Esta impactante imagen corresponde a América Latina vista desde el espacio. Esta perspectiva del continente, se ha obtenido gracias a decenas de imágentes menores, libres de nubosidad, obtenidos por el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) de la NASA, entre junio y septiembre de 2001. El sensor MODIS viaja a bordo de un satélite que orbita la Tierra cada 1-2 días, a una altitud de 705 km y es un ejemplo de cómo los datos obtenidos mediante teledetección, tras su tratamiento por ordenador, pueden representarse como una imagen. En este caso, los colores de la imagen se corresponden casi por completo con la realidad, por lo que la imagen se asemeja a lo que se observaría desde el espacio.

Los tonos verdes corresponden a las áreas de vegetación: las selvas tropicales en la cuenca del Amazonas son fáciles de identificar, apareciendo de color verde oscuro. Se puede incluso apreciar el efecto de la deforestación, tanto en las zonas limítrofes como en el interior de la cuenca amazónica.

El cultivo intensivo, concentrado en la Pampa y algunas de las regiones del sudeste y el nordeste de Brasil, también es evidente en la imagen de satélite, presentándose en un color que va desde verde a marrón claro.

Las zonas áridas y de las cumbres de los Andes están desprovistas de vegetación o con vegetación pobre y se muestran con colores que van del blanco al marrón claro.

Se pueden apreciar los ríos Amazonas y Río de la Plata, junto con sus afluentes; lo que más destaca son sus desembocaduras.

Los tonos más claros de azul en las Bahamas indican aguas muy poco profundas.

La porción de tierra de forma más o menos triangular que aparece en la parte de abajo del mapa es la península antártica, la parte más septentrional de la Antártida. Tierra del Fuego, el extremo meridional de América del Sur, se encuentra a tan sólo unos 1.000 km, separada de ésta por el paso Drake. (NASA/JRC)

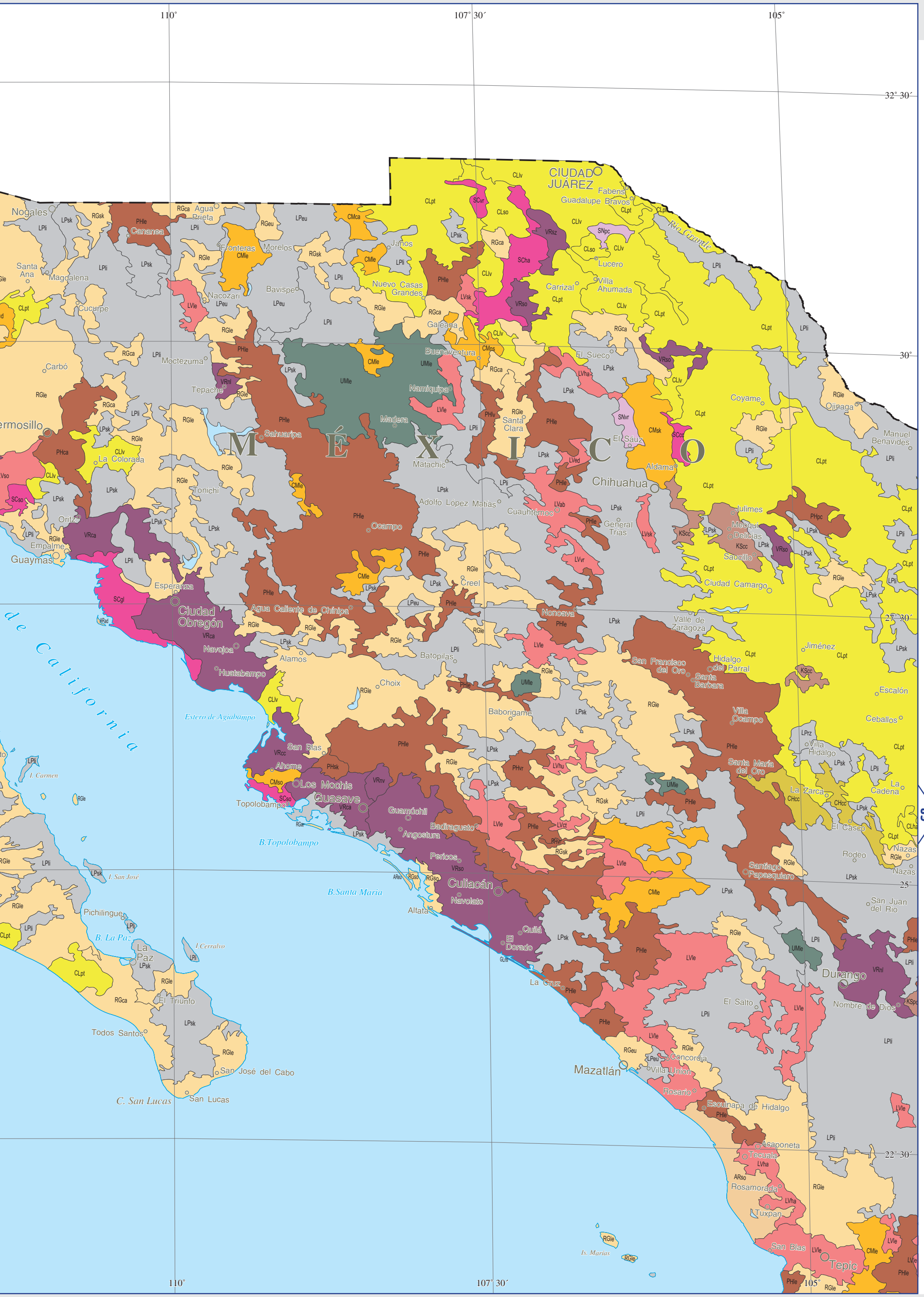
Este mapa muestra los suelos del noroeste de México, la región más septentrional del atlas, que limita con Estados Unidos y el océano Pacífico. La mayoría del territorio que se muestra en este mapa se encuentra al norte del trópico de Cáncer.

El paisaje de esta región se compone de la península árida y montañosa de Baja California (más de 1.300 kilómetros de largo y como máximo 150 km de ancho), las tierras bajas de la costa del Pacífico a lo largo del Golfo de California y al este la escarpada Sierra Madre Occidental marca el borde occidental de la vasta meseta norte, una extensión de terreno árido, atravesada por montañas y con algunas depresiones. Parte del área del mapa está ocupada por el Gran Desierto de Altar, el cual forma parte del desierto de Sonora. Se trata de una zona tectónicamente activa. La falla de San Andrés atraviesa del Golfo de California.

El clima de la región es cálido y árido. Las temperaturas por encima de 45°C a mediados del verano son comunes en las zonas de desierto, tanto en el área central como en Baja California. Fuera de las zonas de alta montaña, las temperaturas no suelen bajar de los 0°C. A excepción de la Sierra Madre Occidental, las precipitaciones anuales suelen estar por debajo de los 500 mm, mientras que la casi totalidad de Baja California, la mayor parte de Sonora y gran parte de Chihuahua reciben menos de 250 mm.

La escasa vegetación es la característica principal de la mayor parte del paisaje. Las comunidades vegetales se componen de pastos cortos, arbustos dispersos y una gran variedad de cactus y otras plantas suculentas ubicadas en las cotas más altas. En las zonas de mayor altitud de la Sierra Madre Occidental, pueden encontrarse extensos bosques de coníferas.

El patrón de suelo en el mapa refleja la interacción del clima, la litología y la actividad tectónica. Los Leptosols poco profundos son dominantes en las laderas de las zonas montañosas. Hacia el noreste, aparecen amplias áreas con Calcisols que han evolucionado a partir de rocas sedimentarias como calizas, lutitas y conglomerados. Estos suelos presentan a menudo horizontes cementados. La presencia puntual de suelos salinos y sódicos (Solonchaks y Solonetz) indica condiciones de evaporación, que se dan frecuentemente en las depresiones del terreno. La gran extensión de Arenosols que se observa en el extremo norte del Golfo de California es desierto de arena activo (denominado erg) de América del Norte y que contiene las gigantescas dunas en estrella o piramidales, a veces de más de 100 m de altura. La combinación de Leptosols, Cambisols y Regosols, débilmente desarrollados, refleja la continua actividad tectónica en la zona, que se traduce en altas tasas de erosión y en la presencia de sedimentos depositados recientemente. En las zonas aluviales donde el terreno es generalmente llano o suavemente ondulado aparecen Phaeozems, ricos en materia orgánica, y en menor medida Chernozems y Kastanozems); en las llanuras costeras se presentan Vertisols, ricos en arcilla. La presencia de estos suelos refleja la deposición de sedimentos ricos en bases por efecto del agua. Los Vertisols soportan extensas áreas de cultivos de regadío en las llanuras costeras. En las regiones boscosas aparecen grandes extensiones de Umbrisols y Luvisols; estos últimos delatan la presencia de material parental de rocas ígneas extrusivas (p. ej. basalto). La ausencia de Fluvisols es consecuencia de las condiciones áridas de la zona. Existen suelos potencialmente aptos para el cultivo si se dispone de sistemas de riego, aunque en estos casos hay que prestar especial atención a los posibles problemas de salinización del suelo. La erosión y la desertificación son las principales causas naturales de degradación en esta región.


110°
107° 30´
105°
32° 30´
30°
27° 30´
25°
22° 30´
CIUDAD JUÁREZ
Fabens
Guadalupe Bravos
Río Grande
Lucero
Villa Ahumada
Carrizal
Nuevo Casas Grandes
Janos
Galeana
Buenaventura
El Sueco
Coyame
Ojinaga
Manuel Benavides
Chihuahua
Julimes
Meoqui
Delicias
Saucillo
Ciudad Camargo
Aldama
El Sáuz
Santa Clara
Namiquipa
Madera
Matachic
Cuauhtémoc
General Trías
Adolfo López Matías
Creel
Ocampo
Agua Caliente de Chinipa
Nonoava
Valle de Zaragoza
Jiménez
Hidalgo del Parral
San Francisco del Oro
Santa Bárbara
Villa Ocampo
Escalón
Ceballos
Villa Hidalgo
Santa María del Oro
La Zarca
El Cascó
La Cadena
Rodeo
Nazas
Santiago Papasquiaro
San Juan del Río
Durango
Nombre de Dios
El Salto
Concordia
Villa Unión
Mazatlán
Rosario
Escuinapa de Hidalgo
Acaponeta
Tecuala
Rosamorada
Tuxpan
San Blas
Tepic
Nogales
Agua Prieta
Cananea
Fronteras
Morelos
Bavispe
Nacozari
Cucurpe
Santa Ana
Magdalena
Carbó
Moctezuma
Tepache
Hermosillo
Sahuaripa
La Colorada
Tonichi
Oriz
Empalme
Guaymas
Esperanza
Ciudad Obregón
Navojoa
Huatabampo
Alamos
Choix
Batopilas
Baborigame
Culiacán
Navolato
Altata
El Dorado
Quiá
La Cruz
Pericos
Badiraguato
Angostura
Guamúchil
Los Mochis
Guasave
Topolobampo
Ahome
San Blas
Estero de Agiabampo
B.Topolobampo
B.Santa Maria
Golfo de California
I. Carmen
I. San José
B. La Paz
I.Cerralvo
La Paz
El Triunfo
Todos Santos
San José del Cabo
San Lucas
C. San Lucas
Is. Marias
MÉXICO

Este mapa muestra el noreste de México y su frontera con Estados Unidos a lo largo del río Grande y el Golfo de México. La mayoría del territorio que se muestra en este mapa se encuentra al norte del trópico de Cáncer.

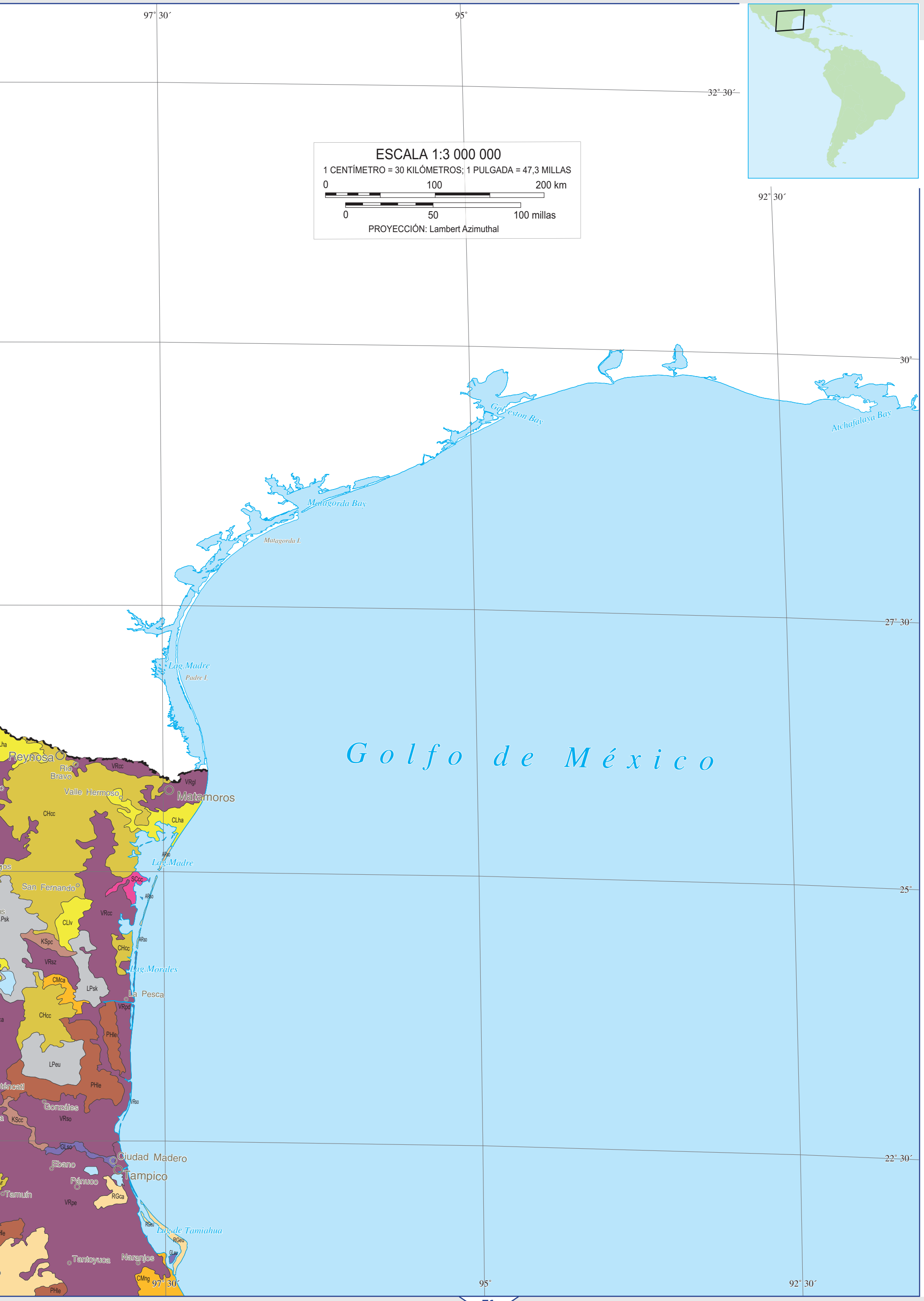
El paisaje de esta región está compuesto por las mesetas áridas del norte y las cadenas montañosas que las atraviesan, las llanuras y depresiones con enclaves salinos, la parte norte de la Sierra Madre Oriental y la llanura costera del Golfo, que se caracteriza por la presencia lagunas y zonas pantanosas.

El clima de la región, en general, es cálido (cálido y seco en algunas zonas). En todo el área, durante los meses de verano, son comunes las temperaturas por encima de 25°C, si bien el clima está suavizado en las zonas de baja altitud y próximas al mar. Los inviernos son frescos (eo fríos, en raras ocasiones). Gran parte del área interior registra menos de 500 mm de precipitación anual. En contraste, en la costa del Golfo el aire húmedo marítimo es el responsable de los 1.000 mm de precipitación anual. En esta zona son comunes los huracanes.

En cuanto a la vegetación, las zonas interiores se caracterizan por la presencia de matorrales xerófilos. Las comunidades vegetales se componen de pastos cortos, arbustos dispersos y una gran variedad de cactus y otras plantas suculentas. En la llanura costera del Golfo y en las laderas de las montañas adyacentes las tasas de precipitación anual son más altas y la vegetación es más abundante (p.ej. existen más bosques que en zonas del interior).

El patrón de distribución de los distintos tipos de suelo refleja la interacción del clima, el material parental y la actividad tectónica. En la parte oriental de la región que se muestra en el mapa, en la meseta y las laderas de la Sierra Madre Oriental, predominan Leptosols y Calcisols, que se han desarrollado sobre calizas y lutitas. Las cuencas internas (como el Bolsón de Mapimí) se caracterizan por la presencia de suelos salinos y sódicos (Solonchaks y Solonetz) y muestran condiciones de evaporación. La baja densidad de la cubierta vegetal y el clima semi-árido que limita los procesos de formación del suelo refleja la presencia de Cambisols y Regosols débilmente desarrollados. La presencia de Durisols (ricos en sílice) y Gypsiols en las zonas del sur denota condiciones más áridas. En las zonas aluviales donde el terreno es llano o suavemente ondulado se desarrollan Phaeozems (y en menor medida Chernozems y Kastanozems), sobre los que se ubican extensas áreas de cultivos de regadío. A lo largo de la costa del Golfo, las condiciones pantanosas son la causa del desarrollo generalizado de Vertisols pesados (ver página 14 para la definición de "suelo pesado"), ricos en arcilla y caliza. Dichos suelos suelen estar situados en los fondos de valles fluviales (p.ej., en el delta del río Grande). Muchos suelos pueden cultivarse con buenos rendimientos, aportando riegos frecuentes, pero en estos casos hay que poner atención a los procesos de salinización. En la zona de la meseta el sobrepastoreo es la causa principal de degradación del suelo.

105° 102° 30´ 100°
32° 30´ 30° 27° 30 25° 22° 30´ 105° 102° 30´ 100°
67 70
Río Grande R. Grande
Fabens Guadalupe Bravos Coyame Ojinaga Manuel Benavides Aldama Chihuahua Julimes Meoqui Delicias Saucillo Ciudad Camargo Valle de Zaragoza Jiménez Hidalgo del Parral San Francisco del Oro Santa Barbara Villa Ocampo Santa María del Oro La Zarcao El Casco Rodeo Santiago Papasquiaro Durango El Salto Nombre de Dios Tepic San Blas Rosario Escuinapa de Hidalgo Acaponeta Tecuala Tuxpan Rosamorada Acebuches Sierra Mojada Escalón Carrillo Ceballos Yermo Villa Hidalgo La Cadena Gómez Palacio Ciudad Lerdo Nazas Pedriseña La Cadena Cuencamé de Ceniceros San Juan del Rio Peñon Blanco San Juan de Guadalupe Juan Aldama Ciudad de Río Grande Sombrerete San Alto Fresnillo Villa de Cos Zacatecas Valparaiso Jerez de García Salinas Colotlán Aguascalientes Jalpa Teocaltiche Moyahua Lagos de Moreno León Jalostotitlán Torreón Matamoros de la Fuente Parras de la Fuente Parras Viesca San Pedro Saltillo Ciudad Acuña Piedras Negras Zaragoza Nava Allende Melchor Múzquiz Nueva Rosita Sabinas Hermanas Lampazos de Naranjo Cuatrociénagas Villa Frontera Monclova San Buenaventura Anáhuac Laredo Nuevo Laredo Villaldama Reata Sabinas Hidalgo Nueva Ciudad Guerrero General Treviño Guadalupe MONTERREY San Nicolás Galeana Concepcion del Oro La Ventura El Potosi Matehuala Doctor Arroyo Charcas Moctezuma Salinas de Hidalgo Loreto San Luis Potosí Santa María del Río Ville de Reyes Río Verde Ciudad Valles Rayón Cárdenas Ciudad del Maíz Cerritos Tula Jaumave Ciudad Victoria Montemorelos Linares Tamazunchale Xicoh Ciudad Mante
MÉXICO


97° 30´
95°
92° 30´
32° 30´
30°
27° 30´
25°
22° 30´
ESCALA 1:3 000 000
1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS
0 100 200 km
0 50 100 millas
PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal
Galveston Bay
Atchafalaya Bay
Matagorda Bay
Matagorda I.
Lag.Madre
Padre I.
Golfo de México
Reynosa
Rio Bravo
Valle Hermoso
Matamoros
San Fernando
La Pesca
Ciudad Madero
Tampico
Ebano
Pánuco
Tamuín
Gonzáles
Tantoyuca
Naranjos
Lag.Morales
Lag.de Tamiahua
VRcc
VRgl
CHcc
CLha
ARso
SCcc
CLlv
KSpc
VRsz
CMca
LPsk
VRpd
PHle
LPeu
VRso
KScc
GLso
RGca
VRpe
RGeu
CLee
CMng

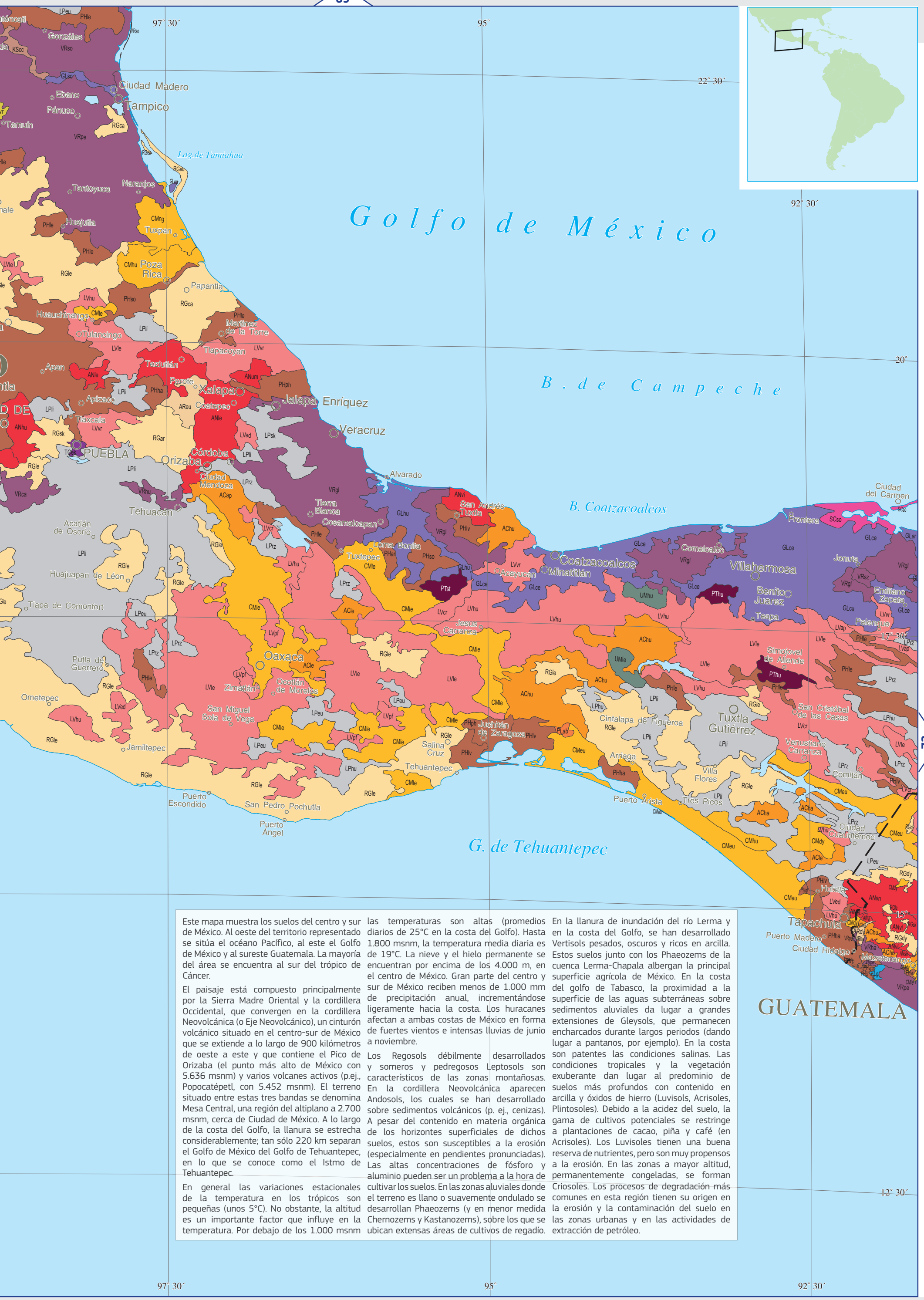
ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal



Este mapa muestra los suelos del centro y sur de México. Al oeste del territorio representado se sitúa el océano Pacífico, al este el Golfo de México y al sureste Guatemala. La mayoría del área se encuentra al sur del trópico de Cáncer.

El paisaje está compuesto principalmente por la Sierra Madre Oriental y la cordillera Occidental, que convergen en la cordillera Neovolcánica (o Eje Neovolcánico), un cinturón volcánico situado en el centro-sur de México que se extiende a lo largo de 900 kilómetros de oeste a este y que contiene el Pico de Orizaba (el punto más alto de México con 5.636 msnm) y varios volcanes activos (p.ej., Popocatépetl, con 5.452 msnm). El terreno situado entre estas tres bandas se denomina Mesa Central, una región del altiplano a 2.700 msnm, cerca de Ciudad de México. A lo largo de la costa del Golfo, la llanura se estrecha considerablemente; tan sólo 220 km separan el Golfo de México del Golfo de Tehuantepec, en lo que se conoce como el Istmo de Tehuantepec.

En general las variaciones estacionales de la temperatura en los trópicos son pequeñas (unos 5°C). No obstante, la altitud es un importante factor que influye en la temperatura. Por debajo de los 1.000 msnm las temperaturas son altas (promedios diarios de 25°C en la costa del Golfo). Hasta 1.800 msnm, la temperatura media diaria es de 19°C. La nieve y el hielo permanente se encuentran por encima de los 4.000 m, en el centro de México. Gran parte del centro y sur de México reciben menos de 1.000 mm de precipitación anual, incrementándose ligeramente hacia la costa. Los huracanes afectan a ambas costas de México en forma de fuertes vientos e intensas lluvias de junio a noviembre.

Los Regosols débilmente desarrollados y someros y pedregosos Leptosols son característicos de las zonas montañosas. En la cordillera Neovolcánica aparecen Andosols, los cuales se han desarrollado sobre sedimentos volcánicos (p. ej., cenizas). A pesar del contenido en materia orgánica de los horizontes superficiales de dichos suelos, estos son susceptibles a la erosión (especialmente en pendientes pronunciadas). Las altas concentraciones de fósforo y aluminio pueden ser un problema a la hora de cultivar los suelos. En las zonas aluviales donde el terreno es llano o suavemente ondulado se desarrollan Phaeozems (y en menor medida Chernozems y Kastanozems), sobre los que se ubican extensas áreas de cultivos de regadío.

En la llanura de inundación del río Lerma y en la costa del Golfo, se han desarrollado Vertisols pesados, oscuros y ricos en arcilla. Estos suelos junto con los Phaeozems de la cuenca Lerma-Chapala albergan la principal superficie agrícola de México. En la costa del golfo de Tabasco, la proximidad a la superficie de las aguas subterráneas sobre sedimentos aluviales da lugar a grandes extensiones de Gleysols, que permanecen encharcados durante largos periodos (dando lugar a pantanos, por ejemplo). En la costa son patentes las condiciones salinas. Las condiciones tropicales y la vegetación exuberante dan lugar al predominio de suelos más profundos con contenido en arcilla y óxidos de hierro (Luvisols, Acrisoles, Plintosoles). Debido a la acidez del suelo, la gama de cultivos potenciales se restringe a plantaciones de cacao, piña y café (en Acrisoles). Los Luvisoles tienen una buena reserva de nutrientes, pero son muy propensos a la erosión. En las zonas a mayor altitud, permanentemente congeladas, se forman Criosoles. Los procesos de degradación más comunes en esta región tienen su origen en la erosión y la contaminación del suelo en las zonas urbanas y en las actividades de extracción de petróleo.

72

90°
87° 30´
92° 30´
22° 30´
20°
17° 30´
15°
12° 30´
B . d e C a m p e c h e
M É X I C O
GUATEMALA
BELICE
HONDURAS
EL SALVADOR
O C É A N O P A C Í F I C O
Yucatán Pen.
Lag. de Términos
B. de Chetumal
G. de Honduras
Bahía de Amatique
G. de Fonseca
I. Holbox
I. de Cozumel
Turneffe Is.
Is. de la Bahía
Rio Lagartos
Progreso
Sisal
Mérida
Celestún
Motul
Izamal
Tizimín
Valladolid
Puerto Juárez
Cancún
Maxcanú
Ticul
Peto
Tzucacab
Tulum
Campeche
Champotón
Dzibalchén
Felipe Carrillo Puerto
Chetumal
Corozal
Orange Walk
Ciudad del Carmen
Frontera
Francisco Escárcega
Candelaria
Comalcalco
Villahermosa
Jonuta
Emiliano Zapata
Benito Juarez
Teapa
Palenque
Tenosique
Simojovel de Allende
San Cristóbal de las Casas
Tuxtla Gutiérrez
Venustiano Carranza
Comitán
Villa Flores
Ciudad Cuauhtémoc
Huehuetenango
Tapachula
Puerto Madero
Ciudad Hidalgo
Quezaltenango
Totonicapan
Chimaltenango
Retalhuleu
Mazatenango
Tiquisate
Escuintla
Cuilapa
Antigua
Salamá
Zacapa
Santa Rosa de Copán
Corquin
Comayagua
Marcala
Metapan
Jutiapa
Santa Ana
Sonsonate
Nueva San Salvador
La Libertad
Cojutepeque
Jucuapa
Usulután
San Miguel
La Unión
Poptún
Punta Gorda
Monkey River
Hill Bank
Belize City
Dangriga
San Ignacio
Puerto Barrios
Puerto Cortés
La Ceiba
San Pedro Sula
El Progreso
Yoro
Olanchito
Tela
Roatán
Choluteca
Rio Grande
Ocotal
Somoto
León
Chinandega
BELMOPAN
GUATEMALA CITY
TEGUCIGALPA
SAN SALVADOR

CUBA

Mar Caribe

Antillas Mayores

Yucatán

NICARAGUA

L. de Nicaragua

C. San Antonio

G. del Batabanó

I. de la Juventud

Arch.de los Canarreos

G. de Ana Maria

Arch. de los Jardines de la Reina

Cayos Miskitos

C. Gracias a Dios

Cayman Is. (U.K.)

Grand Cayman I.

Little Cayman

Cayman Brac

George Town

Nueva Gerona

Artemisa

Mariánao

Güines

Matanzas

Cárdenas

Colón

Sagua la Grande

Santo Domingo

Caibarién

Placetas

Santa Clara

Cienfuegos

Sancti Spiritus

Trinidad

Los Palacios

Pinar del Rio

Guane

Trujillo

Iriona

Barra Patuca

Puerto Lempira

Juticalpa

Waspán

Dákura

Puerto Cabezas

Bonanza

Siuna

Prinzapolka

Jinotega

Matagalpa

Boaco

MANAGUA

Granada

Jinotepe

Rivas

Santo Tomás

Rama

Bluefields

Punta Gorda

Este mapa muestra los suelos del sur de México, Belice, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Cuba (ver Hoja 22). El territorio mostrado limita con el océano Pacífico al oeste y el mar Caribe al este. El elemento más destacado de este mapa es la península de Yucatán, que separa el Golfo de México del mar Caribe.

En esta región el paisaje es muy contrastante. La mayor parte del terreno oriental de la hoja es plana o ligeramente ondulada. Abundan las zonas bajas y pantanosas. Por otro lado, hacia la costa del Pacífico, el relieve está formado por altas montañas. Existen varios conos volcánicos en el sur de Guatemala (más de 4.000 msnm). La mayoría de los países cuentan con volcanes activos. Entre las cadenas montañosas centrales y el océano Pacífico se sitúa una estrecha llanura costera férti. El Gran Lago de Nicaragua (o lago Cocibolca) es un lago de agua dulce situado en Nicaragua y el más grande de Centroamérica.

En general, el clima en la región varía de subtropical a tropical, de fuerte a moderadamente húmedo, con abundantes precipitaciones (con estacionalidad pronunciada) y altas temperaturas (con algunas variaciones estacionales). Las bajas cotas y la proximidad a la costa modifican estas condiciones. Por ejemplo, el clima del norte de Yucatán es cálido (la temperatura diaria se sitúa entre 24 y 38ºC) y seco (<500 mm de precipitación anual), mientras que hacia el sur, las precipitaciones superan los 2.000 mm y las temperaturas son moderadas debido a los vientos marítimos. En Belice y Guatemala, las temperaturas medias mensuales, por debajo de los 1.000 msnm, están generalmente entre 21 y 27°C. Sin embargo, descienden de manera considerable al ganar altitud (temperaturas medias anuales de aproximadamente 14ºC a unos 2.000 msnm). Hacia el sur (El Salvador, Honduras y Nicaragua) las temperaturas correspondientes a las mismas altitudes son más altas, debido a la proximidad al Ecuador. A lo largo de la costa del Caribe, los niveles anuales de precipitación son altos y constantes (2.000-4.000 mm), especialmente en las laderas orientadas al norte y al este. Muchas regiones experimentan una marcada estación seca de invierno, pero por lo general la precipitación anual supera los 1.000 mm en la totalidad del territorio del mapa (con un aumento general en las zonas altas). Las montañas de Guatemala frecuentemente registran más de 4.500 mm de precipitación anual. La precipitación anual en las tierras bajas del Pacífico es de 1.700 mm. De junio a noviembre, los huracanes pueden traer fuertes vientos y lluvias.

Las fuertes lluvias de la región hacen posible la existencia de extensos y densos bosques de frondosas perennes. Al ascender en altitud aparecen bosques mixtos. Por otro lado, en las cotas bajas, los árboles dan paso a praderas y matorrales mesófilos que se extienden por las cuencas interiores y los valles. Las llanuras costeras del Pacífico y las laderas de las montañas adyacentes generalmente presentan bosques tropicales caducifolios y sabanas. La vegetación de las zonas de pantanos cerca de la costa está formada por manglares y bosques de palmeras.

La península de Yucatán está casi enteramente compuesta por arrecifes y rocas calizas porosas que dan lugar a extensos Leptosols, poco profundos, pedregosos y secos. Hacia el sur, en las llanuras de inundación de los valles amplios y poco profundos se desarrollan Vertisols. A lo largo de la costa del Caribe, los antiguos sedimentos marinos y la proximidad de las aguas subterráneas a la superficie en zonas de sedimentos aluviales mal drenadas dan lugar a Solonchaks (suelos salinos) y Gleysols (suelos pantanosos). Las zonas bajas de Honduras y Nicaragua están dominadas por Nitisols, que se caracterizan por la alta concentración de óxidos de hierro. En las tierras altas se desarrollan fértiles Andosols sobre eyecciones volcánicas (p.ej. lava y ceniza), junto con Cambisols y Regosols (suelos relativamente jóvenes) débilmente desarrollados. Los sedimentos ricos en nutrientes bajo praderas permanentes en los valles de los ríos dan lugar a fértiles Phaeozems y Kastanozems o Fluvisoles, en caso de situarse sobre material fluvial estratificado. Por último, los Luvisoles representan suelos profundos, ricos en arcilla, en las zonas donde se producen lluvias de manera constante.

La frontera abrupta entre Belice y Guatemala/México refleja las diferencias en las escalas de interpretación y mapeo entre los distintos países. Se está trabajando para resolver estas diferencias.

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

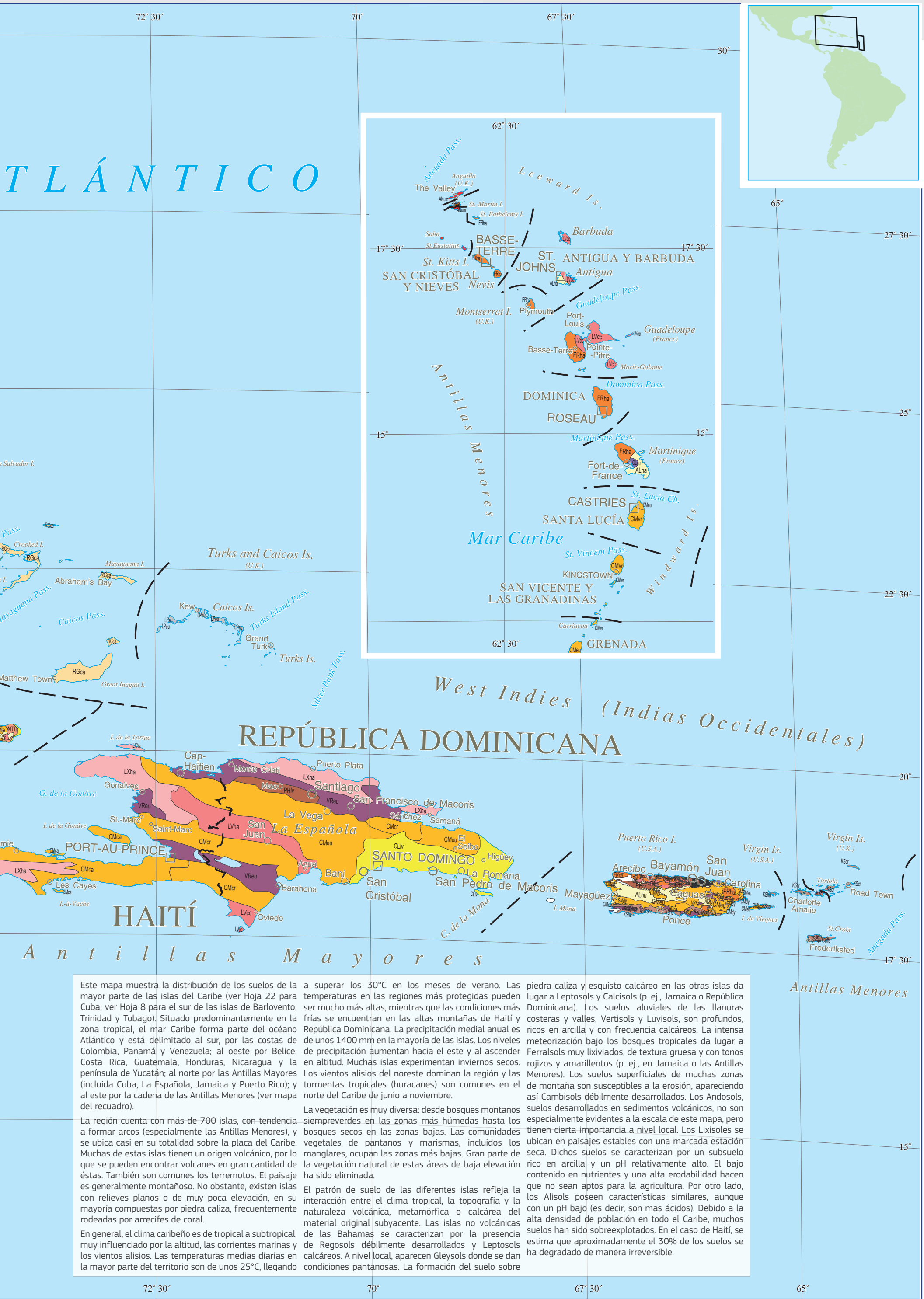
PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

85° 82° 30´ 80° 22° 30´ 20° 17° 30´ 15° 12° 30´

74

76

85°
82° 30´
80°
77° 30´
75°
30°
27° 30´
25°
22° 30´
20°
17° 30´
15°
O C É A N O A
BAHAMAS
Little Abaco I.
Marsh Harbour
Freeport
Grand Bahama I.
Great Abaco I.
Bimini Is.
Berry Is.
Eleuthera I.
Governor's Harbour
Nicholl's Town
NASSAU
Andros I.
Arthur's Town
Cat I.
Exuma Sound
Exuma Cays
Tongue of the Ocean
Kemps Bay
Rum Cay I.
Long I.
Georgetown
Clarence Town
Crooked Island
Acklins
Strs. of Florida
Santaren Ch.
Nicholas Ch.
Old Bahama Ch.
Arch. de Camagüey
CUBA
LA HABANA
Marianao
Cárdenas
Matanzas
Sagua la Grande
Artemisa
Güines
Colón
Santo Domingo
Caibarién
Pinar del Río
Los Palacios
Cienfuegos
Santa Clara
Placetas
Morón
Sancti Spíritus
Ciego de Avila
Trinidad
Cuba I.
Nueva Gerona
I. de la Juventud
Arch. de los Canarreos
Florida
Camagüey
Nuevitas
G. de Ana María
Gibara
Victoria de las Tunas
Holguín
Banes
Arch. de los Jardines de la Reina
Santa Cruz del Sur
Manzanillo
Guamo
Bayamo
Palma Soriano
Nicaro
Sagua de Tánamo
Guantánamo
Santiago de Cuba
C. Cruz
Little Cayman
Cayman Brac
Grand Cayman I.
George Town
Cayman Is.
(U.K.)
Montego Bay
Lucea
Montpelier
St. Ann's Bay
Port Antonio
Savanna la Mar
KINGSTON
Mandeville
Mayo Pen
Spanish Town
JAMAICA
Jamaica Ch.
Barra Patuca
HONDURAS
Puerto Lempira
C. Gracias a Dios
Waspán
Dákura
Puerto Cabezas
Bonanza
Siuna
NICARAGUA
Prinzapolka
Mar Caribe
72
77
ESCALA 1:4 500 000
1 CENTÍMETRO = 45 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 71 MILLAS
0 100 200 300 km
0 50 100 150 millas
PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal



Este mapa muestra la distribución de los suelos de la mayor parte de las islas del Caribe (ver Hoja 22 para Cuba; ver Hoja 8 para el sur de las islas de Barlovento, Trinidad y Tobago). Situado predominantemente en la zona tropical, el mar Caribe forma parte del océano Atlántico y está delimitado al sur, por las costas de Colombia, Panamá y Venezuela; al oeste por Belice, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Nicaragua y la península de Yucatán; al norte por las Antillas Mayores (incluida Cuba, La Española, Jamaica y Puerto Rico); y al este por la cadena de las Antillas Menores (ver mapa del recuadro).

La región cuenta con más de 700 islas, con tendencia a formar arcos (especialmente las Antillas Menores), y se ubica casi en su totalidad sobre la placa del Caribe. Muchas de estas islas tienen un origen volcánico, por lo que se pueden encontrar volcanes en gran cantidad de éstas. También son comunes los terremotos. El paisaje es generalmente montañoso. No obstante, existen islas con relieves planos o de muy poca elevación, en su mayoría compuestas por piedra caliza, frecuentemente rodeadas por arrecifes de coral.

En general, el clima caribeño es de tropical a subtropical, muy influenciado por la altitud, las corrientes marinas y los vientos alisios. Las temperaturas medias diarias en la mayor parte del territorio son de unos 25°C, llegando a superar los 30°C en los meses de verano. Las temperaturas en las regiones más protegidas pueden ser mucho más altas, mientras que las condiciones más frías se encuentran en las altas montañas de Haití y República Dominicana. La precipitación medial anual es de unos 1400 mm en la mayoría de las islas. Los niveles de precipitación aumentan hacia el este y al ascender en altitud. Muchas islas experimentan inviernos secos. Los vientos alisios del noreste dominan la región y las tormentas tropicales (huracanes) son comunes en el norte del Caribe de junio a noviembre.

La vegetación es muy diversa: desde bosques montanos siempreverdes en las zonas más húmedas hasta los bosques secos en las zonas bajas. Las comunidades vegetales de pantanos y marismas, incluidos los manglares, ocupan las zonas más bajas. Gran parte de la vegetación natural de estas áreas de baja elevación ha sido eliminada.

El patrón de suelo de las diferentes islas refleja la interacción entre el clima tropical, la topografía y la naturaleza volcánica, metamórfica o calcárea del material original subyacente. Las islas no volcánicas de las Bahamas se caracterizan por la presencia de Regosols débilmente desarrollados y Leptosols calcáreos. A nivel local, aparecen Gleysols donde se dan condiciones pantanosas. La formación del suelo sobre piedra caliza y esquisto calcáreo en las otras islas da lugar a Leptosols y Calcisols (p. ej., Jamaica o República Dominicana). Los suelos aluviales de las llanuras costeras y valles, Vertisols y Luvisols, son profundos, ricos en arcilla y con frecuencia calcáreos. La intensa meteorización bajo los bosques tropicales da lugar a Ferralsols muy lixiviados, de textura gruesa y con tonos rojizos y amarillentos (p. ej., en Jamaica o las Antillas Menores). Los suelos superficiales de muchas zonas de montaña son susceptibles a la erosión, apareciendo así Cambisols débilmente desarrollados. Los Andosols, suelos desarrollados en sedimentos volcánicos, no son especialmente evidentes a la escala de este mapa, pero tienen cierta importancia a nivel local. Los Lixisoles se ubican en paisajes estables con una marcada estación seca. Dichos suelos se caracterizan por un subsuelo rico en arcilla y un pH relativamente alto. El bajo contenido en nutrientes y una alta erodabilidad hacen que no sean aptos para la agricultura. Por otro lado, los Alisols poseen características similares, aunque con un pH bajo (es decir, son mas ácidos). Debido a la alta densidad de población en todo el Caribe, muchos suelos han sido sobreexplotados. En el caso de Haití, se estima que aproximadamente el 30% de los suelos se ha degradado de manera irreversible.

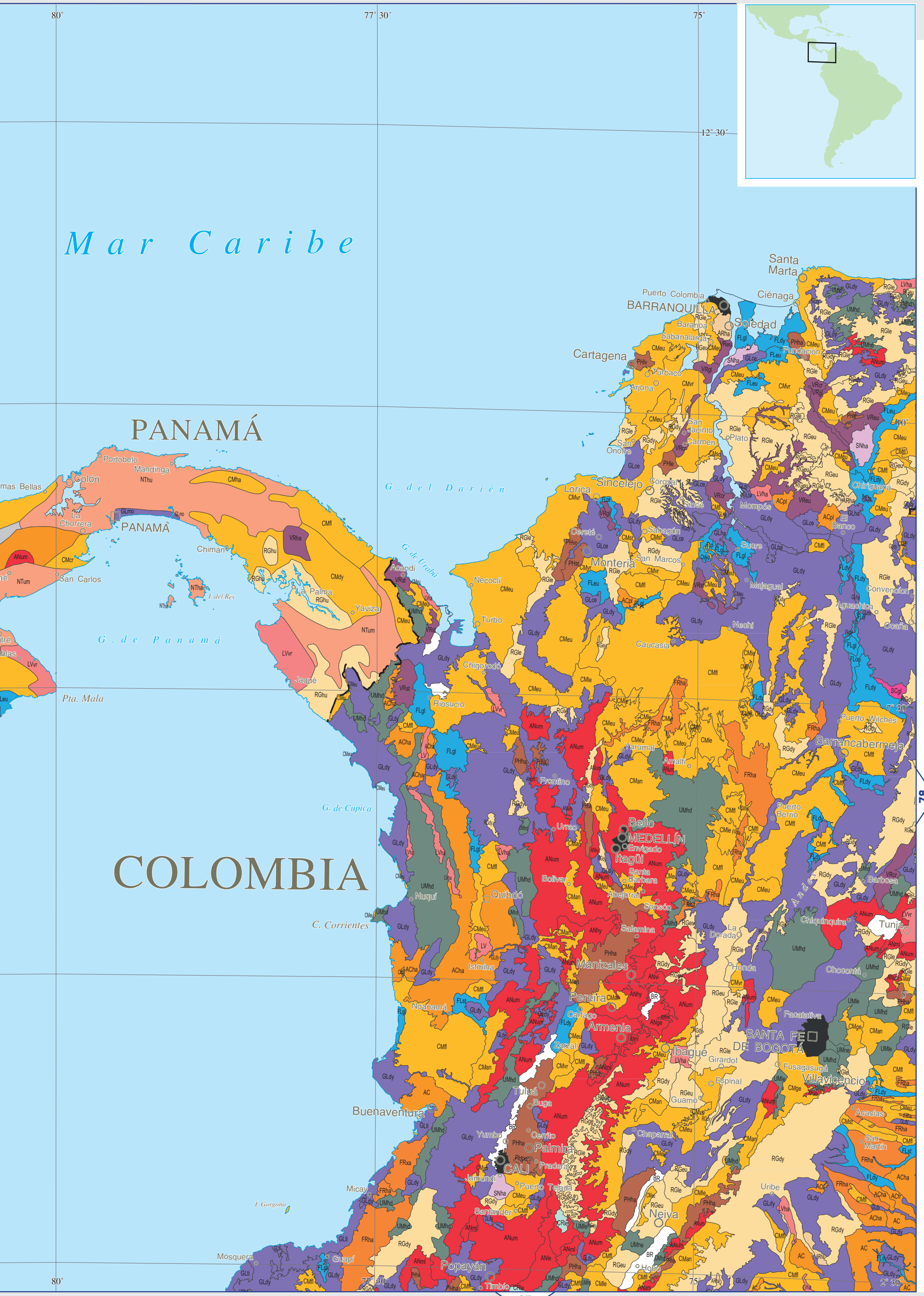
En este mapa se puede apreciar el estrecho istmo centroamericano, conocido como istmo de Panamá por el país en el que se encuentra. Limita con América del Sur y los suelos de Costa Rica, el oeste de Colombia, Panamá y el sur de Nicaragua. El Istmo de Panamá separa el océano Atlántico del océano Pacífico y es la parte más estrecha del continente americano (50 km de ancho en algunas zonas).

A excepción de la región noroeste del este de Nicaragua y Colombia, la mayor parte del terreno es montañoso y escarpado. Varias cumbres de la Cordillera Central superan los 3.000 msnm y muchos de ellos son volcanes aún activos. Al oeste de la cordillera, a medida que el terreno desciende hacia el Pacífico se va transformando en una llanura costera plana o suavemente ondulada. Toda la región es geológicamente activa; las erupciones volcánicas y los terremotos ocurren con frecuencia. El Lago de Nicaragua es el lago más grande de Centroamérica. Por otro lado, Costa Rica y Colombia son regiones con una gran biodiversidad.

Debido a la proximidad del Ecuador, el clima cálido y húmedo se vuelve cada vez más tropical. No obstante muchas zonas tienen una estación seca de diciembre a abril y una estación lluviosa de mayo a noviembre (durante este tiempo, puede llover de manera constante en algunas áreas). Existen por supuesto variaciones según la altitud, las precipitaciones o la topografía. La temperatura media anual en las tierras bajas costeras del Caribe varía entre 24 y 38°C, bajando de 10°C en las cumbres de las montañas más altas. Las temperaturas en la costa del Pacífico son algo más bajas. Sin embargo, hay poca variación estacional. Las laderas de las montañas del Caribe y de la Cordillera Central de Costa Rica reciben la mayor cantidad de lluvia (más de 5.000 mm anuales en algunas zonas).

El clima tropical propicia el desarrollo de una gran cantidad de especies vegetales. Los bosques son el ecosistema más representado, en ocasiones interrumpidos por pastizales y matorrales, allí donde las precipitaciones son menos frecuentes. La deforestación es una amenaza constante en muchas regiones. Existen manglares en ambas costas, los cuales aparecen con mayor profusión en los deltas.

La característica edafológica dominante de este mapa es la dominancia de los Andosols, que se han desarrollado sobre cenizas volcánicas y lava, especialmente en las regiones montañosas de Costa Rica, Panamá y en la Cordillera Occidental de Colombia. En muchos lugares, los Andosols son excepcionalmente productivos para el cultivo del café. Por otro lado, los débilmente desarrollados Regosols y delgados Leptosols, se dan en granitos y rocas metamórficas. Ambos tipos representan los suelos jóvenes en las zonas montañosas. Las tierras bajas del este de Nicaragua están dominados por Nitisols, que se caracterizan por poseer altas concentraciones de óxidos de hierro y arcillas. Dichos suelos son, en potencia, los más fértiles de la región tropical, debido a su alto contenido en nutrientes, su profundidad y su permeabilidad, son destinados con frecuencia para la agricultura. Ferralsols, Acrisols y Alisols representan suelos ácidos profundamente meteorizados, generalmente pobres en nutrientes. Estos tipos de suelo contienen altos niveles de óxidos de hierro y aluminio, lo que les confiere una color rojo o amarillo característico. Los Ferralsols tienen una granulometría gruesa y contienen caolinita, mientras que la característica principal de Acrisols y Alisols es la acumulación de arcilla en el subsuelo. Los primeros (Acrisols) se desarrollan sobre roca madre ácida, mientras que los segundos se forman a partir de rocas metamórficas. Los sistemas fluviales están representados por los Fluvisols; a lo largo de la costa, en los manglares, se ubican los Gleysols. Estos últimos (y en menor medida los Vertisols) en el oeste de Colombia, ocupan las extensas llanuras pantanosas de los ríos Atrato, Magdalena y Cauca. Dichas cuencas aluviales (algunas de ellas son antiguos lechos de lagos) están separadas por montañas con profundos Andosols, Cambisols y Regosols. Por último, los enclaves de Umbrisols representan los suelos con un horizonte superficial oscuro, ácido y rico en materia orgánica, que se desarrollan bajo los bosques en los climas fríos y húmedos (regiones montañosas).


80°
77° 30´
75°
12° 30´
10°
7° 30´
5°
2° 30´
Mar Caribe
PANAMÁ
COLOMBIA
G. del Darién
G. de Urabá
G. de Panamá
G. de Cupica
Pta. Mala
C. Corrientes
I. del Rey
I. Gorgona
Portobelo
Mandinga
Colón
La Chorrera
PANAMÁ
Chimán
San Carlos
La Palma
Yaviza
Jaqué
Acandí
Necoclí
Turbo
Chigorodó
Riosucio
Nuquí
Quibdó
Istmina
Noanamá
Buenaventura
Micay
Mosquera
Guapi
Timbiquí
Popayán
Santa Marta
Puerto Colombia
BARRANQUILLA
Ciénaga
Soledad
Baranoa
Sabanalarga
Cartagena
Turbaco
Arjona
Fundación
San Jacinto
Carmen
San Onofre
Plato
Sincelejo
Corozal
Sincé
Lorica
Mompós
Chiriguaná
El Banco
Sucre
Majagual
Convención
Aguachica
Ocaña
Nechí
Caucasia
Montería
Ceretè
Sahagún
San Marcos
Puerto Wilches
Barrancabermeja
Yarumal
Amalfi
Puerto Berrío
Bello
MEDELLÍN
Envigado
Itagüí
Santa Barbara
Abejorral
Sonsón
Urrao
Frontino
Bolivar
Salamina
Manizales
Pereira
Cartago
Armenia
Zarzal
Tuluá
Buga
Yumbo
Cerrito
Palmira
CALI
Prados
Jamundí
Puerto Tejada
Santander
Barbosa
Chiquinquirá
Tunja
La Dorada
Honda
Chocontá
Facatativa
SANTA FE DE BOGOTÁ
Ibagué
Girardot
Fusagasugá
Villavicencio
Espinal
Guamo
Chaparral
Acacías
San Martín
Uribe
Neiva
Hobo
Barbosa
Andes
78
83

El mapa muestra los suelos del este de Colombia y Venezuela, con el océano Atlántico al norte. Cerca de la costa aparece el arco de las islas de Sotavento de las Antillas Menores, mientras que en la esquina superior derecha aparece el extremo de las islas de Barlovento (ver Hoja 5).

Geológicamente, Trinidad y Tobago se encuentran sobre la placa continental de América del Sur. La topografía es muy variada. El mapa contiene algunos picos notables, como el Bolívar (4.979 msnm) y el extremo norte de la cordillera de los Andes, que contrastan con la mayor parte de Colombia y el norte de Venezuela, los cuales forman parte de Los Llanos, una vasta llanura de pastizales tropicales que se inunda regularmente. El sistema hidrográfico mas importante de esta área es el de río Orinoco, uno de los más largos de América del Sur (2.140 km). El lago de Maracaibo, rico en petróleo, es el mayor cuerpo de agua de América del Sur (a pesar del nombre, se trata de una gran bahía salobre del Golfo de Venezuela).

Al tratarse de una zona tropical, las temperaturas muestran poca variación estacional. Sin embargo, la altitud influye de manera local sobre las temperaturas, las precipitaciones y la vegetación. Gran parte del área tiene una temperatura media anual por encima de los 24°C. Ésta puede descender hasta los 19°C en altitudes de 1.500 msnm, o incrementarse hasta alcanzar los 28°C en la costa de Maracaibo. La mayoría de las zonas de montaña presentan condiciones climáticas templadas (pueden aparecer condiciones glaciales en las cumbres más altas de las montañas). La precipitación anual en la región es de unos 1.000 mm. Sin embargo, en la árida costa noroccidental de Venezuela se registran menos de 500 mm anuales. Las variaciones regionales son muy marcadas; en gran parte de la zona la estación húmeda dura de mayo a octubre.

Las precipitaciones en el interior hacen posible la existencia de distintos tipos de cubierta vegetal: la sabana tropical, la exuberante selva tropical y las tierras de cultivo y pastos.

Los suelos dominantes en el mapa son Acrisols y Ferralsols. Las altas temperaturas y abundante humedad son la causa del lavado (a excepción de los minerales más insolubles) de nutrientes, dejando los suelos con altos niveles de óxidos de hierro y aluminio y poca fertilidad. Los Gleysols que se ubican al este de Colombia indican la presencia de extensas llanuras pantanosas que corresponden a las zonas de inundación de os ríos Orinoco, Magdalena y Cauca, mientras Fluvisols y Vertisols, delatan la existencia de cuencas aluviales. El delta del Orinoco y las llanuras adyacentes son ricos en aluviones. El mal drenaje de estas zonas bajas da lugar a Histosols. Los Andosols volcánicos se sitúan en las laderas de las montañas; se trata de suelos fértiles potencialmente pero en ocasiones muy erosionados debido a la deforestación. Los Regosols, de escaso desarrollo, y los someros y pedregosos Leptosols se dan en general en las principales regiones montañosas, que en este caso corresponden a la cordillera de Mérida y las montañas costeras en la cercanía de la ciudad de Caracas. El clima árido de la costa venezolana da lugar a Calcisols y Arenosols. En la zona de los Llanos aparecen extensos campos de dunas. En el valle del Orinoco, la saturación del suelo con agua subterránea rica en hierro conduce a la formación de Plintosols.

La frontera abrupta entre Colombia y Venezuela refleja las diferencias en las escalas de interpretación y mapeo entre los distintos países. Se está trabajando para resolver estas diferencias.

77

83

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

Mar Caribe

VENEZUELA

BRASIL

GUYANA

TRINIDAD Y TOBAGO

SAN VICENTE Y LAS GRANADINAS

GRENADA

St. Vincent Pass.

Windward Is.

Carriacou

Delta del Orinoco

G. de Paria

Trinidad

67° 30´ 65° 62° 30´ 12° 30´ 10° 7° 30´ 5° 0°

84 85 80

62° 30´
60°
57° 30´
12° 30´
10°
7° 30´
5°
2° 30´
79
85
St. Vincent Pass.
KINGSTON
SAN VICENTE Y LAS GRANADINAS
Windward Is.
Carriacou
ST. GEORGE'S
GRENADA
BARBADOS
Bridgetown
Tobago
Speyside
Scarborough
TRINIDAD Y TOBAGO
PORT OF SPAIN
Arima
Sangre Grande
G. de Paria
Trinidad
San Fernando
OCÉANO
Pedernales
Boca de la Serpiente
Delta del Orinoco
Boca Grande
El Temblador
Tucupita
Uracoa
Barrancas
Puerto Ordaz
Ciudad Guayana
San Joséde Amacuro
Morawhanna
Mabaruma
Baramanni
Upata
Guasipati
El Callao
Tumeremo
Arakaka
Towakaima
Marlborough
Charity
Suddie
Parika
GEORGETOWN
Enmore
Bartica
New Amsterdam
Nieuw Nickerie
Linden
Rockstone
Issano
GUYANA
Tumatumari
Orealla
El Dorado
Luepa
Orinduik
Depósito
Cantão
Apoteri
Annai
Uraricoera
Conceição do Maú
Lethem
São Bento
Boa Vista
BRASIL
Dadanawa
Malacacheta
Isherton
SURIN

Este mapa muestra los suelos de las islas que se ubican al sudoeste de las Antillas Menores, parte del norte de Brasil, Guyana, Guayana Francesa, Surinam y el este de Venezuela, todo ello bañado por el océano Atlántico. La zona costera occidental el mapa está dominada por el delta del Orinoco.

El pantanoso delta se extiende a lo largo de unos 450 kilómetros en la costa atlántica y se divide en numerosos canales o caños de descarga. El canal principal es el Boca Grande. Hacia el sureste, aparece una llanura costera estrecha y de baja altitud, frente a un terreno suavemente ondulado que corre paralelo a la costa. Este se eleva hacia el sur para convertirse en el Guinana Highlands, una región de montañas bajas cubiertas de bosque y mesetas; el monte Roraima, también conocido como tepuy Roraima, con 2.810 msnm, es el punto más alto de la cadena de mesetas tepuyes (montañas tabulares) de la sierra de Pacaraima. Al sur de estas montañas, los ríos siguen su curso hacia el Amazonas. El monumento natural más notable en este mapa es el Salto Ángel, en el río Churún (Venezuela), la cascada más alta del mundo, con un desnivel de 979 m.

Esta área se sitúa justo al norte del Ecuador, por lo que el clima es cálido y húmedo durante todo el año, con un promedio diario de 25°C y variaciones estacionales mínimas. Estos valores de temperatura y humedad se ven moderados por las bajas cotas y la proximidad a la costa debido a los vientos alisios. En general las precipitaciones son abundantes en todo el territorio (unos 2.000 mm anuales, superando los 3.000 mm en algunas zonas de la Guayana Francesa), incrementándose hacia la costa. Sin embargo, pueden darse sequías estacionales de manera ocasional.

La vegetación está constituida principalmente por densos bosques tropicales. En algunas partes del sur de Venezuela y Guyana, más secas, el paisaje dominante es la sabana. Los manglares se sitúan a lo largo de la costa.

Los principales factores de formación del suelo de esta región han sido la erosión de las rocas cristalinas, en gran parte de las montañas de Guyana, y su posterior redeposición, seguida de la intensa meteorización propiciada por un clima tropical cálido y húmedo. Los someros y pedregosos Leptosols y los débilmente desarrollados Cambisols son representativos de la región del altiplano. La deposición de la arena de cuarzo como consecuencia del curso de los ríos ha dado lugar a Arenosols extensos y blanquecinos a lo largo de las costas de Guayana y Surinam. Debido a que la zona costera es llana, el mal drenaje y los grandes volúmenes de aluviones procedentes de la desembocadura del río Amazonas (al este de la Guayana Francesa) se han desarrollado extensos pantanos. Este encharcamiento permanente ha dado lugar a grandes extensiones de ácidos Gleysols e Histosols. Este modelo también es visible en el delta del Orinoco. En el interior, la meteorización química de los minerales de las rocas queda reflejada en la distribución de los tipos de suelo. En suelos donde se dan condiciones de alta lixiviación y acidez se manifiestan grandes extensiones de Ferralsols, generalmente pobres en nutrientes pero con altos contenidos en caolinita y óxidos de hierro y aluminio. Las extensiones de Acrisols y los Lixisols son la expresión también de suelos profundamente meteorizados. Ambos tipos de suelos se caracterizan por un subsuelo rico en arcilla, aunque los primeros se desarrollan sobre materiales de naturaleza ácida y los segundos a partir de rocas metamórficas que contienen cationes básicos (y por ello, generalmente son suelos menos ácidos que los Acrisols). En Brasil, al sur de las montañas de la Guayana, aparecen Gleysols en llanuras pantanosas de la cabecera del río Branco, afluente del Amazonas. Los Plintosols indican suelos que poseen una capa del subsuelo que contiene una mezcla de minerales arcillosos (predominantemente caolinita) con un alto contenido de hierro y sílice, materiales que se endurecen al secarse formando concreciones de hierro (plintita).

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

A T L Á N T I C O

AME

Guayana Francesa

PARAMARIBO · Nieuw Amsterdam · Groningen · Moengo · Paranam · Albina · St.Laurent · Kwakoegron · Affobakka · Iracoubo · Sinnamary · Kourou · Tonate · Cayenne · Rémire · St.Elie · Kaw · Guisanbourg · Ouanary · St.Georges · Oiapoque · Cleveländia do Norte · Vila Velha · Cunani · Amapá · Saul · Ouaqui · Camopi

PTab · ARab · FRha · FRhu · ACha · ACcr · GLum · GLeu · LPdy · GLdy · FRxa

55° · 52° 30´ · 12° 30´ · 50° · 10° · 7° 30´ · 5° · 2° 30´

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

Este mapa muestra la gran variedad de suelos del oeste de Brasil, el sur de Colombia, Ecuador y el norte de Perú, incluyendo el archipiélago volcánico de las islas Galápagos, situado a 1.000 kilómetros al oeste de la costa ecuatoriana.

La característica física principal de este mapa es la cordillera de los Andes. Muchas de sus cumbres soprepasan los 4.000 msnm, mientras que en Ecuador se sitúa el Cotopaxi (5.897 msnm), el volcán activo más alto del mundo. Al oeste de los Andes, una estrecha franja de tierra desciende hacia el océano Pacífico. Hacia el este, las llanuras suavemente onduladas en Colombia caracterizan el extremo sur de Los Llanos, una vasta extensión de pastos tropicales. Siguiendo hacia el sur, los ríos que discurren por las estribaciones orientales de los Andes en Perú drenan una región de colinas y llanuras ubicadas en la cuenca del Amazonas.

Debido a la cercanía de la línea del Ecuador, en la parte superior del mapa, la mayor parte de la zona tiene un clima tropical húmedo. En la costa se registran grandes variaciones de las condiciones climáticas debido a la zona de convergencia intertropical y a las corrientes frías oceánicas. Los procesos de convección dominan en las partes altas de los Andes. Las temperaturas medias durante el día varían entre 29 y 33°C, bajando al ascender en altitud (a 2.800 msnm, Quito tiene una temperatura media anual de 14°C, con mínimas de 9°C). En las cotas más altas son frecuentes las heladas s y los picos están cubiertos de nieve por encima de los 5.000 msnm. Las partes central y oriental del territorio representado en el mapa son más húmedas. En la cuenca del Amazonas, la precipitación anual es de 3.000 a 6.000 mm. No obstante, en algunas partes de Ecuador y la zona costera de Perú se dan condiciones de aridez (menos de 500 mm de precipitación anual).

La mayor parte del área está cubierta por bosques tropicales, dando paso a bosques caducifolios a lo largo de la zona costera del norte. Las tierras altas se caracterizan por un bosque siempreverde y vegetación alpina.

La amplia gama de zonas climáticas junto con los distintos tipos de cubierta vegetal y material parental da lugar a un patrón de distribución de suelos muy variado y complejo. A lo largo de los Andes, se han desarrollado grandes extensiones de Andosols en eyecciones volcánicas. La meteorización física de los minerales, rocas areniscas y pizarras, han dado como resultado Leptosols y Cambisols. Los Andes no son una sola línea de cumbres, sino más bien una sucesión de sierras paralelas en la que se intercalan mesetas y depresiones. En las tierras más altas, los suelos permanentemente congelados dan lugar a Criosols. Entre las cadenas montañosas, en los grandes valles, cuencas aluviales y coluviales, llamadas hoyas, se dan Phaeozems herbosos y fértiles. Se puede observar este mismo patrón en la franja costera tanto colombiana como ecuatoriana. Los suelos de la cuenca del Amazonas son también muy diversos. Aquellos más meteorizados están representados por Acrisol, Alisols y Ferralsols, generalmente pobres en nutrientes y con altos niveles de hierro y aluminio. Acrisols y Alisols, junto con Luvisols, poseen un subsuelo rico en arcilla y reflejan diferencias topográficas y de la composición química de la roca madre. Los terrenos afectados por el agua están repreentados por Fluvisols y Gleysols. Aparecen en las llanuras de inundación de grandes ríos como el Putumayo, el Negro, el Napo y el Marañón (este último da lugar a la gran extensión de Gleysoles en el norte de Perú), todos ellos afluentes del curso alto del río Amazonas en la vertiente del Atlántico. Gran parte de los suelos del oeste y centro de Perú son delgados, de mala calidad y poco desarrollados (p.ej. Regosols). Al sur de la ciudad costera de Piura, los Arenosols caracterizan el desierto de Sechura. Las islas volcánicas de las Galápagos se caracterizan por la presencia de Andosols, someros y pedregosos Leptosols y Luvisols allí donde el suelo está algo más desarrollado.

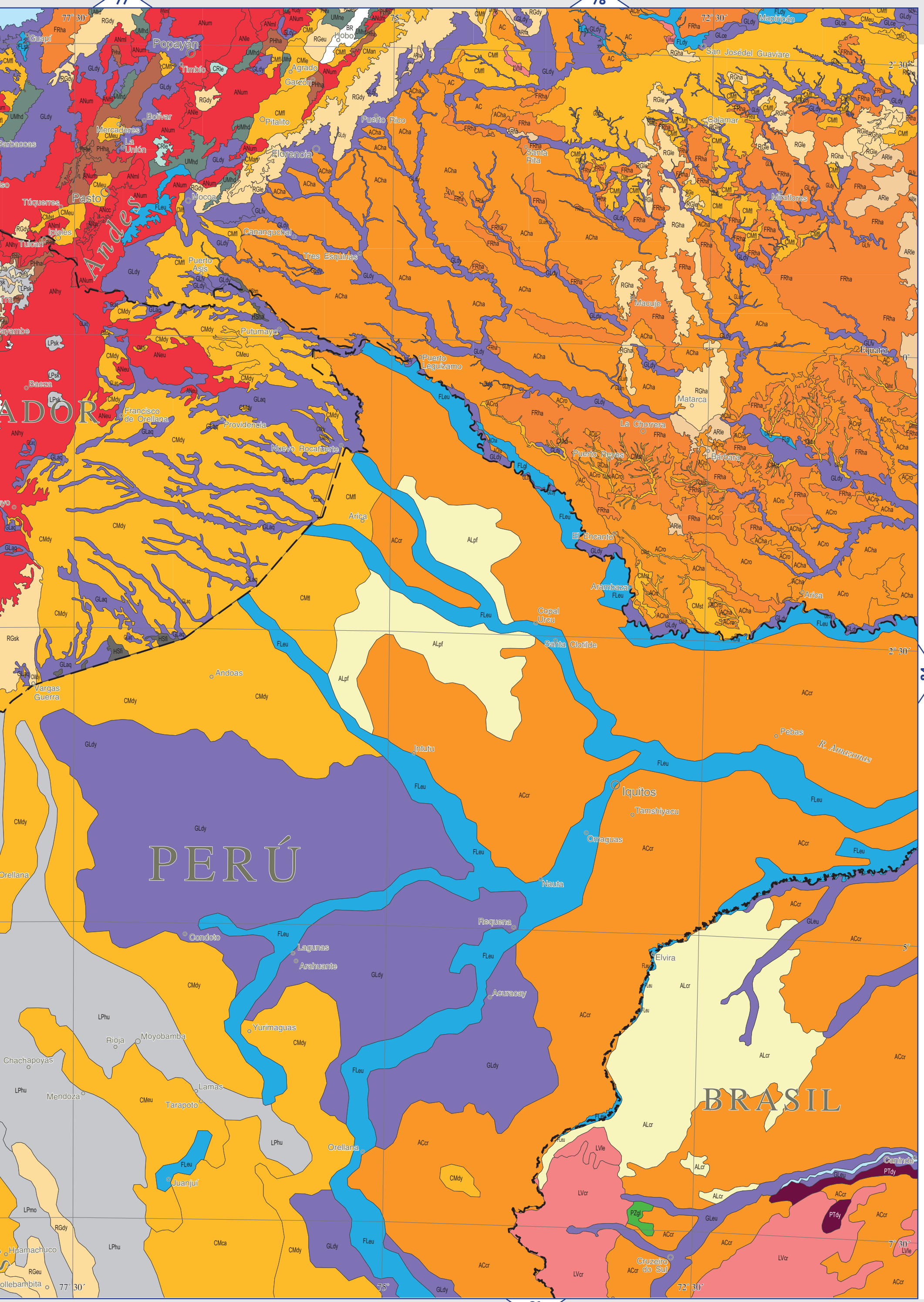
La frontera abrupta entre Ecuador y Perú refleja las diferencias en las escalas de interpretación y mapeo entre los distintos países. Se está trabajando para resolver estas diferencias.

77

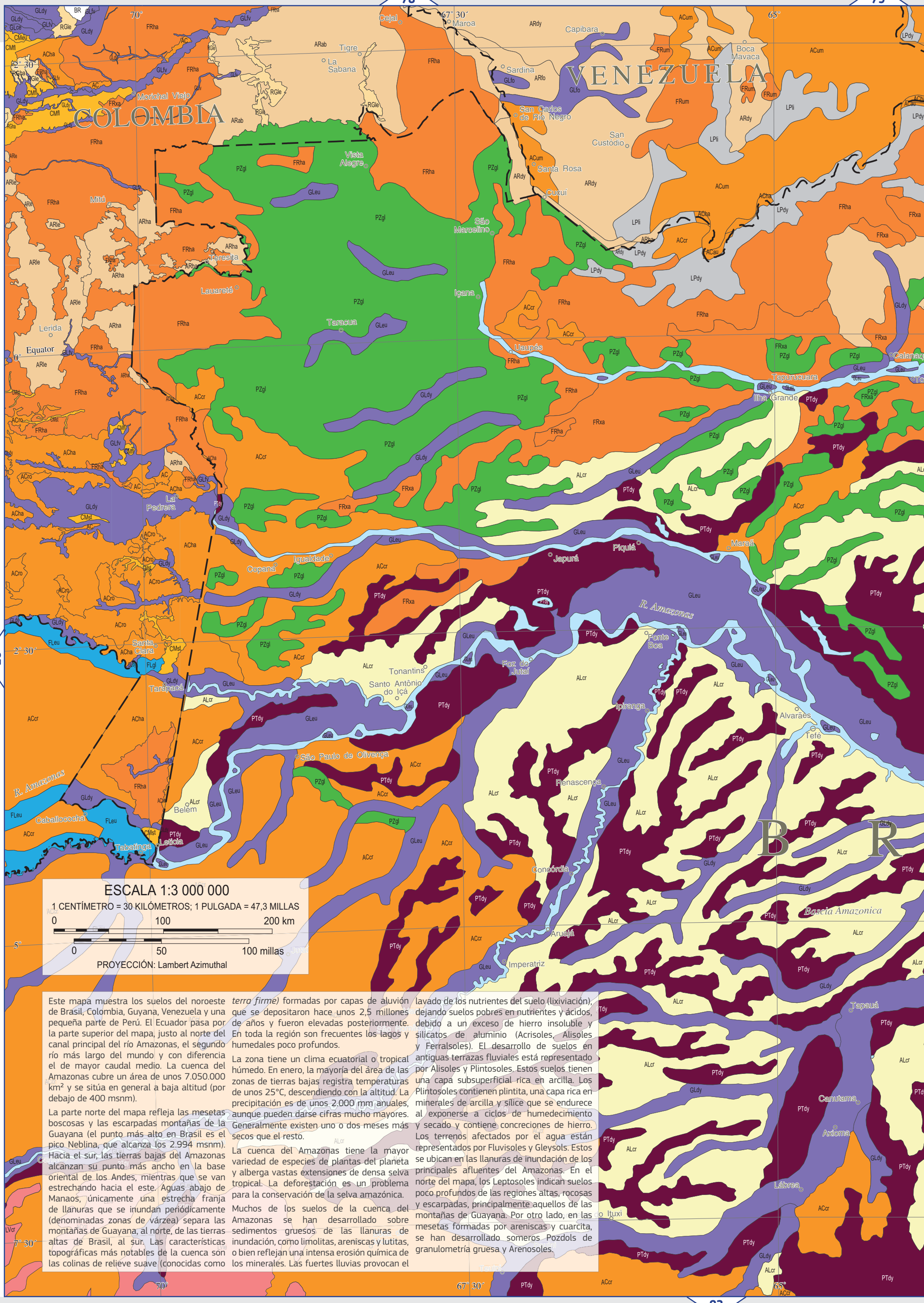
78

84

91


77° 30´
75°
72° 30´
2° 30´
0°
5°
7° 30´
Guapí
Popayán
Timbío
Hobo
Agrado
Garzón
Pitalito
Bolívar
Mercaderes
La Unión
Barbacoas
Florencia
Puerto Rico
Santa Rita
Mocoa
Pasto
Túquerres
Ipiales
Tulcán
Cananguchal
Tres Esquinas
Puerto Asís
Putumayo
Puerto Leguizamo
Mapiripán
San Josédel Guaviare
Calamar
Miraflores
Macuje
Matarca
La Chorrera
Puerto Reyes
Barbara
Equator
Baeza
Francisco de Orellana
Providencia
Nuevo Rocafuerte
Ariça
El Encanto
Arambaza
Arica
Copal Urcu
Santa Clotilde
Andoas
Vargas Guerra
Intutu
Pebas
R. Amazonas
Iquitos
Tamshiyacu
Omaguas
Nauta
Requena
Condoto
Lagunas
Arahuante
Acuracay
Elvira
Yurimaguas
Rioja
Moyobamba
Chachapoyas
Mendoza
Lamas
Tarapoto
Orellana
Juanjuí
Huamachuco
Cruzeiro do Sul
Caninde
Andes
ADOR
PERÚ
BRASIL

78
79
83
92



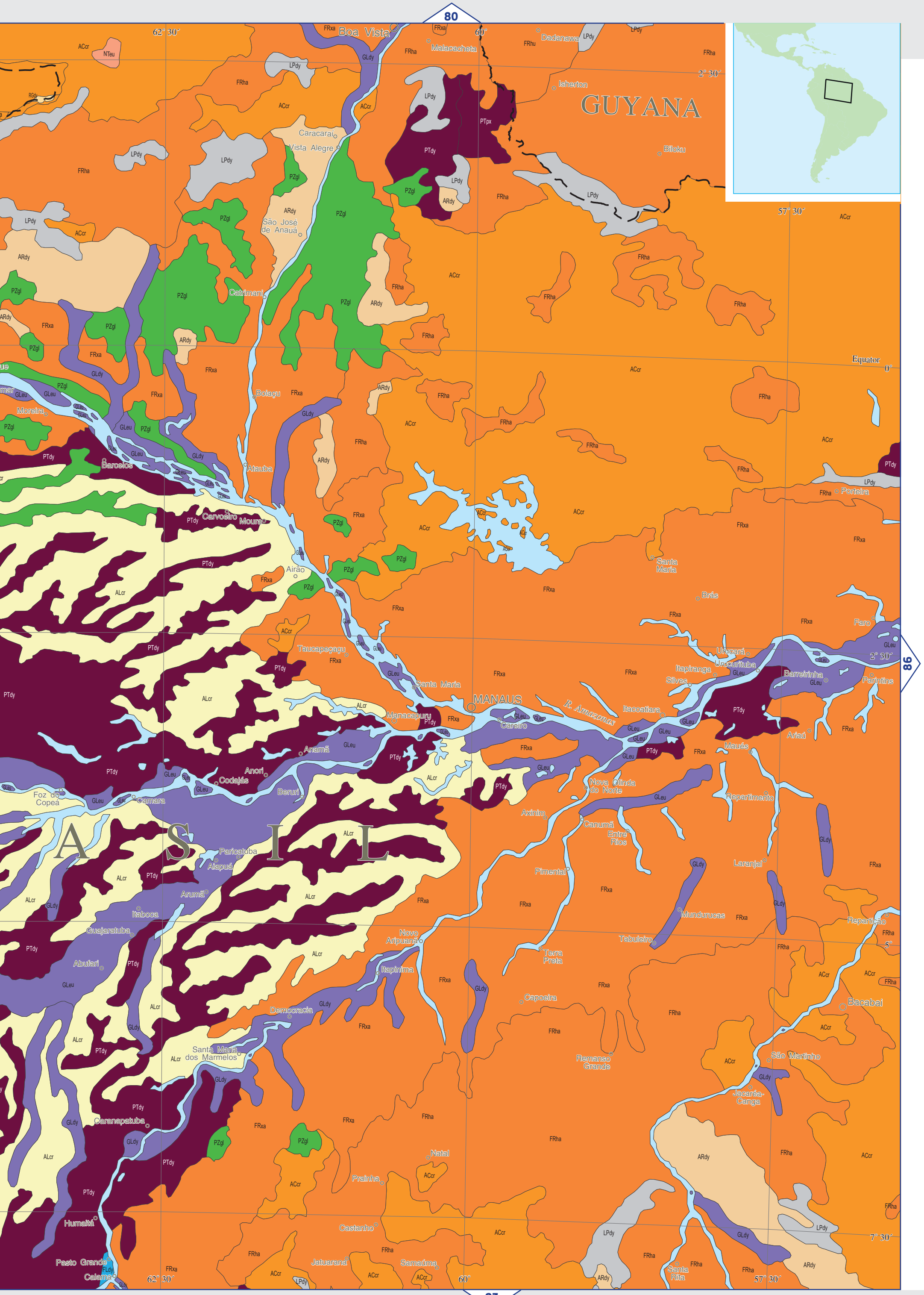
Este mapa muestra los suelos del noroeste de Brasil, Colombia, Guyana, Venezuela y una pequeña parte de Perú. El Ecuador pasa por la parte superior del mapa, justo al norte del canal principal del río Amazonas, el segundo río más largo del mundo y con diferencia el de mayor caudal medio. La cuenca del Amazonas cubre un área de unos 7.050.000 km² y se sitúa en general a baja altitud (por debajo de 400 msnm).

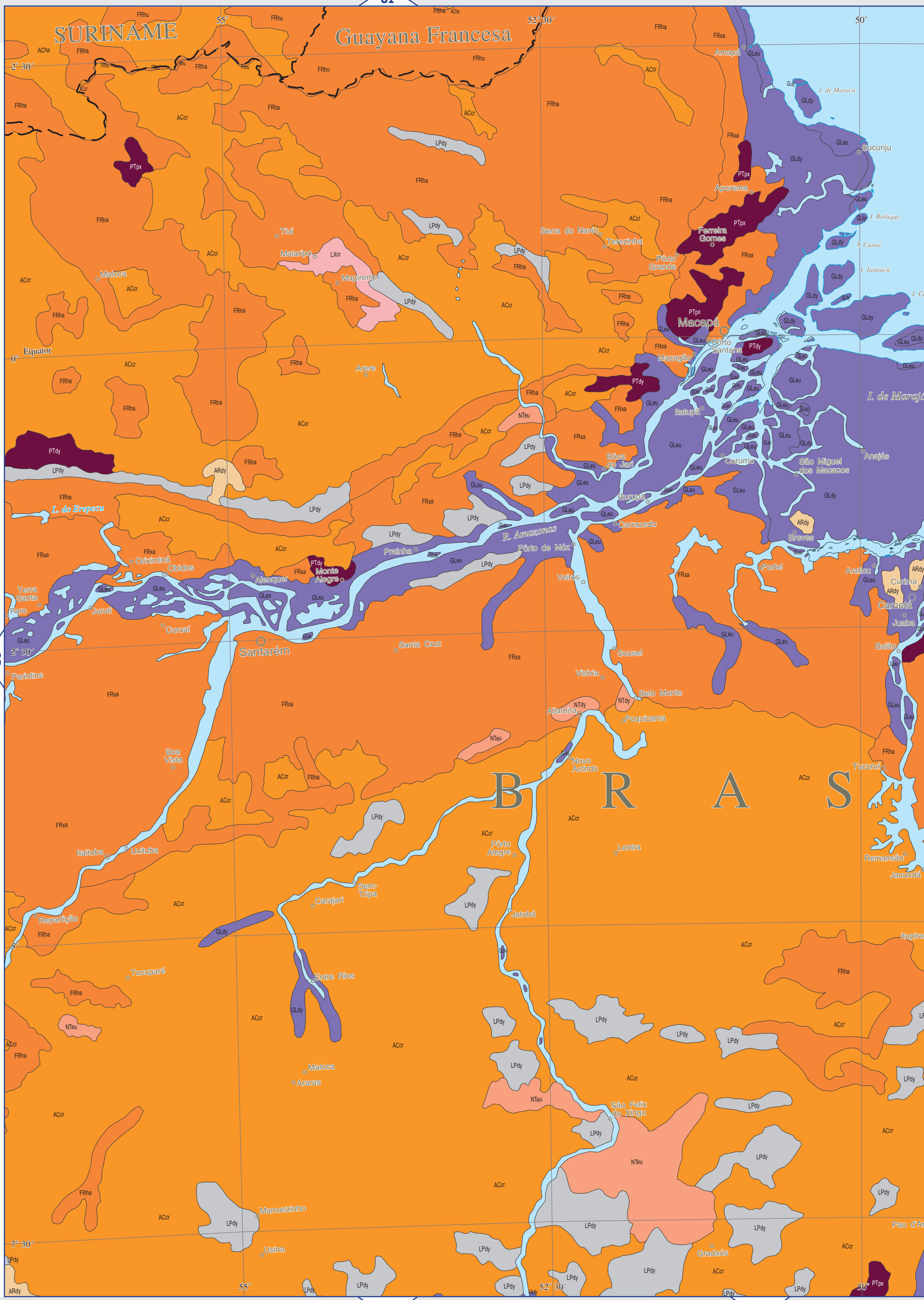
La parte norte del mapa refleja las mesetas boscosas y las escarpadas montañas de la Guayana (el punto más alto en Brasil es el pico Neblina, que alcanza los 2.994 msnm). Hacia el sur, las tierras bajas del Amazonas alcanzan su punto más ancho en la base oriental de los Andes, mientras que se van estrechando hacia el este. Aguas abajo de Manaos, únicamente una estrecha franja de llanuras que se inundan periódicamente (denominadas zonas de várzea) separa las montañas de Guayana, al norte, de las tierras altas de Brasil, al sur. Las características topográficas más notables de la cuenca son las colinas de relieve suave (conocidas como *terra firme*) formadas por capas de aluvión que se depositaron hace unos 2,5 millones de años y fueron elevadas posteriormente. En toda la región son frecuentes los lagos y humedales poco profundos.

La zona tiene un clima ecuatorial o tropical húmedo. En enero, la mayoría del área de las zonas de tierras bajas registra temperaturas de unos 25°C, descendiendo con la altitud. La precipitación es de unos 2.000 mm anuales, aunque pueden darse cifras mucho mayores. Generalmente existen uno o dos meses más secos que el resto.

La cuenca del Amazonas tiene la mayor variedad de especies de plantas del planeta y alberga vastas extensiones de densa selva tropical. La deforestación es un problema para la conservación de la selva amazónica.

Muchos de los suelos de la cuenca del Amazonas se han desarrollado sobre sedimentos gruesos de las llanuras de inundación, como limolitas, areniscas y lutitas, o bien reflejan una intensa erosión química de los minerales. Las fuertes lluvias provocan el lavado de los nutrientes del suelo (lixiviación), dejando suelos pobres en nutrientes y ácidos, debido a un exceso de hierro insoluble y silicatos de aluminio (Acrisoles, Alisoles y Ferralsoles). El desarrollo de suelos en antiguas terrazas fluviales está representado por Alisoles y Plintosoles. Estos suelos tienen una capa subsuperficial rica en arcilla. Los Plintosoles contienen plintita, una capa rica en minerales de arcilla y sílice que se endurece al exponerse a ciclos de humedecimiento y secado y contiene concreciones de hierro. Los terrenos afectados por el agua están representados por Fluvisoles y Gleysols. Estos se ubican en las llanuras de inundación de los principales afluentes del Amazonas. En el norte del mapa, los Leptosoles indican suelos poco profundos de las regiones altas, rocosas y escarpadas, principalmente aquellos de las montañas de Guayana. Por otro lado, en las mesetas formadas por areniscas y cuarcita, se han desarrollado someros Pozdols de granulometría gruesa y Arenosoles.


80
86
93
62° 30´
60°
57° 30´
2° 30´
5°
7° 30´
0°
Equator
GUYANA
BRASIL
Boa Vista
Malacacheta
Dadanawa
Isherton
Biloku
Caracaraí
Vista Alegre
São José de Anauá
Catrimani
Boiaçu
Atauba
Moreira
Barcelos
Carvoeiro
Moura
Airão
Taucapeçaçu
Santa Maria
MANAUS
Manacapuru
Careiro
R. Amazonas
Itacoatiara
Itapiranga
Silves
Urucará
Urucurituba
Barreirinha
Parintins
Faro
Brás
Santa Maria
Ariaú
Maués
Anamã
Anori
Codajás
Beruri
Foz do Copeá
Camara
Nova Olinda do Norte
Repartimento
Axinim
Canumã
Entre Rios
Laranjal
Pimental
Paricatuba
Alapuá
Arumã
Itaboca
Guajaratuba
Abufari
Novo Aripuanã
Itapinima
Terra Preta
Tabuleiro
Mundurucas
Repartição
Porteira
Bacabai
Capoeira
Democracia
Santa Maria dos Marmelos
Remanso Grande
São Martinho
Jacaréa-Canga
Caranapatuba
Humaitá
Pasto Grande
Calama
Natal
Prainha
Castanho
Jatuarana
Samaúma
Santa Rita
Porteira
PTdy
PTpx
LPdy
PZgl
ARdy
FRha
FRxa
ACcr
ALcr
GLdy
GLeu
NTeu
RGdy


81
85
93
94
SURINAME
Guayana Francesa
BRASIL
55°
52° 30´
50°
2° 30´
0°
5°
7° 30´
Equator
Amapá
Sucuriju
Aporema
Ferreira Gomes
Porto Grande
Macapá
Porto Santana
Mazagão
Itatupa
Serra do Navio
Terezinha
Tiui
Malaripo
Mapireme
Maloca
Arere
I. de Maracá
I. Bailique
I. Curuá
I. Janaucú
I. de Marajó
Oriximiná
Obidos
Alenquer
Monte Alegre
Terra Santa
Faro
Juruti
Curuaí
Santarém
Santa Cruz
Parintins
Prainha
Pôrto de Móz
Veiros
Sousel
Vitória
Belo Monte
Altamira
Poquicama
Novo Acôrdo
Boa Vista
Itaituba
Uxituba
Repartição
Tucuparé
Entre Rios
Carajari
Sem-Tripa
Jatobá
Maloca
Araras
Manuelzinho
Usina
Pôrto Alegre
Lontra
São Felix do Xingu
Gradaús
Itupiranga
Tucuruí
Jacundá
Marabá
Pau d'Arco
Bôca do Jari
Gurupá
Carrazedo
Curumu
São Miguel dos Macacos
Anajás
Breves
Portel
Arariou
Curina
Cametá
Juaba
Baião
R. Amazonas
L. do Erepecu
FRha
FRhu
FRxa
ACha
ACcr
LPdy
PTpx
PTdy
GLeu
GLdy
NTeu
ARdy
LXcr

Este mapa muestra las tierras del noreste de Brasil y la desembocadura del río Amazonas en el océano Atlántico. El Amazonas tiene un caudal medio de 209.000 m³/s (sin incluir sus afluentes principales), más que el Misisipi, el Nilo y el Yangtzé juntos. Hacia la desembocadura, e se divide en varios canales, dando lugar a islas cada vez más grandes. Marajó, del tamaño de Suiza, es la isla más grande del mundo rodeada de agua dulce. Curiosamente, el Amazonas no tiene delta. El valle inferior del Amazonas es relativamente estrecho; la tierra en ambos lados se alza en escarpadas laderas hasta el nivel de una antigua meseta.

La parte norte del mapa marca el límite con las montañas de la Guayana, mientras que al sur el terreno se eleva en terrazas cubiertas de bosque, algo escarpadas debido a la erosión de la ladera norte de la meseta central brasileña. El Ecuador atraviesa el estuario del Amazonas. La otra desembocadura que destaca en este mapa es la del río Guamá.

El clima de la zona es ecuatorial o tropical húmedo. La temperatura media anual es de unos 26°C, sin apenas variación estacional. La humedad es alta; también la precipitación media anual presenta valores elevados (más de 1.500 mm durante todo el año, aunque puede ser mayor en algunos lugares). Es común la ocurrencia de meses más secos.

La mayor parte de la región está cubierta por un denso bosque tropical de especies de hoja ancha con zonas de sabana que se intercalan con más frecuencia hacia el este. Los manglares aparecen en la mayor parte de la línea costera. La deforestación, el cambio de uso de la tierra y la poca fertilidad del suelo son cuestiones importantes que amenazan el medio natural y el modo de vida de los habitantes de la región.

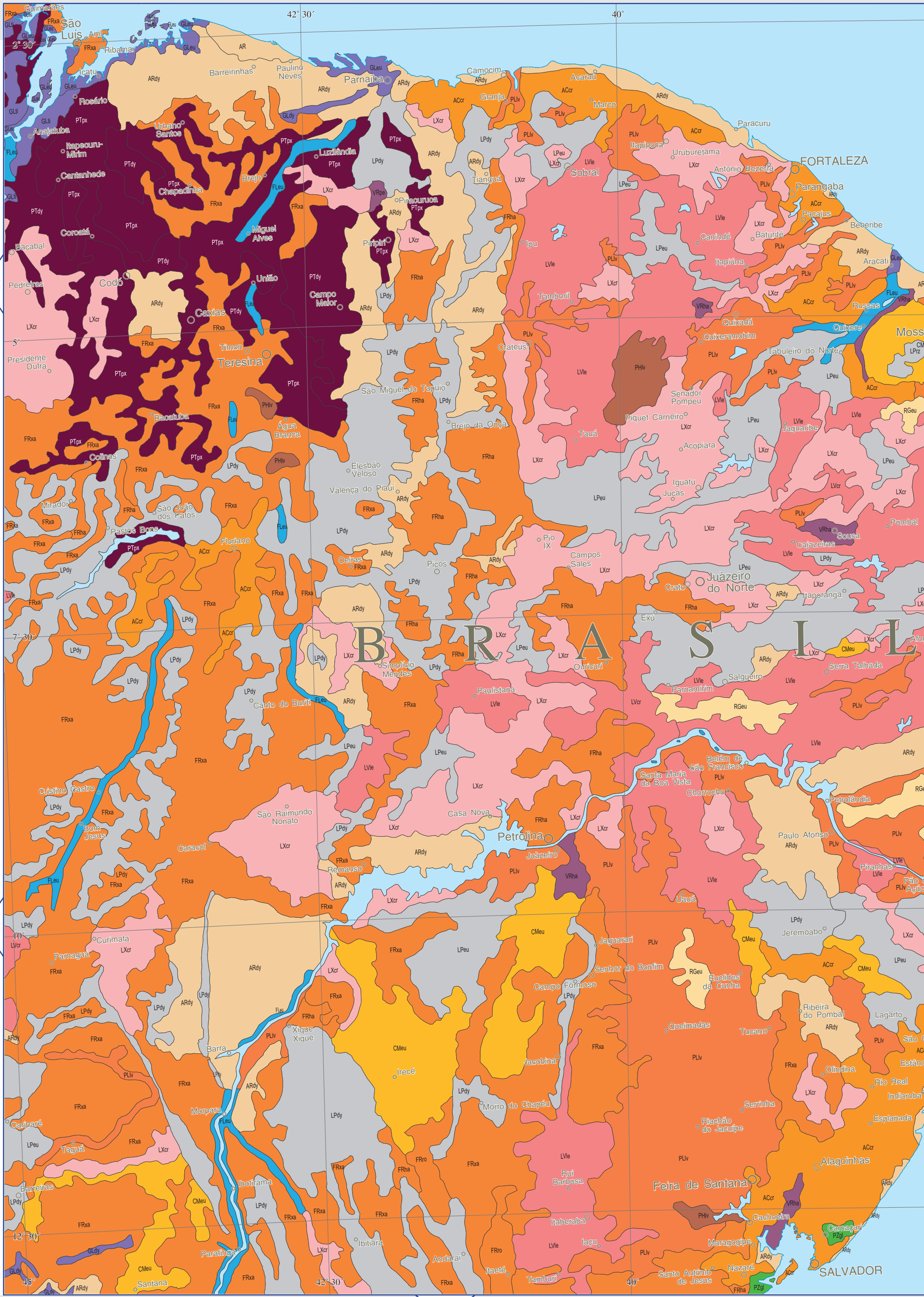
Los ácidos Acrisols y Ferralsols son claramente dominantes en el mapa. La distribución de estos suelos, altamente lixiviados, pobres en nutrientes y con altos niveles de hierro insoluble y silicatos de aluminio, reflejan variaciones en la topografía. Las pequeñas áreas de distribución de Lixisols y Nitisols delatan cambios en la composición química del material parental. En los valles fluviales aparecen Fluvisols estratificados y Gleysols frecuentemente saturados de agua, los cuales se han desarrollado en sedimentos aluviales gruesos, a menudo reflejando canales abandonados, cochas, diques y pantanos. La principal cuenca hidrográfica al sur de la desembocadura del Amazonas es al del sistema de los ríos Tocantins-Araguaia. Se trata de la mayor cuenca hidrográfica enteramente situada en terriotrio brasileño, con una longitud de unos 2.500 km. Los suelos de las tierras bajasa a orillas del océano Atlántico están compuestos por Gleysols, cubiertos de manglares y ubicados en la franja costera y en los estuarios y Arenosols con dunas situados en depósitos fluviales antiguos. En los terrenos llanos se han desarrollado Plintosols, generalmente sobre antiguas terrazas o sistemas de playas, caracterizados por una capa subsuperficial rica en arcilla y sílice conocidos como plintita, que se endurece al exponerse a ciclos de humedecimiento y secado y contiene concreciones de hierro. Por último, al sur del territorio aparecen Leptosols y Arenosols que denotan suelos poco profundos y arenosos en las montañas de arenisca que marcan el punto más al norte de las tierras altas de Brasil.

47° 30´ 45° 2° 30´ 42° 30´ Equator 0° 2° 30´ 5° 7° 30´ 47° 30´ 45° 42° 30´

OCÉANO ATLÁNTICO

ESCALA 1:3 000 000
1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS
0 100 200 km
0 50 100 millas
PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

88 95


42° 30´
40°
2° 30´
5°
7° 30´
10°
12° 30´
45°
42° 30´
40°
87
95
95
São Luís
Anil
Ribamar
Icatu
Barreirinhas
Paulino Neves
Parnaíba
Camocim
Acaraú
Granja
Marco
Paracuru
Rosário
Anajatuba
Urbano Santos
Itapecuru-Mirim
Cantanhede
Brejo
Luzilândia
Tianguá
Sobral
Itapipoca
Uruburetama
FORTALEZA
Antônio Bezerra
Parangaba
Pacajus
Beberibe
Aracati
Chapadinha
Piracuruca
Ipu
Canindé
Baturité
Itapiúna
Coroatá
Miguel Alves
Piripiri
Bacabal
Pedreiras
Codó
União
Campo Maior
Caxias
Tamboril
Quixadá
Quixeramobim
Russas
Quixeré
Presidente Dutra
Timon
Teresina
Crateús
Tabuleiro do Norte
São Miguel do Tapuio
Senador Pompeu
Piquet Carneiro
Brejo da Onça
Tauá
Acopiara
Jaguaribe
Bacabeira
Água Branca
Colinas
Elesbão Veloso
Valença do Piauí
Iguatu
Jucás
Pombal
Sousa
Cajazeiras
Mirador
São João dos Patos
Pastos Bons
Floriano
Oeiras
Picos
Pio IX
Campos Sales
Juàzeiro do Norte
Crato
Itaporanga
Exú
Simplício Mendes
Canto do Buriti
Ouricuri
Paulistana
Salgueiro
Parnamirim
Serra Talhada
Cristino Castro
Bom Jesus
São Raimundo Nonato
Caracol
Casa Nova
Petrolina
Juàzeiro
Belém de São Francisco
Santa Maria da Boa Vista
Chorrocho
Petrolândia
Paulo Afonso
Piranhas
Pão de Açúcar
Uauá
Curimata
Parnaguá
Barra
Xique Xique
Morpara
Irecé
Jacobina
Jeremoabo
Jaguarari
Senhor do Bonfim
Campo Formoso
Euclides da Cunha
Queimadas
Tucano
Ribeira do Pombal
Lagarto
Olindina
Rio Real
Indiaroba
Esplanada
Serrinha
Morro do Chapéu
Riachão do Jacuípe
Cariparé
Taguá
Barreiras
Ibotirama
Paratinga
Santana
Rui Barbosa
Feira de Santana
Alagoinhas
Cachoeira
Itaberaba
Iaçu
Maragogipe
Santo Antonio de Jesus
Nazaré
Tamburil
Itaeté
Andaraí
Ibitiara
SALVADOR
Camaçari
Russas
Mossoró
BRASIL

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

Este mapa muestra los suelos del este de Brasil.

El paisaje está dominado por la meseta y las montañas de las sierras de la Borborema y Grande, situadas al noreste y que representan las tierras altas de Brasil. A una longitud de 34°47'35" O, se sitúa Ponta do Seixas (al sureste de João Pessoa), el lugar más oriental de todo el continente americano (curiosamente situada a menos de 3° de latitud de Punta Pariñas en Perú, el punto más occidental del continente de América del Sur).

Situada justo al sur del ecuador, la mayor parte del territorio que se muestra en el mapa tiene un clima tropical. La temperatura media anual sobrepasa los 18°C, con poca variación estacional. El grado de humedad, en general, es menor que en la cuenca del Amazonas y la tasa de precipitación anual, en promedio, varía entre 1.000 y 1.800 mm, distribuidos de manera irregular (concentradas en tres o cuatro meses). El interior de la costa noreste de Natal y São Luís recibe sólo entre 400 y 750 mm anuales; además pueden darse de 9 a 10 meses secos.

Exceptuando las mesetas, regiones montañosas y depresiones del terreno, casi la totalidad del territorio está cubierta por por un tipo particular de estepa arbolada (sabana), conocida localmente como Caatinga.

El complejo patrón de distribución de suelos que se observa en el mapa se deriva de la topografía y la litología principalmente. La meteorización física de las rocas (de tipo metamórficas predominantemente ácidas, p. ej gneis y granitos) en las zonas elevadas de las sierras brasileñas ha dado como resultado someros y pedregosos Leptosols, Regosols con escaso desarrollo y Arenosols de textura gruesa. Allí donde los procesos de formación del suelo han sido más intensos, han evolucionado pétreos Luvisols. Los Ferralsoles, de naturaleza ácida, y profundamente meteorizados, aparecen en el paisaje de laderas con pendientes suaves adyacente, a menudo extenuantes condiciones de sequía. Los Acrisols, suelos ácidos y con alto contenido en hierro y óxidos de aluminio, tienden a ocupar las terrazas de los valles fluviales. Por otro lado, los Lixisols se encuentran en los lugares donde se ha producido una meteorización tropical intensa de material parental menos ácido. Los sedimentos aluviales a lo largo de los valles fluviales se encuentran ocupados por Fluvisols estratificados, Gleysols saturados de agua y Vertisols ricos en arcilla. A lo largo de la franja costera se han desarrollado Arenosols de granulometría gruesa y Podzols. En la planicie costera al sur de São Luís existen vastas extensiones de Plintosols en los que se forma la plintita como consecuencia del contenido en hierro del agua subterránea. Por otro lado, los Acrisoles son suelos ácidos con un alto contenido en arcilla en el subsuelo y que se desarrollan sobre zonas llanas. Por último, los Planosols son la expresión de suelos que presentan un marcado cambio en la textura, como consecuencia de las variaciones en la sedimentación que se produce en los valles o en las terrazas.

82

80° 77° 30´ 12° 30´ 15° 17° 30´ 10°

OCÉANO PACÍFICO

Puerto Chicama, Chocope, Otuzco, Huamachuco, Trujillo, Salaverry, Virú, Mollebambita, Tayabamba, Corongo, Huacrachuco, Chimbote, Nepeña, Caraz, Tingo María, Casma, Huaraz, Recuay, Huanuco, Panao, Huarmey, Cajacay, Ambo, Huancabamba, Huariaca, Oyón, Cerro de Pasco, Andes, Pativilca, Junín, Huacho, Sayán, Tarma, Huaral, Chancay, La Oroya, Callao, Chosica, Vitarte, LIMA, Huancayo, Lurín, Mala, Cerro Azul, Chincha Alta, Pisco, Humay, Ica, Pta. Carreta, Caballas, San Nicolás, San Juán

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

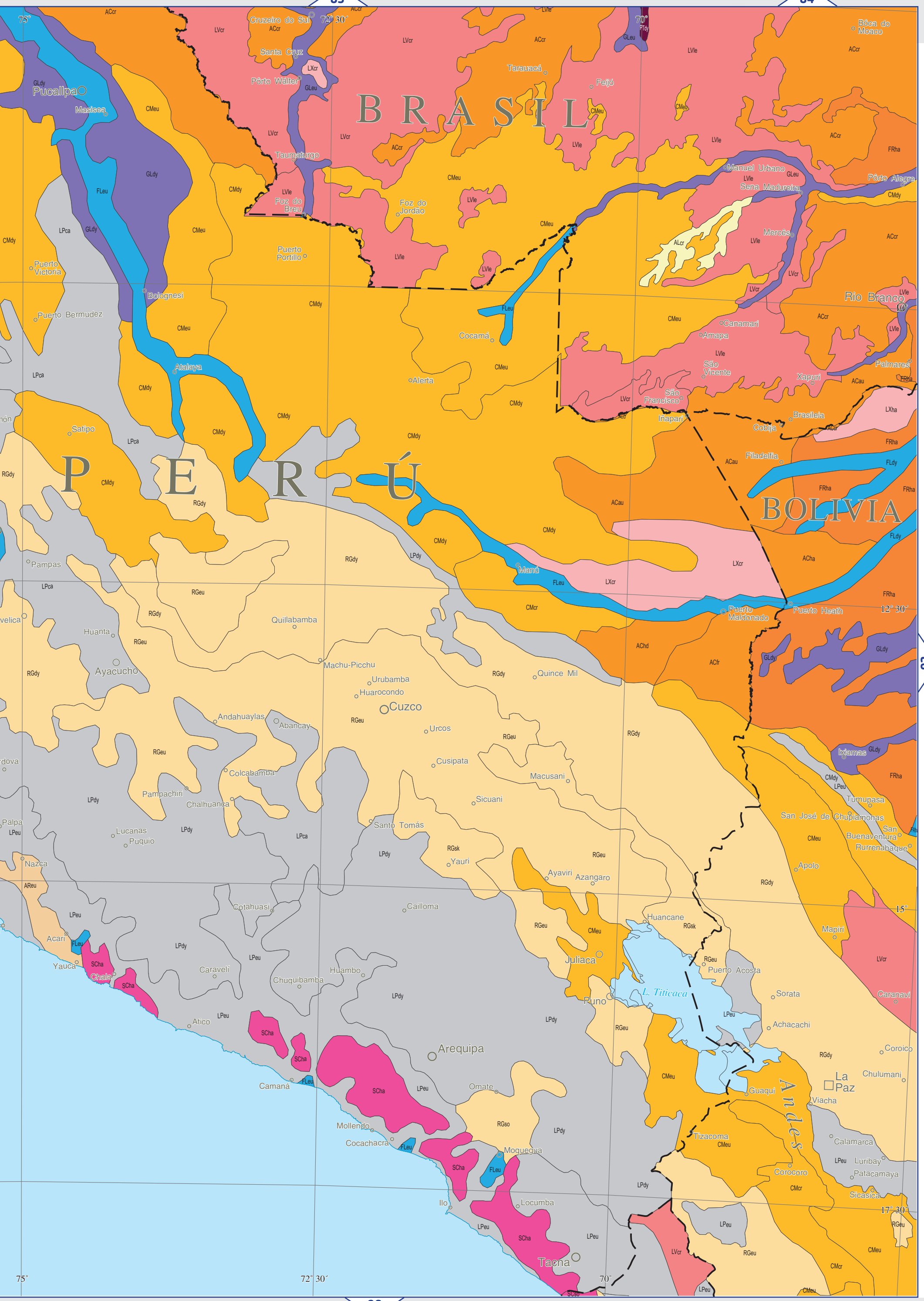
Este mapa muestra los suelos del centro y sur de Perú, el noroeste de Bolivia y la parte occidental de Brasil.

Los principales elementos físicos que aparecen en el mapa son la cadena montañosa de los Andes, la extensión occidental de la cuenca del Amazonas y los áridos desiertos de la costa de Perú. Los Andes, paralelos a la costa del Pacífico, separan una estrecha franja costera árida de la parte más húmeda del continente hacia el este. Existen otras cadenas montañosas separadas por mesetas y depresiones: la cordillera Oriental y la cordillera Occidental. La primera se extiende hacia el este para formar sierras aisladas o regiones de altiplanicie, como el Altiplano. Muchas de las montañas del centro de Perú están cubiertas de nieve, alcanzando una altitud máxima de 6.768 msnm. La parte suroeste del mapa está caracterizada por una alta meseta de entre 4.000 y 5.000 msnm, rodeada de picos muy altos. Las faldas de los Andes occidentales se funden con las tierras bajas boscosas de la cuenca del Amazonas. Situado a 3.810 m, en la frontera peruana-boliviana, el Titicaca es el lago más grande de América del Sur, con una superficie de 8.300 km². Las condiciones áridas se dan en gran parte de la llanura costera (p. ej. en el desierto de Nazca).

Al norte del trópico de Capricornio, la parte oriental del territorio tiene un clima cálido ecuatorial subhúmedo o húmedo, dependiendo de la región, con pequeñas variaciones estacionales de la temperatura. Ésta disminuye con la altitud y los procesos de convección que se producen en las partes altas de los Andes. El promedio de las temperaturas diarias varía entre 21 y 30°C en la Amazonía, decreciendo según se asciende en altitud. La capital boliviana de La Paz, situada a 3.640 msnm, tiene una temperatura media anual de unos 9°C. Las temperaturas en la costa del Pacífico no son elevadas, debido al efecto de las corrientes marinas, a pesar de tratarse de un desierto (las temperaturas en Lima rara vez caen por debajo de 12 ó ascienden por encima de 29°C). En las cumbres más altas, las heladas son comunes y muchos picos están permanentemente cubiertos de nieve (por encima de los 5.000 msnm). Las partes central y oriental del mapa son muy húmedas; la parte amazónica de los Andes recibe más de 7.000 mm de agua en forma de precipitaciones anuales. Sin embargo, los Andes occidentales y la zona costera de Perú son áridas, con menos de 150 mm de precipitación anual (Lima registra tan sólo alrededor de 15 mm).

Los patrones de vegetación reflejan fielmente las diferencias climáticas comentadas anteriormente. En las zonas más altas la vegetación es de tipo alpino (porte arbustivo, adaptadas al frío y a los fuertes vientos). Hacia el oeste, la costa seca y las zonas altas presentan vegetación muy escasa o inexistente, o bien arbustos resistentes a la sequía y plantas herbáceas. Hacia el este, la selva tropical es el ecosistema dominante. En las cuencas de las tierras altas y de los valles, el clima más suave favorece la agricultura de tipo intensivo, aunque necesita riegos frecuentes.

El variado patrón de suelos es resultado de la amplia gama de zonas climáticas, los tipos de vegetación y la litología. La mitad oriental del mapa refleja la combinación de topografía montañosa y el clima árido. La meteorización física de las rocas da lugar a Leptosols, Cambisols y Regosols, débilmente desarrollados, poco definidos y pedregosos. Extensos salares (Solonchaks) ubicados al sur de Perú representan el extremo norte del desierto de Atacama. Entre las cadenas de montañas, los grandes valles aluviales y las cuencas coluviales, llamadas hoyas, dan lugar a Kastanozems herbosos y ricos en materia orgánica. Hacia el este, las condiciones calurosas y húmedas de los bosques tropicales favorecen una intensa meteorización, dando lugar a ácidos Ferralsols, Acrisols y Cambisols (el último tipo, predomina en las estribaciones de los Andes), todos ellos con altos niveles de óxido de aluminio. Los Acrisols y los Luvisols denotan subsuelos ricos en arcilla. Por otro lado, los Fluvisols y los Gleysols representan suelos afectados por el agua en las llanuras de inundación de los grandes ríos, como el Ucayali (que fluye hacia el norte en el mapa) y los numerosos afluentes de los ríos Purús y Madeira que corren hacia este en la cuenca del Amazonas.


BRASIL
PERÚ
BOLIVIA
Andes
Cruzeiro do Sul
Santa Cruz
Pôrto Wálter
Taumaturgo
Foz do Breu
Foz do Jordão
Puerto Portillo
Puerto Victoria
Bolognesi
Puerto Bermudez
Atalaya
Satipo
Pucallpa
Masisea
Tarauacá
Feijó
Manuel Urbano
Sena Madureira
Bôca do Moaco
Pôrto Alegre
Mercês
Rio Branco
Canamari
Amapa
São Vicente
Xapuri
Palmares
São Francisco
Inapari
Brasileia
Cobija
Filadelfia
Cocamá
Alerta
Manú
Puerto Maldonado
Puerto Heath
Iñapari
Ixiamas
Tumupasa
San José de Chupiamonas
Buenaventura
Rurrenabaque
Apolo
Mapiri
Caranavi
Sorata
Achacachi
Coroico
Chulumani
La Paz
Viacha
Guaqui
Tizacoma
Calamarca
Luribay
Patacamaya
Corocoro
Sicasica
Pampas
Huanta
Ayacucho
Quillabamba
Machu-Picchu
Urubamba
Huarocondo
Cuzco
Andahuaylas
Abancay
Urcos
Cusipata
Macusani
Colcabamba
Pampachiri
Chalhuanca
Sicuani
Santo Tomás
Lucanas
Puquio
Nazca
Yauca
Acari
Chala
Caraveli
Chuquibamba
Huambo
Atico
Camaná
Arequipa
Mollendo
Cocachacra
Ilo
Tacna
Omate
Moquegua
Locumba
Yauri
Ayaviri
Azangaro
Cailloma
Cotahuasi
Juliaca
Puno
L. Titicaca
Puerto Acosta
Huancane
Quince Mil
Ixiamas
Apolo
Iñapari
Filadelfia
Cobija
Brasileia
Inapari
Puerto Maldonado
Puerto Heath
Manú
Tumupasa
Ixiamas
Caranavi
Mapiri
Sorata
Achacachi
Coroico
Chulumani
Viacha
Guaqui
Tizacoma
Calamarca
Luribay
Patacamaya
Corocoro
Sicasica
Rurrenabaque
Buenaventura
San José de Chupiamonas
Palmares
Xapuri
Rio Branco
Bôca do Moaco
Pôrto Alegre
Manuel Urbano
Sena Madureira
Pucallpa
Masisea
Tarauacá
Feijó
Cruzeiro do Sul
Santa Cruz
Pôrto Wálter
Taumaturgo
Foz do Breu
Foz do Jordão
Puerto Portillo
Puerto Victoria
Bolognesi
Puerto Bermudez
Atalaya
Satipo
Pampas
Huanta
Ayacucho
Quillabamba
Machu-Picchu
Urubamba
Huarocondo
Cuzco
Andahuaylas
Abancay
Urcos
Cusipata
Macusani
Colcabamba
Pampachiri
Chalhuanca
Sicuani
Santo Tomás
Lucanas
Puquio
Nazca
Yauca
Acari
Chala
Caraveli
Chuquibamba
Huambo
Atico
Camaná
Arequipa
Mollendo
Cocachacra
Ilo
Tacna
Omate
Moquegua
Locumba
Yauri
Ayaviri
Azangaro
Cailloma
Cotahuasi
Juliaca
Puno
L. Titicaca
Puerto Acosta
Huancane
Quince Mil
Cocamá
Alerta
Canamari
Amapa
São Vicente
São Francisco
Iñapari
Brasileia
Cobija
Filadelfia
Rio Branco
Xapuri
Palmares
Mercês
ACcr
LVcr
LXcr
GLeu
LVle
PTdy
CMeu
FRha
GLdy
FLeu
LPca
CMdy
ALcr
ACau
ACha
AChd
ACfr
FLdy
LXha
ACau
RGdy
LPdy
RGeu
RGsk
RGso
LPeu
SCha
AReu
75°
72° 30´
70°
10°
12° 30´
15°
17° 30´

84

91

96

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

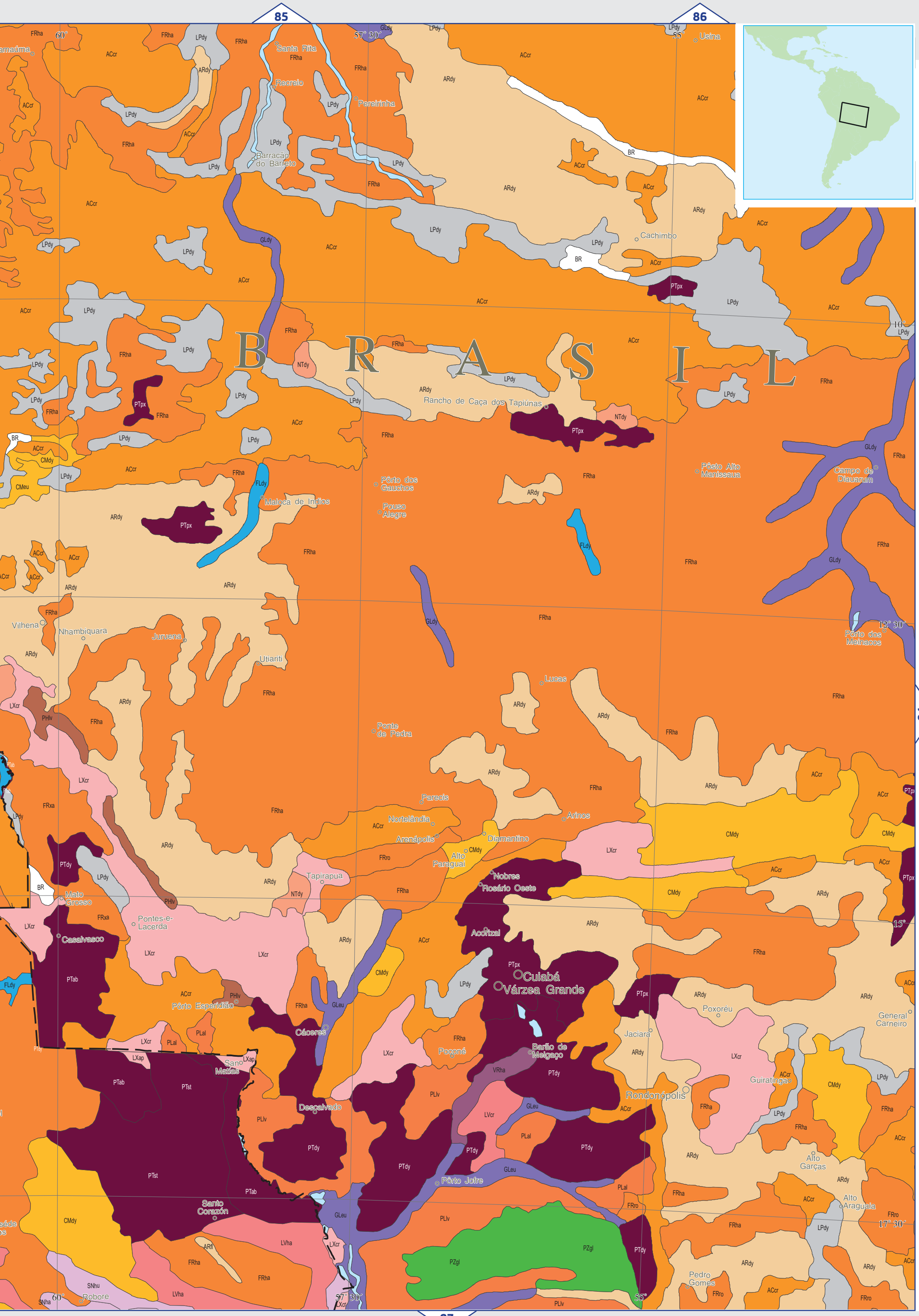
PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

Este mapa muestra los suelos del norte de Bolivia y el oeste-centro de Brasil, englobando la parte suroeste de la cuenca del Amazonas y la meseta brasileña conocida Mato Grosso, que es ligeramente más seca. La mayoría de la parte norte y oeste del mapa está caracterizada por la cuenca amazónica baja. Esta zona se encuentra por denajo de los 400 msnm y se compone de planicies aluviales, pantanos, valles, sabanas abiertas y bosques tropicales. La capital del estado brasileño de Rondônia, Porto Velho, se encuentra a sólo 85 msnm y se ubica a orillas del río Madeira, a una distancia de 2.000 km de la desembocadura del Amazonas en la costa atlántica. Hacia el este, el altiplano del Mato Grosso, formado por piedra arenisca, con barrancos y acantilados, da lugar a un característico paisaje conocido como chapada. La ciudad de Cuiabá se considera el centro geográfico de América del Sur.

En el norte y oeste del mapa, el clima es siempre cálido y húmedo. Las temperaturas medias anuales son de unos 25°C con entre 1.500 y 2.500 mm de precipitación anuales (junio y julio suelen ser los meses más secos). Las zonas montañosas son algo más frías, dependiendo de la altitud, mientras que las tierras altas de Brasil son generalmente secas de mayo a octubre, siendo los valores de las precipitaciones anuales mucho menores que los de la cuenca del Amazonas.

Las llanuras pantanosas y boscosas de la cuenca del Amazonas dan paso a los bosques semicaducifolios y a la sabana arbustiva en las tierras altas y regiones en las que la precitación es menor.

La distribución de los diferentes tipos de suelo en el mapa refleja la interacción de la topografía, el clima y la litología. Los tipos de suelo dominantes en la zona son Ferralsols y Acrisols profundamente meteorizados, ambos ricos en óxidos de hierro y aluminio y carentes de horizontes diferenciados. Los Leptosols pedregosos, de textura gruesa junto con Arenosols ácidos y Podzols, caracterizan las regiones de las tierras altas, dominada por las areniscas de la Sierra dos Parecis. Por otro lado, los Cambisols ricos en bases y los Lixisols denotan el desarrollo del suelo sobre las cuencas sedimentarias, generalmente bajo un denso bosque. Los Plintosols, caracterizados por su alto contenido en hierro y minerales de arcilla, son comunes en terrenos planos. Se suelen encontrar en antiguas terrazas fluviales donde es frecuente la saturación de agua subterránea rica en hierro. Los Fluvisols y Gleysols demarcan las llanuras de inundación de los principales sistemas fluviales, en particular, los bosques pantanosos de las cuencas de los ríos que fluyen hacia el norte: el Beni, el Mamoré y el Iténez (o Guaporé). El último discurre a lo largo de la frontera entre Bolivia y Brasil. La gran extensión de Gleysols en el norte de Bolivia son las sabanas del Beni o llanuras de Moxos, una zona internacionalmente reconocida por sus valores ecológicos como de interés ecológico, donde más de la mitad de la superficie se encuentra inundada de cuatro a diez meses al año.


85
86
94
97
BRASIL
60°
57° 30´
55°
10°
12° 30´
15°
17° 30´
Usina
Santa Rita
Recreio
Pereirinha
Barracão do Barreto
Cachimbo
Rancho de Caça dos Tapiúnas
Pôsto Alto Manissaua
Campo de Diauarum
Pôrto dos Gauchos
Pouso Alegre
Maloca de Indios
Vilhena
Nhambiquara
Juruena
Utiariti
Lucas
Ponte de Pedra
Parecis
Nortelândia
Arenápolis
Diamantino
Alto Paraguai
Arinos
Nobres
Rosário Oeste
Tapirapua
Mato Grosso
Pontes-e-Lacerda
Casalvasco
Acorizal
Cuiabá
Várzea Grande
Pôrto Esperidião
Cáceres
Poconé
Barão de Melgaço
Jaciara
Poxoréu
General Carneiro
Rondonópolis
Guiratinga
Alto Garças
Alto Araguaia
Pôrto dos Meinacos
Pôrto Jofre
San Matías
Descalvado
Santo Corazón
Roboré
Pedro Gomes
ACcr
ARdy
LPdy
FRha
GLdy
BR
PTpx
NTdy
CMdy
LXcr
PTab
PTst
PTdy
PLlv
PLal
GLeu
FRro
FLdy
PHlv
LXap
FRxa
LVha
PZgl
SNhu
SNha

El mapa muestra los suelos del este-centro de Brasil, incluyendo parte de la costa atlántica.

Los principales elementos del paisaje en esta región son la extensión oriental de la meseta del Mato Grosso y la parte central de las tierras altas de Brasil, ambos atravesados por los siguientes ríos que fluyen hacia el norte: el Araguaia, el Tocantins y el São Francisco. En su mayor parte, el terreno es ondulado y con planos fondos de valle. La elevación generalmente aumenta desde la costa hacia el interior y las fuertes pendientes se hacen más frecuentes hacia la región del Planalto. Algunos de las cimas más altas que se ubican alrededor de Brasilia, hacia la mitad-abajo en el mapa, superan los 1.500 msnm (Brasília es una de las ciudades capitales más recientes del mundo; se empezó a construir en 1956).

El clima dominante en la parte oeste del terreno que se muestra en el mapa va de subtropical a tropical, dependiendo de la zona. La temperatura es cálida durante todo el año y las precipitaciones de moderadas a altas. Estas se producen de manera estacional. El valor medio de la temperatura anual en Brasilia es de unos 25°C, con precipitaciones anuales de 1.500 a 2.500 mm (junio y julio suelen ser los meses más secos) y una humedad relativamente alta. Las zonas montañosas son algo más frías, dependiendo de la cota, y el período más seco dura más (de mayo a octubre). La zona oriental del mapa es muy árida, con una precipitación anual de 750 a 500 mm, decreciendo de diciembre a mayo.

El tipo de ecosistema dominante es el Cerrado, una amplia ecorregión de sabana tropical caracterizada por una enorme biodiversidad de plantas y animales. Los principales tipos de hábitat son los la sabana arbolada y las praderas. También se pueden encontrar humedales y bosques de galería siguiendo los cursos fluviales. La selva tropical es más frecuente en el extremo oeste. Gran parte de las tierras bajas se encuentra cultivada.

El patrón de suelo en el mapa refleja la interacción entre la topografía, la litología y la distribución e intensidad de las precipitaciones. El mapa se caracteriza fundamentalmente por Ferralsols ácidos, profundamente meteorizados ricos en hierro y óxidos de aluminio, sin horizontes diferenciados. Estos se suelen ubicar en las colinas. Los cambios en la mineralogía de la geología subyacente dan lugar a encláves de Acrisols y Luvisols. Los Leptosols pedregosos y de textura gruesa, así como Arenosols ácidos, caracterizan las colinas de granito y regiones de meseta de piedra arenisca. Por otro lado, los Cambisols ricos en bases y los Lixisols denotan el desarrollo del suelo en las cuencas sedimentarias o afloramientos de piedra caliza mientras, mientras que los Cambisols de naturaleza ácida indican suelos jóvenes en un material parental rico en sílice. Aunque también profundamente meteorizados, los Lixisols indican suelos menos ácidos en condiciones más secas bajo vegetación de sabana. Existen grandes extensiones de Plintosols, con alto contenido en óxido de hierro y minerales de arcilla. Estos suelos se han desarrollado en los sistemas de terrazas fluviales de los ríos Araguaia y Tocantins. En los fondos de los valles, estacionalmente inundadosaparecen formaciones lineales de Gleysols que, junto con los sedimentos estratificados de Fluvisols, señalan las principales redes fluviales. La costa está definida por Gleysols (manglares) y Arenosols (dunas y arena de playa). Hacia el interior de la costa, áreas extensas de Planosols indican suelos mal drenados en terrenos llanos que se encharcan estacionalmente.

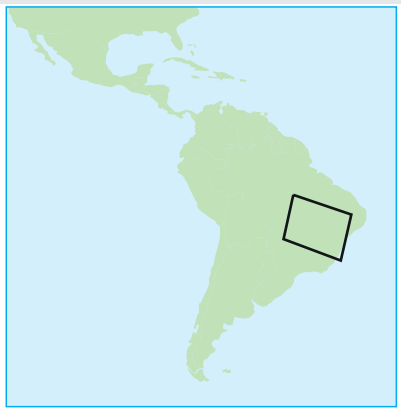
ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

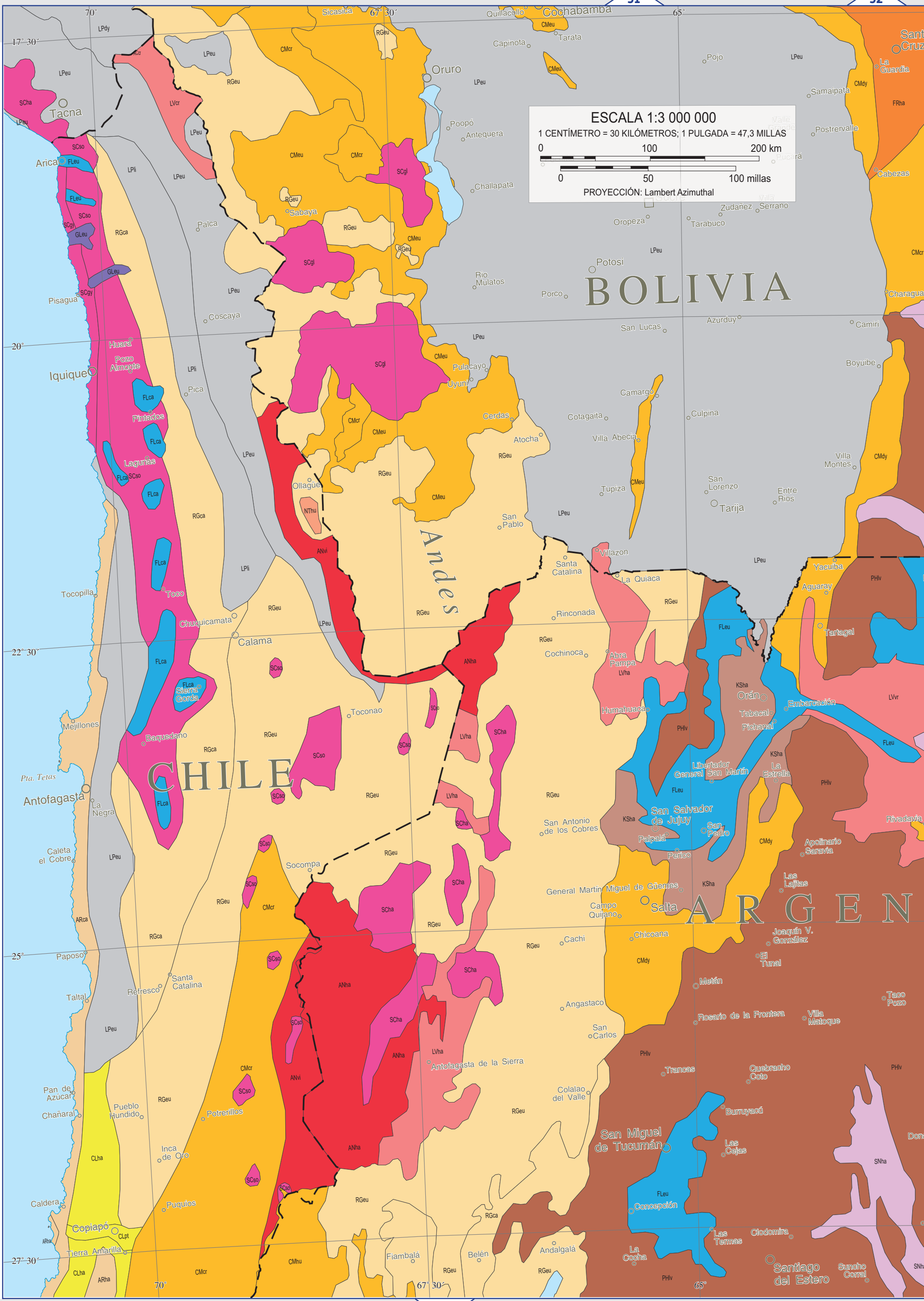
0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal



45°
42° 30´
40°
10°
12° 30´
15°
17° 30´
Cristino Castro
Bom Jesus
São Raimundo Nonato
Caracol
Canto do Buriti
Simplício Mendes
Paulistana
Casa Nova
Petrolina
Juàzeiro
Represa de Sobradinho
Remanso
Monte Alegre do Piauí
Curupá
Gilbués
Curimata
Parnaguá
Uauá
Jaguarari
Senhor do Bonfim
Campo Formoso
Euclides da Cunha
Queimadas
Tucano
Jacobina
Irecê
Xique Xique
Barra
Formosa do Rio Prêto
Cariparé
Morpara
Taguá
Bom Jesus
Barreiras
Ibotirama
Morro do Chapéu
Serrinha
Riachão do Jacuípe
Rui Barbosa
Feira de Santana
Cachoeira
Maragogipe
Santo Antônio de Jesus
Nazaré
Valença
Jaguaquara
Maracás
Itiruçu
Jequié
Gandu
Ituberá
Camamu
Ipiaú
Itacaré
Ubaitaba
Poções
Coaraci
Itajuípe
Ilhéus
Itabuna
Ibicaraí
Una
Camacãri
Canavieiras
Belmonte
Pôrto Seguro
Prado
Alcobaça
Pta. da Baleia
Caravelas
Nanuque
Teófilo Otôni
Carlos Chagas
Minas Novas
Capelinha
Águas Formosas
Itamaraju
Salto da Divisa
Jordânia
Almenara
Jequitinhonha
Itaobim
Coronel Murta
Araçuaí
Pedra Azul
Salinas
Montes Claros
Diamantina
Corinto
Januária
Janaúba
Vista Alegre
São Francisco
Urucuia
São Romão
Caatinga
Pirapora
Bocaiúva
Manga
Itacarambi
Carinhanha
Cocos
Malhada
Guanambi
Caetité
Caculé
Urandi
Vitória da Conquista
Monte Azul
São João do Paraíso
Brumado
Riacho de Santana
Barra da Estiva
Paramirim
Ibitiara
Andaraí
Iaçu
Itaberaba
Tamburi
Itaeté
Correntina
Bom Jesus da Lapa
Santana
Paratinga
Morro do Chapéu
Lençóis
Mucugê
Rio de Contas
Piatã
Abaíra
Ituaçu
Tanhaçu
Licínio de Almeida
Caetanos
Condeúba
Cordeiros
Guanambi
Iuiu
Riacho de Santana
Malhada de Pedras
Palmas de Monte Alto
Sebastião Laranjeiras
Rio do Pires
Presidente Jânio Quadros
Encruzilhada
Planalto
Poções
Ribeirão do Largo
Aracatu
Mortugaba
Vitória da Conquista
Barra do Choça
Cândido Sales
Ibicuí
Itapetinga
Itambé
Macarani
Firmino Alves
Potiraguá
Itarantim
Iguaí
Jequié
Lafaiete Coutinho
Ubaitaba
Ibirapitanga
Aurelino Leal
Camacãri
Una
Canavieiras
Belmonte
Santa Cruz Cabrália
Porto Seguro
Eunápolis
Itagimirim
Itamaraju
Prado
Alcobaça
Caravelas
Nova Viçosa
Mucuri
Teixeira de Freitas
Nanuque
Carlos Chagas
Ladainha
Malacacheta
Teófilo Otôni
Águas Formosas
Minas Novas
Capelinha
Turmalina
Chapada do Norte
Coronel Murta
Araçuaí
Itaobim
Jequitinhonha
Pedra Azul
Salinas
Almenara
Jordânia
Salto da Divisa


ESCALA 1:3 000 000
1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS
0 100 200 km
0 50 100 millas
PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal
BOLIVIA
CHILE
ARGEN
Andes
Cochabamba
Oruro
Potosi
Sicasica
Quillacollo
Capinota
Tarata
Pojo
Samaipata
Santa Cruz
La Guardia
Postrervalle
Cabezas
Tacna
Arica
Iquique
Pisagua
Huara
Pozo Almonte
Pintados
Lagunas
Tocopilla
Toco
Chuquicamata
Calama
Mejillones
Baquedano
Sierra Gorda
Antofagasta
La Negra
Pta. Tetas
Caleta el Cobre
Paposo
Taltal
Refresco
Santa Catalina
Pan de Azúcar
Chañaral
Caldera
Copiapó
Tierra Amarilla
Pueblo Hundido
Inca de Oro
Potrerillos
Puquios
Socompa
Ollagüe
Toconao
Coscaya
Palca
Sabaya
Challapata
Poopó
Antequera
Oropeza
Tarabuco
Zudañez
Serrano
Rio Mulatos
Porco
Villa Abecia
Camargo
Culpina
Cotagaita
Cerdas
Atocha
Pulacayo
Uyuni
Tupiza
San Lucas
Azurduy
Camiri
Boyuibe
Charagua
Tarija
San Lorenzo
Entre Rios
San Pablo
Villazon
Santa Catalina
La Quiaca
Yacuiba
Aguaray
Tartagal
Rinconada
Cochinoca
Abra Pampa
Humahuaca
Orán
Tabacal
Pichanal
Embarcación
Libertador General San Martín
La Estrella
San Salvador de Jujuy
Palpalá
Perico
San Pedro
San Antonio de los Cobres
Apolinario Saravia
Las Lajitas
Salta
Campo Quijano
Chicoana
Joaquín V. González
El Tunal
Metán
Rosario de la Frontera
Villa Matoque
Taco Pozo
Angastaco
San Carlos
Antofagasta de la Sierra
Trancas
Quebracho Coto
Colalao del Valle
Burruyacú
San Miguel de Tucumán
Las Cejas
Concepción
Las Termas
Clodomira
Santiago del Estero
Suncho Corral
Rivadavia
Villa Montes
Tupiza
Fiambalá
Belén
Andalgalá
La Cocha
Cachi
Pucará
Valle Grande
Villa Serrano
70°
67° 30´
65°
17° 30´
20°
22° 30´
25°
27° 30´

En el mapa se muestran los suelos del norte de Argentina, el sur de Bolivia, el norte de Chile, Paraguay y el suroeste de Brasil.

Como en otras partes de los Andes, distintas cordilleras corren paralelas a la costa del Pacífico, separadas por largas y estrechas depresiones. Los Andes de la fornteras chileno-argentina alcanzan alturas superiores a los 6.000 msnm. Con una altitud de 6960,8 msnm, el Aconcagua es el pico más elevado de los hemisferios Sur y Occidental, y el más alto del mundo de los situados fuera del sistema de los Himalayas, en Asia. Al oeste de los Andes, al norte de Chile, se sitúa el desierto de Atacama, el más árido del mundo. Hacia el este, la altitud decrece y aparece la llanura aluvial del Chaco Boreal, cuyo extremo norte se funde con los humedales del Pantanal. Más hacia el este, el río Paraguay fluye hacia el sur hasta alcanzar el río Paraná, el segundo más largo de América del Sur.

El trópico de Capricornio atraviesa el centro del mapa, por lo que el clima de la parte este va de tropical a subtropical. Entre octubre y marzo, las temperaturas varían entre 24 y 38ºC, disminuyendo notablemente en el sur durante el invierno. La precipitación media anual es de unos 1.700 mm, bajando hasta 600 mm en la parte occidental de la llanura chaqueña. Las altas cumbres de los Andes se encuentran cubiertas por nieves perpetuas y hielo. En la zona costera de Chile, las temperaturas medias anuales rondan los 17°C, mientras que, en el interior del desierto de Atacama, las temperaturas diarias pueden superar los 40°C. En lo que respecta al oeste del mapa, la principal característica es la aridez (la zona recibe menos de 100 mm anuales, en ocasiones mucho menos). Algunas estaciones meteorológicas en Atacama nunca han registrado lluvias.

Los patrones de vegetación reflejan el patrón climático. En las regiones secas aparecen acacias espinosas, cactus y arbustos adaptados a las condiciones de sequía extrema, mientras que en las altas mesetas se pueden encontrar arbustos y pastos. Hacia el este, en el Chaco la vegetación es de tipo sabana, abierta, con un aumento de la cubierta forestal allí donde las precipitaciones son más frecuentes.

La variedad de zonas climáticas y paisajes junto con la litología determinan la diversidad de suelos existente. La mitad occidental refleja la combinación de topografía montañosa y aridez. La meteorización de las rocas, principalmente física, da lugar a Leptosols delgados y pedregosos, rodeados de Regosols débilmente desarrollados en terrenos escarpados. Los Andosols destacan la naturaleza volcánica de la zona donde se sitúan. La vasta extensión de Leptosols en Bolivia se corresponde con el accidentado altiplano y a las montañas de la cordillera Real. El desierto de Atacama y las depresiones internas de los Andes se definen por Cambisols débilmente desarrollados, Regosols y Solonchaks. El salar de Uyuni (en la esquina noroeste del mapa) es la llanura salina más grande del mundo. La mayor parte de estos suelos presentan una vegetación escasa o inexistente. Al este, los suelos del Chaco (Arenosols, Luvisols y Cambisols) se han desarrollado en las arenas y arcillas aluviales que provienen de los Andes. Por otro lado, en los sedimentos ricos en sodio de varios ríos que fluyen desde la meseta adyacente de los Andes, se han desarrollado grandes extensiones de Solonetz alcalinos. En la parte argentina del Chaco, bajo las praderas permanentes en el clima seco, se han desarrollado Phaeozems ricos en materia orgánica, a menudo junto con Solonetz que indican depresiones del terreno o pantanos estacionales. Al este del río Paraguay, las condiciones más húmedas y los cambios en la litología dan lugar a los característicos suelos rojos y amarillos tropicales; Ferralsols y Acrisols son indicadores de condiciones ácidas, mientras que los Lixisols se caracterizan por un pH ligeramente mayor. El conjunto de Gleysols, Vertisols, Planosols y Plintosols de la esquina noreste del mapa indica los suelos de los humedales del Pantanal. Fluvisols y Gleysols representan los suelos de las llanuras de inundación de los principales sistemas fluviales. Las extensas Gleysols en el sur de Paraguay se refieren a las marismas y praderas inundables de los humedales de Ñeembucú.

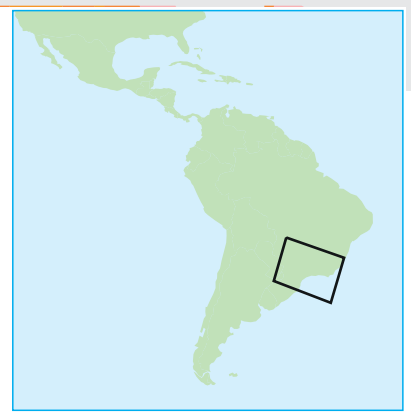
98

101

94

97

103



ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

Este mapa muestra los suelos del sudeste de Brasil, en la costa atlántica, junto con los extremos orientales de Argentina y Paraguay.

El trópico de Capricornio pasa por el centro del mapa. La característica física principal del territorio representado es el extremo sur de las tierras altas de Brasil. Las montañas de la Serra do Mar y la Serra da Mantiqueira, cuyas cumbres sobrepasan los 2.000 msnm, forman una cadena cercana a la costa. Al oeste se sitúa el embalse de Itaipú, formado por la construcción de presas en el río Paraná (con 4.800 km, es el segundo río más largo del América del Sur y el octavo más largo del mundo). Las célebres cataratas del Iguazú se encuentran a poca distancia bajo la presa de Itaipú. Hacia el este, una estrecha franja costera separa la meseta del océano. Los centros urbanos de Río de Janeiro y São Paulo, la ciudad más grande América del Sur se encuentran en este mapa.

La mayor parte de la región tiene un clima tropical o subtropical húmedo. En la mayoría de las tierras bajas la temperatura varía entre 20 y 26°C. Las zonas del norte son algo más cálidas (alrededor de 30°C). Se registran unos 1.500 mm anuales de precipitación, con niveles más altos en la parte superior de la cadena montañosa y el sureste. Hacia el este, la lluvia es muy estacional, produciéndose la mayoría de precipitaciones durante los meses de verano (de noviembre a abril), a menudo en forma de tormentas. Hacia el oeste, la precipitación se distribuye casi por igual durante todo el año.

En gran parte de la región existían bosques atlánticos con pastizales que se hacían más frecuentes hacia el este. Sin embargo, la mayor parte de la cubierta forestal ha sido eliminada, permaneciendo algunos parches en zonas con pendientes elevadas.

El tipo de suelo predominante es el Ferralsol, lo que refleja la intensa meteorización bajo un clima cálido y húmedo. Se trata de Ferralsols de granulometría gruesa y muy lixiviados, contienen altos niveles de hierro y óxidos de aluminio, lo que aporta el color rojo y amarillo característico de este tipo de suelos. Los Acrisols generalmente se desarrollan en terrenos más montañosos, suelen indicar condiciones ácidas y presentan un subsuelo rico en arcilla. Los Lixisols y los Nitisols indican condiciones menos ácidas, se suelen desarrollar en productos de la meteorización del basalto (frecuentemente se cultiva el café esobre los Nitisols). Los Leptosols, poco profundos y pedregosos, representan los afloramientos rocosos en las tierras altas brasileñas. Los Cambisols al norte del mapa indican suelos jóvenes que se dan principalmente en las laderas de las montañas. La erosión de las formaciones de piedra arenisca en el oeste del mapa ha contribuido a la formación de Arensols. Las estrecha franja costera, casi ausente en algunos puntos, se caracteriza por llanuras de inundación (Cambisols), pantanos (Gleysols) y las dunas (Arenosols y Podzols). Los enclaves de Histosols indican la presencia de turberas, mientras que los Planosols denotan los suelos mal drenados en los fondos de los valles. Los suelos alcalinos en la esquina sudoeste corresponden a las llanuras de inundación de los ríos Paraná y Uruguay.

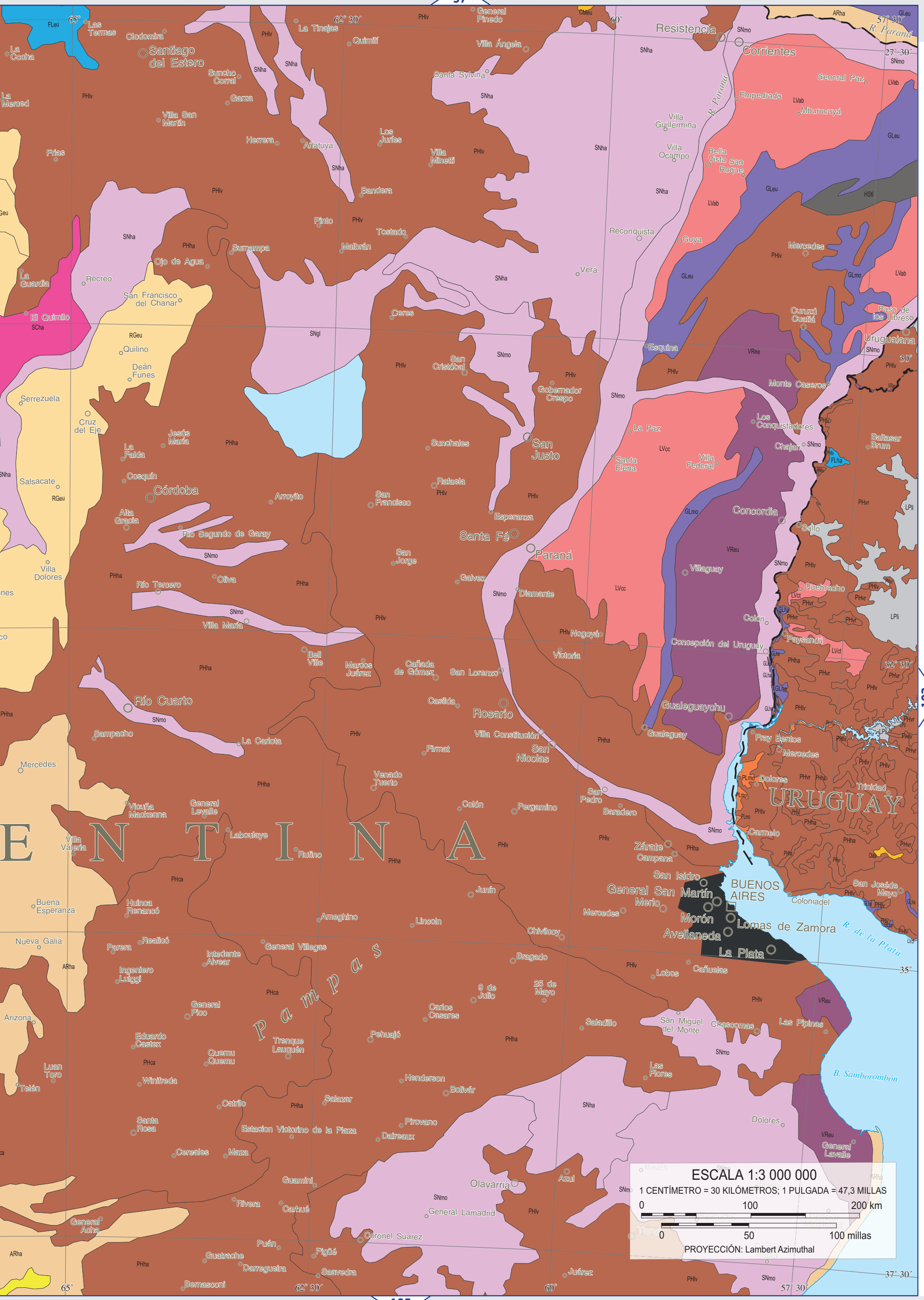
El mapa muestra los suelos del centro y norte de Argentina, Chile central y el oeste de Uruguay.

De oeste a este, las grandes unidades de paisaje son: la estrecha llanura seca costera de Chile, la cordillera de los Andes, la cabecera del río Colorado, las sierras de Córdoba, las depresiones de las Salinas Grandes, el Chaco, la Pampa argentina y las llanuras de inundación de los ríos Paraná y Uruguay, que descargan sus aguas a través del río de la Plata hacia el Atlántico Sur. En este mapa de los Andes ocupan una zona mucho más estrecha que en el norte y empiezan a descender en elevación hacia el sur. Sin embargo, las regiones del norte y centro del mapa contienen picos muy altos (más de 6.000 m), entre ellos el de Aconcagua (6.960,8 msnm), la montaña más alta del continente americano. Hacia el este, la el terreno desciende para formar la semiárida llanura aluvial del sur del Chaco y la extensión norte de la Pampa. La gran masa de agua en el centro es la laguna Mar Chiquita.

Al sur del trópico, la parte occidental del territorio tiene un clima templado, que varía según altitud, la latitud y la proximidad a la costa. Las estaciones están bien definidas, con inviernos húmedos y fríos (alrededor de 15°C) y veranos secos y cálidos (hasta 30°C). La precipitación anual es generalmente inferior a 800 mm. Las temperaturas suelen ser más frías a lo largo de la costa debido a las corrientes oceánicas. En las cumbres de los Andes, las temperaturas son bajas y hay nieve, hielo y glaciares en los picos más altos. En las estribaciones orientales de los Andes, las temperaturas anuales son algo más altas, pero los niveles de precipitación son mucho más bajos (menos de 300 mm anuales). Hacia la costa del atlántico, el clima se vuelve templado o subtropical, con temperaturas más bajas y condiciones más húmedas y con niveles de precipitación anual de más de 1.000 mm.

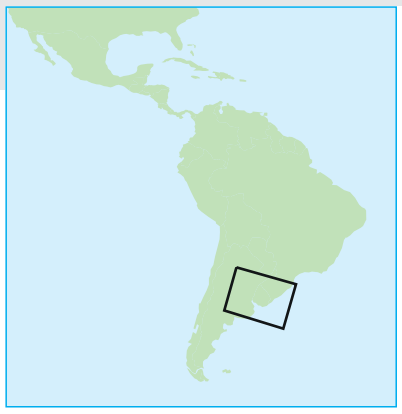
En las llanuras de Argentina, dominan las formaciones de herbáceas perennes y anuales, con arbustos dispersos. Cuando las condiciones son más húmedas, los bosques pueden desarrollarse. Matorrales espinosos y comunidades del desierto se encuentran en las regiones más áridas.

El mapa refleja la variedad litológica de esta región. Los Calcisols y Arenosols en la esquina noroeste denotan el límite sur del desierto de Atacama, mientras que el terreno accidentado de los Andes, en la frontera chilenoargentina, está caracterizado por Leptosols pedregosos y Cambisols poco desarrollados. La gran extensión de Andosols en la parte sur de los Andes tiene su origen en el material proveniente de un gran complejo volcánico que incluye el volcán Domuyo, el cual tiene una caldera de 15 km de diámetro. A lo largo de la costa se han desarrollado en los sedimentos marinos antiguos Luvisols ricos en arcilla. Los Calcisols denotan depresiones del terreno. En las estribaciones orientales de los Andes, Calcisols con textura gruesa, Regosoles y Arenosoles reflejan las condiciones áridas y la naturaleza aluvial del material parental (originado en los Andes). Las grandes llanuras salinas, como las Salinas Grandes, se desarrollan en depresiones cerradas por la inundación estacional o por evaporación de las aguas subterráneas ricas en sal, dando lugar a Solonchaks o Solonetz. Las extensas llanuras aluviales (Chaco) y los loess de Argentina (pampas) dan lugar a Phaeozems ricos en materia orgánica. Estos suelos fértiles se han desarrollado bajo extensos pastizales naturales y denotan la transición hacia un clima más húmedo. Los Fluvisols ricos en bases denotan los afluentes del río Colorado, al oeste, mientras que los suelos alcalinos (Solonetz) definen las llanuras de inundación de los ríos Paraná y Uruguay. Vertisols y Gleysols denotan suelos muy arcillosos, a menudo inundados. Las grandes extensiones de Gleysols en la parte norte del mapa se corresponden con los humedales del Iberá, una red de humedales que consituye el segundo humedal más grande del mundo, tras el Pantanal. Por último, los Histosols indican representan las turberas.


65°
62° 30´
60°
57° 30´
27° 30´
30°
32° 30´
35°
37° 30´
FLeu
CMeu
ARha
GLeu
SCha
RGeu
SNha
SNmo
SNgl
PHlv
PHha
PHca
PHvr
VRee
VReu
LVab
LVcc
LVct
GLmo
GLha
HSfi
LPli
PLmo
Las Termas
Clodomira
La Cocha
Santiago del Estero
La Merced
Suncho Corral
Garza
Villa San Martín
Frías
Herrera
Añatuya
Los Juríes
Quimilí
La Tinajas
General Pinedo
Villa Ángela
Santa Sylvina
Villa Minetti
Bandera
Pinto
Tostado
Sumampa
Malbrán
Ojo de Agua
Recreo
La Guardia
San Francisco del Chanar
El Quimilo
Ceres
Vera
Reconquista
Resistencia
Corrientes
R. Paraná
General Paz
Empedrado
Mburucuyá
Villa Guillermina
Villa Ocampo
Bella Vista
San Roque
Goya
Mercedes
Curuzú Cuatiá
Paso de los Libres
Uruguaiana
Esquina
Monte Caseros
Gobernador Crespo
San Cristóbal
Quilino
Deán Funes
Serrezuela
Cruz del Eje
Jesús María
La Falda
Cosquín
Salsacate
Córdoba
Arroyito
Alta Gracia
Río Segundo de Garay
Villa Dolores
Río Tercero
Oliva
Villa María
Bell Ville
Marcos Juárez
Cañada de Gómez
San Lorenzo
Río Cuarto
Sampacho
La Carlota
Mercedes
Vicuña Mackenna
General Levalle
Laboulaye
Rufino
Villa Valeria
Sunchales
Rafaela
San Francisco
Esperanza
San Justo
La Paz
Santa Elena
Villa Federal
Los Conquistadores
Chajarí
Baltasar Brum
Concordia
Salto
Villaguay
Quebracho
Colón
Paysandú
Concepción del Uruguay
Victoria
Nogoyá
Diamante
Santa Fé
Paraná
San Jorge
Galvez
Casilda
Rosario
Villa Constitución
San Nicolas
Firmat
Venado Tuerto
Gualeguaychu
Gualeguay
Fray Bentos
Mercedes
Dolores
Trinidad
URUGUAY
Carmelo
Colonia del
Zárate
Campana
San Isidro
General San Martín
Merlo
Morón
Avellaneda
Lomas de Zamora
La Plata
BUENOS AIRES
R. de la Plata
B. Samborombón
Lobos
Cañuelas
Las Flores
Dolores
General Lavalle
San Miguel del Monte
Chascomas
Las Pipinas
Saladillo
Azul
Olavarría
General Lamadrid
Coronel Suárez
Tandil
Rauch
Junín
Chivilcoy
Mercedes
Lincoln
Ameghino
Bragado
9 de Julio
25 de Mayo
Carlos Casares
Pehuajó
Trenque Lauquén
Quemu Quemu
Henderson
Bolívar
Salazar
Pirovano
Estacion Victorino de la Plaza
Daireaux
Guaminí
Rivera
Carhué
Puán
Pigüé
Guatraché
Darregueira
Saavedra
Juárez
Pergamino
Colón
Rufino
Bernasconi
Huinca Renancó
Realicó
Parera
Intendente Alvear
General Villegas
Ingeniero Luiggi
General Pico
Eduardo Castex
Winifreda
Luan Toro
Telén
Arizona
Nueva Galia
Buena Esperanza
Catriló
Santa Rosa
Cereales
Maza
Barádero
San Pedro
Zárate
Campana
Pampas
ESCALA 1:3 000 000
1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS
0 100 200 km
0 50 100 millas
PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

102

105



97

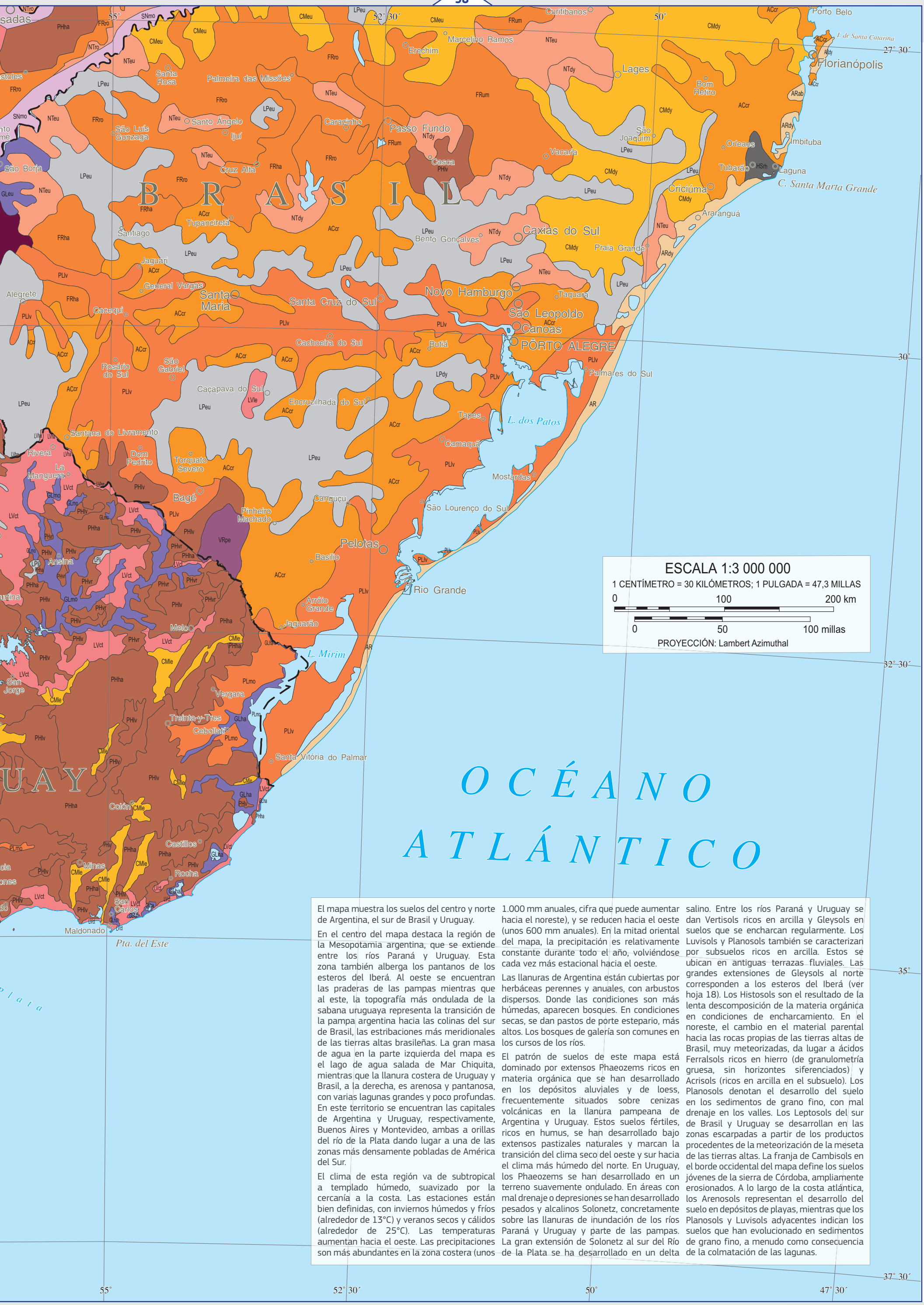
101

105

62° 30´ 60° 57° 30´ 27° 30´ 32° 30´ 35° 37° 30´ 65° 30° 25°

General Pinedo · Villa Ángela · Quimilí · Santa Sylvina · Resistencia · Corrientes · General Paz · Empedrado · Mburucuyá · R. Paraná · Villa Guillermina · Villa Ocampo · Bella Vista · San Roque · Añatuya · Los Juríes · Villa Minetti · Bandera · Pinto · Tostado · Malbrán · Sumampa · Ojo de Agua · San Francisco del Chanar · Quilino · Deán Funes · Reconquista · Goya · Vera · Mercedes · La Cruz · Alvear · Itaquí · Paso de los Libres · Uruguaiana · Curuzú Cuatiá · Esquina · Monte Caseros · Ceres · San Cristóbal · Gobernador Crespo · Sunchales · San Justo · La Paz · Santa Elena · Villa Federal · Los Conquistadores · Chajarí · Concordia · Salto · Baltasar Brum · Artigas · Quaraí · Tacuarembó · Jesús María · La Falda · Cosquín · Córdoba · Arroyito · Rafaela · San Francisco · Esperanza · Santa Fé · Paraná · Alta Gracia · Río Segundo de Garay · Oliva · San Jorge · Galvez · Diamante · Villaguay · Quebracho · Colón · Paysandú · Nogoyá · Concepción del Uruguay · Río Tercero · Villa María · Bell Ville · Marcos Juárez · Cañada de Gómez · San Lorenzo · Rosario · Casilda · Victoria · Gualeguaychu · Gualeguay · Fray Bentos · Mercedes · Carmen · Durazno · Trinidad · Río Cuarto · Sampacho · La Carlota · Villa Constitución · San Nicolas · Firmat · Venado Tuerto · Colón · Pergamino · San Pedro · Baradero · Carmelo · Dolores · Florida · Zárate · Campana · San Isidro · General San Martín · Merlo · Morón · Lomas de Zamora · Avellaneda · La Plata · Coloniadel · Las Piedras · MONTEVIDEO · BUENOS AIRES · Junín · Lincoln · Chivilcoy · Ameghino · Bragado · Cañuelas · Lobos · Huinca Renancó · Villa Valeria · Vicuña Mackenna · Laboulaye · Rufino · Realicó · Parera · Intendente Alvear · General Villegas · 9 de Julio · 25 de Mayo · Ingeniero Luiggi · General Pico · Eduardo Castex · Quemu Quemu · Trenque Lauquén · Pehuajó · Carlos Casares · Saladillo · San Miguel del Monte · Chascomús · Las Pipinas · Las Flores · Henderson · Bolívar · Salazar · Pirovano · Dairreaux · Estacion Victorino de la Plaza · Catriló · Winifreda · Luan Toro · Arizona · Santa Rosa · Cereales · Maza · Guamini · Rivera · Carhué · General Acha · Guatrache · Darregueira · Puán · Pigüé · Saavedra · Coronel Suárez · Juárez · Balcarce · Tandil · Coronel Vidal · Olavarría · Azul · Rauch · Maipú · Ayacucho · General Madariaga · General Lavalle · Dolores · Pampas · ARGENTINA · B. Samborombón · R. de la P.

PHlv · SNmo · SNha · SNgl · RGeu · PHca · ARha · VRee · VReu · LVcc · LVab · GLeu · GLmo · HSfi · PLmo · FRro · PTdy · LPeu · LPli · PHvr · FLha · GLha · PHha · LVct



ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

El mapa muestra los suelos del centro y norte de Argentina, el sur de Brasil y Uruguay.

En el centro del mapa destaca la región de la Mesopotamia argentina, que se extiende entre los ríos Paraná y Uruguay. Esta zona también alberga los pantanos de los esteros del Iberá. Al oeste se encuentran las praderas de las pampas mientras que al este, la topografía más ondulada de la sabana uruguaya representa la transición de la pampa argentina hacia las colinas del sur de Brasil, las estribaciones más meridionales de las tierras altas brasileñas. La gran masa de agua en la parte izquierda del mapa es el lago de agua salada de Mar Chiquita, mientras que la llanura costera de Uruguay y Brasil, a la derecha, es arenosa y pantanosa, con varias lagunas grandes y poco profundas. En este territorio se encuentran las capitales de Argentina y Uruguay, respectivamente, Buenos Aires y Montevideo, ambas a orillas del río de la Plata dando lugar a una de las zonas más densamente pobladas de América del Sur.

El clima de esta región va de subtropical a templado húmedo, suavizado por la cercanía a la costa. Las estaciones están bien definidas, con inviernos húmedos y fríos (alrededor de 13°C) y veranos secos y cálidos (alrededor de 25°C). Las temperaturas aumentan hacia el oeste. Las precipitaciones son más abundantes en la zona costera (unos 1.000 mm anuales, cifra que puede aumentar hacia el noreste), y se reducen hacia el oeste (unos 600 mm anuales). En la mitad oriental del mapa, la precipitación es relativamente constante durante todo el año, volviéndose cada vez más estacional hacia el oeste.

Las llanuras de Argentina están cubiertas por herbáceas perennes y anuales, con arbustos dispersos. Donde las condiciones son más húmedas, aparecen bosques. En condiciones secas, se dan pastos de porte estepario, más altos. Los bosques de galería son comunes en los cursos de los ríos.

El patrón de suelos de este mapa está dominado por extensos Phaeozems ricos en materia orgánica que se han desarrollado en los depósitos aluviales y de loess, frecuentemente situados sobre cenizas volcánicas en la llanura pampeana de Argentina y Uruguay. Estos suelos fértiles, ricos en humus, se han desarrollado bajo extensos pastizales naturales y marcan la transición del clima seco del oeste y sur hacia el clima más húmedo del norte. En Uruguay, los Phaeozems se han desarrollado en un terreno suavemente ondulado. En áreas con mal drenaje o depresiones se han desarrollado pesados y alcalinos Solonetz, concretamente sobre las llanuras de inundación de los ríos Paraná y Uruguay y parte de las pampas. La gran extensión de Solonetz al sur del Río de la Plata se ha desarrollado en un delta salino. Entre los ríos Paraná y Uruguay se dan Vertisols ricos en arcilla y Gleysols en suelos que se encharcan regularmente. Los Luvisols y Planosols también se caracterizan por subsuelos ricos en arcilla. Estos se ubican en antiguas terrazas fluviales. Las grandes extensiones de Gleysols al norte corresponden a los esteros del Iberá (ver hoja 18). Los Histosols son el resultado de la lenta descomposición de la materia orgánica en condiciones de encharcamiento. En el noreste, el cambio en el material parental hacia las rocas propias de las tierras altas de Brasil, muy meteorizadas, da lugar a ácidos Ferralsols ricos en hierro (de granulometría gruesa, sin horizontes siferenciados) y Acrisols (ricos en arcilla en el subsuelo). Los Planosols denotan el desarrollo del suelo en los sedimentos de grano fino, con mal drenaje en los valles. Los Leptosols del sur de Brasil y Uruguay se desarrollan en las zonas escarpadas a partir de los productos procedentes de la meteorización de la meseta de las tierras altas. La franja de Cambisols en el borde occidental del mapa define los suelos jóvenes de la sierra de Córdoba, ampliamente erosionados. A lo largo de la costa atlántica, los Arenosols representan el desarrollo del suelo en depósitos de playas, mientras que los Planosols y Luvisols adyacentes indican los suelos que han evolucionado en sedimentos de grano fino, a menudo como consecuencia de la colmatación de las lagunas.

100

72° 30´ 70° 67° 30´ 75° 40° 37° 30´ 42° 30´ 45° 72° 30´ 70° 67° 30´ 75°

Coelemu Tomé Talcahuano Concepción Coronel Lota San Carlos Chillán Bulnes Yungay Los Angeles Cañete Angol Mulchén Collipulli Traiguén Victoria Curacautín Lautaro Temuco Cunco Pitrufquén Villarrica Lanco Valdivia Corral L. Ranco La Unión Río Bueno Osorno L. Llanquihue Puerto Varas Puerto Montt Calbuco Ancud Castro Chonos Archipelago Taitao Peninsula

Andes

CHILE

ARGENTINA

Buta Ranquil Chos Malal Las Lajas Zapala Anelo Cutral-Co Neuquén Cipolletti General Roca Villa Regina Chimpay Picún-Leufú La Esperanza Limay Mahuida Piedra de Aguila San Martín de los Andes L. Nahuel Huapí Nahuel Huapi San Carlos de Bariloche Ingeniero Jacobacci Aguadá de Guerra Maquinchao Sierra Colorada Nahuel Niyeu Aguado Cecilio El Cuy Esquel Colán Conhué Tecka Paso de Indios José de San Martin Gastre Gangan Cona Niyeo Las Plumas Apeleg Aldea Apeleg Alto Río Senguerr Buen Pasto Centro Río Mayo Sarmiento Paso Río Mayo Comodoro Rivadavia Caleta Olivia Colonia Las Heras Perito Moreno Puerto Ibañez Los Antiguos Puerto Aisén Coihaique Puerto Cisnes Camarones Malaspina Bahía Bustamante Puerto Visser Fitz Roy

L. Ranco L. Llanquihue L. Nahuel Huapí L. Colhué Huapi L. Musters L. Buenos Aires L. General Carrera

G. de Ancud G. Corcovado I. de Chiloé C. Quilán I. Guafo Is. Guaitecas Arch. de los Chonos I. Benjamin I. James B. Darwin I. Magdalena C. Moraleda I. Melchor Pen. Taitao GC

G. de San Jo

LPeu LPli ANum ANvi ALfr LVcr ARha ALha CMdy GLeu NThu FLeu GLum PZcb HSfi CLha RGeu GYha CMhu LVha SNcc PHha CHha LVcc SNha RGdy LPmo

106

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

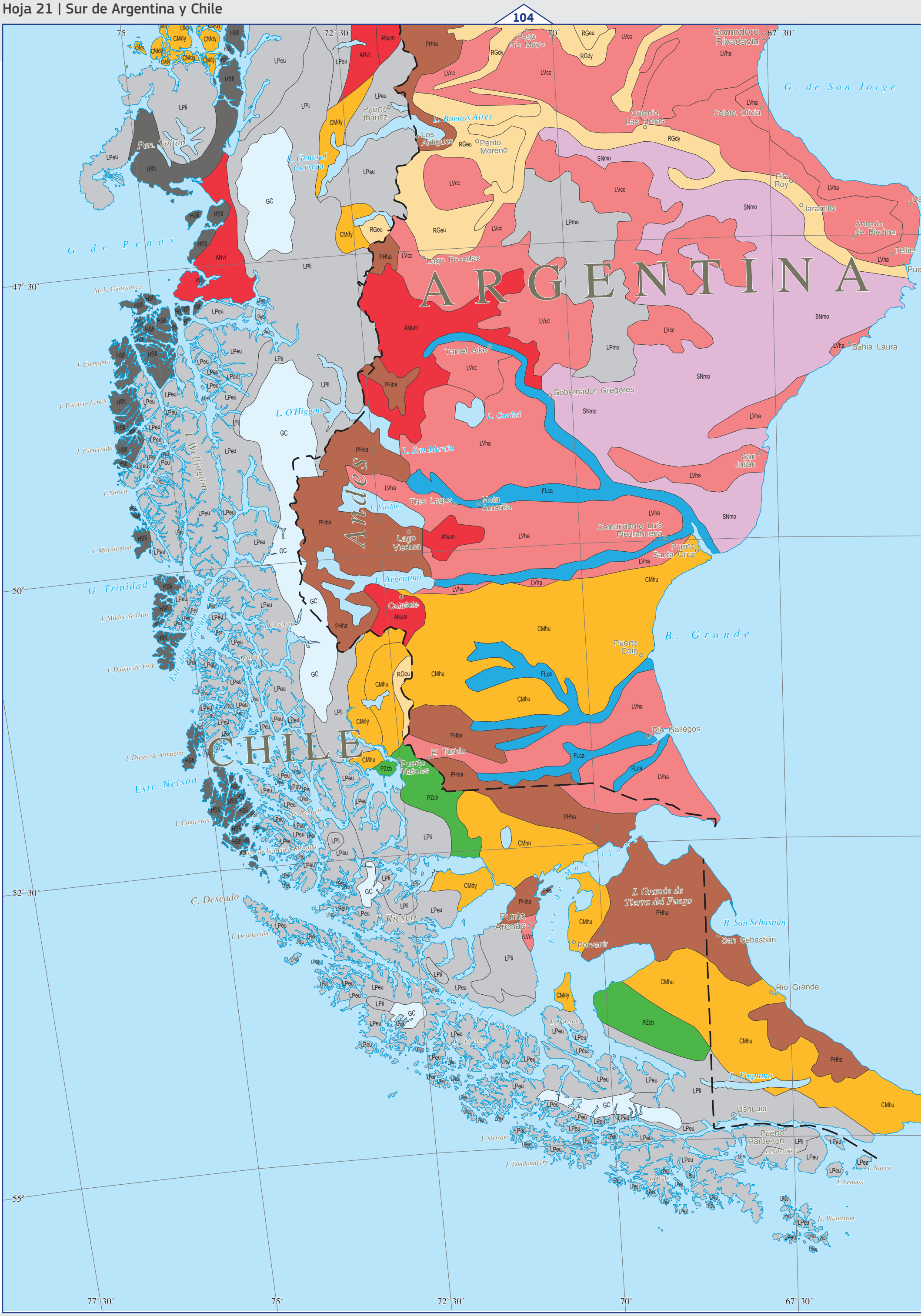
PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

El mapa muestra los suelos del centro-sur de Argentina y Chile, la parte norte de la región conocida como Patagonia.

Después de las hojas de Centroamérica, las costas atlántica y pacífica se encuentran en la misma hoja cartográfica de nuevo. Las llanuras semiáridas de la Patagonia ganan altura hacia los picos glaciares de los Andes, al oeste. Estas planicies están interrumpidas por profundos valles, muchos de ellos secos. En la parte chilena, el terreno es escarpado. Con una altitud de 3.470 msnm, el volcán extinto del monte Tronador es el punto más alto, aunque existen otros picos por encima de los 3.000 m. Hacia el sur, la altura de las montañas desciende hasta unos 2.000 msnm, y aparecen numerosos fiordos y cauces. En la frontera entre Argentina y Chile, una extensa actividad volcánica ha dado lugar a grandes acantilados de basalto, flujos de lava y conos volcánicos. Existen varios grandes lagos ubicados en valles glaciales, represados por las morrenas (es el caso del lago Nahuel Huapí). Fluyendo de oeste a este, el río Negro y el Colorado denotan el límite sur de la Pampa y la transición hacia condiciones mucho más secas.

Las zonas del este y el norte del mapa se caracterizan por tener un clima semiárido, con temperaturas medias anuales entre 12 y 20°C (estas cifras enmascaran temperaturas estivales que superan los 35°C e invernales bajo cero). La precipitación anual varía entre 100 y 450 mm. Los vientos fuertes, de componente suroeste, son secos y fríos. Hacia el oeste, la costa de Chile tiene un clima oceánico frío, con temperaturas medias anuales ligeramente más bajas que las del lado argentino pero con precipitaciones mayores (la media anual es de unos 2.000 mm, pero se han llegado a registrar más de 7.000 mm). Hacia el sur, el clima se vuelve cada vez más oceánico.

Al norte del río Negro, el patrón de suelo está dominado por Phaeozems ricos en materia orgánica que se han desarrollado en los depósitos aluviales y loess de la llanura pampeana. El incremento en aridez da lugar a suelos con alto contenido en carbonato de calcio (Calcisols), yeso (Gypsisols) y gravas (Regosols). Las depresiones en la meseta patagónica junto con sedimentos marinos antiguos forman Solonetz ricos en arcilla y en sodio. Las llanuras secas se caracterizan por la presencia de Regosols, mientras que los cursos fluviales albergan Fluvisols desarrolados en arenas gruesas y gravas aluviales. El desgaste de los afloramientos rocosos andinos da lugar a Leptosols y Regosols pedregosos y delgados, mientras que las extensiones de terreno volcánico, predominantemente basáltico, da lugar a un conjunto de Andosoles, Nitisoles, Luvisoles, Leptosols y Cambisols. Al sur del río Negro, los suelos se vuelven cada vez más áridos y pedregosos y aparecen vastas extensiones de gravas fluviales ("grava patagónica"), generalmente en terreno llano. Los Luvisols generalmente denotan terrazas fluviales o elevaciones intercaladas en las planicies. Los Solonetz y Solonchaks indican suelos de grano fino, salinos, situados en depresiones del terreno poco profundas. Las extensiones de Arenosols en todo el mapa corresponden a campos de dunas, especialmente a lo largo de la costa. Las condiciones cada vez más frías y húmedas a lo largo de la costa del Pacífico favorecen la formación de turba, dando lugar a la formación de Histosols.


104
75°
72° 30´
70°
67° 30´
47° 30´
50°
52° 30´
55°
77° 30´
ARGENTINA
CHILE
Andes
G. de San Jorge
G. de Penas
G. Trinidad
B. Grande
Pen. Taitao
Arch. Guayaneco
I. Campana
I. Patricio Lynch
I. Esmeralda
I. Stosch
I. Wellington
I. Mornington
I. Madre de Dios
I. Duque de York
I. Diego de Almagro
Estr. Nelson
Estr. de Concepción
I. Chatham
I. Pingüino
I. Contreras
Is. Reinell
Gol. de la Reina Adelaida
C. Deseado
I. Desolación
I. Riesco
Estr. de Magallanes
I. Grande de Tierra del Fuego
B. San Sebastián
I. Dawson
I. Clarence
I. Stewart
I. Londonderry
I. Hoste
I. Navarino
I. Nueva
I. Lennox
Is. Wollaston
L. Buenos Aires
L. General Carrera
L. O'Higgins
L. San Martín
L. Cardiel
L. Viedma
L. Argentino
L. Fagnano
Tamel Aike
Gobernador Gregores
Tres Lagos
Mata Amarilla
Lago Viedma
Comandante Luís Piedrabuena
Puerto Santa Cruz
Calafate
Río Gallegos
El Turbio
Puerto Natales
Punta Arenas
Porvenir
Río Grande
Ushuaia
Puerto Harberton
San Julián
Bahía Laura
Puerto Coig
Antonio de Biedma
Jaramillo
Fitz Roy
Caleta Olivia
Colonia Las Heras
Comodoro Rivadavia
Paso Río Mayo
Puerto Ibáñez
Los Antiguos
Perito Moreno
Lago Posadas
ANum
ANvi
PHha
LVcc
RGdy
RGeu
LVha
SNmo
LPmo
LPeu
LPli
HSfi
CMdy
CMhu
FLca
PZcb
GC

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILLAS

0 100 200 km

0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal

OCÉANO ATLÁNTICO

Falkland Is. (Is. Malvinas)
(U.K.)

West Falkland

East Falkland

Saunders I.

Pebble I.

Weddell I.

Falkland Sound

C. Meredith

San Carlos

Stanley

Beauchene I.

Estr. de Maire

I. de los Estados (Staten I.)

65° 62° 30´ 60° 57° 30´ 55°

47° 30´

50°

52° 30´

55°

El mapa muestra los suelos del sur de Argentina y Chile, la parte sur de la Patagonia. También aparece el archipiélago de Tierra del Fuego, separado de la parte continental de América del Sur por el estrecho de Magallanes. Marca el extremo sur de los Andes.

El célebre Cabo de Hornos, al sur de Tierra del Fuego (situado a 55º 58'47'' S, en la Isla Hornos), es el punto más austral del continente. Las aguas en torno al Cabo son particularmente peligrosas, debido a sus fuertes vientos y oleaje y la presencia de icebergs. Aunque algunos picos de Tierra del Fuego alcanzan los 2.500 msnm, la parte de los Andes que aparece en el mapa presenta altitudes mucho menores que las de parte norte de la cordillera. No obstante, la mayoría de las montañas tienen nieves perpetuas y existen muchos glaciares. Al este de los Andes, aparecen las llanuras del sur de la Patagonia, que se componen de una serie de amplias terrazas y están atravesadas por ríos y valles amplios y profundos. Estos incluyen, de norte a sur, los ríos Deseado, Santa Cruz, Coig y Gallegos. A 105 m bajo el nivel del mar, la cuenca salina de la Laguna del Carbón, en la provincia de Santa Cruz (Argentina), es el punto más bajo del hemisferio sur. Los glaciares en la frontera Chile-Argentina corresponden a la capa de hielo patagónico, la mayor capa de hielo fuera de la Antártida y Groenlandia.

La región presenta un clima cada vez más frío y húmedo a medida que se avanza hacia el suroeste. En la parte oriental del mapa, las temperaturas estivales varían entre 18 y 21°C, mientras que las invernales van de 4 a 7°C. Pese a la aridez de la región (se registran entre 200 y 300 mm de precipitaciones anuales), las precipitaciones en forma de nieve son comunes en el invierno. Las temperaturas en el interior son ligeramente inferiores pero con mayores rangos diarios. En el altiplano el clima es mucho más frío, con fuertes vientos y heladas frecuentes. El clima de la región andina está influenciado por el océano Pacífico, lo que se traduce en mayor humedad y precipitaciones más abundantes. Hacia el sur, el clima se vuelve cada vez más extremo (registrando más de 5.000 mm de precipitaciones) y extremadamente variable. Los veranos en Tierra del Fuego son cortos y frescos, mientras que los inviernos son largos, húmedos y moderadamente suaves. La precipitación en el oeste es muy alta, disminuyendo rápidamente hacia la parte oriental.

Las islas más australes poseen un clima subantártico típico de la tundra que hace imposible el crecimiento de los árboles. Algunas zonas del interior tienen un clima polar.

El patrón de suelo al oeste del mapa refleja la interacción entre las zonas altas andinas, la erosión de los afloramientos rocosos y el clima oceánico, húmedo y frío, lo que imposibilita la formación de los suelos maduros. Los Leptosols poco profundos, pedregosos y ricos en bases están muy extendidos en los Andes chilenos. Por otro lado, sobre depósitos piroclásticos como cenizas volcánicas, se desarrollan Andosols ricos en materia orgánica. Las turberas (Histosols) son comunes en las condiciones más húmedas a lo largo de la costa chilena. En Tierra del Fuego, en los sedimentos de textura gruesa bajo bosques semideciduos se encuentran Podzols altamente lixiviados. La zona este de los Andes es una estepa seca dominada por un paisaje de basalto erosionado y mesetas sedimentarias. Una capa fina de arcilla y arenas de origen eólico acumulada en las mesetas volcánicas da lugar a Luvisols y Cambisols neutros. En los valles que preceden la cordillera ed los Andes y en las terrazas llanas del extremo sur, se desarrollan Phaeozems bajo pastizales permanentes, en arcillas, arenas y gravas de origen fluvial y fluvioglacial. Los Solonetz representan la formación del suelo en depresiones cerradas o bien en depósitos marinos recientes, ricos en sodio. Por último, los Gleysols y los Fluvisols, ambos afectados por el agua, indican la ubicación de los valles de los principales ríos, mientras que los Leptosols representan las sierras aisladas. Aunque no se muestra en el mapa debido a la escala, de importancia local son los Criosols, suelos que albergan una capa de hielo permanente en los niveles superficiales del suelo (permafrost).

El mapa muestra los suelos de las islas del oeste de las Antillas Mayores (Cuba y Jamaica) y el archipiélago de las Bahamas (ver hoja 5 para obtener una descripción de pequeña escala).

Las Antillas Mayores se ubican entre el mar Caribe y el océano Atlántico. Al norte, las islas de las Bahamas se encuentran en un banco poco profundo del Atlántico, separadas de América del Norte continental y de las islas al sur por profundos canales. La elevación de las Bahamas es baja (la altitud máxima es de 63 msnm, muchas de las islas están a menos de 20 msnm). En su mayoría están formadas por coral, arena de origen eólico y piedra caliza. Cuba, a pesar de ser la 17º isla más grande del mundo, es en realidad un archipiélago (que incluye la Isla de la Juventud y decenas de otras más pequeñas). En su mayor parte, la orografía cubana está formada por llanuras suavemente onduladas o planas, aunque existen áreas montañosas, la más elevada, la Sierra Maestra cuyo punto culminante alcanza los 1996 msnm. En comparación, Jamaica es una isla mucho más montañosa, con picos que sobrepasan los 2.000 msnm.

El clima en el norte de esta zona es subtropical, volviéndose tropical hacia el sur, aunque modificado de manera significativa por las corrientes de agua tales como la corriente del Golfo, los vientos alisios y, en menor medida, la elevación del terreno. La temperatura diaria media anual, en la mayor parte de la región es de unos 23°C, aumentando ligeramente hacia el sur. La precipitación anual es moderada (1.400 mm). Las tormentas tropicales (huracanes) son comunes entre junio y noviembre.

A pesar de que se conservan bosques naturales, gran parte de la vegetación de las tierras bajas se ha eliminado en favor de la agricultura, y la degradación constituye, por lo general, un factor limitante de su productividad.

El patrón de suelo de las diversas islas refleja la interacción entre la litología, el clima tropical y la topografía. Las islas no volcánicas de las Bahamas están caracterizadas principalmente por Regosols y Leptosols poco desarrollados, a menudo arenosos y calcáreos. La formación del suelo en Cuba y Jamaica refleja una historia geológica más compleja, dando lugar a una diversa asociación de tipos de suelo. Cuba quedó como parte del plato tectónico de Norteamérica y cuenta con una amplia variedad de suelos principalmente desarrollados sobre roca caliza. Mientras que Jamaica, La Española y Puerto Rico se mantuvieron en el plato tectónico del Caribe y comparten similares historias geológicas y materiales parentales de sus suelos. En estas regiones bajo clima lluvioso y altas temperaturas se formaron suelos muy evolucionados, profundos y desaturados (Ferralsols, Alisols, y Acrisols). De importancia agrícola por su productividad son los Nitisols, suelos rojos, profundos y ricos en arcilla. Los suelos jóvenes en terrenos frecuentemente erosionados, están representados por Leptosols poco profundos y Cambisols (muy abundantes en Cuba). Los Phaeozems, con capas gruesas ricas en materia orgánica, suelen aparecer en las estribaciones de las cadenas montañosas e indican el desarrollo de suelos relativamente maduros en material coluvial. Los suelos aluviales de las llanuras costeras y de los valles son profundos, de textura franca y ricos en arcilla aluvial, a menudo mal drenados. Estas condiciones, en las que con frecuencia ocurren procesos de hidromorfía, dieron lugar al desarrollo de Vertisols, Gleysols y Fluvisols y a la formación de turba (Histosols). Por último, los Arenosols son suelos de granulometría gruesa y por lo general, de alta permeabilidad y baja capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes.

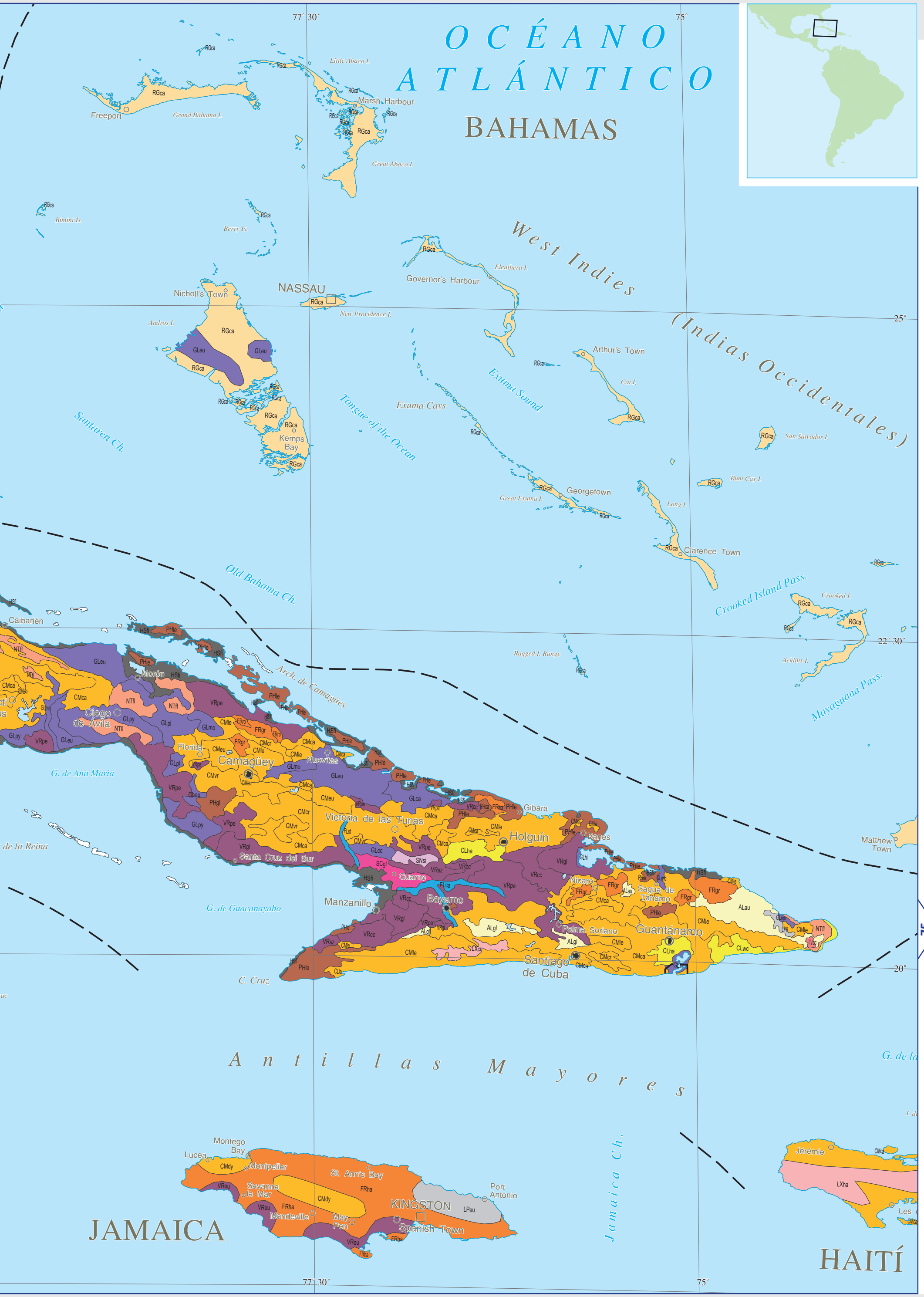
ESCALA 1:2 500 000

1 CENTÍMETRO = 25 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 39,4 MILLAS

0 100 200 km

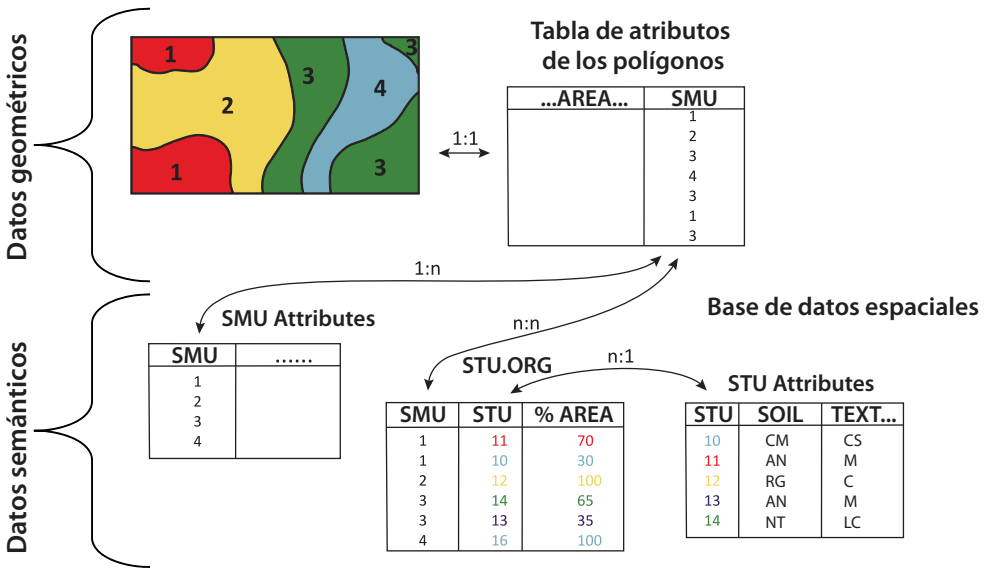
0 50 100 millas

PROYECCIÓN: Lambert Azimuthal


OCÉANO ATLÁNTICO
BAHAMAS
West Indies (Indias Occidentales)
77° 30´
75°
25°
22° 30´
20°
Freeport
Grand Bahama I.
Little Abaco I.
Marsh Harbour
Great Abaco I.
Bimini Is.
Berry Is.
NASSAU
New Providence I.
Nicholl's Town
Andros I.
Governor's Harbour
Eleuthera I.
Arthur's Town
Cat I.
Exuma Sound
Exuma Cays
Tongue of the Ocean
Santaren Ch.
Kemps Bay
San Salvador I.
Rum Cay I.
Georgetown
Great Exuma I.
Long I.
Clarence Town
Crooked Island Pass.
Crooked I.
Acklins I.
Mayaguana Pass.
Ragged I. Range
Old Bahama Ch.
Arch. de Camagüey
Caibarién
Morón
Ciego de Ávila
Florida
Camagüey
Nuevitas
G. de Ana Maria
Victoria de las Tunas
Gibara
Holguín
Banes
Santa Cruz del Sur
Guamo
Manzanillo
Bayamo
Nicaro
Sagua de Tánamo
Guantánamo
Palma Soriano
Santiago de Cuba
C. Cruz
G. de Guacanayabo
Matthew Town
Antillas Mayores
Jamaica Ch.
Montego Bay
Lucea
Montpelier
St. Ann's Bay
Savanna la Mar
Mandeville
May Pen
KINGSTON
Spanish Town
Port Antonio
JAMAICA
Jérémie
HAITÍ
RGca
GLeu
NTfl
HSfi
PHle
CMca
CMeu
CMdy
VRpe
GLpy
GLpl
GLmo
FRgr
ERro
CMcr
CMle
CMvr
VRcc
VRsz
GLcc
SCgl
SNst
FLca
CLha
VRgl
ALau
CLwc
PHgl
VReu
FRha
LPeu
LXha

Mapas de las propiedades del suelo en LAC

En las páginas siguientes se muestra una serie de mapas generales que describen las propiedades más importantes del suelo en LAC. Los mapas han sido elaborados a partir de los datos contenidos en la base de datos SOTERLAC [46, 47]. En ellos se presentan los datos de las propiedades para el tipo de suelo dominante dentro de cada unidad (es decir, el suelo que ocupa el mayor porcentaje de área). Debe considerarse entonces que sólo una parte de la unidad tendrá la característica asignada (a menos que haya un solo tipo de suelo). La escala utilizada en estos mapas (muy pequeña) enmascara inevitablemente las condiciones locales específicas. Sin embargo, los patrones generales regionales son útiles a la hora de representar la situación general de los suelos.

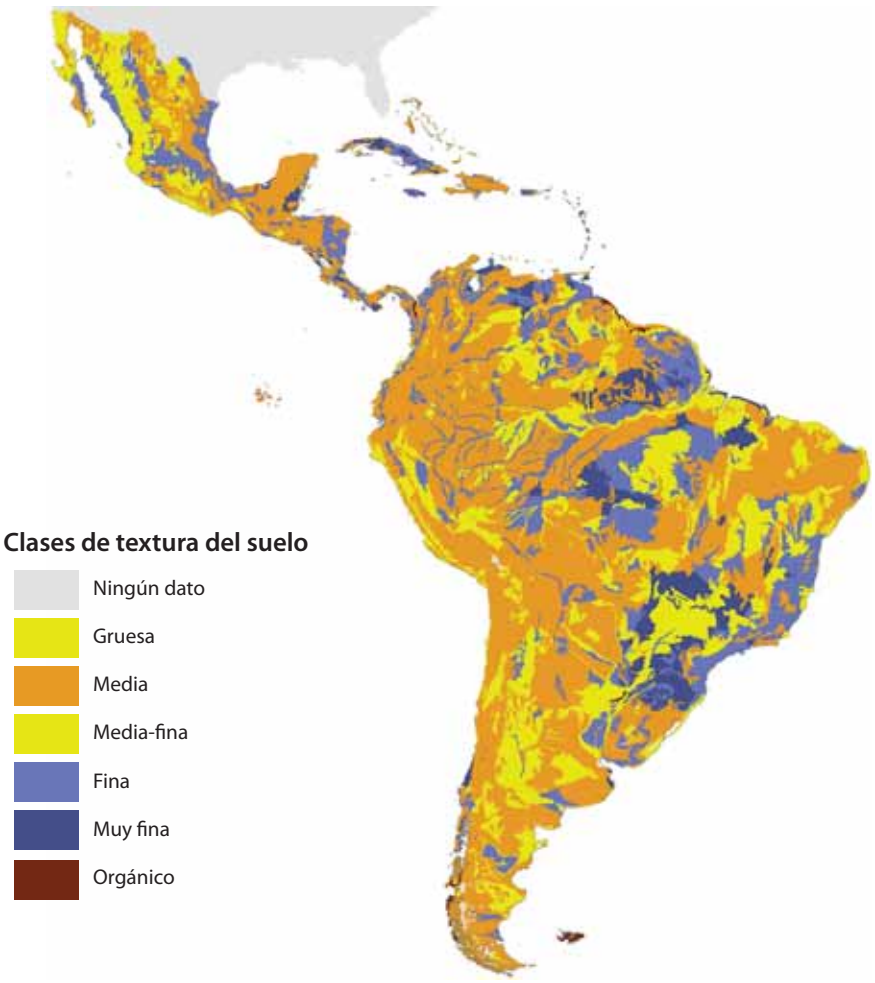


Arriba: el diagrama muestra la relaciones entre las unidades cartográficas (SMU), los tipos de suelos (STU) y las propiedades de los suelos (ej. TEXT para la textura). (JRC)

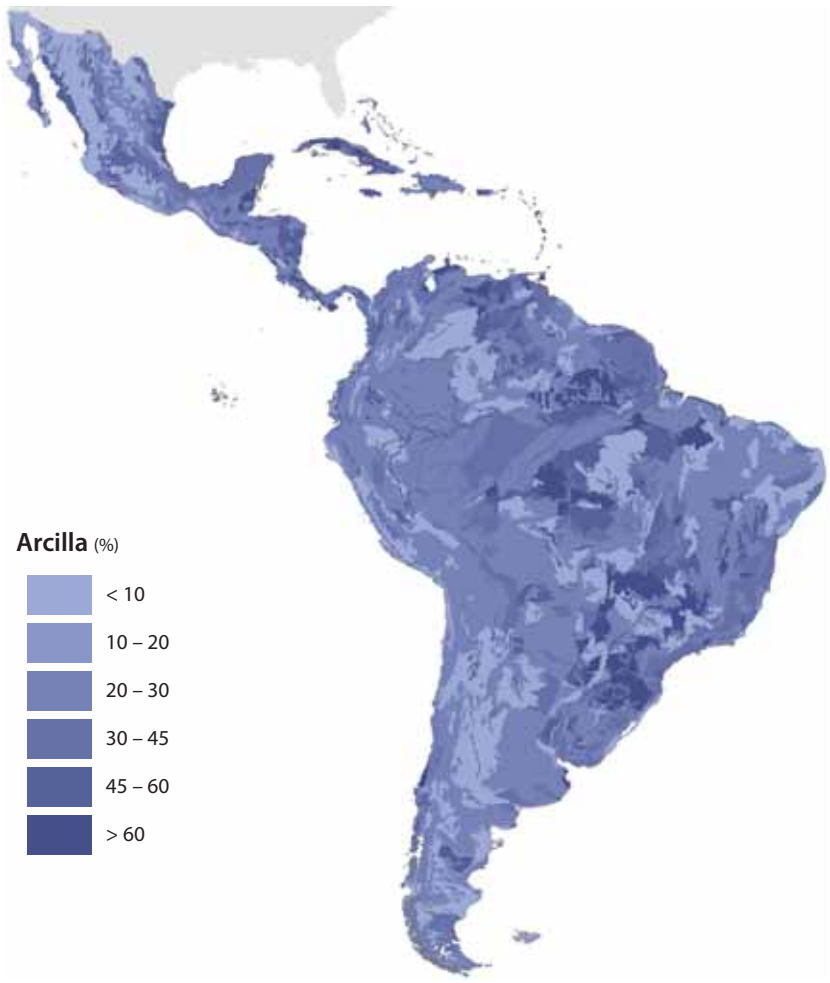
Como se muestra en el mapa, cada unidad cartográfica de SOTERLAC puede contener más de un tipo de suelo. Si bien las ubicaciones geográficas de los distintos tipos de suelo dentro de cada unidad no están definidos, la base de datos almacena información sobre la proporción que cada uno ocupa. Cuando la unidad de asignación se compone de sólo un tipo de suelo, este porcentaje es igual a 100. Cuando hay varios tipos de suelos, entonces la suma de los porcentajes es igual a 100. Las áreas con tonos más claros (como algunas zonas del norte de la Amazonia) presentan un menor número de tipos de suelo por unidad cartográfica, mientras que las más oscuras (como algunas zonas de México) tienen mayor diversidad. Esta variabilidad suele reflejar al mismo tiempo el nivel de levantamiento de suelos en una región. [SOTERLAC] (JRC)

Esta unidad cartográfica está caracterizada por tres tipos de suelo distintos: Acrisol (arriba a la izquierda), Ferralsol (arriba a la derecha) y Leptosol (sobre estas líneas). (JNR)

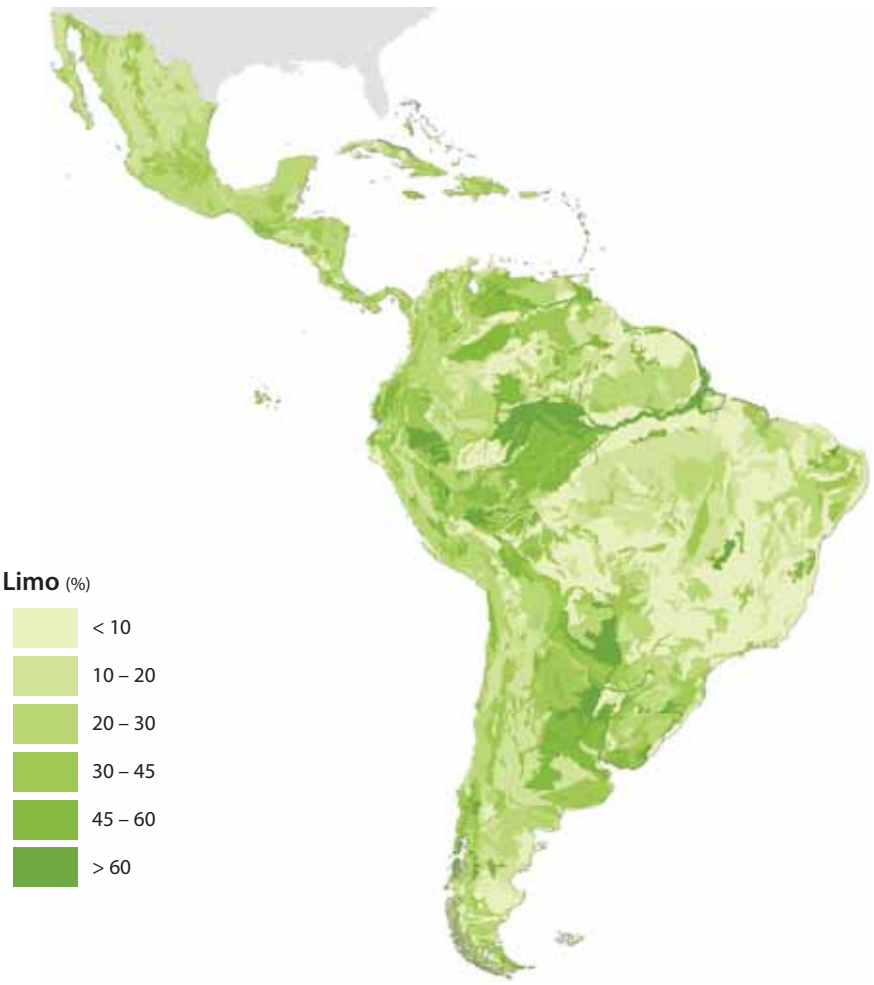
Esta unidad cartográfica está caracterizada por un solo tipo de suelo. Se trata de un Vertisol. (OS)



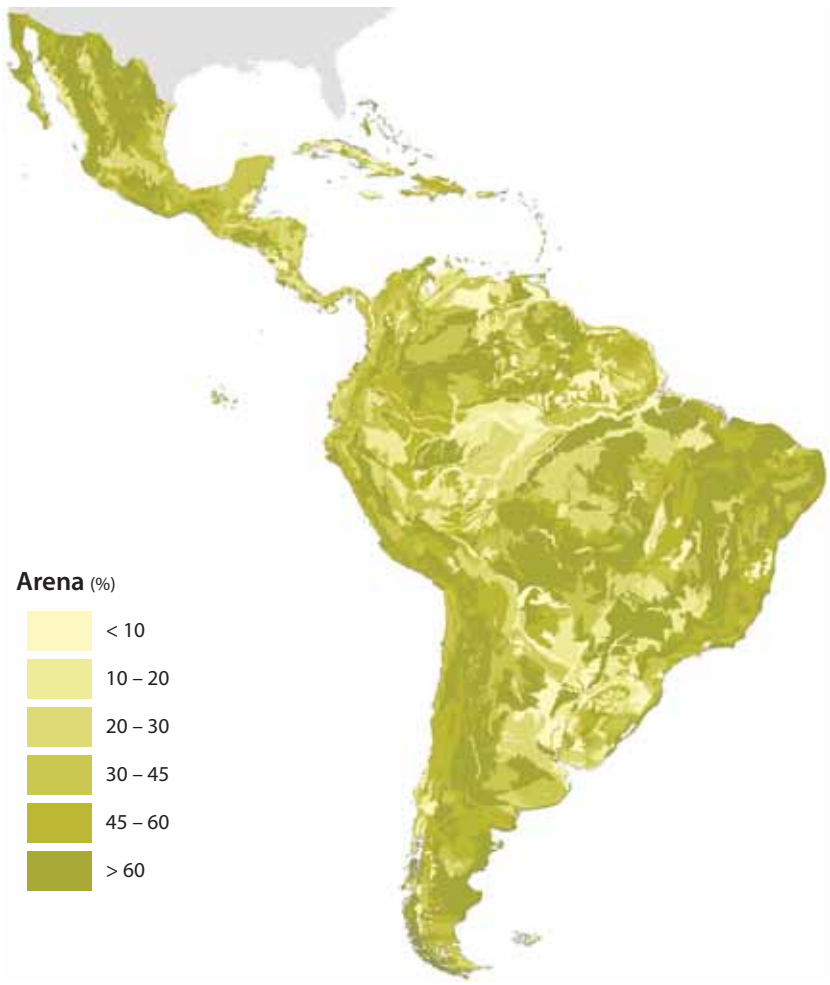
La textura del suelo es una propiedad que se usa para describir la proporción relativa de los diferentes tamaños de grano de las partículas minerales en un suelo. La clase textural del suelo (arena, limo o arcilla) corresponde a un intervalo específico particular de las fracciones separadas y se representa esquemáticamente por el triángulo textura del suelo (ver página 172, "textura del suelo"). Los suelos arenosos tienen una gran proporción de partículas gruesas, mientras que los suelos limosos contienen partículas de tamaño medio y los arcillosos de textura muy fina. [SOTERLAC] (JRC)



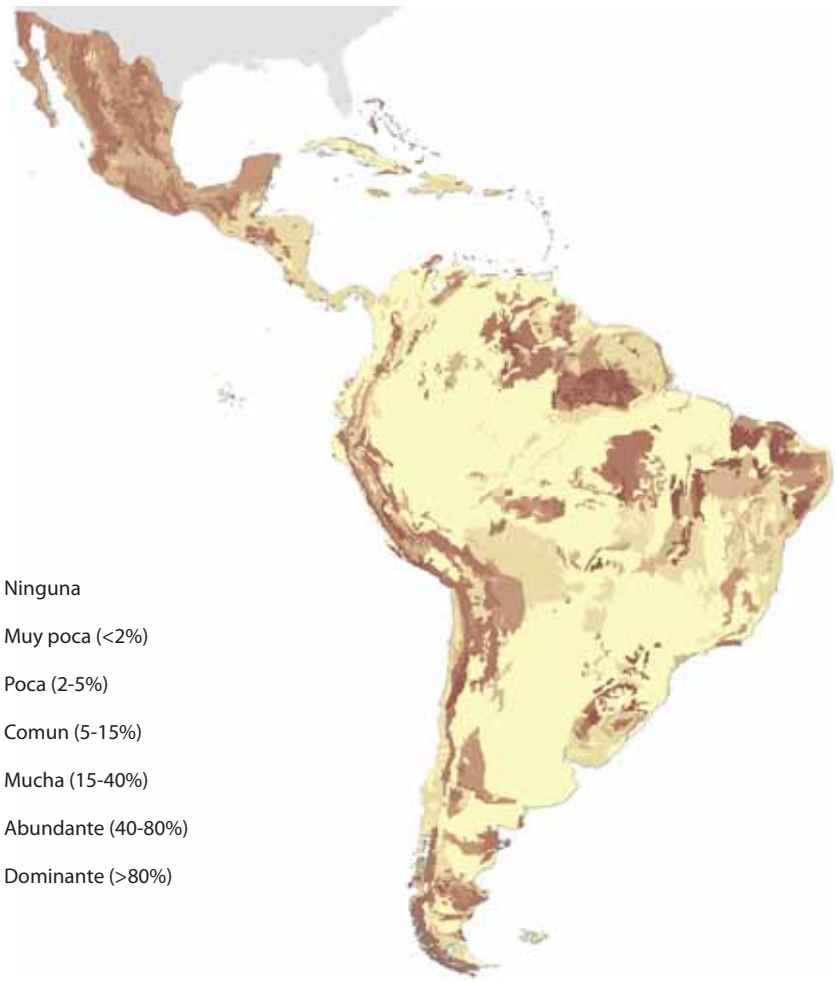
Este mapa presenta la proporción de arcilla (es decir, de partículas minerales de menos de 0,002 mm de diámetro; es necesario un microscopio para poder ver partículas de este tamaño) en la capa superficial del suelo. El suelo se siente suave cuando se frota entre los dedos. En general, un contenido elevado en arcilla es indicador de la meteorización química del material parental (y el transporte asociado). Los suelos ricos en arcilla tienden a contener más nutrientes y debido a su área superficial muy alta puede retener grandes cantidades de humedad. Como resultado, son aptos para la agricultura; sin embargo, pueden ser difíciles de cultivar cuando están húmedos, ya que resultan muy pesados y drenan lentamente. Su dureza cuando se secan por completo también dificulta el laboreo. [SOTERLAC] (JRC)



El mapa muestra la proporción de limo (es decir, partículas minerales de entre 0,002 y 0,0625 mm, según la clasificación de la FAO). Está formado por partículas demasiado pequeñas para apreciarse a simple vista. Es el resultado de la meteorización mecánica de la roca, a diferencia de la erosión química que da lugar a las arcillas. Esta transformación mecánica puede deberse a la abrasión eólica (provocada por el movimiento de las partículas arenosas por el viento) o a la acción del agua sobre las rocas en el lecho de ríos y arroyos. Los suelos con una elevada proporción de limo son buenos para desarrollar actividades agrícolas, debido a los elevados niveles de nutrientes disponibles y a la capacidad de retención del agua en los espacios entre las partículas. También resultan fáciles de cultivar aunque son muy propensos a la erosión. [SOTERLAC] (JRC)



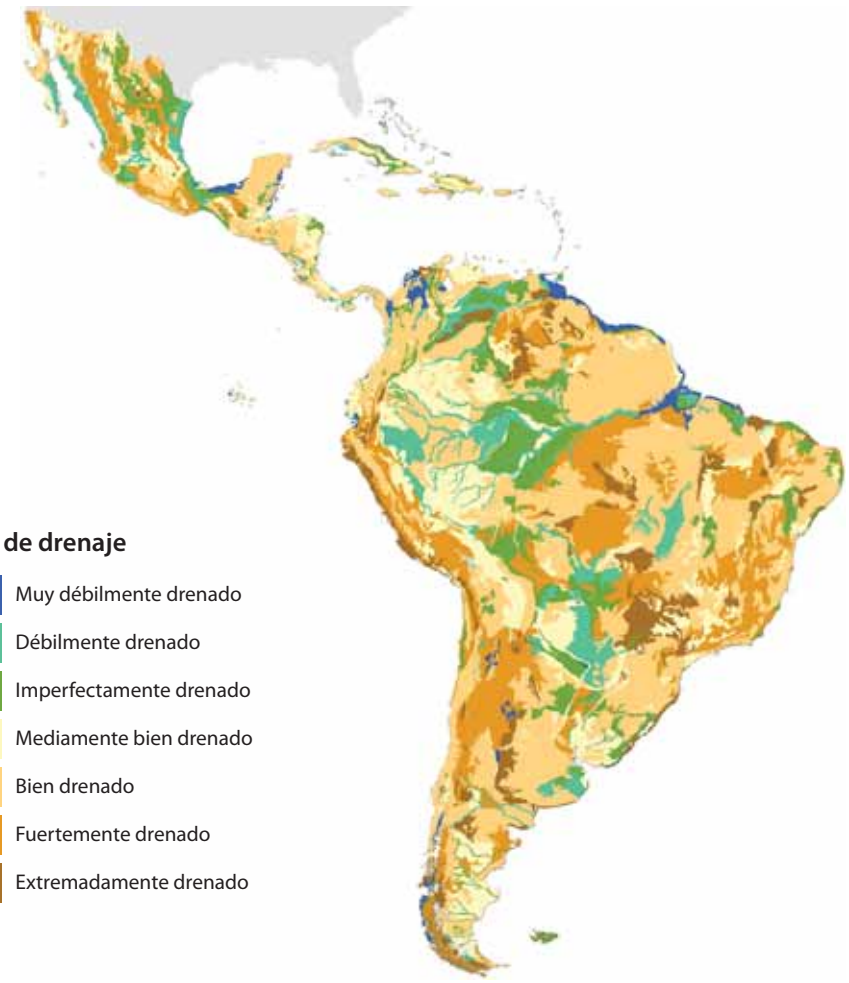
El mapa muestra la proporción de arena (es decir, las partículas minerales de tamaño entre 0,0625 y 2,0 mm de diámetro) de la capa superior del suelo. Los granos de arena de cuarzo se suelen apreciar a simple vista. Los suelos arenosos son muy fáciles de trabajar, pero en general tienen pocos nutrientes y una baja capacidad de retención de agua, lo que los hace muy propensos a la sequía. Como resultado de la gran cantidad de espacios entre los granos de arena, este tipo de suelos drena con facilidad. Existe cinco sub-categorías de arenas en función del tamaño de las partículas que las forman: arena muy fina, arena fina, arena media, arena gruesa y arena muy gruesa. El mapa de arriba destaca los desiertos (Arenosols) y los Ferralsols con arenas de tipo más grueso de los trópicos. [SOTERLAC] (JRC)



Grava

- Ninguna
- Muy poca (<2%)
- Poca (2-5%)
- Comun (5-15%)
- Mucha (15-40%)
- Abundante (40-80%)
- Dominante (>80%)

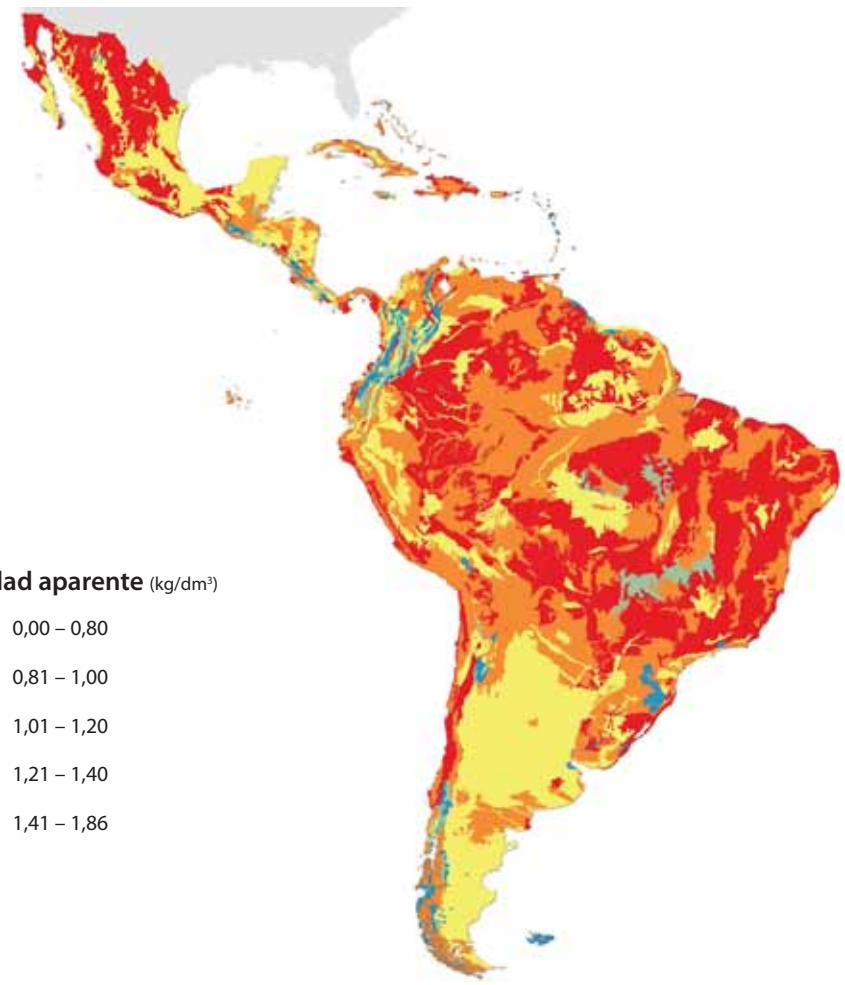
La grava se compone de fragmentos redondeados o angulares de roca entre 2 mm y 6 cm de diámetro. Es un indicador de la pedregosidad del suelo. Un alto contenido en grava puede ser señal de la cercanía a la superficie del material parental. Algunas formas de agricultura (viñedos, por ejemplo) se dan con preferencia sobre suelos de grava, sin embargo, una alta proporción de piedras en la matriz del suelo no es de interés para el uso agrícola debido a los bajos niveles de retención de agua y nutrientes. El contenido de grava es generalmente más alto en las zonas montañosas (las sierras mexicanas, Guayana, las sierras brasileñas y los Andes) y donde la erosión selectiva favorece la acumulación de grava en los horizontes superficiales de los suelos. [SOTERLAC] (JRC)



Clases de drenaje

- Muy débilmente drenado
- Débilmente drenado
- Imperfectamente drenado
- Mediamente bien drenado
- Bien drenado
- Fuertemente drenado
- Extremadamente drenado

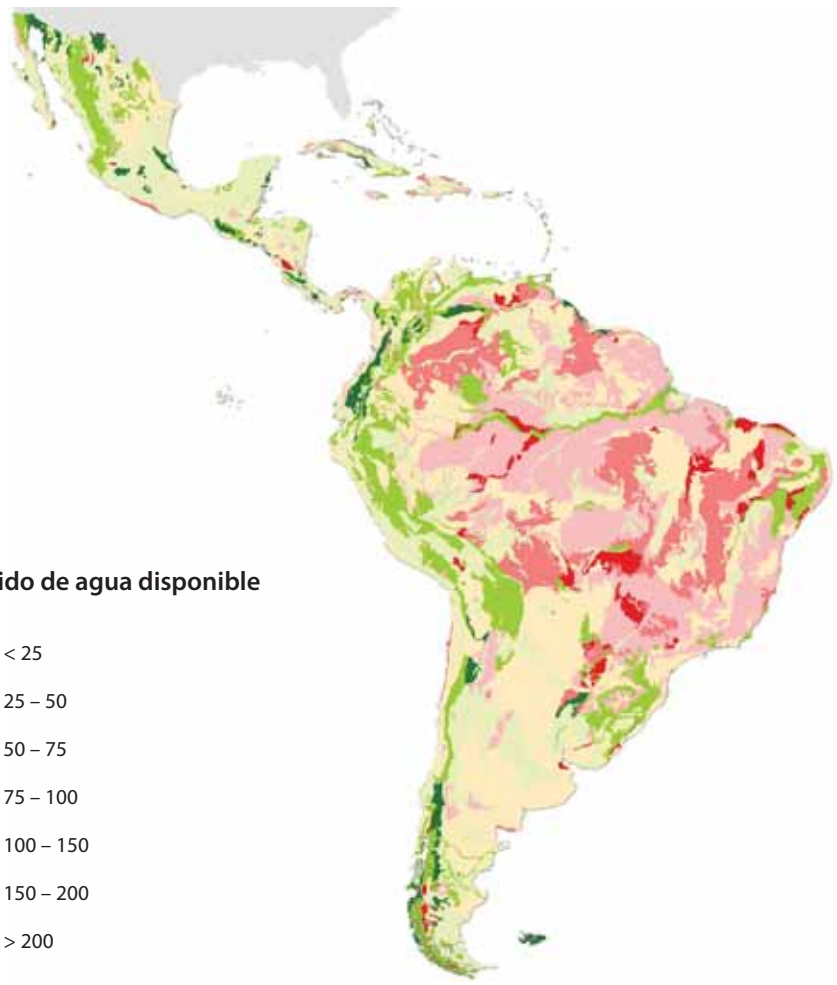
La clase de drenaje se refiere a la frecuencia y duración de los periodos de saturación total o parcial de agua en el suelo. Estas clases van desde"extremadamente drenado", donde el agua se elimina del suelo muy rápidamente (suelos rocosos o superficiales, a menudo en pendientes pronunciadas) a "muy débilmente drenados", en los que el agua se elimina del suelo tan lentamente que una parte se mantiene en la superficie o cerca de ésta durante la mayor parte de la temporada de crecimiento (para elaborar este mapa se utilizaron las clases de drenaje de FAO). Los suelos muy drenados no tienen suficiente capacidad de retención de agua para sustentar cultivos, mientras que en los suelos poco drenados (excepto en aquellos drenados artificialmente), la limitación para el cultivo viene dada por la falta de oxígeno en la zona de la raíz. [SOTERLAC] (JRC)



Densidad aparente (kg/dm³)

- 0,00 – 0,80
- 0,81 – 1,00
- 1,01 – 1,20
- 1,21 – 1,40
- 1,41 – 1,86

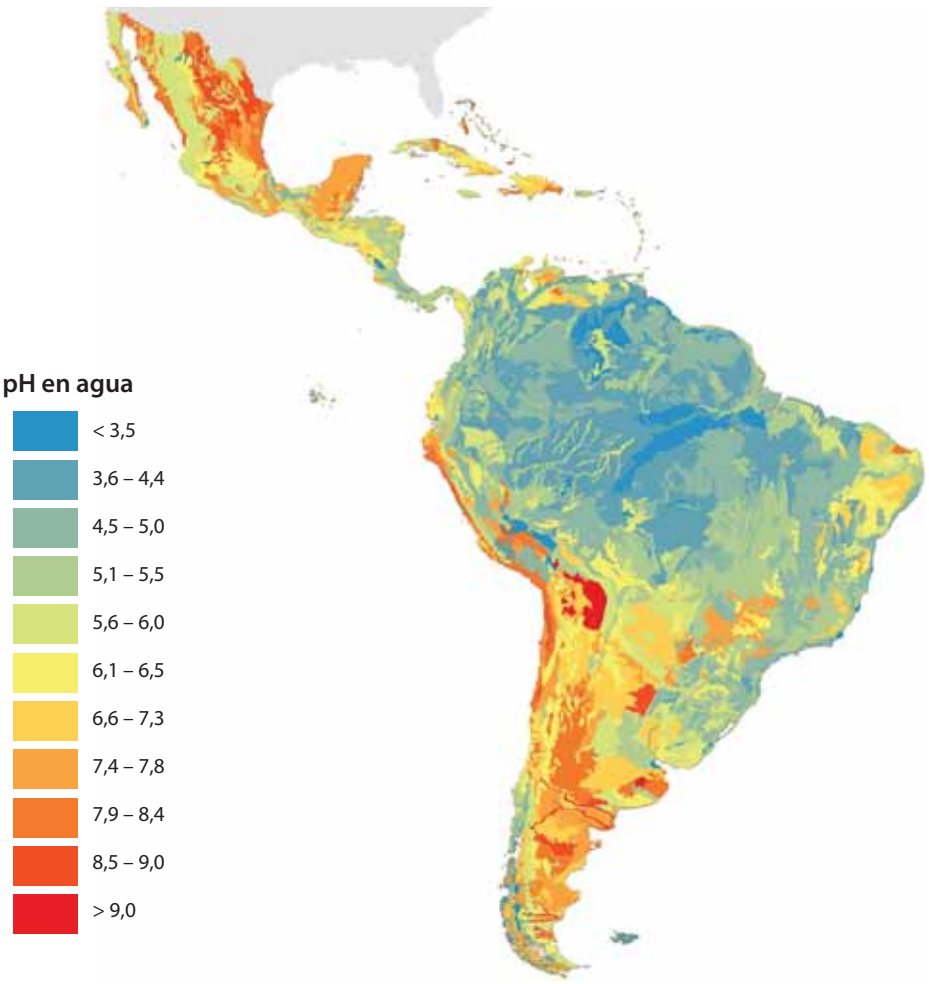
La densidad aparente es una medida del peso del suelo por unidad de volumen (por ejemplo kg/cm³). Las variaciones en este parámetro del suelo dependen del grado de compactación, propiedad directamente relacionada con la porosidad. La mayoría de los suelos minerales tienen densidades aparentes entre 1 y 2 kg/cm³, mientras que los suelos con alto contenido de materia orgánica pueden tener una densidad aparente muy por debajo de 1. Esta propiedad del suelo es un indicador de la resistencia del mismo a la compactación y un parámetro crítico en el cálculo del contenido de carbono orgánico del suelo. Los valores altos limitan el crecimiento de las raíces, la infiltración y favorecen niveles bajos de oxígeno. Generalmente existe una relación inversa entre la densidad aparente y el contenido en carbono orgánico (ver mapa de la distribución del carbono orgánico, página 137). Los suelos con valores más altos de densidad corresponden a los suelos con meteorización más intensa, como Ferralsols, Acrisols o Plinthosols. [SOTERLAC] (JRC)



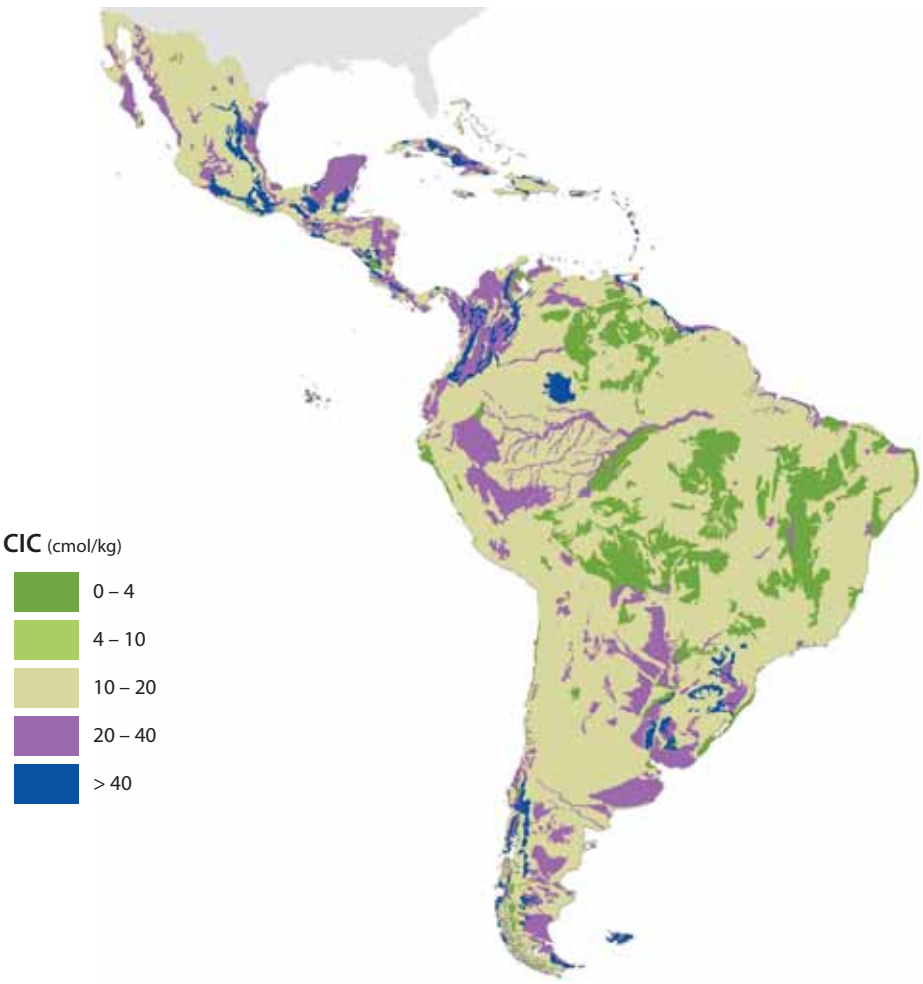
Contenido de agua disponible
(mm/m)

- < 25
- 25 – 50
- 50 – 75
- 75 – 100
- 100 – 150
- 150 – 200
- > 200

El concepto de agua disponible expresa la cantidad de agua que un suelo puede almacenar. Se define como la diferencia entre la cantidad de agua contenida en el suelo y la cantidad de agua existente cuando se alcanza el punto de marchitamiento (es decir, la cantidad mínima de agua necesaria para que una planta no se marchite). Se suele expresar en milímetros de agua por metro de suelo. El contenido en agua disponible es indipendiente de las condiciones climáticas; está sólo determinado por la textura y estructura. La materia orgánica favorece el almacenamiento de agua: un incremento del 1% en el contenido de materia orgánica aumenta aproximadamente en un 1,5% la capacidad del suelo para retener, almacenar y liberar agua de manera paulatina para que sea absorbida por el sistema radicular de las plantas. [SOTERLAC] (JRC)



El pH es una designación numérica de la acidez o alcalinidad en el suelo (ver página 11). Un pH de 7 se considera un valor neutro, mientras que los valores inferiores son catalogados como ácidos y los superiores como alcalinos o básicos. Es un parámetro fundamental del suelo, ya que controla muchos procesos químicos, como aquellos relacionados con la disponibilidad de los nutrientes necesarios para los vegetales. El intervalo de pH óptimo para la mayoría de las plantas está entre 6 y 7,5, sin embargo muchas especies han desarrollado adaptaciones para crecer en suelos con valores fuera de este rango. Los suelos ácidos se encuentran fundamentalmente en las zonas con altas precipitaciones, donde los cationes básicos más móviles son lixiviados (lavados) del suelo, aumentando los niveles de los cationes Al^{3+} y H^{+}. Los suelos alcalinos se caracterizan por la presencia de sales solubles. La aplicación de cal a los suelos ácidos puede aumentar los valores de pH y permitir el cultivo de especies que de otra manera no se podrían cultivar. [SOTERLAC] (JRC)



La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la cantidad total de cationes intercambiables que se pueden almacenar en el suelo. Es un indicador del contenido en nutrientes; el aumento del contenido de materia orgánica de un suelo está directamente relacionado con la CIC. Los iones positivamente cargados de elementos tales como calcio, aluminio, potasio y sodio que se unen a las partículas del suelo con carga negativa, pueden ser reemplazados (es decir, intercambiados) por cationes de hidrógeno en la solución del suelo. Una vez en la solución, el nutriente está disponible para las plantas. Los suelos con baja CIC no pueden almacenar nutrientes; muchos suelos arenosos tienen valores de CIC inferiores a 4 cmol/kg. Los valores superiores a 10 cmol/kg se consideran satisfactorios para la mayoría de los cultivos. Los Vertisols y los suelos ricos en carbono orgánico se caracterizan por altos valores de CIC. [SOTERLAC] (JRC)

El contenido de sales de un suelo se puede estimar a partir de su conductividad eléctrica (expresada en dS/m). Un suelo puede ser rico en sales a causa del material original que lo formó o por la inundación en las zonas bajas costeras (agua de mar). En climas cálidos, el agua subterránea salada puede llegar a las capas superiores del suelo. La mayoría de las especies vegetales no se desarrolla bien en suelos salinos, en especial las cultivadas, aunque existen especies adaptadas a estos ambientes. Algunos cultivos, como la mayoría de los árboles frutales, acusan el contenido en sal a partir de valores bajos como 2 dS/m, mientras que otras plantas son más tolerantes (por ejemplo, las espinacas o la remolacha, y en general la subfamilia *Chenopodioideae*), soportando valores de 16 dS/m. Muchas de las zonas con suelos salinos de LAC se encuentran en cuencas endorreicas, donde el agua no tiene salida fluvial hacia el mar. Es el caso del salar del Huasco y del salar de Uyuni. [SOTERLAC] (JRC)

El carbonato de calcio es una sal cuya fórmula química es $CaCO_3$. Es el principal componente de las conchas de los moluscos marinos. En agricultura, es el ingrediente activo de las enmiendas calizas y la causa principal del agua calcárea o "dura". El carbonato de calcio es bastante común en el suelo, especialmente en áreas más secas. Cuando se presenta en niveles bajos, mejora la estructura del suelo y es en general beneficioso para la producción de los cultivos, pero en concentraciones más altas puede inducir deficiencia de hierro y, si se cementa, limitar la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos. [SOTERLAC] (JRC)

Elaboración de los mapas de suelos del Atlas

Los Sistemas de Información Geográfica y la Base de Datos Mundial Armonizada sobre Suelos

¿Qué es un Sistema de Información Geográfica?

Los mapas que aparecen en este atlas han sido creados gracias a una tecnología denominada Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, del inglés Geographic Information System).

Un SIG se puede definir como un sistema informático para la realización de análisis geográficos. Consta de diversos componentes: un subsistema de entrada, para convertir mapas y otros datos espaciales a formato digital; otro para el almacenaje y recuperación de la información; otro para la realización de análisis espaciales; y un último para la obtención de productos (tablas, mapas y respuestas a los problemas planteados). Las coordenadas de latitud y longitud, las regiones administrativas, los cuerpos de agua y los núcleos urbanos, son distintas formas de aportar información a una ubicación en particular; estos elementos están "georreferenciados", lo que diferencia a un SIG de los programas de diseño asistido por computadora (CAD, de su acrónimo en inglés Computer Aided Design), ya que estos últimos almacenan la información en elementos situados en un espacio abstracto.

Los distintos elementos como carreteras, ríos, tipos de suelo o puntos de evaluación de la calidad del agua, se representan en un SIG de forma digital en forma de puntos, líneas (arcos), polígonos (áreas) o celdas (cuadrícula).

La información descriptiva o atributos de los objetos (p. ej. nombres, propiedad, profundidad, tipo de suelo) pueden asociarse con los datos geográficos. Esta información "descriptiva" se suele almacenar en forma de tablas en una base de datos, la cual está asociada a los datos geográficos o mapa mediante un identificador común.

La mayoría de los datos espaciales se puede convertir de un sistema de coordenadas a otro, por lo que, mediante un SIG, se pueden integrar datos procedentes de varias fuentes. De esta manera una base de datos mundial sobre perfiles de suelos, en la que se ha utilizado la longitud y la latitud para marcar los puntos de muestreo, se podría combinar con datos de suelo compilados en mapas con sistemas de coordenadas distintos (a nivel nacional, por ejemplo).

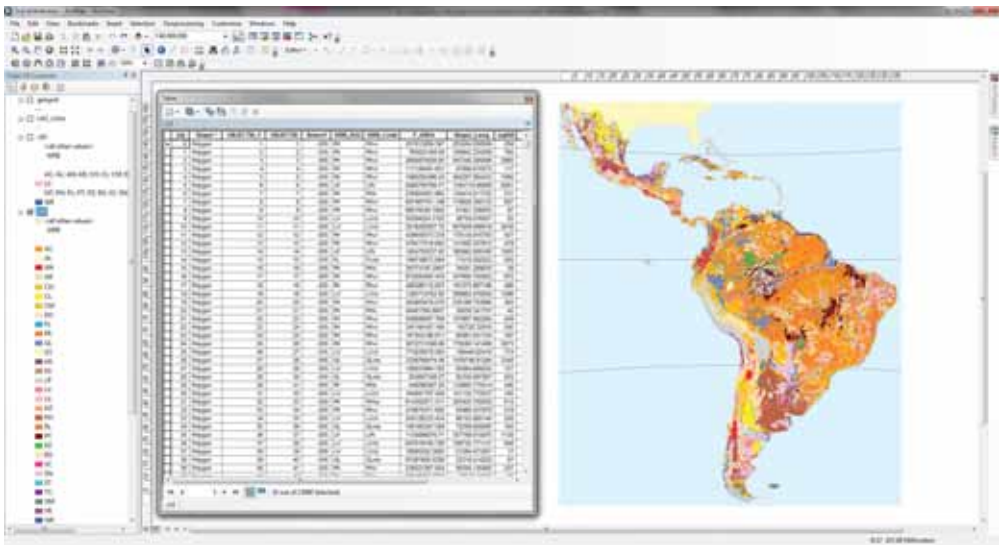
Los datos espaciales y sus atributos asociados en el mismo sistema de coordenadas pueden examinarse al mismo tiempo y superponerse uno a otro para crear mapas.

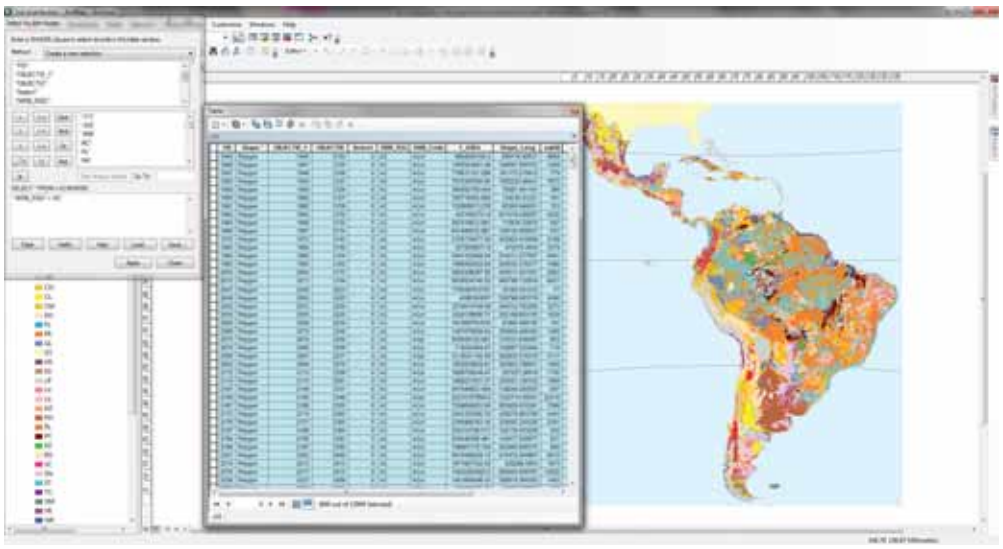
También existe la posibilidad de realizar análisis altamente complejos si se cuenta con datos suficientes y de calidad. Así, por ejemplo, si se cuenta con un volumen suficiente de información, se puede responder a preguntas como: "¿qué sucedería si ...un suelo arenoso sufriera un derrame de sustancias contaminantes?", "¿En qué lugares ...aparecen Podzols cerca de tierras arables?" o "¿Existe un patrón ...que rija los corrimientos de tierra en un parque nacional?" es sólo posible si se posee un gran volumen de información. Un ejemplo de una cuestión más compleja sería el evaluar el potencial de riego a partir de la selección de aquellos terrenos que cumplan las siguientes condiciones: estar situados en regiones semiáridas, tener suelos potencialmente fértiles, ser un terreno llano y estar situado a menos de 200 m de una fuente de agua.

Una de las claves de un SIG es el componente humano. Es fundamental contar con personal con buenos conocimientos de análisis espacial y experto en el uso del software.

El uso de los SIG cada vez está más generalizado. En sus inicios, se desarrollaron como herramienta de investigación al servicio de los departamentos de Geografía de las universidades, pero con el paso del tiempo se han ido incorporando también a la gestión de instalaciones (p. ej. tuberías, cables eléctricos), marketing y ventas (p. ej. optimizar la localización de una tienda según necesidades del cliente), gestión militar (p. ej. mapas de campos de batalla, reconocimiento del terreno), medio ambiente (p. ej. predicción de inundaciones, riesgo de erosión, incendios forestales), transporte (p. ej. rutas, mediciones de ruido), salud (p. ej. relación entre ciertas enfermedades y factores sociales o medioambientales), entre otros.

Los mapas de este atlas se han creado con un software de SIG denominado ArcGIS, desarrollado por ESRI Inc. (Redlands, California).





Arriba: ejemplos de visualización y consulta de la base de datos SOTERLAC. A modo de ejemplo, en la segunda captura de pantalla están seleccionados todos los Acrisols (en azul, tanto en la tabla de atributos como en el mapa). (JRC)

Para más información sobre datos espaciales y SIG se pueden consultar los siguientes sitios web (en inglés):

http://www.gis.com

http://www.geo.ed.ac.uk/home/giswww.html

http://www.usgs.gov

Actualización de la base de datos SOTERLAC para América Latina y el Caribe (versión 2.0)

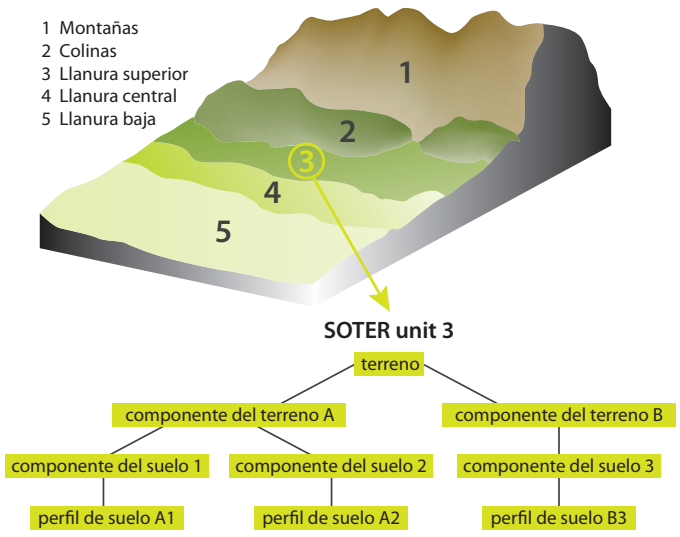
La base de datos de suelo SOTERLAC (del inglés, Soil and Terrain database for Latin America and the Caribbean) versión 2.0 (escala 1:5.000.000), sustituye a la antigua versión 1.02. La base topográfica de este mapa ha sido modificada para adaptarla mejor al Mapa Digital del Mundo (WDC, World Digital Chart). Además, la base de datos de atributos incluye todas las características de los pedones (unidades de suelo) considerados a una escala 1:1.000.000.

La antigua versión 1.02 de SOTERLAC (1: 5.000.000) se presentó en 1998 [45] y fue el resultado de un esfuerzo conjunto de las Naciones Unidas (a través de su Programa para el Medio Ambiente, PNUMA, y de la Organización para la Alimentación y la Agricultura, FAO), el instituto ISRIC (Información Mundial del Suelo) y el Centro Internacional de la Papa (CIP), entre 1993 y 1997. Fue el primer ejemplo de una base de datos de suelo y terreno realizada con un SIG utilizando la metodología SOTER1 [46, 47] a escala continental. También se desarrolló un programa para la visualización de mapas temáticos, así como la versión 1.02 de la base de datos SOTER. El mapa topográfico que se utilizó como base se asemeja a la hoja de América Latina del Mapa de Suelos del Mundo [48, 49]. Este mapa base, sin embargo, no es totalmente compatible con los mapas de otros continentes. En la versión 2.0 de SOTERLAC dicho mapa se sustituyó por el Mapa Digital del Mundo, a escala 1:1.000.000 [50, 51], el referente topográfico para todos los mapas de SOTER.

Las distintas capas aportan información sobre la topología, la ubicación y la extensión de las fronteras nacionales, costas, ríos, sistemas de drenaje y lagos. Desde la aparición de SOTERLAC 1.02, se han reportado observaciones y una serie de errores e inconsistencias de la base de datos, como por ejemplo unidades SOTER que no representaban correctamente la forma del terreno o suelos en una región en particular, o composiciones de suelo incorrectas o incompletas. Estas incoherencias han sido subsanadas en la nueva versión. Además se han incorporado nuevas unidades SOTER, junto con perfiles nuevos e información adicional sobre Brasil y Puerto Rico. Otro aspecto a destacar sobre los archivos de datos de SOTERLAC 1.02 es que estos podían almacenar un número muy limitado de atributos para los perfiles representativos [47], lo que restringía los posibles usos de la base de datos, concretamente en lo que se refiere a disponer de información específica de un suelo (p.ej. la capacidad de intercambio catiónico). Por estas razones, la actualización de SOTERLAC comenzó en 2004 con la incorporación de datos de perfiles adicionales representativos, utilizando la estructura de la base de datos SOTER 1:1.000.000 [46]. Actualmente la intención de ISRIC es restaurar la información de los perfiles país por país. En la presente versión, se han renovado los datos de Brasil, Perú y Puerto Rico, lo que supone aproximadamente un tercio de los perfiles de la base de datos.

La base de datos SOTERLAC y la documentación correspondiente pueden descargarse desde el sitio web de ISRIC:

http://www.isric.org/projects/soter-latin-america-and-caribbean-soterlac



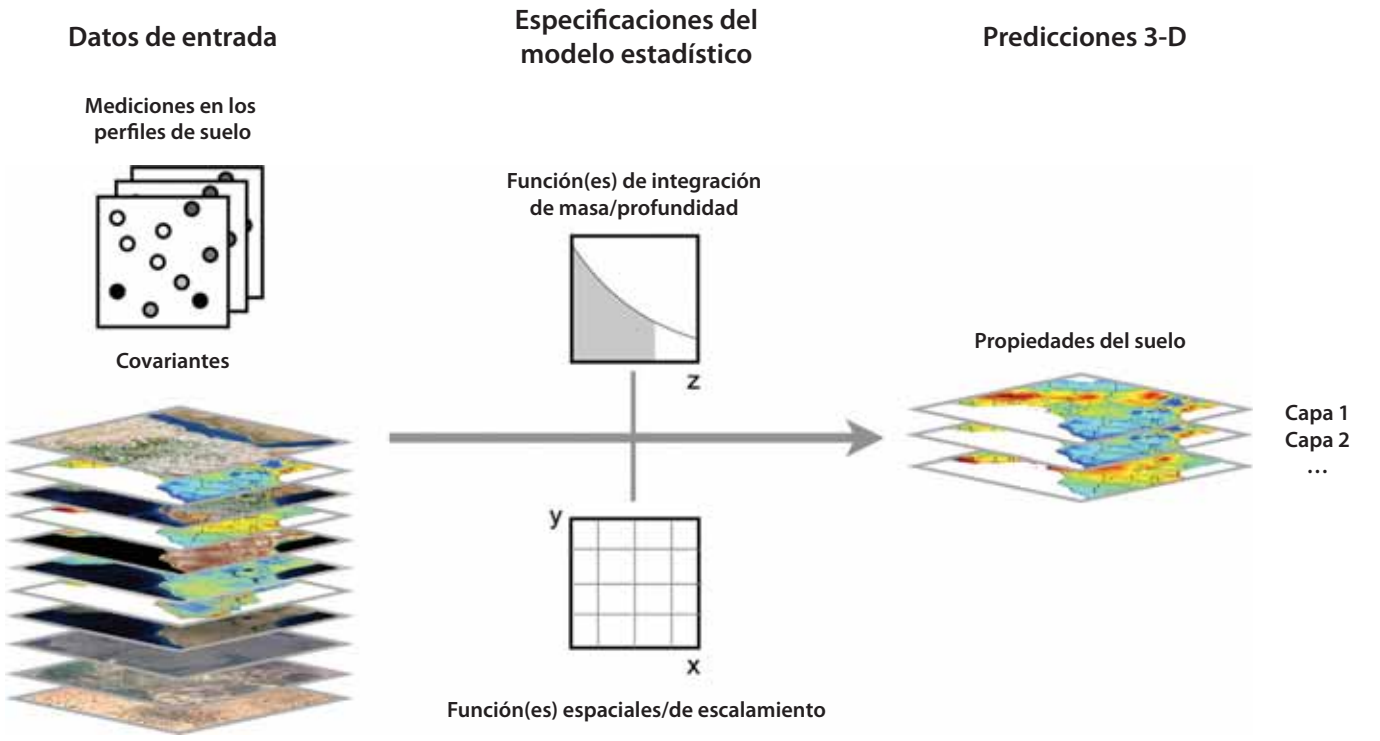
Estructura de la base de datos utilizada en SOTERLAC. (ISRIC)

La cartografía digital de suelos

Los mapas de suelos que aparecen en este atlas son el resultado del procedimiento tradicional de levantamiento de suelos. Este proceso implica la delineación manual de los límites de los suelos a cargo de los edafólogos a partir de las muestras recolectadas en el campo y de la comprensión de la relación entre el paisaje y el material geológico de base. Sin embargo, esta metodología demanda muchos recursos, tanto humanos como económicos y de tiempo. En los últimos años, la atención se ha centrado en las posibilidades que ofrece la cartografía digital de suelos (DSM, del inglés Digital Soil Mapping), también conocida como correlación predictiva o pedometría. La DSM utiliza modelos geoestadísticos para predecir las propiedades del suelo y las presiones de degradación en lugares no observados del paisaje, en un periodo de tiempo notablemente menor que el necesario para realizar los levantamientos de suelo convencionales [52]. Un mapa digital de suelos consiste en una base de datos espacial que recoge diversas propiedades del suelo. Estas propiedades se basan en una elaboración estadística a partir de un número limitado de muestras, que permite la interpolación o la predicción de las propiedades del suelo para áreas de las que no se tienen datos directos. Dichos enfoques estadísticos difieren entre sí tanto en el grado de realismo que supone su representación de la realidad como en la complejidad de los cálculos que aplican: desde las técnicas geoestadísticas (p. ej., la regresión de Kriging, co-simulación, etc), hasta las herramientas más recientes, basadas en modelos jerárquicos, ecuaciones de estimación generalizadas, modelos aditivos, cadenas de Markov o simulaciones de Monte Carlo.

Las predicciones están fuertemente condicionadas por la relación entre las condiciones del suelo en las posiciones conocidas y los conjuntos de datos asociados como covariables. Estas covariables incluyen datos de reflectancia e información derivada de imágenes de satélite (p. ej. el albedo o la cubierta vegetal), modelos digitales del terreno y condiciones climáticas (por ejemplo: la humedad del suelo, la temperatura anual). Este enfoque moderno consiste en aplicar el modelo clásico de Jenny de la formación del suelo, el cual establece que una condición del suelo es una función de un número de factores (clima, organismos, relieve, material parental, tiempo y otros factores de importancia histórica, si es el caso. Ver página 15).

La hipótesis básica que sustenta la cartografía digital de suelos es que, una vez se conoce la distribución espacial de estos factores, pueden deducirse geográficamente las propiedades específicas del suelo y su situación, teniendo en cuenta sus interrelaciones con los demás elementos del paisaje. Un aspecto clave de la DSM son los estados de incertidumbre, ya que informan sobre la fiabilidad de las estimaciones de las propiedades del suelo realizadas.

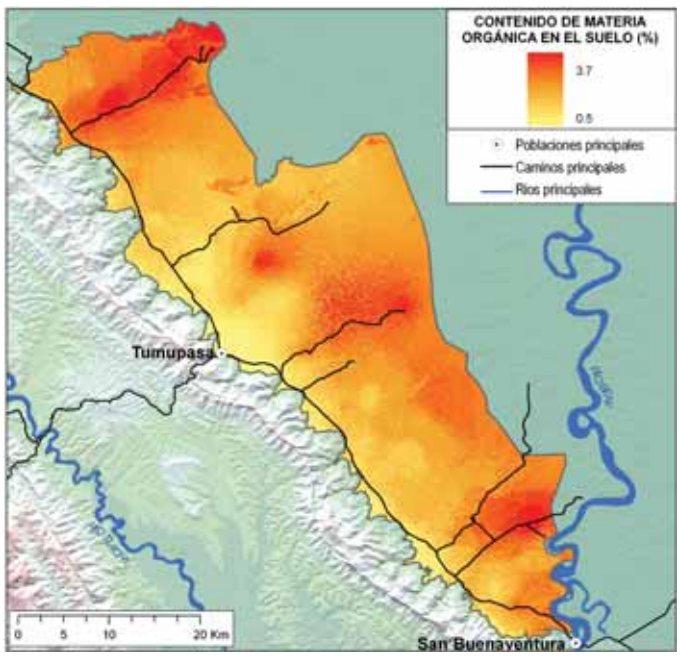


Arriba: representación esquemática de la cartografía digital de suelos. Las características del suelo en lugares conocidos se combinan con conjuntos de datos asociados (covariables) para, a través de modelos estadísticos, extrapolar las propiedades del suelo a zonas de las que no hay datos. Una de las múltiples ventajas de la de cartografía digital de suelos es la capacidad de elaborar rápidamente mapas con una evaluación cuantitativa de precisión. Sin embargo, pueden producirse errores en caso de que el modelo no pueda explicar de manera precisa el parámetro en cuestión, es decir, si los datos de entrada no son fiables. (AfSIS)

La cartografía digital del suelo en LAC

El uso de esta tecnología no es común en LAC. Se utiliza principalmente en el campo de la agricultura de precisión en países como Brasil, Chile y Argentina. Asimismo, algunos centros de investigación comenzaron a utilizar la cartografía digital de suelos, en el marco de políticas de investigación y desarrollo, en países como Argentina (INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Bolivia (Universidad Mayor de San Simón), Brasil (Embrapa-Solos), Chile (compañías privadas), Venezuela (Universidad Central de Venezuela).

Su uso principal en la región ha sido la generación de cartografía cuantitativa de las propiedades del suelo (contenido de arcilla, arena y limo, contenido de carbón orgánico y otras propiedades en relación con la fertilidad del suelo). A continuación se muestra un ejemplo de la aplicación de la cartografía digital del suelo en Bolivia. En el caso boliviano, se utilizó la cartografía digital para generar datos e información cuantitativa sobre el estado actual de los suelos en el municipio de San Buenaventura, con el fin de evaluar su potencial para el cultivo de caña de azúcar bajo diferentes escenarios de gestión. El mapa de la derecha muestra el contenido de materia orgánica en la parte superior de los suelos de la zona de estudio.



Aplicación de cartografía digital del suelo para la estimación del contenido en carbono orgánico en un área de Bolivia. (RV)

Estado de la información de suelos en LAC*

País	Mapas de suelos
Argentina	Mapa nacional de suelos 1:2.500.000 Cobertura parcial a 1:500.000 (18% del territorio)
Bolivia	Levantamientos desde la década de 1980. Mapas de suelos en general para Ordenación Territorio: 1:250.000 para departamentos y 1: 50.000 para municipios (completados 110 de 327, georreferenciados). En algunos departamentos, proyectos de cooperación internacional para hacer bases de datos, SIG y perfiles asociados.
Brasil	Cartografía exploratoria a 1: 6.000.000 hasta la década de 1980. Algunas zonas con más detalle (<1:50.000). Mapa de suelos a 1: 5.000.000 para todo el país. Algunos estados, además a escalas mayores.
Chile	Cobertura de aproximadamente el 70% del país. Las zonas agrícolas totalmente cubiertas a 1: 20.000 (digital). Algunas zonas a 1: 10.000 (digital). Entre los años 1950 y 1970 se hizo cartografía a escala 1: 500.000 y 1: 50.000
Colombia	Todo el país a 1:500.000 y 1:100.000.
Costa Rica	Cobertura incompleta y digitalización parcial: 20% del país en Espacios Naturales Protegidos, sin ningún tipo de estudios o cartografía. Poca información también de clases de suelos sin valor agrícola. Para el resto: suelos y capacidad usos suelo 1:200.000 (años 90), digitalizado en parte. Algunas regiones a 1: 50.000 (digital).
Cuba	En 1990, mapa nacional a 1: 25.000 a partir de más de 73.000 perfiles. En proceso de digitalización.
Ecuador	Variable según regiones: Serranía a 1:50.000, Costa 1:200.000, Amazonia 1:500.000 Existen mapas a escala nacional para diferentes variables (por ejemplo: contenido en materia orgánica, pH, profundidad, textura)
El Salvador	Mapas digitales sobre usos del suelo o clases de tierra, entre otros.
Guatemala	Mapa taxonómico y de capacidad de uso a 1: 50.000 en proceso. Cobertura menor del 10%.
Honduras	1962: mapa parcial a 1: 250.000. 1995: mapa capacidad de uso agrícola 1 : 50.000. En proceso digitalización. Mapa suelos en base a éste, en proceso de elaboración.
México	1:250.000, completada en el 2007. En formato digital tanto Serie I (2002) como Serie II (2007, pendiente de validación de algunos resultados de laboratorio). 2008 – Mapa Nacional de Erosión del suelo 1:250.000 (en etapa de verificación de campo)
Nicaragua	Mapa agroecológico (uso potencial tierra) 1:250.000 de 1988 y posteriormente digitalizado Mapa de suelos a nivel de orden.
Panamá	51% territorio cubierto con cartografía tradicional ya digitalizada (1:50.000 y 1:20.000). 22% restante, a 1:300.000. A partir de la info. georreferenciada, se elaboran mapas temáticos (ejemplos: fertilidad, pH, contenido en materia orgánica).
Paraguay	Dos regiones de características muy diversas. También sus cartografías: diferente nomenclatura, escala (1:100.000 y 1:250.000).
Perú	Cobertura cartografía variable: p. ej. Amazonia, mayor parte 1:100.000, aprox. 50% a 1:50.000 y muy poco a 1:25.000.
República Dominicana	1967: primer mapa (1: 250.000), de la OEA (Organización de Estados Americanos). No hay mapas en detalle ni de propiedades químicas, físicas o biológicas.
Uruguay	Carta Suelos de cobertura nacional a 1:1.000.000, digitalizada. Cobertura parcial a 1:100.000 y 1:250.000. CONEAD Digital: productividad potencial de carne y lana a escala 1: 15.000 y parcelario; contiene información general sobre grupos de suelos, no desagregados (tarea para el futuro cercano).
Venezuela	Cobertura: 95% a 1:250.000 (el 5% restantecorresponde a zonas de montaña); el 17% (zonas agrícolas) a escala 1:100.000 o más detallada. SITVEN (Sistema Información Tierras), cubre aproximadamente el 50% del país. En actualización. Otros productos: SIG ambiental de industria petrolera a 1:100.000 (en zonas de conflicto por usos del suelo, a 1: 25.000)

*La información contenida en la tabla de arriba ha sido proporcionada por los países participantes en esta publicación, lo que no implica que para otros estados no exista dicha información.

Suelos y uso de la tierra en LAC

En las últimas décadas se viene produciendo en América Latina y el Caribe, al igual que en muchas otras partes del mundo cambios en el uso de la tierra.

Este proceso se da, frecuentemente, a expensas de los ecosistemas naturales y, en menor medida, de zonas agrícolas, y constituye una amenaza potencial para los suelos. Los factores principales que determinan esta modificación medioambiental son el desarrollo agropecuario, las actividades forestales, el desarrollo urbano y turístico y las actividades extractivas. La distribución de la propiedad de la tierra ejerce una evidente influencia en estos procesos. En el caso de América Latina y el Caribe, en promedio dichos derechos de propiedad se reparten entre el Estado (33%), la propiedad colectiva (grupos indígenas y campesinos, 33%), y los propietarios privados (34%), según datos de 2008 de Sunderlain y otros autores [53].

La demanda de tierras para la agricultura, tanto de subsistencia como para la agroindustria, sigue en aumento, siendo éste uno de los principales factores asociados a la deforestación. Y ello a pesar de que los principales ecosistemas boscosos de la región se sitúan en su mayor parte en tierras bajo tenencia pública y colectiva, en manos del Estado y grupos comunitarios campesinos e indígenas.

Sin embargo, se debe señalar que la globalización produce dos tendencias opuestas en el uso del territorio en Latinoamérica: la creciente demanda global de alimentos acelera la deforestación a favor de áreas para la agricultura moderna, mientras que el abandono de tierras agrícolas marginales promueve la recuperación de los ecosistemas en las áreas de suelos pobres, en zonas de difícil acceso o con poca disponibilidad de agua, entre otros.

La pérdida de cobertura vegetal asociada a estos cambios de uso de suelo afecta al intercambio de energía entre la superficie terrestre y la atmósfera, lo que tiene efectos microclimáticos y sobre la capacidad de retención de carbono. Además, conlleva pérdida de biodiversidad, degradación del suelo, deterioro y/o pérdida de los servicios ambientales, pérdida de resiliencia y un incremento en la vulnerabilidad de los asentamientos humanos ante los disturbios naturales y eventos climáticos extremos [54].

Agricultura y ganadería

Se estima que cerca del 30% del territorio de LAC es apto para las actividades agrícolas. La globalización y la creciente demanda internacional de productos como cereales, soja, carne y biocombustibles, determinan un aumento de la superficie destinada a actividades agropecuarias.

La expansión de la producción agropecuaria impulsa la conversión de tierras anteriormente cubiertas por diferentes tipos de vegetación, sobre todo bosques, así como una mayor explotación de recursos naturales como el suelo y el agua, con el consecuente agravamiento de los procesos de degradación de tierras.

En esta imagen de satélite se puede apreciar la deforestación en Haití (izquierda). El río marca la frontera entre los dos países (República Dominicana se encuentra a la derecha). (NASA)

También las políticas sectoriales pueden convertirse en incentivos que impulsan los cambios de uso de suelo. Por ejemplo, el alza de los precios a nivel internacional de materias primas como la soja, ha favorecido políticas económicas a nivel de países de América Latina que incentivan la expansión de grandes monocultivos para satisfacer las demandas externas de este producto, como en el caso de Argentina, Brasil, Paraguay y Bolivia. Por ejemplo, en el caso de Brasil, el uso de la tierra está cambiando de manera sustancial debido a la producción de biocombustibles (biodiesel y etanol) a partir de las plantaciones de soja y caña de azúcar.

El incremento en la superficie agrícola va acompañado de un cambio en el tipo de productos que se cultivan. La producción media per cápita de cultivos como la yuca, la papa, el trigo y el arroz está disminuyendo mientras se incrementa el área de cultivo para la producción de aceites (soja, girasol y palma africana), maíz (en especial para uso industrial), frutas tropicales, hortalizas y, en menor proporción, azúcar [55].

Como consecuencia, todo LAC está transformando su agricultura para responder a un nuevo modelo económico que busca incrementar el comercio, pero a la vez, acusa una debilidad creciente en cuanto a su capacidad de asegurar la producción de alimentos básicos.

La actividad agrícola está muy relacionada con la ganadería, y esta relación se hace más patente en la actualidad, ya que aproximadamente el 40% de la producción mundial de cereales se destina a la alimentación de ganado. Entre 1990 y 2007, el número de cabezas de ganado aumentó en un 20%, llegando a los 392,3 millones de cabezas, principalmente en Sudamérica y Centroamérica, con una disminución de unas 800 mil cabezas en el Caribe.

América Latina y el Caribe: Importancia económica relativa de la agricultura

1. Determinante en la economía (entre 34, 1 y 17,2% delPIB)	2. Importante (entre 13,6, 1 y 9,4% delPIB)	3. Medianamente importante (entre 7,9 y 6,9% delPIB)	4. Menos importante (entre 6,4 y 0,7% delPIB)
Guyana	Honduras	Brasil	Cuba
Guatemala	Bolivia (Edo. Plurinacional de)	Costa Rica	Chile
Haití	Colombia	Perú	Jamaica
Paraguay	Surinam	Uruguay	Argentina
Nicaragua	Ecuador	Panamá	Barbados
Belice	El Salvador	San Vicente y las Granadinas	México
Dominica			Venezuela (Rep. Bolivariana de)
			Santa Lucia
			Granada
			Antigua y Barbuda
			Saint Kitts y Nevis
			Trinidad y Tobago

Importancia económica del sector agropecuario en los países de LAC en 2007. (Fuente: CEPAL) [57]

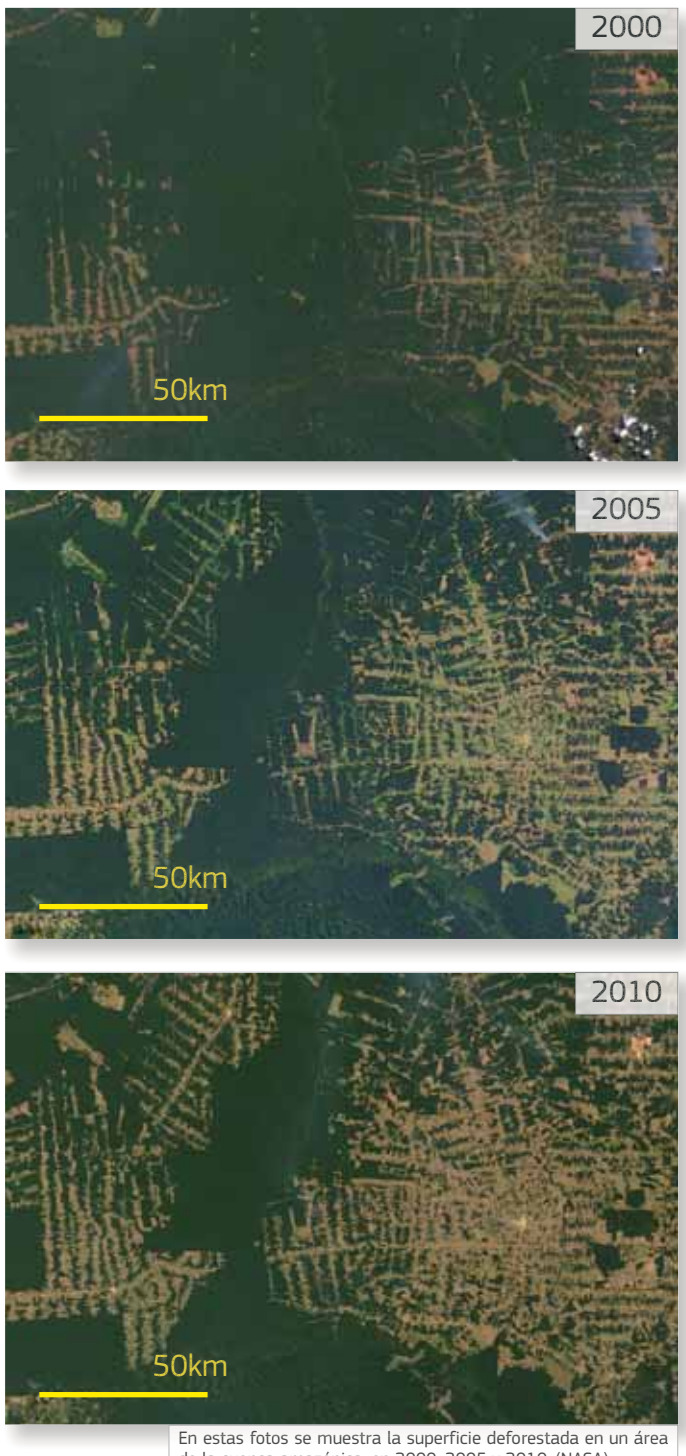
El caso de la soja

El cultivo de esta legumbre ejemplifica el proceso de transformación agrícola, pues dada su importancia económica, la superficie se incrementa a costa de la producción de alimentos básicos y de áreas cubiertas por vegetación natural. Entre 1990 y 2005, la superficie dedicada al cultivo de la soja aumentó en 22,3 millones de hectáreas. El caso argentino es paradigmático: desde 1995 la superficie dedicada a este cultivo se ha triplicado; el alza del valor de una tonelada de soja (que ha aumentado de 291,15 USD en 1997 a 418 USD en 2007) consolida la apuesta del país por ser uno de los principales proveedores mundiales de productos derivados de la soja (el tercer productor mundial a nivel de la producción de harinas y el primero en la producción de biodiesel). Sin embargo, este desarrollo económico se ha dado a partir de un proceso de agriculturización (conversión a la agricultura de zonas dedicadas históricamente a la ganadería o la sustitución de otros cultivos por monocultivos de soja) y pampeanización (conversión de regiones pampeanas en áreas para la producción de soja) con consecuencias importantes como la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la contaminación (p.ej. por pesticidas), con los problemas sociales que conllevan [56].

Paisaje típico de la Pampa argentina en Santa Fe. (GS)

Actividades forestales

La cobertura forestal de América Latina y el Caribe es de unos 9 millones de km^2, lo que supone el 45% del área terrestre de la región. Desde 1990 a 2005, el porcentaje de cobertura vegetal de LAC ha disminuido del 24,1 al 23,2%, siendo una de las regiones que registran las mayores pérdidas netas de bosque a nivel mundial.



En estas fotos se muestra la superficie deforestada en un área de la cuenca amazónica, en 2000, 2005 y 2010. (NASA)

Entre 2000 y 2005, la tasa de pérdida anual fue del 0,50%, casi el triple de la tasa anual mundial (0,18%). Las selvas perennifolias (incluyen la selva alta perennifolia y el bosque tropical lluvioso) representan un 90% de la extensión total de bosques de la región mientras que los bosques caducifolios ocupan el 10% restante. Los fragmentos más grandes y continuos de las selvas están localizados en la cuenca amazónica (6 millones de km^2), mientras que los de los bosques tropicales caducifolios están ubicados en la región boliviana de Santa Cruz, cerca de la frontera con Brasil [58].

La pérdida en LAC de áreas forestales acumulada entre 2000 y 2005 asciende a aproximadamente 24 millones de hectáreas, registrándose la mayor pérdida promedio anual en Mesoamérica. Esta pérdida total equivale a casi el 64% de la pérdida mundial acumulada en dicho periodo. En Sudamérica, donde se da la mayor acumulación de carbono (en el bosque tropical lluvioso), se reportó la mayor pérdida neta de bosques (alrededor de 4,3 millones de ha anuales) en dicho periodo. Ésta fue causada principalmente por la expansión agrícola [59]. Aún así hay muchas diferencias entre las diferentes regiones. Por ejemplo, la mayoría de los países insulares han preservado o restaurado sus áreas forestales, probablemente debido a su dependencia económica de las actividades de ecoturismo y a la relativamente baja presión poblacional que tienen. Este es el caso de Cuba, que ha logrado duplicar su área forestal en los últimos 50 años, ocupando actualmente el 28% del territorio.

En la región tropical continental, sin embargo, casi todos los países muestran pérdidas; los países menos poblados como Surinam, Guyana y Belice constituyen la excepción a este fenómeno.

Se estima que la deforestación de la región es responsable del 48,3% de las emisiones globales totales de CO_2, casi la mitad de las cuales se origina en Brasil, principalmente en la cuenca amazónica [59].

En muchos casos se produce la sustitución de bosques primarios por plantaciones comerciales, lo cual tiene efectos ecológicos indeseables como la pérdida de la biodiversidad.

Un análisis comparativo entre los valores de deforestación y el aumento de la ganadería revela que en muchos países el aumento del número de cabezas de ganado está relacionado con la disminución de la cobertura de bosques (p. ej. en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guatemala, Nicaragua, Paraguay, Perú y Venezuela) [57].

Desarrollo urbano

La urbanización es el avance y crecimiento de las ciudades y la edificación de nuevas poblaciones, las cuales generalmente se ubican sobre suelo fértil.

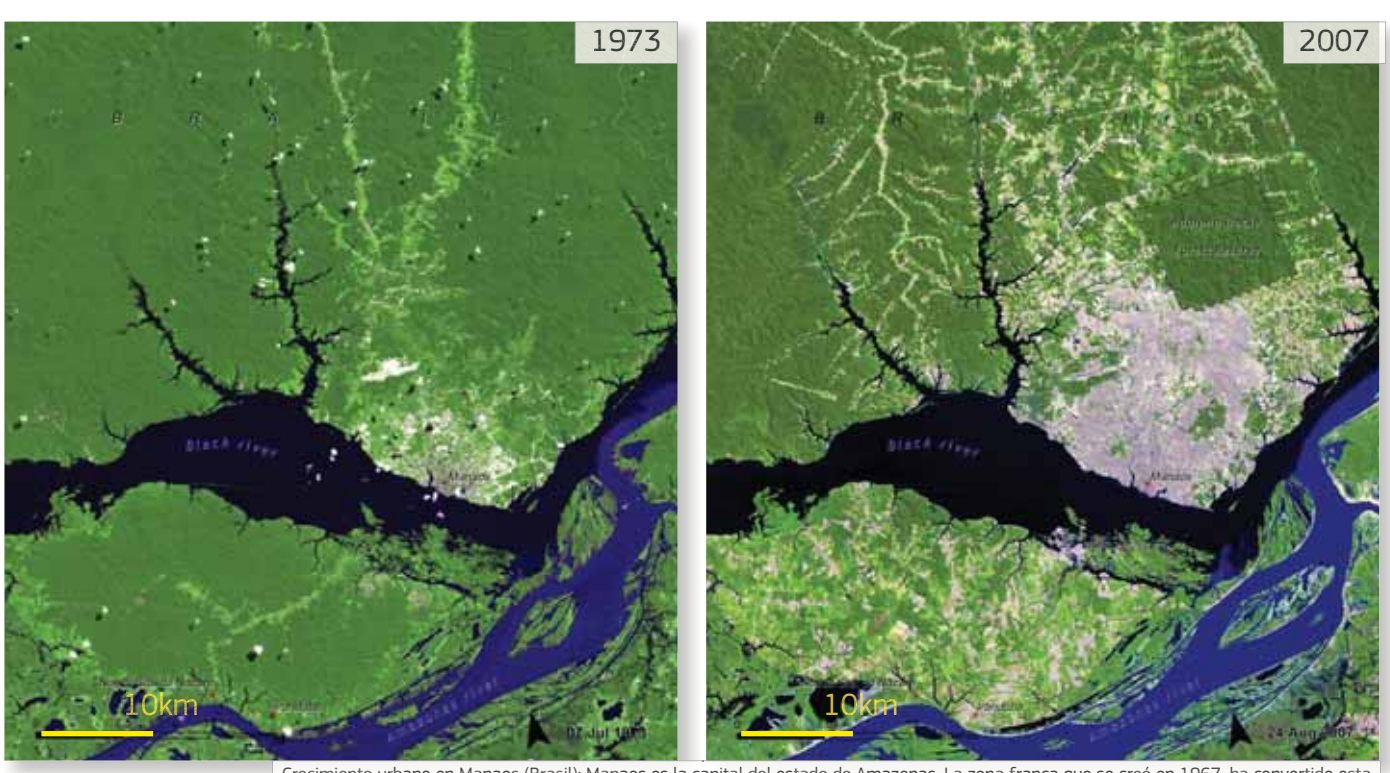
De esta forma se pierde el mejor terreno agrícola, se impide la recarga de los depósitos de agua subterránea y se destruye la flora y fauna del suelo. Una gran parte de los suelos con alto potencial agrícola de muchos países se encuentran dentro de límites urbanos, por lo que se ven amenazados por el rápido crecimiento de las urbes.

Las Naciones Unidas estiman que la población urbana del planeta aumentará en más de un 60% en el año 2030. La discusión sobre el crecimiento urbano es particularmente importante en América Latina, ya que cuenta con una de las mayores tasas de urbanización en el mundo. En el año 2008, el 81% de la población vivía en áreas urbanas y se espera que esta cifra aumente a medida que se desarrollen los países centroamericanos [60]. También según datos de las Naciones Unidas [61], la población urbana de LAC pasó de 176 millones en 1972 a 391 millones en el año 2000, y se espera que alcance los 604 millones para el año 2030. Durante el mismo periodo, el porcentaje de la población total viviendo en áreas urbanas se incrementó en un 7%, y se espera que llegue a ser un 83% de la población total en el año 2030, una proporción similar a la que existe en países altamente industrializados.

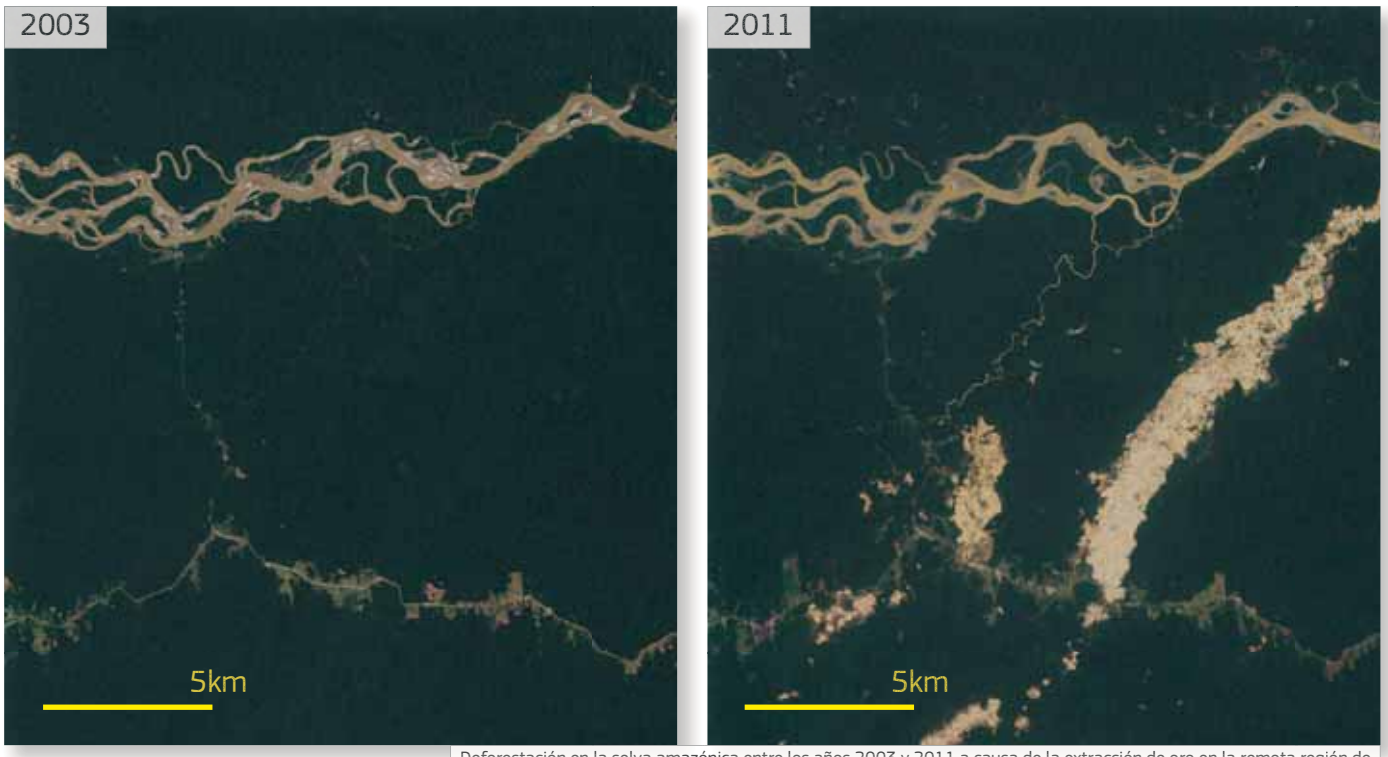
Estos procesos de urbanización, desarrollo urbano y de las infraestructuras de transporte comprometen la mayoría de las funciones de los suelos.

En algunos casos, como en México, se da la urbanización de las zonas agrícolas como sucede en las chinampas. Esto es una consecuencia de los bajos precios de los productos agrícolas y el alto costo de la vivienda, junto con la mayor rentabilidad de las actividades turísticas. Esta situación trae como consecuencia la pérdida de la función agrícola de los suelos, al ser sellados con cemento o asfalto.

Urbanización densa en Bogotá, Colombia. (CG)



Crecimiento urbano en Manaos (Brasil): Manaos es la capital del estado de Amazonas. La zona franca que se creó en 1967, ha convertido esta ciudad en un importante centro industrial, lo que provocó un crecimiento demográfico y una expansión del área urbana de manera abrupta y desordenada. Actualmente la ciudad cuenta con una población estimada de 1,7 millones de habitantes. La evolución de la urbanización en los últimos 20 años ha sido el gran desafío para la preservación ambiental en Manaus. El avance desordenado de la ciudad ha provocado pérdidas al medio ambiente sin precedentes y una serie de impactos como la deforestación, la destrucción de manantiales, la extinción de especies animales autóctonas y la erosión. Las imágenes del satélite Landsat muestran el patrón de crecimiento urbano ocurrido entre 1973-2007. El área urbana se muestra en un color celeste (1973), y violeta (2007). Otras áreas de color violeta al norte de la ciudad corresponden a áreas deforestadas. (Fuente: PNUMA) [62]



Deforestación en la selva amazónica entre los años 2003 y 2011 a causa de la extracción de oro en la remota región de Madre de Dios (Perú), cerca de la frontera con Bolivia. Con el aumento del precio del oro (360% en 10 años, de 2001 a 2011), empezaron a llegar a esta región peruana numerosos mineros ilegales. El resultado no es sólo la deforestación sino la contaminación por mercurio, empleado en el proceso de purificación del oro. (NASA)

Minería

La minería ha sido, históricamente, una de las actividades más contaminantes en la región. El desarrollo de esta actividad no sólo afecta a las reservas de los minerales explotados, sino que también tiene un fuerte impacto sobre otros recursos naturales –agua, vegetación o suelos– y genera grandes cantidades de residuos contaminantes.

Este sector continúa siendo una fuente de atracción de capitales y desempeña un importante papel en numerosas economías nacionales: el aporte promedio de esta actividad a la economía del continente latinoamericano es del 4%, pero hay países donde llega al 8% (Chile, Perú) e incluso al 10-25% (Jamaica).

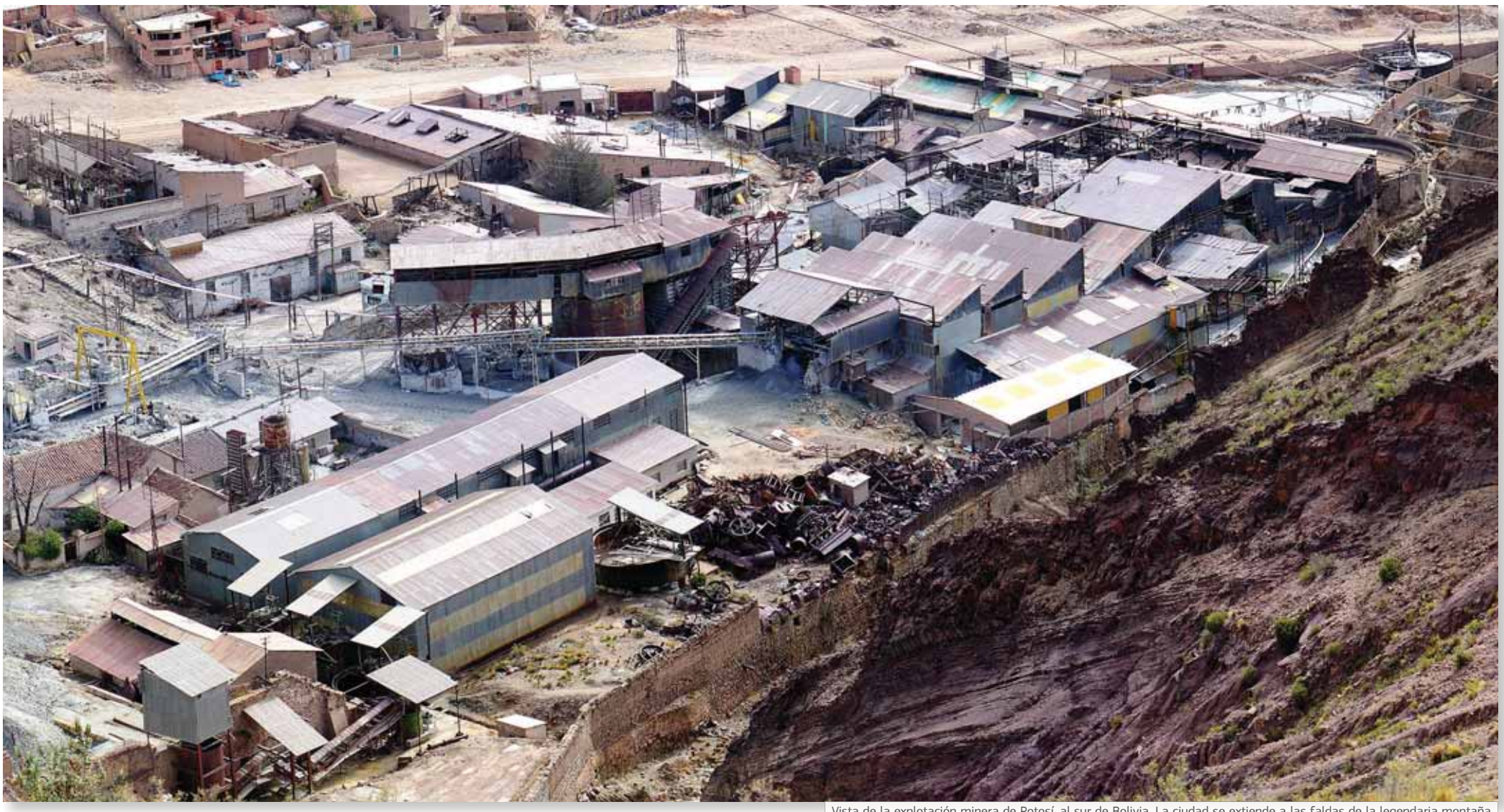
Si se considera el potencial minero, teniendo en cuenta las mejores prácticas mineras y sin incluir restricciones de uso de la tierra, los grandes inversores consideran a Perú como uno de los países más atractivos, seguido de Chile, México, Brasil, Argentina, Bolivia, Venezuela y Ecuador.

En Colombia, por ejemplo, se sitúan los proyectos mineros de explotación a cielo abierto más grandes del mundo. Uno de ellos es la mina productora de carbón de El Cerrejón, donde se contabilizaron en 2007 más de 70 mil hectáreas en explotación y cerca de 29,8 millones de toneladas de exportación. En México, los paisajes que deja la minería a cielo abierto, se conocen como “jales”. La mayoría de las veces el relieve es alterado de manera irreversible, al igual que los suelos y la biota. Además, los jales contaminan en muchas ocasiones los suelos y cuerpos de agua cercanos.

Cada vez es más importante la inversión en investigaciones enfocadas a caracterizar los impactos ambientales de las grandes explotaciones mineras, así como las relativas a nuevas tecnologías para la extracción de metales más respetuosas con el medio natural (como podría ser el uso de bacterias oxidantes o especies vegetales para extraer ciertos minerales).

Asimismo, la minería a pequeña escala puede ser también fuente importante de focos de contaminación. Por ejemplo, el uso de mercurio para la extracción de minerales y la erosión, están afectando a reservas de agua principalmente en zonas selváticas y montañosas, afectando a los organismos acuáticos y poblaciones que dependen de este recurso.

Mina de cobre a cielo abierto Radomiro Tomic, en la II Región de Chile. Se trata de una minería desarrollada en condiciones de hiperaridez y en altura (desierto de Atacama), donde toda noción de suelo queda restringida a un Horizonte C pobremente definido. En estas circunstancias la minería no constituye una actividad verdaderamente agresiva para el suelo (aunque sí para el medio natural). (IDP)



Vista de la explotación minera de Potosí, al sur de Bolivia. La ciudad se extiende a las faldas de la legendaria montaña Sumaj Orcko (en quechua: 'Cerro Rico') donde se encontraba la mina de plata más grande del mundo. (SG)

Uso actual de la tierra

El uso de la tierra se define como la secuencia de operaciones que se llevan a cabo con el fin de obtener bienes y servicios del medio natural [59]. Existen distintos usos en función de los bienes y servicios que se desean obtener del territorio a través de su gestión particular. El uso de la tierra se determina generalmente por factores socioeconómicos y por el potencial biofísico del medio en que se encuentran, así como por las limitaciones que éste impone. A nivel regional y global, la información sobre el uso de la tierra se puede extraer de los datos del censo agrícola, de la cobertura del suelo y de los mapas de los recursos biofísicos. Una de las bases de datos a nivel mundial sobre el uso actual de la tierra es el "Land Use System", realizado por FAO en el marco del proyecto LADA, con una resolución espacial de cinco minutos de arco (cada píxel corresponde a aproximadamente 7.200 ha) [63]. Para realizar este mapa a nivel global, se emplearon otros mapas, como el Global Land Cover 2000 (JRC), mapas de distribución de cultivos (Agro-Maps, FAO-IFPRI), de actividades ganaderas, ecosistemas y factores biofísicos, así como datos de tipo socioeconómico.

El mapa está basado en una agrupación de las clases del "Land Use System" realizado por FAO.

Destaca el gran área ocupada por los bosques de la cuenca amazónica, así como la vasta extensión de cultivos en el Cerrado, la costa atlántica de Brasil y la Pampa argentina. (FAO/JRC)

Tenencia de la tierra, acaparamiento y seguridad alimentaria

La tierra ha tenido históricamente un importante significado cultural, religioso y jurídico para las distintas sociedades. América Latina fue testigo del nacimiento de varios movimientos político-sociales, que lucharon (y luchan hoy en día) por una distribución democrática de la tierra, como por ejemplo:

- El levantamiento zapatista de 1910 y el de los pueblos rebeldes de Chiapas en 1994. La lucha por la tierra fue una de las razones principales.
- El movimiento de los Trabajadores rurales Sin Tierra (MST, en portugués: Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra). Es un movimiento político-social brasileño de inspiración marxista que busca la reforma agraria. Se originó como oposición al modelo de reforma agraria impuesto por el régimen militar, principalmente en los años 1970, que priorizaba la colonización de tierras en regiones remotas, con objeto de exportar los excedentes y de aplicar la integración estratégica. Contrariamente a este modelo, el MST busca fundamentalmente la redistribución de las tierras improductivas. El grupo se encuentra entre los movimientos sociales más grandes de Latinoamérica (aproximadamente un millón y medio de campesinos sin tierra organizados en 23 de los 27 estados de Brasil).
- La Vía Campesina es un movimiento internacional que coordina organizaciones de campesinos, pequeños y medianos productores, mujeres rurales, comunidades indígenas, trabajadores agrícolas emigrantes, jóvenes y jornaleros sin tierra. Se trata de una coalición de 148 organizaciones alrededor de 69 países que defienden una agricultura familiar y sostenible. Esta coalición lanzó el concepto de soberanía alimentaria como el derecho de los pueblos a definir sus políticas agropecuarias y de producir alimentos a nivel local.
- Otro aspecto importante es el acaparamiento o extranjerización de tierras (*land grabbing* en inglés). Se refiere a las compras de grandes superficies de tierra realizadas por particulares, grandes empresas extranjeras y algunos países interesados en ampliar sus reservas de recursos naturales. Un reciente estudio de FAO realizado para América Latina y el Caribe ha concluido que este fenómeno es nuevo y está restringido a los grandes países de la región (Brasil y Argentina).

Clases de uso actual de la tierra (correspondientes a la leyenda del mapa de la página 119)

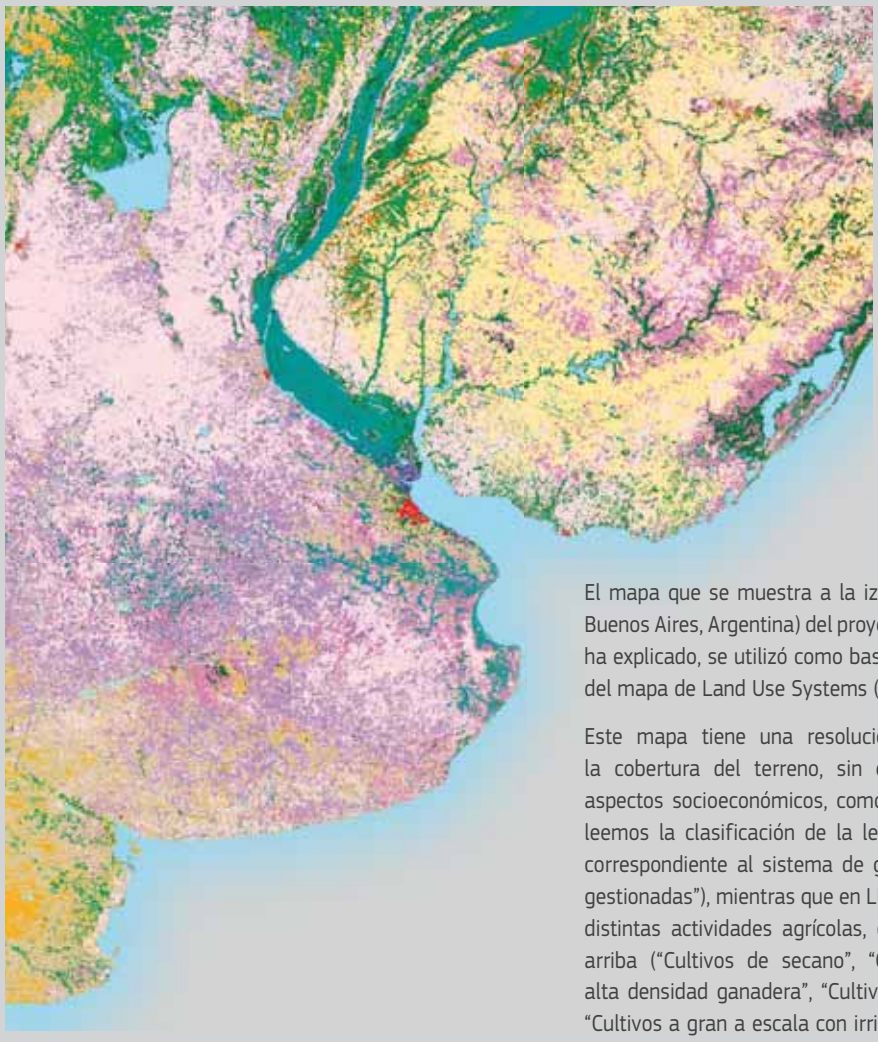
Clases generales	Categorías incluidas en la clase general		
Bosque virgen			
Bosque protegido			
Otros bosques	Bosque con actividades agrícolas	Bosque con carga ganadera moderada-alta	
Pastos sin aprovechamiento	Pastizales sin gestionar	Praderas protegidas	
Pastos con aprovechamiento	Pastizales con carga ganadera moderada	Pastizales con alta densidad de ganado	Pastizales con carga ganadera baja
Matorrales	Zonas arbustivas sin gestionar	Zonas arbustivas protegidas	
	Zonas con escasa vegetación sin gestionar	Zonas con escasa vegetación protegidas	
Matorrales pastoreados	Zonas arbustivas con carga ganadera moderada	Zonas arbustivas con alta densidad de ganado	
	Zonas con escasa vegetación y baja densidad de ganado	Zonas con escasa vegetación con moderada-alta densidad de ganado	Zonas arbustivas con carga ganadera baja
Agricultura intensiva	Cultivos moderadamente intensivos con densidad alta de ganado	Cultivos y carga ganadera de alta densidad	Cultivos a gran escala con irrigación y carga moderada-alta de ganado
	Agricultura con riego a gran escala	Invernaderos	
Agricultura extensiva	Cultivos de secano (de subsistencia / comercial)		
Humedales	Humedales protegidos	Manglares	Humedales con actividades agrícolas
Terrenos baldíos	Sin gestionar	Con moderada densidad ganadera	Con baja densidad ganadera
	Protegidos		
Aguas	Sin gestionar	Protegidas	Zonas de pesca continental
Áreas urbanas			

Arriba: el uso de la tierra es el factor individual más importante de degradación de los suelos. Por ello, el conocimiento del uso de la tierra es fundamental para evaluar los procesos potenciales o reales de degradación de suelos. En el mapa de la página anterior se muestra la distribución de los sistemas de uso de la tierra, agrupados en 13 clases. En la tabla encontramos la clasificación original, más detallada, de la que se derivan las clases del mapa de uso actual. (FAO/JRC)

De “Global Land Use” a “Land Use Systems”

Cobertura del terreno

- Áreas artificiales
- Terrenos baldíos
- Cultivos
- Cubierta herbáceas
- Cultivos de regadío
- Mosaico: Tierras de cultivo/vegetación arbustiva y/o pastos
- Mosaico: Tierras de cultivo/vegetación arbórea/ otra vegetación natural
- Mosaico: Vegetación arbórea/ otra vegetación natural
- Vegetación arbustiva y/o herbácea frecuentemente inundada
- Cubierta arbustiva de especies caducifolias
- Cubierta arbustiva de especies de hoja perenne
- Nieve y hielo
- Cubierta escasa de herbáceas o arbustos
- Cubierta arbórea, de especies caducifolias, cerrada
- Cubierta arbórea, de especies caducifolias, abierta
- Cubierta arbórea, de especies de hoja perenne, abierta
- Salar
- Cubierta arbórea - masa mixta
- Cubierta arbórea de coniferas caducifolias
- Cubierta arbórea de coniferas de hoja perenne
- Cubierta arbórea frecuentemente inundada (agua dulce)
- Cubierta arbórea frecuentemente inundada (agua salada)
- Cuerpos de agua



El mapa que se muestra a la izquierda, es un ejemplo (en este caso, de Buenos Aires, Argentina) del proyecto Global Land Cover, el cual, como ya se ha explicado, se utilizó como base de datos de partida para la elaboración del mapa de Land Use Systems (LUS).

Este mapa tiene una resolución geográfica mayor (1 km) e ilustra la cobertura del terreno, sin embargo, no incluye información sobre aspectos socioeconómicos, como por ejemplo la gestión del territorio. Si leemos la clasificación de la leyenda, veremos que sólo hay una clase correspondiente al sistema de gestión del territorio (“áreas cultivadas y gestionadas”), mientras que en LUS encontramos seis clases que describen distintas actividades agrícolas, como se puede observar en la tabla de arriba (“Cultivos de secano”, “Cultivos moderadamente intensivos con alta densidad ganadera”, “Cultivos y carga ganadera de alta intensidad”, “Cultivos a gran a escala con irrigación y carga ganadera moderada-alta”, “Agricultura con riego a gran escala” e “Invernaderos”). (JRC)

Uso potencial de la tierra

Los levantamientos o estudios de suelos constituyen la base sobre la que se fundamenta el conocimiento de los suelos de una región. Incluyen la caracterización de campo y de laboratorio de los distintos tipos de suelo que se encuentran en ese lugar y su cartografía o distribución espacial expresada en un mapa. Como se trata de un documento técnico, con numerosos términos que en ocasiones pueden resultar difíciles de entender para los no expertos, se suele anexar una interpretación orientada a mostrar, de una manera muy simplificada, los principales resultados aplicados. El objetivo más común es dar a conocer el potencial agrícola, ganadero o forestal de esa zona o algún otro tipo de actividad que se quiera realizar en la que los suelos desempeñen un papel importante.

En este proceso normalmente se combinan los datos del suelo con los climáticos, en lo que se denomina "tierra". Dada su indudable interacción, la integración de ambos factores permite establecer si los distintos terrenos que componen un territorio son apropiados para el uso al que se van a destinar.

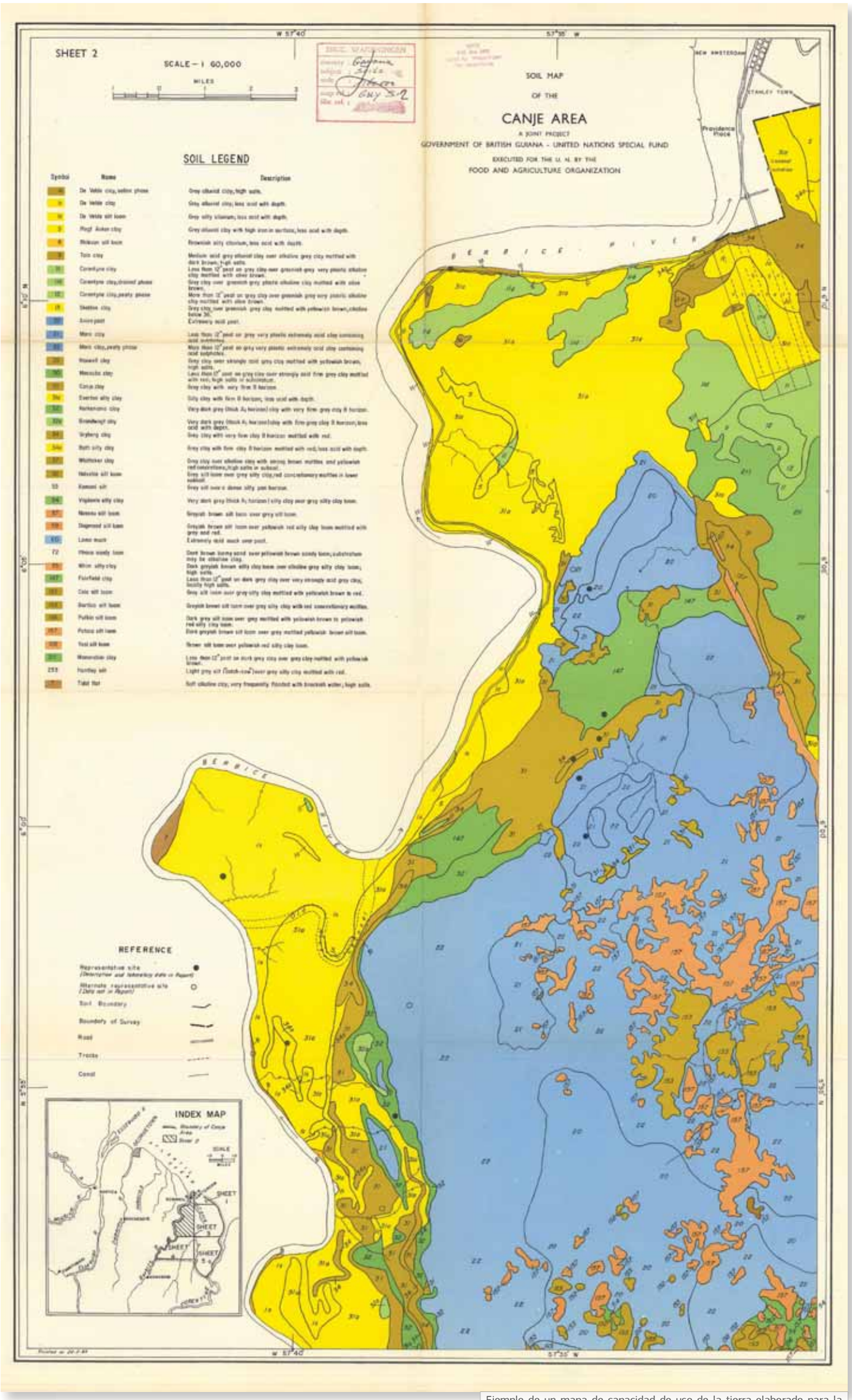
En América Latina se han empleado varios sistemas interpretativos de la calidad de las tierras. A continuación se describen los más utilizados. Posiblemente el primero de ellos fue el establecido por el Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU en el año 1961, el cual fue difundido ampliamente en Latinoamérica por la Organización de Estados Americanos en la década de 1960. Este sistema se denominó coloquialmente “capacidad de uso de las tierras”. En él se destacan las principales potencialidades y factores limitantes de las tierras para su uso agrícola, ganadero o forestal, expresado en ocho clases de capacidad que van desde la I, para un amplio uso, hasta la VIII, en la que las potencialidades estarían restringidas a usos de protección o de vida silvestre. De la Clase II en adelante se señalan las principales limitaciones, que pueden ser de Topografía (T), riesgo de Erosión (E), Suelos (S) y Drenaje (D). Este sistema se sigue utilizando ampliamente, y en varios países se le han introducido numerosas especificaciones que permiten su adaptación a las condiciones y necesidades de cada territorio. Una ventaja de este sistema es que constituye en sí mismo un indicador de la calidad de las tierras del país. Sin embargo, una de sus principales desventajas es que no logra la suficiente especificidad para señalar cuáles serían las actividades que se pueden recomendar para cada porción homogénea de terreno, lo que impide establecer una conexión favorable entre los estudios de suelos y los proyectos de desarrollo agrícola.

El segundo sistema, desarrollado por la FAO en esa misma década en parte para subsanar esa falta de especificidad de la estimación anterior es el de las “Zonas Agroecológicas”. Aplicado a todo el subcontinente, el principal criterio usado es el de los “periodos de crecimiento”, esto es, una interpretación de la temperatura y humedad disponible expresada en número de días al año. Este valor se contrapone con los requerimientos de cada cultivo, y como resultado final se obtienen los diferentes grados de aptitud. Este sistema representa un avance respecto al sistema anterior, ya que establece diferentes grados de aptitud aptitud para cada uno de los principales cultivos de la región basados fundamentalmente en requerimientos climáticos.

El tercer sistema, también propuesto por la FAO, aparece a mediados de los años 70 y se denomina “Evaluación de Tierras”. En él, el esquema metodológico general se adapta de manera específica a la agricultura de secano, de regadío y los usos forestales y ganaderos.

Su principal contribución a los sistemas ya existentes es la introducción del concepto de “tipos de utilización de la tierra” donde, además de la denominación específica, se establece el contexto tecnológico y socioeconómico correspondiente. Los requerimientos de cada tipo de utilización son contrapuestos a la oferta de cualidades que cada unidad de tierra ofrece y de ahí se parte para armonizar ambas y obtener diferentes grados de aptitud, en una primera instancia de carácter agroecológico o físico natural y posteriormente económico. Este sistema ha resultado ser el más eficaz según las experiencias de varios países, ya que asigna de una manera clara los grados de aptitud de usos específicos a las distintas unidades de tierra, lo que permite una adecuada interpretación por parte de los usuarios y una zonificación para la toma de decisiones y al mismo tiempo un enfoque más integrado.

Además de estos sistemas de uso potencial utilizados de manera generalizada en LAC, en cada país se han desarrollado o adoptado sistemas de carácter más local para abordar sus propias limitaciones o para mostrar los distintos grados de aptitud según los cultivos de interés en cada caso. Un ejemplo de este tipo de zonificación es el sistema de clasificación agroproductiva de los suelos de Cuba, aplicado desde 1989 y que muestra la aptitud de los suelos del país para los principales 29 usos agrícolas del mismo, sobre la base de los factores limitantes de la productividad del suelo (erosión, bajo contenido en materia orgánica, compactación, salinidad, mal drenaje, acidez y otros). Partiendo de esta base de datos se desarrolló un software, utilizado en la actualidad por el Servicio de Suelos cubano.



Ejemplo de un mapa de capacidad de uso de la tierra elaborado para la región de Canje (Guyana) en 1964. (FAO)

Conocimiento y usos tradicionales de la tierra en LAC

Horizontes antrópicos

La palabra antrópico (del griego *ánthropos*, hombre o humano) hace referencia a la actividad humana como factor que influye en la formación del suelo. Los horizontes antrópicos engloban una variedad de horizontes superficiales y subsuperficiales cuyas características comunes son el resultado de un largo y prolongado periodo de cultivo.

Hasta hace relativamente poco, no se habían investigado los antiguos horizontes de origen antrópico que se dan en muchas zonas tropicales. El entender su formación y evolución representa una oportunidad excepcional no sólo en lo que se refiere al estudio de antiguas prácticas indígenas, sino también para comprender los mecanismos que rigen los ciclos del carbono y otros nutrientes en los suelos continuamente lavados de las zonas tropicales en el continente americano.

Típico horizonte antrópico conocido como *terra preta de índio* (TPI) sobre Ferralsol amarillento en la Amazonia central, Brasil. (WGT)

En Brasil se pueden definir, a grandes rasgos, dos tipos de horizontes de origen antrópico: (i) la tierra negra del Amazonas o *terra preta de índio* y (ii) los montículos de conchas o sambaquís. La tierra negra del Amazonas o *terra preta de índio* (TPI, por sus siglas en portugués) se refiere a extensiones de horizontes extraordinariamente oscuros y muy fértiles que se encuentran en la Cuenca del Amazonas. Los lugares en los que encontramos TPI se encuentran asociados normalmente a Acrisols, Ferralsols, Plinthosols o Podzols, cuando están sobre terreno firme, mientras que en las llanuras de inundación (várzeas) encontraremos Fluvisols y Gleysols. En los horizontes antrópicos de las TPI, aparecen multitud de fragmentos de cerámica arqueológica y también se dan altos niveles de fósforo – total y disponible – y otros minerales (Ca, Mg, Zn, Mn, Ba y Sr) en comparación con los suelos de alrededor.

La denominación TPI tiene que ver con el color del carbón vegetal, aunque no es este el único responsable de la formación de la TPI (también desempeñan un papel importante la materia orgánica y nutrientes, así como los microorganismos y animales del suelo). Estos horizontes fueron creados por los indígenas en tiempos precolombinos hace cientos e incluso miles de años (se ha datado carbón de aproximadamente 10.000 años de antigüedad [64]).

Los **sambaquís** (de etimología tupí: tamba'kĩ, "monte de conchas") se encuentran principalmente en las costas brasileñas y se componen fundamentalmente de acumulaciones, casi siempre realizadas a lo largo de los siglos, por eso estratificadas, de valvas de moluscos, caparazones de crustáceos y otros restos depositados por el hombre. A veces también aparecen restos de utensilios de piedra. Algunos sambaquís fueron construidos por poblaciones que habitaron la región hace más de 6.000 años.

Sambaquí de Figueirinha en Jaguaruna (Santa Catarina, Brasil). Esta colina de conchas fue construida hace miles de años por los antiguos pobladores del litoral brasileño. Tiene una altura de unos 15 m. (T)

A menudo estas estructuras presentan horizontes de tonalidad oscura no sólo en la parte superficial, sino dispersos dentro de la compleja matriz de estratos. Estos horizontes oscuros contienen gran cantidad de fósforo y carbono [65]. El mecanismo por el cual el carbono se estabiliza en los sambaquís no está claro, aunque probablemente tenga que ver la combustión de los residuos orgánicos (pirólisis) y la disponibilidad de una gran cantidad de calcio procedente de las conchas de los moluscos. La formación de estos horizontes se asemeja en parte al proceso de formación de los horizontes A en los suelos del grupo de los Chernozems (a partir de material parental rico en carbonatos).

TPI de un color más claro en este caso, también sobre Ferralsol en la Amazonia central, Brasil. (WGT)

La comprensión de las prácticas utilizadas por los antiguos pobladores de esas zonas que dieron lugar a estos horizontes, podría orientarse a la creación de nuevos Anthrosols con características deseables, como por ejemplo un alto contenido en carbono resiliente a la mineralización o una alta capacidad para la retención de nutrientes. Un conocimiento más profundo de estos procesos permitiría crear nuevas prácticas para la gestión de suelos, la producción sostenible, el almacenamiento de carbono y la mejora de la fertilidad, entre otros.

Los geoglifos

Los geoglifos son grandes figuras geométricas (circulares o rectangulares) construidas en laderas de cerros o en planicies mediante la acumulación de piedras o bien excavando la capa superficial del suelo conectados por caminos. Fueron realizados por una civilización precolombina de la cuenca alta del Amazonas. Las investigaciones llevadas a cabo hasta ahora no han encontrado Indicios de horizontes oscuros relacionados con la presencia de geoglifos o cerca de ellos. En este caso es sorprendente la ausencia de horizontes o restos químicos indicadores de asentamientos humanos, ya que para construir las figuras de unos 300 m de diámetro, 10 m de anchura y 4 m de profundidad, habría hecho falta una gran fuerza de trabajo y alimentar a los supuestos constructores. Por todo ello, se han originado mitos en torno a dichas figuras, de las que se tuvo conocimiento por primera vez en el s.XIX.

Estas figuras representan un campo aún abierto a una investigación multidisciplinar que permita ampliar la información disponible sobre las modificaciones en el suelo y los mecanismos que hacen que el carbono y los nutrientes queden almacenados en los suelos tropicales.

En la Amazonia, los geoglifos son predominantemente cuadrangulares. (EC)

Sistemas agrícolas

En distintas regiones del continente podemos encontrar sistemas agrícolas creados durante el periodo prehispánico. Tal es el caso de las chinampas. La chinampa es un sistema mesoamericano antiguo de agricultura y expansión territorial desarrollado por los aztecas a partir del periodo 650-900 d.C. en el Valle de México. Se trata de jardines flotantes sobre plataformas elevadas de 2,5-10 m de ancho y hasta 120 m de largo construidas con lodo extraído de esos pantanos y lagos poco profundos. Los aztecas construían las chinampas a 0,5-0,7 m sobre el nivel del agua, reforzando los costados con estacas y ramas entrecruzadas. El método de construcción más común consistía en el amontonamiento sucesivo de capas de especies herbáceas, tierra y lodo sobre el suelo pantanoso. Una vez logradas la altura y superficie deseadas, se plantaban estacas vivas de sauce. Esto permitía delimitar el terreno y consolidarlo con sus raíces para evitar el desmoronamiento. Las chinampas tenían que ser remozadas continuamente mediante la adición de estrato fértil antes de una nueva siembra y en ocasiones rebajar su altura. En ellas se cultivaba maíz, frijol, chile y calabaza, entre muchos otros productos. Su alta productividad propició el comercio con los pueblos vecinos. Las chinampas, como eje de un sistema intensivo de uso múltiple de la tierra, se convirtieron en la principal fuente de alimentos para la población de la cuenca de México durante los últimos 200 años de la dominación azteca. Aún hoy se da este sistema de cultivo; en 2006 la zona de chinampas abarcaba un área de 2.200 ha, aunque una gran parte de ellas mostraba tendencias a un cambio de uso del suelo.

Recreación de la construcción de una chinampa. (IDP)

Otro ejemplo de práctica ancestral para la gestión y conservación del suelo es la construcción de **andenes,** característica de Perú, Bolivia, norte de Chile y Argentina. Se trata de terrazas escalonadas construidas por el hombre prehispánico sobre laderas de fuerte pendiente, con objeto de incorporar tierras no adecuadas para la agricultura y aprovechar el agua de lluvia para el riego de los cultivos. Los andenes son plataformas horizontales sostenidas por un muro de contención de piedras. De esta manera se reduce además el riesgo de erosión al disminuir la pendiente, y se consigue realizar las labores agrícolas con menor esfuerzo. Se hallan principalmente en zonas montañosas, aunque también se han encontrado en zonas de pendiente más suave, en colinas y estribaciones de la cordillera occidental andina de la vertiente del Pacífico. Su construcción fue una avanzada obra de ingeniería agraria que requirió el trabajo comunal de la población.

En Perú aún se pueden encontrar andenes de la época de los Incas en las zonas de Arequipa, Tarata, Písac y Tarma, aunque muchos de ellos han sido abandonados. (JNR)

Cochas excavadas para el cultivo de higueras sobre una planicie aluvial desértica, donde los suelos son salinos y arenosos. La foto fue tomada en el distrito de Chilca, a 65 km al sur de Lima, Perú. Como casi toda la costa peruana, se trata de una zona hiperárida, que recibe menos de 10 mm de precipitación anual. (JNR)

La horizontalidad del suelo favorece la absorción de la radiación solar incrementando la capacidad de conservación del calor del suelo. Esta práctica, al posibilitar la siembra en laderas a diferentes altitudes (en diferentes pisos ecológicos), permitió al hombre andino diversificar sus cultivos, encontrándose por ejemplo papa en las zonas altas y maíz en las zonas bajas. Sin embargo, el trabajo no solo consistía en la construcción de estas terrazas, de por sí labor extenuante, sino también en rellenarlas con suelo rico en nutrientes, el cual en ocasiones debía ser transportado desde lugares distantes, y en construir escaleras y canales de regadío. En la actualidad todavía se emplean los andenes de los incas para la producción agrícola, aunque en gran parte han sido abandonados. Las principales zonas del Perú en que se utilizan son las de Arequipa, Tarata, Písac y Tarma.

Las **cochas** (del quechua *cocha*, laguna) se encuentran en la costa peruana, región muy árida. Se les conoce también como chacras hundidas y son depresiones anchas construidas para alcanzar las capas húmedas de los horizontes inferiores del suelo. El agricultor podía sembrar en el fondo de estos hoyos sin necesidad de riego aprovechando la humedad del subsuelo que ascendía por capilaridad, solventando así el problema de la escasez de agua en la zona. En el distrito de Chilca, 60 kilómetros al sur de la ciudad de Lima, aún se utiliza este sistema en plantaciones de higueras (ver foto arriba).

Sistema tradicional de andenes en el valle del Colca, Perú. (MVR)

Terra Preta de Índio: una técnica ancestral para la captura de carbono

La *terra preta* es el resultado de la modificación química y mineral del suelo original, como consecuencia de las actividades de las culturas indígenas que habitaban la región antes de la llegada de los europeos. En la *terra preta* el horizonte superior con restos de carbón forma estratos de unos 50 cm de espesor, pudiendo alcanzar los 2 m de profundidad en algunos casos. Los horizontes subsuperficiales, en cambio, suelen ser profundos (varios metros) aunque muy pobres en nutrientes.

Estos suelos creados por el ser humano (Anthrosols) abarcan una superficie estimada de entre 6.000 y 60.000 km^2, lo que supone entre el 0,1 y el 1% de la cuenca amazónica (recientemente se han identificado también en zonas de Colombia, Ecuador, Guayana Francesa y Perú). Las parcelas donde se encuentran estas "tierras negras" son más frecuentes y de mayor extensión a lo largo de los cursos medios y bajos de los ríos principales, en particular en torno a las confluencias y las cataratas. Existen, sin embargo, zonas de la cuenca amazónica en las que, aún habiendo sido habitadas durante largos periodos de tiempo, no se ha formado este tipo de suelo.

La gran fertilidad de la *terra preta* se explica principalmente por su alto contenido en un tipo especial de materia orgánica carbonosa y nutrientes como manganeso, fósforo, zinc y calcio. Además, el carbón vegetal reduce significativamente la pérdida de nutrientes a causa de la lluvia. Existe una importante diversidad de composiciones de *terra preta* entre diferentes localidades e incluso en un mismo sitio. Recientemente se han encontrado tierras negras similares en el continente africano (Benín, Liberia y Sudáfrica), aunque su carbón vegetal parece no atesorar las cualidades de estos suelos amazónicos.

Terra preta, biochar y cambio climático

Lo que hoy se conoce como biochar o "carbón vegetal biológico", no es más que carbón creado por la pirólisis (la descomposición química de materia orgánica por calentamiento en ausencia o limitado contenido de oxígeno). Antiguamente, en el caso de la *terra preta,* esto material era incorporado en el suelo, pero no es cierto si el entiendimento fue para mejorar la productividad del suelo, o simplemente como manejo de la basura domestica. Esta duda surge del descubrimiento de *terra preta* en los Gleysoles en las llanuras amazónicas, que no tienen limitaciones en la fertilitad.

Biochar

Biochar es un carbón creado por pirolisis de la biomasa y algunos creen que se pueda utilizar para almacenar carbono y para la mitigación del cambio climático, así como para mejorar la fertilidad del suelo. La biomasa inicial puede transformarse en biochar, y éste puede utilizarse como enmienda en tierras agrícolas para sustituir a otros combustibles o para el secuestro de carbono en el suelo. La alta resistencia de la *terra preta* a la descomposición de la materia orgánica, así como su gran capacidad para retener nutrientes y agua, la han convertido desde el comienzo del siglo XXI en objeto de varios programas de investigación sobre fertilidad y agricultura sostenible. La FAO ha analizado las implicaciones productivas y culturales de la *terra preta* y ha sugerido que la misma podría servir de base para desarrollar nuevos modelos de agricultura sostenible en la actualidad. Sin embargo, para poder generar suelos de las mismas cualidades se necesita mejorar la comprensión de los procesos que intervienen en su formación. Por otro lado, la utilización de biochar para mitigar el cambio climático, aunque ha sido propuesta por varias instituciones (p. ej. la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático o CMNUCC) y países (p. ej. Belice, Costa Rica, Australia) sigue siendo objeto de debate, con organizaciones de la sociedad civil en contra de esta forma de medida compensatoria.

Terra preta y *terra mulata*

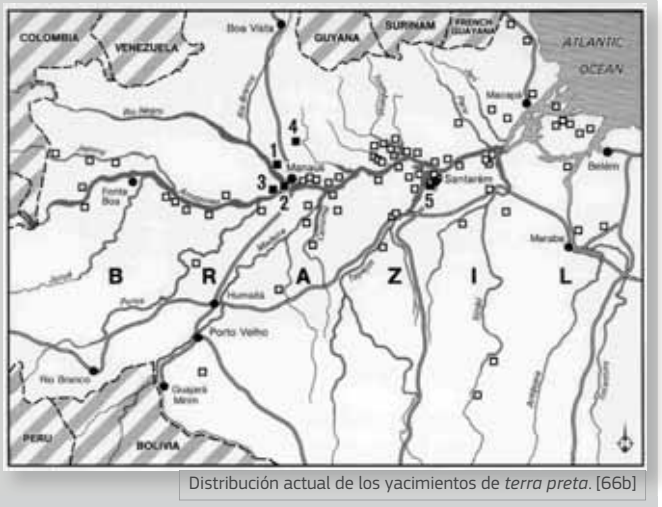
A pesar de no existir una definición universalmente aceptada, toda *terra preta* tiene cuatro características básicas: color oscuro; alto contenido en carbón vegetal; alta fertilidad y origen humano.

Para clasificarlas se han propuesto dos grandes familias: la *terra preta* propiamente dicha, muy oscura y con gran contenido de cerámica y restos animales, y la *terra mulata*, de color más pardo, con menos restos de origen humano y que normalmente se extiende sobre grandes superficies alrededor de las parcelas de tierra negra.

Los primeros investigadores

James Orton (1870), Charles Hartt (1874) y Herbert Smith (1879) fueron los primeros investigadores occidentales en describir una tierra amazónica oscura, muy fértil y con abundantes fragmentos de cerámica. El hallazgo quedó en una mera anécdota, ya que en esta época se suponía que toda la Amazonia debía ser fértil, dado que estaba cubierta por un extenso bosque. Esta errónea idea se perpetuó hasta la segunda mitad del siglo XX y fue en parte responsable de los procesos de explotación agrícola de la región amazónica, que resultaron en fracasos económicos y medioambientales.

La existencia de la *terra preta* fue relativamente ignorada hasta finales del siglo XX. En 1980, Nigel J.H. Smith [66] publicó un artículo en el que resumía los hallazgos sobre este tipo de suelos y concluía que eran de origen antropogénico y que en el pasado podían haber alimentado a una gran cantidad de población. Sin embargo, el trabajo de Smith fue prácticamente ignorado por la comunidad científica. En 1996 el prestigioso edafólogo holandés Wim Sombroek, que tenía fascinación por la *terra preta* desde su tesis doctoral sobre los suelos amazónicos en 1963, se instaló en Manaos para dirigir un proyecto ambiental financiado por el Banco Mundial. Sombroek se dedicó a promover activamente la divulgación y la investigación científica sobre esta materia, creando la asociación *terra preta* Nova (2001) y colaborando en la organización del primer simposio internacional sobre el tema en 2002.



Distribución actual de los yacimientos de *terra preta*. [66b]

Arriba: Típico horizonte de TPI sobre Ferralsol amarillento en la Amazonia central, Brasil (WGT). **Abajo:** Cultivo de frijoles en TPI. Amazonia central, Brasil. (WGT)

La imagen de abajo muestra un yacimiento de *terra preta* en el que se han encontrado algunos fragmentos de cerámica. La gran cantidad de cerámicas y objetos de origen humano encontrados en estas tierras delata su origen antropogénico. Esto implica que la Amazonia debe haber albergado densas poblaciones sedentarias en los siglos que precedieron a la llegada de los europeos. A pesar del escepticismo de algunos historiadores, un número creciente de indicios históricos, arqueológicos y etnográficos están contribuyendo a identificar y a caracterizar estas culturas amazónicas. (AZ)

Suelos y agua: sistemas agrícolas tradicionales de Mesoamérica y la región del Caribe

El término chinampa viene del náhuatl, *chinamitl*, "cerca o valla de juncos" y *apam*, "terreno plano". Este sistema agrohidráulico constituyó una de las soluciones más eficientes, además de llamativas estéticamente, orientadas a resolver las adversas condiciones climáticas de las zonas altas semiáridas y subhúmedas templadas de Mesoamérica.

En tiempos de los aztecas, entre los siglos XIII y XV, tuvo lugar una impresionante sucesión de cambios culturales y tecnológicos en la cuenca de México. La civilización azteca se basaba en la agricultura y el comercio, aunque no había sido siempre así; en el pasado, su economía se fundamentaba en la caza y la recolección, pero al instalarse en la meseta central de México, aprendieron la actividad de la agricultura de los pueblos vecinos, mucho más civilizados que ellos.

Cuando los aztecas llegaron al lago Texcoco, la presión de los habitantes locales hizo que se instalaran en un islote en el que la tierra cultivable era muy poca, por lo que explotaron casi todos los recursos y empezaron a desarrollar las chinampas, grandes islas flotantes en el gran lago mexicano hechas con madera, barro y ramas. Estas construcciones eran muy fértiles y no había necesidad de regarlas. Entre ellas se construían estrechos canales formando grandes laberintos por los que circulaban canoas cargadas de cultivo.

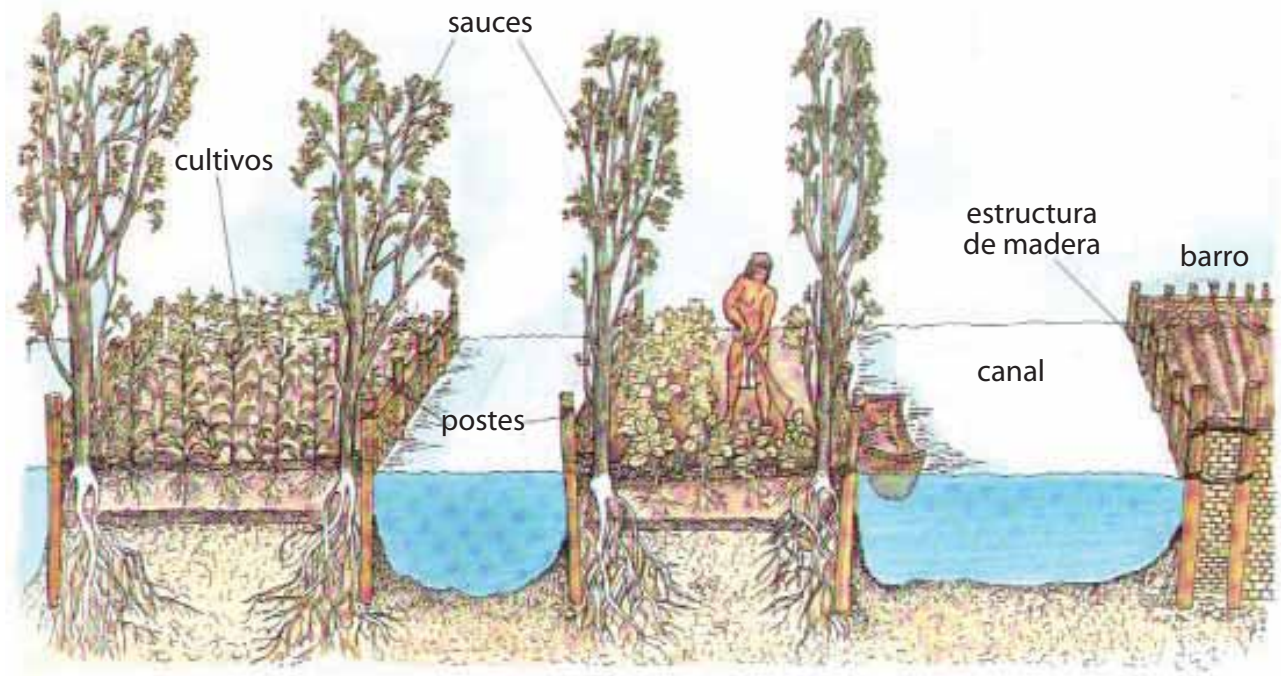
Hoy Xochimilco es una de los lugares de la Ciudad de México más visitados por el turismo nacional e internacional. Uno de sus principales atractivos turísticos son los canales por los que se puede navegar en una trajinera (embarcaciones típicas que se ven en la imagen). En sus más de 215 ha se puede contemplar un paisaje que recuerda al que veían los xochimilcas hace más de 500 años. (MVR)

Los canales servían a la vez como vías de comunicación y de drenaje. El sedimento extraído en la construcción de dichos canales permitió al mismo tiempo un mejor control de las inundaciones. Las plantaciones principales de las chinampas consistían en maíz, frijoles, tabaco, chiles, fruta, cacao y algodón.

Estas nuevas técnicas agrícolas basadas en el riego por inundación del subsuelo y en la construcción de canales permitieron un crecimiento de la población sin precedentes. En ese tiempo la cuenca de México fue probablemente el área urbana más grande y más densamente poblada de todo el planeta. Se estima que hacia finales del siglo XV la población de la cuenca alcanzó el millón y medio de habitantes, distribuidos en más de cien poblados.

Algunos ejemplos sobresalientes de estos sistemas son los que existieron en las cuencas de Tlaxcala, Puebla, Teotihuacán, Tenochtitlán, Toluca, Cuitzeo, Pátzcuaro y Chapala, en el centro de lo que hoy es México. Hoy aún existen en la zona de Xochimilco y Mixquic.

Plantación de maíz en una chinampa que se ha conservado hasta hoy. El árbol que delimita y asienta la estructura de la chinampa es un sauce (género *Salix*). Xochimilco, México. (J)



Esquema de la estructura básica de las chinampas. (IDP)

Xochimilco

De acuerdo con datos arqueológicos, durante el periodo 650-900 d.C., en las orillas del lago Xochimilco (actualmente situado en una de las 16 delegaciones del Distrito Federal) comienza la construcción y utilización intensiva de las chinampas. A partir del año 900 d.C. hasta el 1400 d.C. aproximadamente, se da la mayor expansión en el sistema de chinampas en el lago de Xochimilco. Tras este periodo Xochimilco se convierte en un importante y extenso asentamiento, en buena parte gracias a la alta productividad que permitía el cultivo en su extenso sistema chinampero; en esa época, el área cubierta por chinampas alcanza una extensión de 12.000 ha. Durante el periodo de mayor prosperidad de Xochimilco (s.X–XIV d.C.) la superficie chinampera cubría unas 5.000 ha, que permitían el sustento anual de unas 200.000 personas. Los xochimilcas llegaron a construir 38.760 *cuemitl* (tierra labrada, cultivada o camellón: hoy chinampa) y algunas herramientas que usaron para construir y labrar fueron: el *acatl* "caña" o carrizo usado para pescar, dividir el cuemitl o hacer *tolchimales* "escudos de junco". El ahuejotl, ahuejote o sauce (*Salix bompladiana*), árbol plantado a las orillas para fijar los materiales del cuemitl. Actualmente, la superficie ocupada por las chinampas se ha reducido de manera considerable por causas diversas, como la desecación del lago, la salinización o el urbanismo.

Las llanuras inundables del Caribe

En Colombia, en el centro de las llanuras del Caribe, la Depresión Momposina recibe anualmente las aguas de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge que bajan desde las cordilleras. Con la inundación que la anega durante ocho meses al año llega también un fértil depósito de sedimentos. Hoy la gente sufre, año tras año, la pérdida de sus viviendas, enseres, cosechas y ganado, pero en épocas prehispánicas los zenúes aprovecharon las aguas y el limo poniéndolos a su favor. En un largo proceso, que alcanzó su mayor auge entre el 200 a.C. y el 1.000 d.C., los nativos transformaron el paisaje mediante un ingenioso sistema de control de aguas. El sistema hidráulico formado por una gigantesca red de canales y camellones elevados llegó a cubrir 500.000 hectáreas en la cuenca del río San Jorge y 150.000 alrededor del río Sinú.

El mecanismo principal del sistema consistió en mantener estables los cursos de los ríos y caños, bordeados de islotes artificiales donde se levantaban las viviendas. Perpendiculares a estos cursos, los zenúes cavaron canales de hasta cuatro kilómetros de longitud, con 10 metros de separación entre sí, por donde el agua de la crecida fluía hacia ciénagas más bajas. Allí la corriente era frenada con canales cortos y entrecruzados, de 30 a 70 metros de largo, para cubrir grandes áreas dedicadas al cultivo. En estas extensiones de hasta 2.000 hectáreas habilitadas para la agricultura, al bajar el nivel de las aguas los canales mantenían una reserva de humedad para el tiempo seco. Los sedimentos ricos en nutrientes eran recogidos en los lechos de los canales y transportados hasta el tope de los campos elevados para fertilizarlos y alistarlos para ser cultivados. Algunos sectores eran dedicados a un solo producto, mientras que otros sostenían diversas especies: coca, maíz, batata, ahuyama, ají, calabaza, yuca y muchas frutas. Una compleja y estricta organización social y política permitió que durante 1.300 años sucesivas poblaciones zenúes adecuaran el paisaje y mantuvieran limpios los canales para albergar una numerosa población sin deterioro del medio ambiente (MDO). Aunque el sistema de drenaje colapsó después de la conquista española, los patrones de los canales todavía detectables en el paisaje (ver abajo).

Mapa del norte de Colombia que muestra las áreas donde se desarrolló la cultura zenú. La zona verde oscuro alrededor de Caño Rabón denota mayor concentración de obras de riego y drenaje. Los canales fueron construidos también en la parte baja de los ríos Cauca y Sinú. (JA)

Vista actual de los canales artificiales construidos por las poblaciones indigenas zenúes para el control de inundaciones, mejorar la calidad del suelo y constituir una reserva de agua para los períodos secos. En esta fotografía aérea se aprecian las terrazas elevadas (líneas de color amarillo) separadas por canales inundados (color marrón). (MDO)

Vista aérea de un área inundada con los restos de los canales zenúes. Se puede ver que la red de canales irradia de un canal principal (arriba a la derecha de la imagen) hacia la parte en bajo en la foto. La mayoría de los canales tiene una acnhura de 10 m. Los sedimentos ricos en nutrientes apoyan el cultivo de coca, maíz, batata, calabaza, chile, ósea, yuca y muchas frutas. (MDO)

Degradación de suelos

La degradación del suelo es el deterioro o la pérdida total de la capacidad productiva del suelo a corto y largo plazo. Este proceso se ve favorecido por aquellos cambios que alteran el estado y la función del suelo en los ecosistemas [67]. Implica una reducción de la capacidad del suelo de producir bienes económicos y llevar a cabo funciones ambientales de regulación, dos de ellas directamente relacionadas con el bienestar del ser humano: la productividad agrícola y el mantenimiento de la calidad del agua y el aire [68].

En la región se pueden distinguir dos áreas en cuanto a su grado de degradación: México y Centroamérica (más degradada) y Sudamérica (relativamente menos afectada).

En Centroamérica, la erosión es el principal problema de degradación del suelo y, a la vez, genera un gran problema ambiental por el deterioro de los recursos naturales en general (geoformas, agua, flora y fauna) [69,70].

Esta situación ha ocasionado escasez de alimentos, problemas de salud, migraciones y pobreza.

En Sudamérica existen grandes superficies con suelos en condiciones naturales, sin embargo, presentan restricciones para las actividades agrícolas, como por ejemplo la toxicidad por aluminio, erosión y la elevada fijación del fósforo (ver recuadro en esta misma página).

El diseño y mejora de los sistemas agropecuarios y forestales debe considerar dichas restricciones para que los sistemas agropecuarios y forestales sean productivos y sostenibles.

La fotografía de arriba muestra los efectos de la severa erosión eólica y el sobrepastoreo en los páramos de las faldas del volcán Chimborazo, Ecuador en el año 2004. (PMV)

¿Qué es la degradación?

La degradación del suelo es un fenómeno global que se refleja en una reducción de la capacidad del mismo para producir de forma sostenible servicios ambientales, tanto directos como indirectos. Está vinculada a un sistema complejo de fenómenos extremos: el clima y el cambio de uso del suelo.

Global Soils Degradation Data Base (GLASOD) define la degradación del suelo como "...un fenómeno inducido por el ser humano que reduce la capacidad actual o futura de mantener la vida humana..." [71].

Degradación natural. Factores limitantes en orden decreciente de importancia junto al porcentaje del área afectada por cada factor [72, 73, 74].

39%	**Toxicidad por aluminio** Se presenta en suelos en los que el complejo de intercambio catiónico está dominado por aluminio, como en los Ferralsols y Acrisols no húmicos, asociado a un pH de menor a 5.0. La causa principal es una fuerte lixiviación de bases intercambiables debido a las altas precipitaciones, como sucede en el trópico húmedo. Aunque existen plantas tolerantes al aluminio intercambiable (p. ej. caucho, piña, té), para la mayoría de los cultivos es una limitante grave.
19%	**Riesgo de erosión** Este factor limitante se origina al cultivar suelos en pendientes muy inclinadas (>30%) y moderadas (8-30%), aumentando el riesgo cuando, además, tienen texturas contrastantes en los diversos horizontes. No obstante, las características físicas que dan lugar a un elevado riesgo potencial de erosión no son las únicas causas de ésta, igual importancia tienen las condiciones socioeconómicas que obligan al agricultor a cultivar tierras inapropiadas.
15%	**Alta fijación de fósforo** La causa principal de esta limitante es el alto contenido de óxidos de hierro (Fe_2O_3) en la fracción arcillosa, que fijan el fósforo de tal forma que no está disponible para las plantas; comúnmente el fósforo se asocia a suelos del tipo Ferralsols, Acrisols, Nitisols y Andosols con altos porcentajes de arcilla. Es un factor limitante difícil de subsanar, ya que los fertilizantes fosfatados aplicados son fijados rápidamente por los óxidos de hierro. Se recomienda agregar fuentes de fósforo que liberen, de manera lenta, el elemento a la solución del suelo.
10%	**Hidromorfía** Se refiere a suelos que permanecen encharcados la mayor parte del año. Generalmente, son suelos establecidos en las partes bajas del relieve y pertenecen a los grupos Gleysol, Stagnosol, Fluvisol e Histosol.
5%	**Baja capacidad de intercambio catiónico** Son suelos con bajos porcentajes de materia orgánica y arcillas, en los que predominan las arcillas con baja capacidad de intercambio catiónico, como Arenosols y Ferralsols. La baja reserva de nutrientes, acompañada de bajos contenidos de materia orgánica y bajas capacidades de retención de humedad, hacen que los insumos para el rendimiento agrícola sean muy altos y no sostenibles, salvo en los casos en que es posible elevar artificialmente el contenido en materia orgánica del suelo.
5%	**Salinización/Sodificación** Los suelos salinos o sódicos se encuentran naturalmente en posiciones bajas del relieve en regiones áridas y semiáridas. Presentan una acumulación de sales en el perfil (Solonchaks) o dominancia de sodio en el complejo de intercambio (Solonetz).
11%	**Suelos someros** Se trata de suelos que contienen rocas o un horizonte endurecido muy cercano a la superficie del suelo, como en los Leptosols y Regosols, presentando profundidades efectivas menores a 30 cm. Son pedregosos, propensos a la desecación y con frecuencia se encuentran en pendientes pronunciadas. La creciente presión sobre la tierra agrícola ha llevado a utilizarlos, sobre todo en los trópicos.

Degradación natural

Es un proceso dado por los factores y procesos formadores que actúan sobre los suelos, desarrollándose éstos con características que son limitantes para determinados usos. Así, por ejemplo, se reconocen, para Latinoamérica y el Caribe, siete factores que limitan la fertilidad de los suelos (FAO 2000. Ver tabla en esta misma página).

Degradación antrópica y su influencia sobre la fertilidad

Los procesos de degradación que llevan a la transformación de los suelos en forma acelerada son inducidos en muchas ocasiones por las actividades del ser humano. Las causas son variadas, pero a menudo son el resultado de una compleja interacción de factores naturales, sociales y económicos.

La mayoría de las actividades humanas conllevan, en mayor o menor grado, un proceso de degradación, sin embargo la severidad depende de las características del paisaje (p. ej. tipo de suelo, el relieve, la vegetación y el clima), además de factores socioeconómicos, como: la densidad de población, la propiedad de la tierra, las políticas ambientales y los usos y gestión del suelo [71].

Las actividades que más han contribuido a la degradación de los suelos son la agricultura mecanizada, el sobrepastoreo y el desarrollo urbano e industrial; todas ellas comienzan por la deforestación.

Las consecuencias pueden apreciarse a varios niveles. A una escala local, la pérdida de la calidad y cantidad del suelo en una parcela, que provoca una disminución de la productividad y, con ello, la reducción de los ingresos de la familia. A una escala más amplia, desde la eutrofización y colmatación (acumulación de sedimentos) de los cuerpos de agua, hasta la pérdida de biodiversidad y el incremento en la emisión de gases que propician el calentamiento global.

Los procesos de degradación del suelo pueden deberse a:

- El deterioro interno del suelo, que tiene como resultado una pérdida de calidad, provocada por cambios químicos, físicos o biológicos que resultan en una reducción de la fertilidad o de la capacidad del suelo para permitir un crecimiento sostenido en el tiempo de las plantas.
- El deterioro externo (físico) o pérdida de cantidad de suelo, como consecuencia de la disgregación y transporte de material del suelo.

A continuación se describen los diferentes procesos de degradación antrópica, haciendo énfasis en aquellas características y propiedades de los suelos que, al ser modificadas, llevan a la pérdida de la fertilidad.

Pérdida de materia orgánica

La fuente principal de materia orgánica del suelo son los tejidos vegetales; bajo condiciones naturales, la vegetación aporta estos residuos orgánicos. Las ganancias de materia orgánica están relacionadas, principalmente, con la cantidad y tipo de residuos orgánicos recibidos, mientras que las pérdidas tienen su origen en aquellas actividades que impiden la entrada de materia orgánica, favorecen su oxidación (aireación, aumento de la temperatura, poca humedad) y/o provocan una pérdida del horizonte orgánico (erosión).

La pérdida de materia orgánica tiene consecuencias graves para el suelo, repercutiendo en sus propiedades y su fertilidad. Muchos de los efectos son indirectos y es evidente que el gran efecto de la materia orgánica sobre el suelo no es proporcional al contenido relativamente bajo de ésta (de 0,5 a 3% en la mayoría de los suelos).

Las prácticas que mantienen o incrementan el contenido de materia orgánica en el suelo son la conservación de la vegetación natural, el uso de abonos orgánicos, los cultivos de cobertera, las prácticas para evitar la erosión, el reciclaje de nutrientes, propiciar las bajas temperaturas, la retención de humedad, el pastoreo controlado y la conservación de los niveles de nitrógeno. Por el contrario, aquellas actividades que disminuyen el contenido de materia orgánica en el suelo son la deforestación, la agricultura intensiva, la cosecha completa (cuando se extrae también la raíz de la planta), la exposición a las altas temperaturas, el fuego, el sobrepastoreo, la fertilización exclusivamente inorgánica y las concentraciones excesivas de nitrógeno mineral.

Salinización y alcalinización

El aumento de la concentración de sales en la superficie del suelo por encima de determinados valores tiene efectos en la vegetación y, en consecuencia, limita los posibles usos (en especial los agrícolas) que se pueden hacer de un territorio. Este proceso se conoce como salinización.

Los efectos sobre el crecimiento de las plantas son la toxicidad directa debido al exceso de sal —sobre todo si involucra sodio (entonces se llama alcalinización), cloruro y boro — y la alteración del balance iónico de las plantas, reduciendo su capacidad de absorber agua porque disminuye el potencial osmótico.

La salinización está estrechamente ligada a las propiedades del suelo específicas del sitio y a las condiciones climáticas, dándose sobre todo en regiones áridas y semiáridas, donde no hay suficiente lluvia para lavar el exceso de sales solubles y además se produce un ascenso por capilaridad del agua del suelo cargada de sales, las cuales precipitan en la superficie al evaporarse el agua que las transportaba. Este problema también se presenta en las zonas costeras por la intrusión salina y los cambios en el nivel freático, así como por la interrupción de los flujos naturales e inducidos.

El paisaje de la imagen se asienta sobre un suelo de tipo Solonetz. Este grupo de suelos presenta altas concentraciones de sales de sodio, lo que inhibe el crecimiento de la mayoría de las especies vegetales. (OS)

La alcalinización aparece por el aumento de las sales de sodio con respecto a las de calcio y magnesio; el indicador en este proceso es el aumento de la relación de absorción de sodio (RAS), que se calcula de la siguiente manera:

$$RAS = Na^{+}/[(Mg^{2+}Ca^{2+})/2]1/2$$

Las actividades del hombre que causan este problema son la utilización de agua de riego de mala calidad y sistemas deficientes de drenaje en los campos irrigados.

Acidificación

Algunos suelos son ácidos por naturaleza, por el lavado de bases intercambiables a largo plazo, la respiración microbiana y la oxidación de la materia orgánica. Ciertas actividades antrópicas aceleran estos procesos, como la deposición atmosférica de SO_2 y NO_2^- y el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos nitrogenados.

Los efectos de la acidificación dependen de la capacidad amortiguadora de cada tipo específico de suelo aunque en general se manifiestan en una disminución del pH, una pérdida de calcio (lixiviación de bases), la solubilización del aluminio y del hierro, por lo tanto, toxicidad que provoca necrosis de raíces e impide la absorción de otros nutrientes por aumentar su fijación como en el caso del fósforo. Otros efectos que revisten menor importancia son la disponibilidad de otros micronutrientes, como molibdeno (Mo) y boro (B). La acidificación del suelo también aumenta la disponibilidad por solubilización de manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y hierro (Fe), detiene el crecimiento de bacterias fijadoras de nitrógeno, inhibe la nitrificación y disminuye la descomposición de la materia orgánica.

Todos estos procesos reducen la productividad potencial de los suelos. La acidez del suelo se puede contrarrestar, por ejemplo, mediante la aplicación de materia orgánica humificada soluble. [72, 73].

Contaminación

Ocurre por deposición atmosférica de emisiones industriales sobre el suelo y el agua, así como por presencia de residuos industriales y domésticos provenientes de una gran variedad de actividades humanas (agrícolas, forestales, minería, de extracción, urbanas e industriales), que pueden alcanzar el suelo bien directamente bien por su presencia en el agua.

El límite norte de la localidad de Nezahualcóyotl era un vertedero de grandes dimensiones de la Ciudad de México, el cual fue cerrado después de muchos años de funcionamiento, allanado y cubierto de arena. Sobre el suelo "muerto" hay hoy 76 campos de fútbol. La contaminación del suelo genera frecuentemente daños irreversibles en acuíferos y cauces de ríos subterráneo, lo que representa graves riesgos para la salud de los vecinos. (GW)

Algunas de las vías más comunes de entrada de contaminantes al suelo son: el uso de aguas residuales en el riego agrícola, el deficiente manejo de los residuos sólidos urbanos y la mala gestión de los efluentes y residuos sólidos mineros [74]. Los contaminantes pueden ser orgánicos o inorgánicos y, dependiendo de la vulnerabilidad del suelo y la concentración del contaminante presente, tendrán diferentes efectos negativos sobre la salud humana, el crecimiento de las plantas y la densidad, diversidad y actividad de los organismos del suelo y, consecuentemente, sobre la función específica que estos cumplen.

De hecho, los organismos del suelo se utilizan cada vez más como bioindicadores para cuantificar el impacto ecológico de la contaminación del mismo. Existen muchos estudios en los que se han documentado los efectos de los metales, plaguicidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos en la actividad de los organismos [75]. Los suelos pueden actuar como amortiguadores de los contaminantes gracias a sus propiedades; sin embargo, una vez que esa capacidad tamponadora se satura, comienzan a funcionar como fuentes de contaminantes y es entonces cuando existe el riesgo de contaminación de los alimentos, el agua y, directamente, de las comunidades humanas por la respiración del polvo ambiental [74].

Compactación y encostramiento y sellado

Son procesos que cambian algunas características físicas del suelo, como la permeabilidad, la porosidad y o la estructura del suelo.

La compactación es un proceso inducido por un estrés mecánico causado, especialmente, por el peso de la maquinaria utilizada en la agricultura y por el pisoteo del ganado en pastizales, lo cual influye en forma negativa sobre la *densidad aparente* (ver Glosario), reduce el espacio poroso y homogeneiza la estructura del suelo, destruyendo la geometría y conectividad de los poros. Esto resulta en una reducción del transporte de gases, agua y nutrientes, además de una disminución de los procesos biológicos. También aumenta la resistencia a la penetración de raíces y de la macrofauna edáfica [76].

Los efectos negativos sobre la fertilidad de los suelos son la reducción tanto de la capacidad de absorción de nutrientes como de la eficiencia de fertilizantes y plaguicidas, el aumento de la demanda de labranza y energía requerida y una disminución de la infiltración del agua, incrementándose la escorrentía superficial y el riesgo de erosión.

El encostramiento o sellado se refiere a la formación de una delgada capa sobre la superficie del suelo con una porosidad reducida y una alta resistencia a la penetración, inhibiendo la infiltración de agua y la germinación de semillas. Es causado por la acción del agua de lluvia que dispersa al material fino que se acumula en la superficie y al secarse se endurece. Frecuentemente afecta sobre todo a suelos fértiles en zonas llanas.

Cuando el suelo se cubre con asfalto y hormigón debido a la urbanización, se pierden irreversiblemente casi todas sus funciones naturales. (AC)

Erosión

La erosión es la degradación y el transporte de suelo o roca en la superficie terrestre debido a la acción de la circulación de agua o hielo, el viento y los cambios térmicos, entre otros. La erosión implica movimiento, transporte del material, en contraste con la meteorización, que consiste en la disgregación de las rocas. La erosión produce el relieve de los valles, gargantas, cañones, cavernas y mesas.

Su magnitud, vista como un proceso natural, depende de las propiedades del suelo, del tipo de vegetación y porcentaje de cobertura, así como de la topografía y las condiciones climáticas. Sus causas naturales permanecen relativamente constantes a través del tiempo, pero la erosión puede acelerarse debido a las actividades humanas, que incluyen el cambio de uso de suelo (de forestal a agrícola, ganadero o urbano), las prácticas agrícolas inadecuadas, el sobrepastoreo de tierras y la deforestación.

A menudo se utiliza el término "erosión" como sinónimo de proceso de degradación de suelos. Sin embargo, es necesario distinguir entre mecanismos de degradación (p. ej. compactación, salinización, contaminación) y los de pérdida irreversible del recurso, como por ejemplo el sellado por asfalto o la erosión, ya que el suelo no es un recurso natural renovable a escala humana.

Una clasificación, de manera muy general, permite distinguir entre erosión hídrica, eólica y por laboreo. El laboreo es puramente antrópico, mientras que tanto la erosión hídrica como la eólica se dan también en condiciones naturales, sin embargo, el hombre tiende a acelerarlas hasta el punto en el que las pérdidas no pueden ser compensadas por la tasa natural de formación de suelo.

La lucha contra la desertificación

La desertificación es la degradación de la tierra en regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, incluso variaciones climáticas y actividades humanas.

Hace tiempo que la comunidad internacional reconoció que la desertificación era uno de los más graves problemas a escala mundial, abarcando tanto el ámbito económico como el social y el medioambiental. La desertificación afecta a una gran cantidad de países en todo el mundo.

En junio de 1994 se adoptó en París la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD, UNCCD según las siglas en inglés) con el objetivo de combatir la desertificación y mitigar los efectos de la sequía a través de programas nacionales, incorporando estrategias a largo plazo apoyadas por la cooperación internacional y las alianzas de acuerdo entre países.

En esta foto se puede observar un ejemplo de erosión masiva cerca de Sondorillo, al sur de Huancabamba, Piura, Perú. (MC)

La erosión también es una consecuencia de la deforestación para fines agropecuarios, ya que al degradarse el suelo agrícola, este se abandona y se buscan áreas nuevas con vegetación natural para poner en cultivo. La foto corresponde a la Amazonia boliviana, concretamente a un área donde se cultivan especies tropicales y coca (*Erythroxylum coca)*. Fue tomada en agosto de 2012 en Chapare. (RV)

En los últimos 40 años se ha perdido por erosión cerca de una tercera parte de la tierra arable a nivel mundial y la superficie afectada sigue creciendo a un ritmo de más de 10 millones de hectáreas por año; el 80% de los suelos agrícolas del mundo sufren erosión moderada a severa y el 10%, ligera. Las tierras de cultivo son las más susceptibles a la erosión, especialmente cuando el suelo se barbecha repetidamente y se deja sin una cubierta de vegetación protectora. El sobrepastoreo también puede ocasionar tasas de erosión anuales que exceden las 100 t/ha [77]. Estas cifras son más dramáticas en tierras de cultivo que se encuentran en laderas. En Jamaica, por ejemplo, se ha cuantificado una pérdida de suelo de 400 t/ha anuales, donde el 52% de las tierras agrícolas se encuentra en laderas con más de un 20% de pendiente.

Las tasas de erosión más altas del mundo se registran en Asia, África y LAC, con un promedio anual de 30 a 40 t/ha; las tasas más bajas exceden en gran medida el promedio de la tasa de formación de suelo (aproximadamente 1 t/ha al año). La erosión es una de las principales causas de degradación del suelo en Centroamérica y la parte oeste de Sudamérica (Andes).

El rendimiento de los cultivos en algunos suelos severamente erosionados es más bajo que en los suelos protegidos. La erosión por agua y viento afecta de manera adversa a la calidad y productividad del suelo, ya que al perderse el horizonte superficial se reduce la tasa de infiltración, la capacidad de retención de humedad, los nutrientes, la materia orgánica, la biota del suelo y, también, la profundidad efectiva lo cual reduce la fertilidad de la tierra y la disponibilidad de agua.

El uso de grandes cantidades de fertilizantes, plaguicidas y riegos ayuda a minimizar los efectos negativos de la erosión pero, a su vez, tiene el potencial de crear problemas de contaminación, destruir el hábitat natural y contribuir al alto consumo de energía, aumento de costos y a crear sistemas agrícolas insostenibles. La biomasa vegetal (viva y muerta) que se deja en el campo reduce la erosión del suelo y la escorrentía superficial del agua, interceptando y disipando la energía de las gotas de lluvia y el viento.

Las formas de degradación del suelo, tanto naturales como antrópicas, deben ser reconocidas, estudiadas y analizadas para poder aplicar técnicas agronómicas que minimicen el impacto sobre el suelo y/o que permitan la recuperación de sus funciones naturales.

Restauración de suelos

Cuando los procesos de degradación de los suelos son especialmente severos es necesario actuar para que se recuperen los componentes o funciones perdidas, y evitar que se extiendan los efectos negativos a las aguas o al conjunto del ecosistema afectado. La **Restauración Ecológica** es el proceso por el cual se devuelve el ecosistema degradado (tanto sus elementos como sus funciones) a las condiciones más próximas a aquellas previas a la degradación ambiental (condiciones de referencia). Conviene distinguir este concepto del de **rehabilitación**, práctica que consiste en la recuperación únicamente de las funciones y procesos degradados, sin restablecer necesariamente la condición natural, pero sí cierta estabilidad geológica e hidrológica.

El Altiplano peruano tiene importancia histórica por haber sido el lugar en que surgieron diversas civilizaciones, como la cultura Tiahuanaco. En este lugar se domesticaron plantas como la papa y animales como la llama por primera vez. Por sus características ambientales y ecológicas, es una región natural única en LAC. Pertenece a la llamada región de la Puna. El suelo en esta foto es un Leptsol muy rico en grava. (MVR)

Salinas en el Valle Sagrado, Perú. Intrincado sistema de terrazas donde se acumula el agua cargada de sal, que procede de un manantial caliente de la parte superior del valle. Aún se extrae sal hoy en día. (MVR)

La degradación del suelo en los países de LAC

A continuación se presentan los principales problemas de degradación del suelo en cada uno de los distintos países de la región.

Argentina

La erosión hídrica afecta a los suelos de la mayoría de las provincias argentinas comprendiendo una superficie total estimada en 25 millones de hectáreas, superficie que se incrementa a razón de 250.000 ha/año. Las condiciones de aridez y semiaridez se presentan en las dos terceras partes del territorio continental, superficie sobre la cual la erosión eólica afecta a 21 millones de hectáreas. En las llanuras húmedas de la Argentina ocurren fenómenos de anegamiento e inundaciones periódicas que conducen a severos procesos de hidromorfismo y salinización de las tierras, perjudicando sus propiedades físico-químicas y produciendo enormes pérdidas económicas. Más de 60 millones de hectáreas están sujetas a procesos erosivos de moderados a graves y cada año se suman unas 650.000 más, con diversos grados de erosión. Por grado moderado se entiende una pérdida o alteración superior al 25% del horizonte superficial (el más fértil y productivo). Cuando el arrastre del suelo o alteración intensa excede al 50% de la misma capa, la erosión se denomina severa o grave. La principal forma de degradación es la deforestación o reemplazo de los bosques por la agricultura (principalmente por monocultivos de soja).

Bolivia

El 41% del territorio boliviano está sujeto a procesos de degradación de tierras en diversos grados. Bolivia se divide en dos grandes regiones: la occidental (árida, semiárida y subhúmeda seca) y la oriental (tropical sub-húmeda y húmeda). En la región occidental, las sequías son frecuentes y la degradación de tierras es un fenómeno activo debido a causas naturales, exacerbadas por el uso insostenible de los recursos naturales, entre ellos el suelo. La erosión y la salinización constituyen los principales tipos de degradación de la tierra, ocasionando la pérdida de fertilidad del suelo. Estos procesos de degradación están estrechamente relacionados con el sobrepastoreo, la eliminación de la cobertura vegetal, el cultivo en pendientes sin ninguna práctica de conservación y el limitado aporte de materia orgánica a los suelos. La región oriental presenta una alta cobertura vegetal con bosques primarios en algunos casos y agricultura intensiva en otros. Ahí también se dan procesos erosivos, compactación del terreno, pérdida de cobertura vegetal y contaminación, los cuales conllevan una pérdida de biodiversidad y de fertilidad del suelo. Las causas principales son el sobrepastoreo, la tala y quema indiscriminada de bosques y pastizales, la expansión de la frontera agrícola en áreas no aptas y el uso inadecuado de productos agroquímicos.

Brasil

La región Noreste de Brasil es la zona más susceptible a la desertificación. Las Áreas Susceptibles a la Desertificación (ASD) en Brasil se encuentran en los estados de la región Nordeste, además de los de Minas Gerais y Espiritu Santo. Se trata de aquellas zonas semiáridas y subhúmedas secas que son objeto de actuación dentro del PAN-Brasil (Programa de Actuación Nacional de lucha contra la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía). La evaluación de la degradación en estas áreas durante el periodo 1990-2001 indica que mientras las regiones semiáridas mostraron una reducción del área cultivada (cerca de 3 millones de hectáreas), en las regiones subhúmedas secas aumentó la zona agrícola en 1,4 millones de hectáreas. El balance neto resultó en una reducción del área cultivada de 2,3 millones de hectáreas.

Chile

La superficie afectada por la desertificación en Chile asciende a 47,3 millones de hectáreas (aproximadamente 62% del territorio nacional). Este proceso está relacionado con la deforestación, el empobrecimiento del suelo, la escasez de agua y el sobrepastoreo (principalmente caprino, en las regiones IV y V), y conduce a bajos rendimientos en la producción agropecuaria. Los terrenos más degradados se sitúan en la mitad norte (Región I a VIII) y la zona austral del país (Región XI y XII). De la misma forma, la erosión constituye en la actualidad uno de los problemas ambientales con más influencia en el sector silvoagropecuario. A nivel nacional, la superficie correspondiente a suelos erosionados (con diversos grados de erosión) es de unos 36,8 millones de hectáreas, equivalentes al 49% del territorio nacional. Los sectores con mayores problemas de erosión actual, por orden de importancia, son: la región de Coquimbo, con el 84% de sus suelos erosionados, Valparaíso (57%) y O'Higgins (52%).

Colombia

Las zonas secas ocupan 245.342 km^2 (un 21 % de la extensión continental del país), encontrándose presentes en una gran variedad de ambientes: desde los páramos en las partes más altas de las cordilleras hasta los ecosistemas de las tierras bajas. Se estima que unos 193.510 km^2, 17% del territorio nacional, se encuentran afectados por la desertificación (el 79% de las zonas secas del país presentan diferentes niveles). Esta desertificación es resultado principalmente de procesos erosivos y de la salinización. Con relación a la compactación, aproximadamente un 74% del territorio nacional es susceptible a esta problemática, (especialmente las regiones naturales de la Orinoquía, el Caribe y la zona andina). Alrededor del 80% de la región andina de Colombia está afectada por la erosión. Uno de los mayores causantes de este fenómeno es la aplicación de tecnologías agropecuarias inadecuadas y con frecuencia sin tener en cuenta su aptitud de uso.

Costa Rica

En el país se ha producido una disminución de los dos tipos principales de procesos de degradación: la deforestación, que pasó de afectar a 22.000 hectáreas en 1990 a 8.000 hectáreas en el 2000, y el número de incendios forestales. Este último se vió reducido también de 7.103 hectáreas en 1990 a 1.322 en el 2000.

Cuba

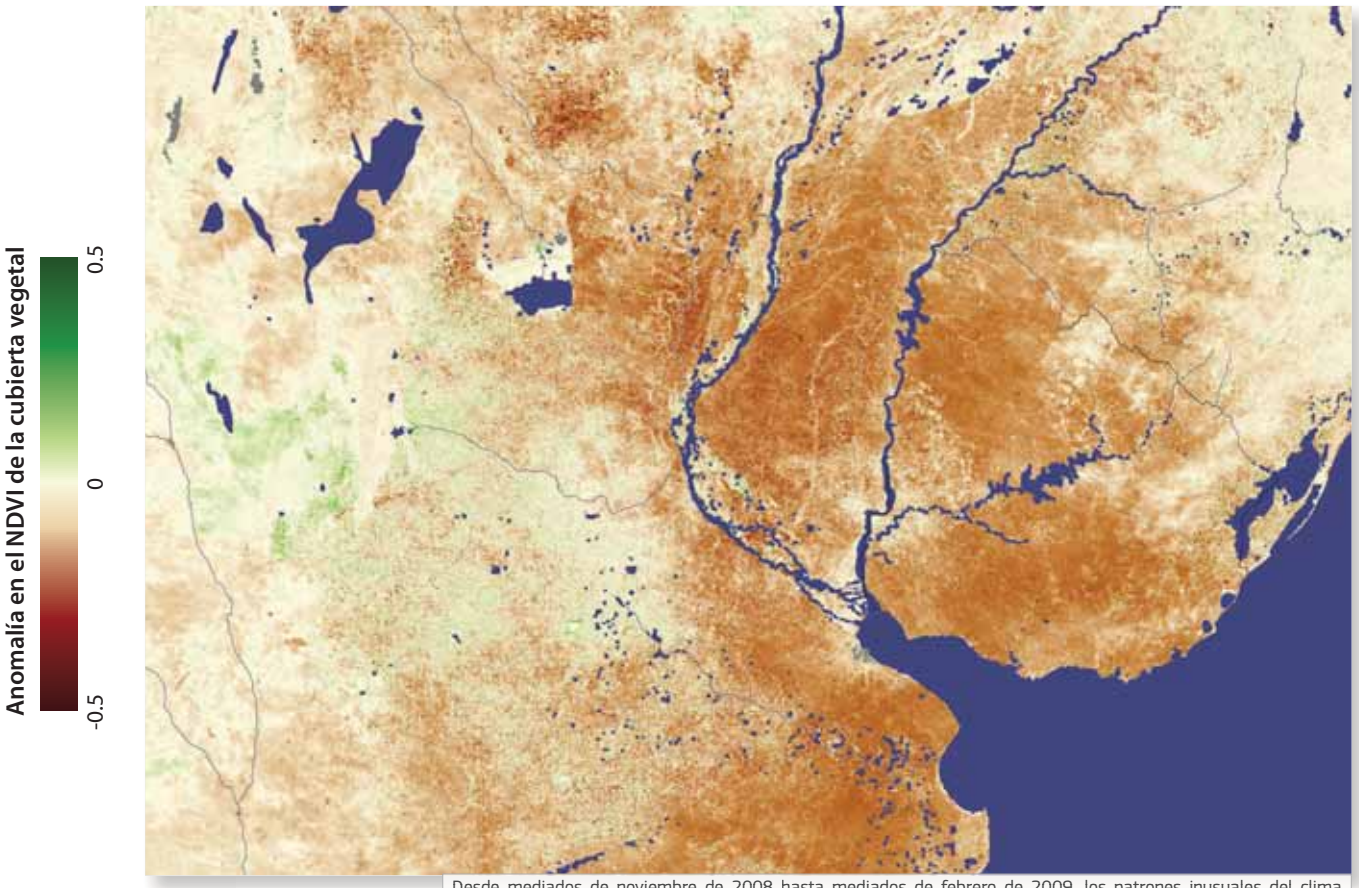
Según información del 2006, el 80% de la superficie agrícola del país está afectada por uno o más factores limitantes de su productividad, lo que hace que el rendimiento potencial de los principales 29 cultivos agrícolas esté por debajo del 70%, mientras que el 65% de estos se encuentra por debajo del 50%. El 71% de la superficie agrícola presenta un contenido muy bajo de materia orgánica, le siguen los suelos afectados por baja fertilidad (44%), erosión hídrica con (43%), mal drenaje (40%), acidez (40%), compactación (24%) y salinidad (15%). Las causas principales son de índole antropogénica.

Ecuador

Ecuador presenta 25 "zonas de vida" de las cuales 11 entran en las categorías de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas en las que se aplica la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. El área susceptible de desertificación corresponde al 28% del territorio nacional. Según datos de 2005, la superficie afectada por procesos erosivos corresponde al 50% del total, el 17% está afectado por el deterioro de las cuencas hidrográficas, el 15% por procesos de desertificación y el 9% por la pérdida de nutrientes de los suelos (baja fertilidad).

El Salvador

La erosión hídrica por efecto de la lluvia afecta a todo el territorio nacional. Constituye el proceso de degradación del suelo más importante. La erosión fuerte y la escorrentía superficial se producen en todas las zonas de ladera desprotegidas y cultivadas con granos básicos en las montañas y en los cerros de la zona norte y central del territorio, lo que agrava las inundaciones en la planicie costera y los daños consecuentes. Según los datos de 1999 el 75% del país esta sometido a procesos de erosión hídrica (cerca de 1,58 millones de hectáreas). La degradación del suelo por contaminación aparece en áreas específicas de la planicie costera, en las que se cultivó intensivamente algodón en las décadas de 1970 y 80. También se han encontrado residuos de insecticidas órganoclorados y de herbicidas como Atrazina y el 2,4-D, en muestras de suelo extraídas en 1996-1997 en el Distrito de Riego y Avenamiento No. 3, Lempa-Acahuapa.



Desde mediados de noviembre de 2008 hasta mediados de febrero de 2009, los patrones inusuales del clima provocaron temperaturas extremas y escasez de precipitaciones en esta región agrícola normalmente productiva. Ese periodo del año es crítico para muchos cultivos (algodón, trigo, soja y maíz). Los tonos marrones revelan un crecimiento de estas plantas mucho menos vigoroso que la media a finales de enero de 2009. (NASA)

El índice NDVI

En un intento de monitorear las grandes fluctuaciones en la distribución de la vegetación y comprender cómo éstas afectan al medio natural, los científicos usan sensores ubicados en satélites para medir y mapear la densidad de la vegetación sobre la Tierra. Mediante la medición de la intensidad de la luz del espectro visible e infrarrojo reflejado por la superficie de la tierra hacia el espacio, se calcula el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Éste cuantifica la concentración de vegetación de hoja verde en todo el mundo. Al combinar los datos diarios de NDVI en periodos de 8, 16, ó 30 días, es posible identificar dónde hay plantas creciendo y si lo están haciendo en condiciones de estrés (p. ej. estrés hídrico, debido a la falta de agua).

El índice está basado en el pigmento responsable de la coloración verde de las hojas de las plantas: la clorofila. Ésta absorbe fuertemente la luz visible (VIS-desde 0,4 hasta 0,7 micras de longitud de onda) para que la planta pueda realizar la fotosíntesis, mientras que la estructura celular de las hojas refleja fuertemente la luz del infrarrojo cercano (NIR-de 0,7 a 1,1 micras). Cuanto mayor sea el número de hojas, mayor será la longitud de onda afectada. La expresión matemática del índice es:

$$NDVI = (NIR — VIS)/(NIR + VIS)$$

Para un píxel, los cálculos del NDVI siempre resultan en un número que va de menos uno (-1) a más uno (1); por lo tanto, el valor 0 significa que no hay vegetación y al aproximarse a 1, el índice indica el máximo de la densidad de hojas verdes.

Guatemala

La principal forma de deterioro de los suelos es la erosión hídrica. Según datos recientes, la tasa de erosión es aproximadamente 274,7 millones de t/ha anuales. Por otra parte, más de 13.000 km^2 (12%) del territorio nacional, se encuentran amenazados por la desertificación. En esta área habitan 1,4 millones de personas, el 83% de los cuales sufre condiciones de pobreza extrema como consecuencia principalmente de los factores biofísicos limitantes. La sequía mantiene en riesgo a 19 de los 22 departamentos del país. Entre los departamentos más afectados están: El Progreso, Zacapa, Chiquimula, Jutiapa y Baja Verapaz. Tanto el proceso de desertificación como la sequía tienen su principal causa en factores naturales como la sombra hidrográfica, que se magnifican con la pérdida de cobertura natural, cuyo promedio en el país equivale a 38.597 ha anuales, observándose las mayores pérdidas de bosque en los departamentos de Chiquimula y Jutiapa, ambos dentro de la zona semiárida.

Honduras

La sequía, la erosión del suelo, la deforestación, la pérdida de la biodiversidad y la reducción a niveles críticos de recursos como el agua, han sido determinantes en la falta de sostenibilidad económica y ambiental especialmente en sistemas productivos. Estos efectos también están asociados a la pobreza: se considera que el 71% de la población de Honduras vive por debajo del umbral de la pobreza.

México

En el país hay 88 millones de hectáreas afectadas por procesos de degradación de suelos. La erosión eólica abarca poco más del 9% del territorio nacional (18,5 millones de hectáreas). Los estados con la mayor proporción superficial afectada son: Tlaxcala (26%), Chihuahua (26%) y Nuevo León (19%). Las zonas afectadas por erosión hídrica alcanzan el 12% del territorio nacional, lo que equivale a 23 millones de hectáreas. Los estados que presentan una mayor proporción de superficie afectada por este tipo de erosión son: Guerrero (32%), Michoacán (27%) y el Estado de México (25%). La degradación química del suelo está muy asociada a la intensificación de la agricultura y sus efectos se pueden observar en 35 millones de hectáreas. La degradación física se produce en 12 millones de hectáreas, el Distrito Federal es el más afectado con el 46% de su territorio, le siguen otros estados como Tabasco (37%) y Veracruz (29%).

Formación de cárcavas en México. Este tipo de erosión consiste en el vaciado de las partículas del suelo o sustrato por un flujo concentrado, formando estrechas incisiones, y que generalmente llevan agua sólo durante y después de que se produzcan fuertes precipitaciones. Las cárcavas denominadas "efímeras" son aquellas que pueden ser eliminadas por los procedimientos habituales de laboreo (aparecen ligadas a terrenos agrícolas). Por el contrario, las cárcavas permanentes, como las que se muestran en la imagen, no pueden ser eliminadas mediante los procedimientos convencionales de laboreo. (CCG).

Nicaragua

Nicaragua es un país eminentemente agropecuario y forestal con tres regiones ecológicas: (i) la región central (30% del territorio nacional), con predominio de laderas, donde la erosión hídrica es inducida por el sobrepastoreo del ganado, el uso de las quemas agropecuarias y la labranza con bueyes en áreas con pendientes mayores al 10% para la siembra de granos básicos; (ii) la región del Pacífico (15%), la más densamente poblada, la cual presenta suelos de alta fertilidad natural desarrollados sobre cenizas volcánicas recientes, en la que los procesos de erosión eólica e hídrica (laminar y en cárcavas) son frecuentes debido a la labranza mecanizada, existiendo también contaminación de los acuíferos por el uso excesivo de agroquímicos; la tercera región ecológica es (iii) la región atlántica del trópico húmedo (55%), donde se produce una deforestación acelerada (60.000 ha/año según datos de INAFOR), con el fin de utilizar el terreno para actividades agrícolas y pastos. Aquí ocurren procesos de lavado de sales, compactación por el pisoteo del ganado y quemas agrícolas y pecuarias.

Panamá

Según el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Sequía y Desertificación (2004), existen un total de 2,1 millones de hectáreas sujetas a procesos de sequía y degradación de suelos. Esta superficie comprende 36 distritos, 277 corregimientos y 20 cuencas hidrográficas. Las áreas más afectadas por la degradación del suelo son: Arco Seco, la comarca Ngöbe-Buglé, la sabana veragüense y el corregimiento de Cerro Punta. En esta zona habitan 516.000 personas (datos del año 2000), la mayoría en situación de pobreza o extrema pobreza. En estas regiones se ubican 14 áreas protegidas que cubren un total de 123.000 hectáreas. Dicho Plan de Acción, reconoce que estas áreas están sometidas a rigurosas exigencias de productividad (casi el 35% de las tierras comprenden superficies de explotación agropecuaria) que suponen abuso y mal uso de agroquímicos, prácticas insostenibles de labranza, sobrepastoreo, quemas y tala. Estas prácticas aceleran los procesos de erosión y disminuyen la fertilidad del suelo.

Paraguay

La reducción de la cubierta forestal en la región oriental del país ha pasado de aproximadamente 8 a 18 millones de hectáreas en el periodo comprendido entre las décadas de los años 40 y 90, siendo la causa principal el aumento de la superficie destinada a cultivos agrícolas (soja, trigo y pastos para la producción ganadera). La erosión hídrica y el deterioro químico del suelo se dan sobre todo en la región oriental del país. Esto se debe a la puesta en cultivo de suelos pobres o moderadamente fértiles sin la debida aplicación de abonos orgánicos o fertilizantes químicos. La salinización constituye también un proceso de degradación importante en algunas áreas (p. ej. en el Chaco paraguayo).

Perú

Perú ocupa el tercer lugar (tras Argentina y Brasil) entre los países Suramericanos con mayor extensión de tierras áridas. Cerca de la tercera parte de su superficie se halla en algún estado de desertificación, ya se trate de zona desertificada de la costa árida o sierra semiárida (3,9 millones de hectáreas o el 3%) o en proceso de desertificación en zonas tropicales de la Amazonia peruana (30 millones de hectáreas o el 24%), deforestadas por causa de la agricultura migratoria de tumba y quema, la cual es responsable de la deforestación de 150.000 ha anuales. La categoría de tierras áridas denominada "desierto" comprende 8,3 millones de hectáreas en las que habitan 12,9 millones de personas; las zonas en proceso de desertificación abarcan 30 millones de hectáreas, con 7,7 millones de habitantes; y las regiones desertificadas incluyen 3,9 millones de hectáreas, afectando a 1,1 millones de personas.

Uruguay

Si bien existen diversas formas de degradación de suelos, la erosión hídrica de origen antrópico es el problema ambiental más importante asociado a la actividad agropecuaria. Afecta aproximadamente al 30% de la superficie del país (480.000 hectáreas). Se manifiesta en diversos grados: leve (18% de los suelos), moderada (10%); severa (1%) y muy severa (1%). Los desencadenantes de procesos erosivos tienen que ver principalmente con actividades agrícolas (85%), no existiendo problemas asociados a la deforestación ya que la vegetación nativa predominante son pastos naturales. El factor de degradación que sigue en importancia es la pérdida de materia orgánica de los suelos (con su consecuente pérdida de calidad) muchas veces causada por la erosión.

Venezuela

El 44% de las tierras en Venezuela tiene como principal limitante agrícola el relieve y en consecuencia riesgos de erosión, el 32% tiene problemas de fertilidad, el 18% limitaciones de drenaje, el 4% limitaciones de los recursos hídricos y sólo el 2% del territorio nacional posee tierras de buena calidad. No se dispone de información oficial (según datos de 2004) de la extensión de la degradación a nivel nacional; sin embargo el Programa de Acción Nacional de lucha contra la desertificación (PAN) señala que el 34% de la superficie de once estados de climas áridos, semiáridos y subhúmedos secos está afectado por degradación de tierras (99.000 km^2). En dicha zona habitan 6 millones de personas (aproximadamente la cuarta parte de la población total de dichos estados).

Buenas prácticas de gestión

La principal causa de la degradación física, química y biológica de la tierra cultivada, los pastos, praderas y terrenos forestales es la inapropiada gestión de la tierra. En muchos países hay continuas tensiones a causa de los recursos limitados de la tierra, ya que hasta el 80% de la población mundial depende de estos para sobrevivir. La presión creciente sobre los recursos naturales ha causado una disminución de la productividad de la tierra, especialmente con las prácticas de agricultura extensiva. Esto se manifiesta en el empobrecimiento de las cosechas, la reducción de la cobertura vegetal, la salinización, la disminución de la fertilidad y el aumento de la erosión.

Para favorecer la seguridad alimentaria y el sustento de buena parte de la población mundial, es necesario revertir los procesos de degradación del suelo, asegurar el suministro de agua y otros recursos, y con ello, favorecer el aumento de las cosechas y la reproducción de las especies ganaderas a través de buenas prácticas de gestión de la tierra.

A continuación se describen algunos ejemplos de iniciativas para mejorar la productividad de la tierra sin menoscabar los servicios del ecosistema (p. ej. conservación de la biodiversidad, abastecimiento de agua, retención de carbono), o al menos reduciendo el impacto de las actividades agrícolas en la medida de lo posible.

Producción agropecuaria sostenible en Argentina: nuevos retos y cambio climático

En Argentina, el denominado proceso de "agriculturización" tiene dos ejes principales: la intensificación del uso de la tierra en las áreas tradicionalmente explotadas, como la Pampa, y la incorporación de nuevas áreas, particularmente del Centro, Noroeste y Noreste, por lo general mediante el desmonte y la deforestación.

Las diversas condiciones climáticas del país determinan amplias variaciones en la vulnerabilidad de los suelos frente a su intervención agrícola:

La región pampeana, de suelos fértiles y profundos bajo un clima templado-húmedo, constituye un ámbito poco frágil y con una alta capacidad de recuperación o resiliencia. No obstante se registran problemas de degradación cuando los suelos son manejados en forma irracional.

En los biomas de Selvas y Monte y de Estepas arbustivas, bajo condiciones subtropicales y áridas respectivamente, se presentan suelos con baja acumulación de materia orgánica, poco fértiles, que resultan muy vulnerables (con escasa capacidad de recuperación). Esto propicia procesos de erosión hídrica y eólica y en consecuencia desertificación, una situación difícil de revertir.

De este modo, los ecosistemas argentinos y sus suelos en particular, se enfrentan principalmente a tres amenazas y oportunidades: la expansión de la frontera agropecuaria, el cambio de paradigma productivo y el impacto del cambio climático. A ello se le suman los aspectos socio - económicos del uso y tenencia de la tierra, la integración de las cadenas productivas y las cuestiones derivadas de las políticas nacionales de desarrollo agro-industrial.

El cambio de paradigma productivo supone una modificación conceptual de los objetivos, las prácticas y la tecnología de los cultivos. En este sentido, en Argentina se está adoptando recientemente el sistema de siembra directa, alcanzando en la actualidad unos 19 millones de ha, lo cual representa mas del 50% del área total cultivada actualmente. Además, destaca el empleo de variedades transgénicas y el aumento del uso de fertilizantes (aunque esto no siempre implica una verdadera reposición de nutrientes).

En lo que se refiere al cambio climático, se estima que se registrarán modificaciones en los patrones de distribución de las lluvias e incrementos de las temperaturas. En Argentina, durante los últimos 40 años han aumentado las precipitaciones estivales, observándose su desplazamiento hacia el oeste, lo cual ha permitido el ingreso de cultivos como soja y maíz en áreas tradicionalmente ganaderas o de cultivos de invierno. Es importante poder predecir estos cambios e identificar los procesos que afectarán las funciones de los suelos dentro del ecosistema mediante estudios agroclimáticos continuos y el aumento de las estaciones de observación y monitoreo.

Durante las próximas décadas, los productores agropecuarios, el sistema científico tecnológico y los países agro-exportadores como Argentina, tendrán el desafío de aumentar la productividad de los suelos, disminuir los impactos negativos de las actividades sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, recuperar áreas degradadas e implementar prácticas de uso sostenible de las tierras, con vistas a proveer alimentos suficientes a la población mundial y mantener la calidad ambiental.

Cultivo de soja en la región pampeana. Santa Fe, Argentina. (JLP)

Agricultura de conservación

El objetivo de la Agricultura de Conservación (AC) es lograr una agricultura sostenible y rentable, con el fin de mejorar las condiciones de vida de los agricultores. Los tres principios de la AC son:

- perturbación mínima del suelo,
- cobertura permanente, y
- rotación de cultivos.

La AC ofrece un gran potencial para gestionar fincas de distintos tamaños y bajo diferentes sistemas agro-ecológicos. Sin embargo, son los pequeños productores los que más se benefician de este sistema, especialmente aquellos sin mano de obra. La AC combina una producción agrícola rentable con una protección del medio natural y se ha mostrado capaz de funcionar en un amplio rango de zonas agro-ecológicas y sistemas de producción. Esta práctica se considera en la actualidad una herramienta válida para la gestión sostenible de la tierra. Para que la AC funcione de manera eficaz, se deben considerar los principios de la AC de manera simultánea e integrada a la hora de aplicar las técnicas agrícolas que se basen en ellos.

Los principales beneficios medioambientales que se derivan de la práctica de la AC son:

1. Mejora de los contenidos de materia orgánica. La materia orgánica está relacionada directa o indirectamente con todos los procesos que se dan en el suelo. La calidad del mismo está determinada principalmente por su contenido en materia orgánica (el cual es variable y muy sensible a los sistemas de gestión del suelo).
2. Conservación y mejora de la estructura del suelo y del agua. La AC mejora la estructura del suelo y por lo tanto aumenta la infiltración del agua de lluvia respecto al laboreo convencional. Esto ayuda a mantener el caudal ecológico de los ríos y arroyos, que depende del flujo subterráneo más que de la escorrentía superficial, y también revitaliza los manantiales. Al favorecer la infiltración también disminuye el riesgo de inundaciones.
3. Mejora de la biodiversidad. Los sistemas agrícolas con abundantes restos vegetales sobre el suelo proporcionan alimento y refugio a muchas especies de fauna en periodos críticos de su ciclo vital. La cubierta vegetal alberga especies de aves, pequeños mamíferos, reptiles y diversos invertebrados, entre otros.

Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es una forma de gestión agrícola que requiere el uso de tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de estimar y comprender las variaciones en las características del terreno. La información recolectada se puede usar para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra o la cantidad de fertilizante necesaria, y así poder predecir con mayor exactitud la producción de los cultivos.

La agricultura de precisión tiene como objeto optimizar la gestión de una parcela desde el punto de vista:

- Agrícola: ajuste de las prácticas de cultivo a las necesidades de la planta.
- Medioambiental: reducción del impacto vinculado a la actividad agrícola.
- Económico: aumento de la competitividad a través de una mayor eficacia de las prácticas.

Además, la agricultura de precisión pone a disposición del agricultor una gran cantidad de información (memoria real del campo) de gran utilidad a la hora de tomar decisiones o realizar el seguimiento de los productos (trazabilidad).

Sistemas agroforestales

Según Farell y Altieri [78], "el objetivo de la mayoría de los sistemas agroforestales es el de optimizar los efectos beneficiosos de las interacciones de los componentes del bosque con el componente animal o cultivo, para obtener un patrón productivo que se compara con lo que generalmente se obtiene de los mismos recursos disponibles en el monocultivo, dadas las condiciones económicas, ecológicas, y sociales predominantes".

La característica principal de los sistemas agroforestales es su capacidad de optimizar la producción del territorio (unidad de terreno), a través de una explotación diversificada, en la que los árboles cumplen un rol fundamental. Otras características de los sistemas agroforestales son:

- Sostenibilidad. Al utilizar sistemas basados en los ecosistemas naturales, la productividad puede mantenerse por más tiempo sin la degradación de la tierra.
- Incremento de la productividad. El favorecer las interacciones entre los componentes del paisaje con condiciones mejoradas de crecimiento y un uso eficaz de los recursos naturales (espacio, suelo, agua, luz) repercute en una mayor producción.
- Adaptabilidad cultural/socioeconómica. La agroforestería puede ser aplicada tanto en pequeñas como en grandes áreas. Es una práctica muy valorada especialmente por los pequeños agricultores en áreas marginales y pobres de las zonas tropicales y subtropicales, ya que habitualmente no pueden acceder a las tecnologías más costosas.

Los sistemas agroforestales pueden agruparse de la siguiente manera:

1. Agrosilvicultura. Uso de la tierra para la producción secuencial o simultánea de cultivos agrícolas y forestales.
2. Sistemas silvopastorales. Los bosques se orientan a la producción de madera, alimento y forraje, al tiempo que el terreno se utiliza para la producción animal.
3. Sistemas agrosilvopastorales. Producción simultánea de cultivos forestales, agrícolas y ganado.
4. Producción forestal multipropósito. Se ordena la masa forestal para producir no sólo madera, sino otros productos no maderables, como alimentos o forraje.

Otra manera de clasificar los sistemas agroforestales es en función de la variación de los usos en el tiempo:

- Sistemas agroforestales secuenciales. Existe una relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos arbóreos; es decir, los cultivos anuales y las plantaciones de árboles se suceden en el tiempo. Esta categoría incluye formas de agricultura migratoria con intervención o manejo de barbechos, y los sistemas "taungya", métodos de establecimiento de plantaciones forestales en las que los cultivos anuales se llevan a cabo simultáneamente con las plantaciones de árboles, pero sólo temporalmente, hasta que los árboles se desarrollan.
- Sistemas agroforestales simultáneos. Se produce una integración simultánea y continua de cultivos anuales o perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiple y/o ganadería. Estos sistemas incluyen asociaciones de árboles con cultivos anuales o perennes, huertos caseros mixtos y sistemas agrosilvopastorales.

A continuación se describe una serie de ejemplos de sistemas agroforestales:

- Árboles de sombra en cultivos permanentes. Es el caso, por ejemplo, de cultivos como el café o el cacao. Incluye árboles maderables, de uso múltiple y de "servicio", orientados a favorecer al cultivo (fijación de nitrógeno, sombra, productores de mulch).
- Cultivos en callejones y barreras vivas. Utilización de árboles y arbustos, junto con otros componentes (p. ej., zacates o pastos) para formar hileras que dejan entre sí callejones usados generalmente para cultivos anuales. Su finalidad principal es mejorar el suelo (fijación de nitrógeno, producción de mulch arbóreo) y/o reducir erosión en las pendientes.
- Sistema de taungya. Siembra de cultivos durante la fase de establecimiento de plantaciones forestales de frutales o cultivos perennes como café y cacao.
- "Tumba y quema" y barbechos mejorados. Sistemas agrícolas tradicionales utilizando barbechos o bosques secundarios para regenerar la fertilidad del suelo y controlar la maleza.
- Árboles aislados en campos agrícolas. Incluye regeneración natural y plantación de especies maderables, frutales y árboles de diversos usos (ej.: para mejora del suelo, forrajeros, leña, medicinales) con espaciamientos amplios (> 10 m) en áreas utilizadas principalmente para cultivos anuales.
- Árboles en línea alrededor de campos agrícolas. Cercas vivas, linderos y barreras cortavientos.
- Huertos caseros. Mezcla de varios estratos complejos de árboles, arbustos, bejucos (enredaderas), cultivos perennes y anuales, animales (especialmente cerdos y gallinas), para generar multitud de productos comerciales y de uso familiar.
- Pastoreo en bosques secundarios/plantaciones forestales. Más común en plantaciones jóvenes (2-6 años).
- Pastoreo en plantaciones de cultivos arbóreos. Por ejemplo coco, palma africana, cítricos.
- Árboles dispersos en pastizales. Los ganaderos plantan árboles para su uso múltiple (maderables, de sombra y/o de forraje y frutos).
- Árboles forrajeros. Cualquier uso de árboles/arbustos, con o sin asociación con pastos, para suministrar forraje a animales domésticos (p. ej. ganado, gallinas), incluyendo "bancos forrajeros".
- Pastoreo en sistemas agrosilvoculturales. Muy común en la estación seca, después de las cosechas, para aprovechar los residuos de los cultivos (rastrojos). Además los árboles constituyen el único follaje verde en verano.

El Ordenamiento Ecológico Mexicano

El gobierno de México da forma a sus estrategias de conservación de los recursos naturales a través del Ordenamiento Ecológico. Se trata de un proceso de planificación cuyo objetivo es definir un patrón de ordenación del territorio con el mayor consenso posible entre los diferentes sectores sociales y autoridades de la región. A través de este proceso se generan, implementan y evalúan, en su caso, las políticas ambientales con las que se busca lograr un mejor balance entre las actividades productivas y la protección del medio natural. El Ordenamiento Ecológico incluye una zonificación, los lineamientos ecológicos para cada zona y un conjunto de estrategias ecológicas. Un lineamiento ecológico se define como un enunciado general que refleja la meta o estado deseable de una unidad territorial o zona. Para que sea válido, debe cumplir lo siguiente: (1) establecerse de manera consensuada entre los sectores involucrados en el comité de ordenamiento ecológico, (2) fundamentarse con la mejor información técnica y científica, y (3) generarse mediante procedimientos sistemáticos y transparentes. Por su parte, las estrategias ecológicas incluirán todas las acciones, programas y proyectos de los tres órdenes de gobierno con los que se busca alcanzar los lineamientos correspondientes.

Los gobiernos de los estados están obligados por ley a instrumentar sus ordenamientos ecológicos del territorio.

La elaboración de este programa requirió la integración de un grupo de trabajo en el que participan nueve secretarías: de Medio Ambiente, Energía, Turismo, Agricultura, Desarrollo Social, Economía, Gobernación, Reforma Agraria y Comunicaciones y Transportes, así como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el Centro Nacional de Prevención de Desastres, Petróleos Mexicanos, la Comisión Federal de Electricidad y el Servicio Geológico Mexicano.

(Fuente: SEMARNAT. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno Federal de los Estados Unidos Mexicanos; Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)).

Políticas de conservación de suelos en Uruguay

Uruguay atraviesa un proceso de expansión e intensificación agrícola que ha cuadruplicado la producción de granos en los últimos 15 años. Como sucede en el caso de Argentina, la creciente demanda internacional de productos agrícolas ha estimulado dicho aumento, por lo que resulta indispensable lograr un uso y gestión responsable del suelo para lograr la sostenibilidad productiva a largo plazo.

La Ley de Conservación de Suelos y Aguas del Uruguay declara de interés nacional el promover y regular el uso y conservación de los suelos y de las aguas superficiales destinadas a fines agropecuarios, siendo competencia del Estado prevenir y controlar la degradación de los suelos. Además, se ha comenzado a implementar la normativa mediante la cual el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca exige la presentación de Planes de Uso y Manejo Responsable del Suelo a los agricultores. Estos planes deben incluir el sistema de producción proyectado, teniendo en cuenta el tipo de suelo, la secuencia de cultivos y las prácticas de gestión, para que no se supere la tasa de erosión tolerable. En 2010 se inició la Etapa Piloto de la presentación de dichos planes, y en 2012, en el momento de escribir este texto, se encuentra en fase de desarrollo y evaluación conjunta por parte de técnicos y empresas privadas. Hasta ahora se han presentado planes en 29.000 ha, el 2% del área agrícola del país. El 70% del área de los planes presentados corresponde a rotaciones agrícolas puras que incluyen gramíneas de verano. En esta primera fase, se valoró como muy positivo el trabajo en coordinación publico/privado para la implementación de políticas públicas.

Hombre arando el campo en Bella Unión, departamento de Artigas, Uruguay. (Li)

La Estrategia Ambiental Nacional de Cuba

Desde 1997, en esta directriz política se identifica la degradación del suelo como el principal problema medioambiental del país, ya que el 76% de las tierras se ven afectadas por al menos un factor que limita su productividad. Ante esta situación, surge en 1993 el Decreto 179, el cual contiene las regulaciones específicas sobre la protección, el uso y la conservación de los suelos, y en el año 2001, el Programa Nacional para el Mejoramiento y Conservación de los Suelos (PNMCS), mediante el cual el estado subvenciona a los productores para que apliquen medidas orientadas a detener y revertir el proceso de degradación de sus suelos, como son: el uso de abonos verdes, la aplicación de abonos orgánicos, la construcción de tranques (pequeños diques) o bordos de desagüe. Este programa está coordinado por el Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura, cuyos especialistas de base deben certificar previamente la medida aplicada en el lugar. Existen otros Programas enmarcados en la Estrategia Ambiental, como por ejemplo el Programa Nacional contra la Desertificación y la Sequía y el Programa Nacional Forestal.

Imagen de satélite del glaciar Perito Moreno (Argentina). A pesar de tratarse de uno de los pocos glaciares del mundo aún en expansión, los efectos del cambio climático son evidentes: se puede apreciar una reducción de su profundidad, especialmente en los márgenes. (NASA)

El cambio climático en LAC

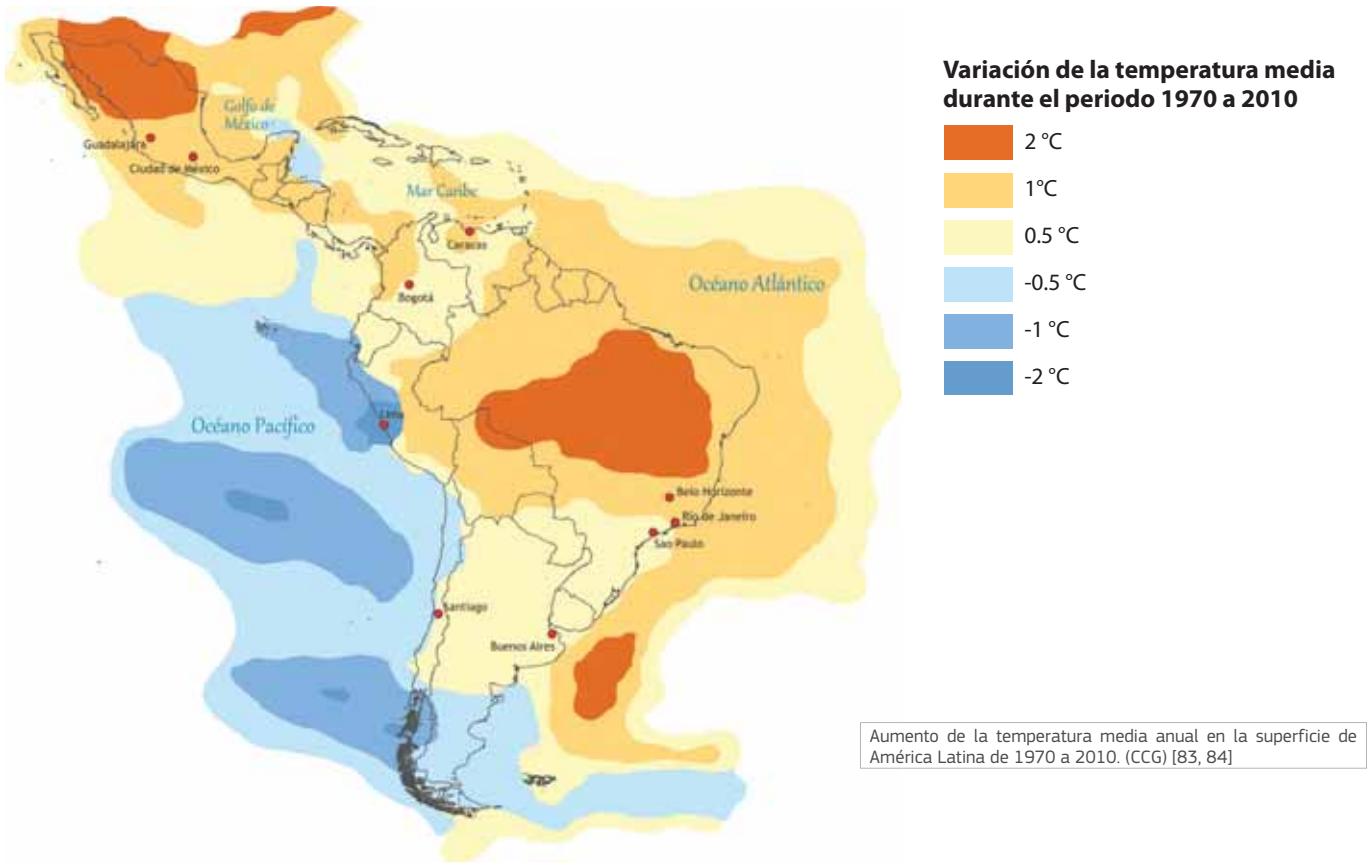
La atmósfera de nuestro planeta funciona como un invernadero que retiene el suficiente calor del Sol para propiciar la vida de una gran diversidad de plantas y animales. Este sistema de control climático depende de la concentración de varios gases llamados de efecto invernadero (GEI) entre los que destacan el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Sin la presencia de estos gases la temperatura promedio en la Tierra sería de unos gélidos -18°C en lugar de los actuales 14,5°C.

Cada 100.000 años la Tierra se vuelve más elíptica (periodo cálido o interglaciar) o más circular (periodo frío o glaciar) haciendo que el planeta se acerque o aleje más del Sol. Asimismo, cada 41.000 años la variación en la inclinación de la Tierra afecta la intensidad de las estaciones: a mayor inclinación los veranos son más cálidos y los glaciares se derriten a un ritmo más rápido. La precesión- o ciclos de Milankovitch- son movimientos alrededor del eje cada 20.000 años, lo cual provocará que dentro de 10.000 años el invierno en el hemisferio norte no comience en noviembre sino en julio [79]. Los estudios del hielo antártico han demostrado que en cada era interglaciar ocurren aumentos significativos de la temperatura. La última era interglaciar, en la que vivimos, comenzó hace 11.600 años, durante el Holoceno, y se inició debido a la inestabilidad de la actividad solar y a los cambios en la órbita, eje de inclinación y movimientos de precesión de nuestro planeta.

Durante una era interglaciar, en primer lugar se produce un aumento de la temperatura, a continuación aumenta el nivel de CO_2 y finalmente el nivel del mar. Lo que varía en de la situación actual es que el nivel de CO_2 está subiendo desproporcionadamente con respecto al nivel de la temperatura y el nivel del mar. Los científicos atribuyen esta perturbación al aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido a un espectacular crecimiento de la población - sobre todo en los últimos 30 años - y a nuestro mayor consumo energético (actividades industriales, consumo doméstico y transporte). Según el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático, en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change) la temperatura media superficial de la tierra ha aumentado 0,74°C en los últimos 140 años (1860-2000). Este aumento ha ido acompañado de un incremento en las concentraciones de CO_2 en la atmósfera (ver figura de abajo).

Cerca del 99% de la atmósfera terrestre está constituido únicamente por nitrógeno y oxígeno. Apenas una fracción del 1% restante está formada por gases capaces de retener calor, que son los responsables de muchas consecuencias del calentamiento global, los mayores extremos térmicos históricos, o la mayor intensidad de los ciclones o frecuencia de los huracanes, todas las cuales conllevan daños agrícolas, incendios, migraciones, cambios en la biodiversidad y por ende desequilibrios en los ecosistemas.

De acuerdo con el IPCC en su Cuarto Reporte de Evaluación del Cambio Climático (2007), América Latina emitió en 2004 el 11% de los todos los gases en el mundo considerados en el Protocolo de Kioto (aproximadamente 5 Tg/año de GEI), incluyendo aquellos emitidos por el cambio de uso de suelo. La emisión anual de GEI por habitante es cercana a las 8 toneladas de CO_2, equivalente aproximadamente a una tercera parte de la emisión promedio del habitante en Estados Unidos; se estima que en 30 años el consumo energético de los latinoamericanos será similar al de los países desarrollados.



Aumento de la temperatura media anual en la superficie de América Latina de 1970 a 2010. (CCG) [83, 84]

Gases de efecto invernadero

Dióxido de carbono (CO_2)

Se produce principalmente por la quema de combustibles fósiles, la erosión del suelo y la deforestación (al exponer la hojarasca y el humus directamente al calor del sol).

El dióxido de carbono tiene una vida media de 200 años y si las emisiones de este gas se mantienen al ritmo actual, hacia el año 2100 la concentración aumentará de 390 a 525ppm y el mundo se calentará probablemente más de los 4°C previstos.

En el caso de que no se produjese ningún control de las emisiones de este gas, sus niveles aumentarían hasta superar las 800 ppm, y el incremento de la temperatura superaría los 5,5°C, superando seguramente la capacidad de adaptación del 40% de las especies y enfrentándolas a la extinción.

En América Latina los países con más emisiones netas de CO_2 son: Brasil, México y Argentina, mientras que los países con mayor emisión por habitante son: Brasil, Bolivia y Venezuela. Existen países como Perú, Bolivia, Cuba, Costa Rica y la República Dominicana donde el suelo es el eje principal de actividades con alta emisión de gases de efecto invernadero: la agricultura y el cambio de uso de la tierra. Otros países relativamente más industrializados como México, Brasil y Venezuela tienen sus fuentes principales de emisión en la generación de energía y la industria.

Metano (CH_4)

Se libera durante la generación de gases en suelos húmicos de pantanos, suelos inundados u ocupados con arrozales o rellenos sanitarios donde el suelo actúa como contenedor de residuos sólidos y contaminantes. También se genera durante la fermentación de los desechos bovinos y el cambio de uso de la tierra, en particular el asociado a la deforestación. El pantanal de Mato Grosso, ubicado entre las extensas sabanas centrales de Brasil y la Amazonia, es la mayor planicie de inundación permanente del planeta, y el lugar que emite la mayor cantidad de metano de América Latina.

Óxido nitroso (N_2O)

El empleo de fertilizantes sintéticos nitrogenados, como la urea, el sulfato de amonio y el amoniaco anhidro, aumenta la mineralización de la materia orgánica en el suelo y libera óxido nitroso, el cual tiene cinco veces menos permanencia que el CO_2 pero un poder de calentamiento 310 veces mayor. En México, Brasil y Argentina se consumen anualmente 5,7 millones de toneladas de fertilizante nitrogenado de los cuales una parte es lixiviada a los cuerpos de agua, mientras que otra fracción no cuantificada de manera global, es fijada al suelo por medio de bacterias presentes en los nódulos de ciertos cultivos (p. ej. frijol, soja, cacahuate, alfalfa y trébol) y por la incorporación de abonos verdes al suelo. En Perú se desarrolla actualmente un fertilizante biológico a partir de cepas del género *Azospirillum*. En el caso de Cuba se ha desarrollado la eficiencia del cultivo con empleo de abonos orgánicos y fertilizantes biológicos.

Otros gases

Existen otros gases de efecto invernadero, entre los que se incluyen el ozono o el vapor de agua. Algunos de los más agresivos son los hidrofluocarbonados (HFCs), perfluorados (PFCs) y el hexafloruro de zinc (SF_6), los cuales pueden permanecer hasta 50.000 años y pueden tener 24.000 veces más potencial de calentamiento que el CO_2.

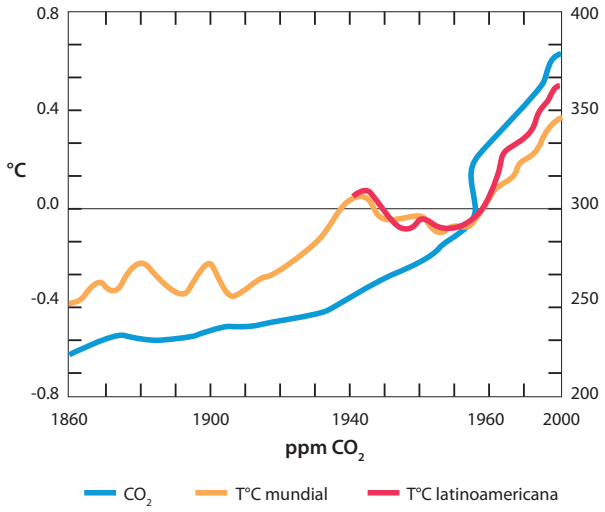
¿Qué debemos hacer?

Sabemos que las emisiones de CO_2 aumentarán entre 55 y 70% entre 2012 y 2030. Por ello es necesario incrementar la eficiencia energética, detener la deforestación y disminuir la erosión, ya que el suelo es un importante recurso para el almacén terrestre de CO_2.

Si bien algunas regiones de Rusia y el norte de Europa se beneficiarán del aumento de temperatura, la mayor parte del mundo, incluida América Latina, sufrirá desfavorablemente el cambio climático, especialmente las franjas tropicales y los países que como Haití, El Salvador y Bolivia, ya que no cuentan con fondos suficientes para la adaptación.

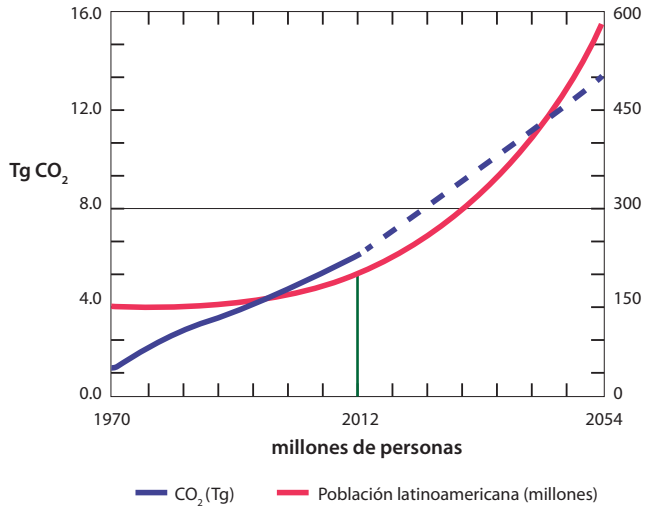
No hay soluciones únicas ni rápidas. Conseguir que el mundo encuentre un uso óptimo de energía y alejarse al mismo tiempo del punto de desastre climático es el principal problema ambiental y económico que enfrenta la Humanidad de este siglo.

Concentraciones de CO_2 en la atmósfera y anomalías de la temperatura (con respecto a la media 1961-1990) en América Latina.



Evolución de las emisiones de carbono frente al aumento de la temperatura media y el crecimiento poblacional en América Latina (CCG/IPCC). [80, 81, 82]

Emisiones de carbono y creminiento de la población de 1970 a 2012 y proyectada a 2054.



El ciclo del carbono

Este ciclo describe los intercambios de carbono entre las cuatro reservas naturales de este elemento, que son: la atmósfera, los océanos, los sedimentos fósiles y la biosfera terrestre, de los cuales depende la regulación del clima en el planeta.

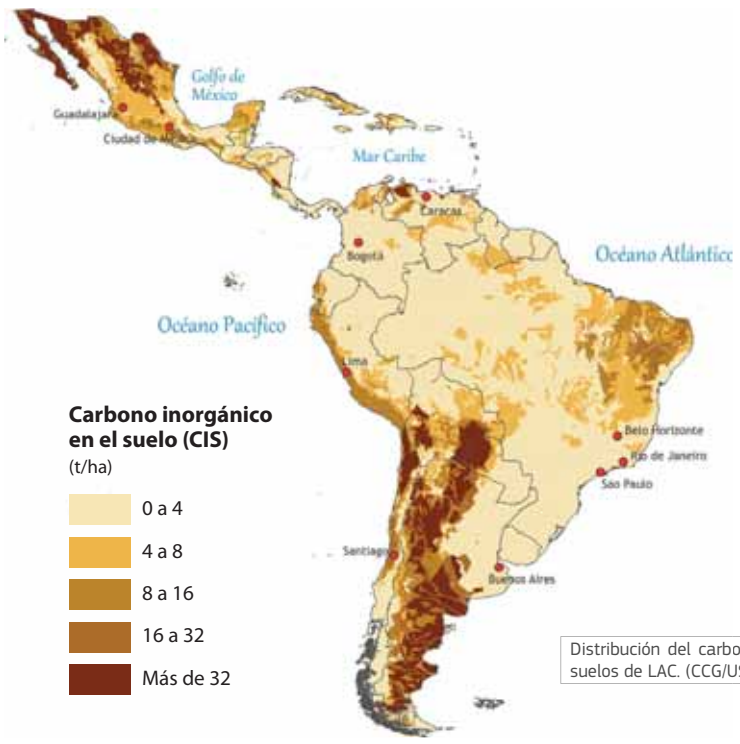
El carbono es el cuarto elemento químico más abundante en el universo y forma parte de todas las moléculas orgánicas como la glucosa, las proteínas y los ácidos nucleicos. Este elemento se renueva en la atmósfera cada 20 años gracias a los mecanismos de respiración de las plantas y a la actividad de los microorganismos del suelo. Gracias a la clorofila contenida en las plantas verdes, éstas toman el CO_2 del aire durante la fotosíntesis y posteriormente liberan el oxígeno que lo reemplazará.

Existen dos tipos de carbono: el inorgánico y el orgánico.

Carbono inorgánico

Se forma cuando los organismos marinos emplean parte del CO_2 del agua para formar caparazones o arrecifes ricos en carbonato cálcico ($CaCO_3$). Al morir, estos residuos quedan depositados en el fondo oceánico formando rocas sedimentarias en las que el carbono queda excluído del ciclo durante millones de años. Este carbono vuelve al ciclo cuando las rocas quedan expuestas por movimientos geológicos (p. ej. erupciones volcánicas) y se disuelven por el calor y los diferenciales de humedad.

En algunas ocasiones la materia orgánica queda sepultada a grandes profundidades sin contacto con el oxígeno que la descompone, produciéndose así la fermentación que generará el carbón, petróleo y gas natural. La actual explotación de estos recursos fósiles es una de las principales causas del cambio climático.



Distribución del carbono inorgánico en los suelos de LAC. (CCG/USDA) [85]

Carbono orgánico

Es de intercambio rápido y está presente en todos los compuestos orgánicos, incluyendo el suelo. Existen cinco rutas naturales de transformación en las que los humanos tienen intervención directa.

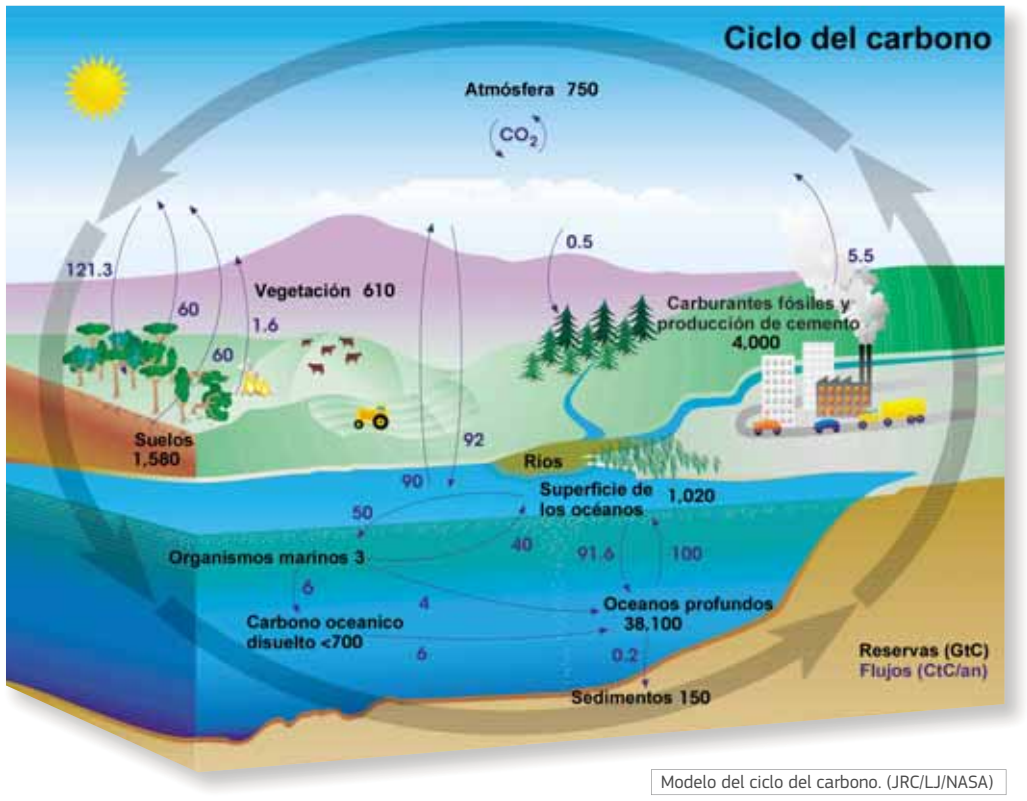
1. De la atmósfera a las plantas, mediante la generación de azúcar por la fotosíntesis. Un solo árbol absorbe como promedio una tonelada de CO_2 del aire a lo largo de su vida.
2. De las plantas a los animales, mediante las cadenas alimenticias.
3. De los seres vivos a la atmósfera, mediante la respiración.
4. De las plantas y animales al suelo, donde al morir, son descompuestos e integrados en las moléculas de arcilla, limo o arenas mediante procesos como la humificación, la translocación o la mineralización.
5. De la atmósfera a los cuerpos de agua, mediante la disolución del carbono y de la transformación de CO_2 a carbonatos por los organismos marinos.

Almacenes y sumideros

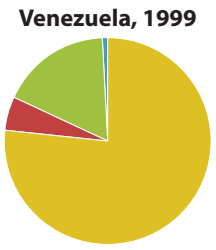
Existen tres tipos de almacenes para el carbono orgánico de ciclo rápido o biológico, de acuerdo con su ubicación respecto a la superficie del suelo: i) el almacén aéreo es la vegetación, ii) el almacén superficial es el mantillo (hojarasca y capa de fermentación) y iii) el almacén subterráneo lo constituyen el suelo y las raíces de las plantas (ver Glosario).

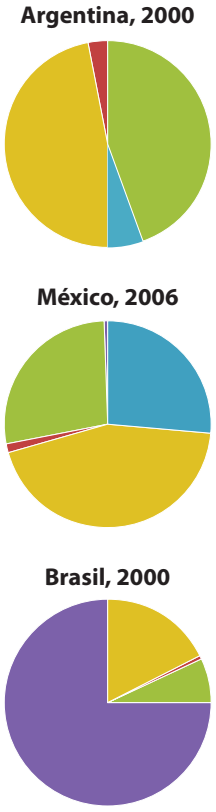
Los bosques primarios (nativos) son buenos almacenes de carbono, mas no sumideros, ya que su flujo de carbono con la atmósfera es mínimo; lo contrario ocurre con los bosques secundarios (modificados por el hombre), en los que existe mayor capacidad de conversión de CO_2 atmosférico a biomasa, por encontrarse en crecimiento. El almacén más estable después del océano es el suelo pero también es el más difícil de incrementar ya que se requiere un tiempo prolongado para conseguirlo. Los factores que determinan el potencial como sumidero del suelo son la profundidad, el peso del suelo, la textura, los tipos y combinaciones de arcillas presentes, el grado de humedad y el volumen ocupado por fragmentos gruesos donde el carbono orgánico no puede enlazarse fácilmente.

Los almacenes de carbono inorgánico más importantes, constituidos principalmente por carbonatos de calcio se encuentran en las zonas de origen sedimentario ubicadas en Argentina, Bolivia, el norte de México y el norte de Chile.



Modelo del ciclo del carbono. (JRC/LJ/NASA)





Emisión de GEI por sector de emisión en cuatro países latinoamericanos seleccionados con diferente perfil en su consumo energético. (CCG) [86a, b, c, d]

Fuentes antropogénicas de carbono

A las vías de transformación del carbono ya mencionadas se debe añadir la intervención humana como principal fuente de perturbación del ciclo natural del carbono por medio de cuatro mecanismos principales:

1. Quema de combustibles fósiles

El carbono contenido originalmente en los combustibles fósiles -carbón, gas natural y petróleo- se transforma en CO_2 atmosférico durante la generación de electricidad, el transporte, el uso residencial, la pesca y la minería. De estos combustibles, el gas es la opción menos contaminante pero sólo Venezuela lo usa en forma importante. Otros países como Argentina ya han legislado sobre la obligatoriedad de su uso en los próximos años. El carbón por su parte, es barato y abundante, pero es el más contaminante de todos ellos.

2. Extracción y procesamiento de minerales del suelo y subsuelo

Cuando se fabrica cemento, cal y dolomita, se transloca el carbono contenido en el suelo y subsuelo hacia el exterior donde es más fácilmente transformado por calor o disolución directa con otras sustancias químicas. México tiene por ejemplo la fábrica cementera más grande del mundo (CEMEX), donde se producen alrededor de 2,8 Tg de cal y cemento que equivalen a la extracción y movimiento directo de 1,2 Gg de carbono directamente.

3. Cambio de cobertura y uso del suelo

En los países latinoamericanos se da una enorme cantidad y variantes en los usos del suelo. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) contempla al menos 225 transiciones. Las que destacan, por su mayor liberación de carbono a la atmósfera, son los cambios de bosque a pastizal, de bosque a agricultura, de bosque a zona sin cobertura vegetal y de bosque conservado a bosque degradado. Por el contrario, los cambios con mayor absorción de carbono son de agricultura a terreno en descanso y de pastizal a bosque.

Según World Wide Fund for Nature, en América Latina y el Caribe cerca del 44% de la superficie es bosque húmedo tropical y subtropical, el 18% pastizales y el 11% son desiertos y matorrales xerófilos. Los sistemas boscosos sin intervención humana tienen un aparente equilibrio entre síntesis y liberación de carbono hacia la atmósfera.

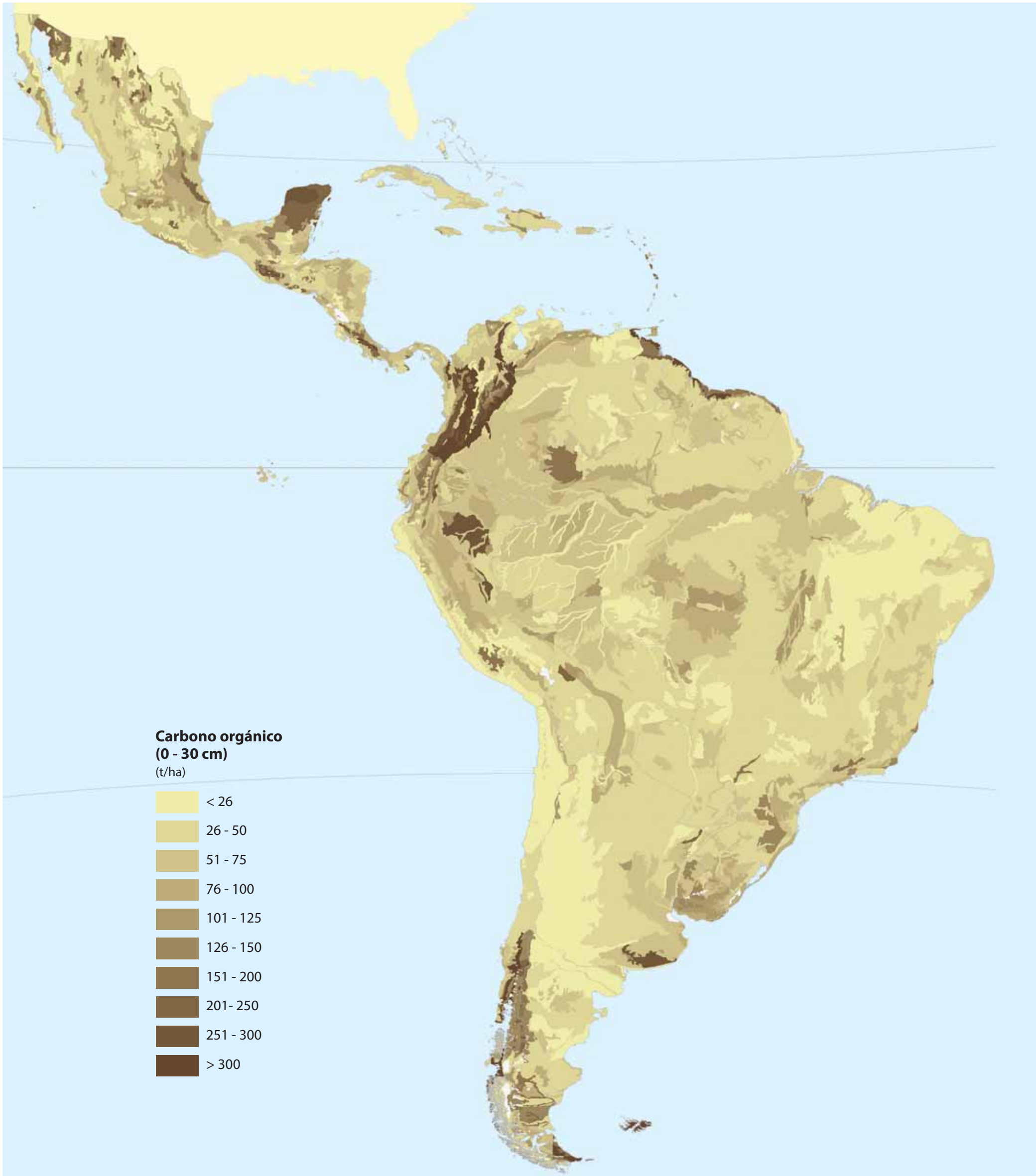
4. Agricultura y ganadería

La producción primaria tiene múltiples efectos en el movimiento del carbono del suelo hacia la atmósfera. Cuando los agricultores preparan sus tierras literalmente están aireando el suelo y con ello incrementando la velocidad de descomposición del carbono orgánico (proceso llamado mineralización). En contraste con la humificación, la mineralización causa pérdida de volumen y masa de la parte orgánica del suelo, disminuyendo paulatinamente sus propiedades de absorción de agua y capacidad de intercambio de nutrientes con las raíces de las plantas. Otro efecto sucede durante la fertilización: si es orgánica se redistribuye directamente el flujo del carbono de los animales o plantas al suelo, pero si en cambio es artificial, el aumento en la mineralización del carbono será mucho mayor. En el caso de las quemas de caña de azúcar el hombre elimina directamente los organismos responsables de la humificación, afectando directamente la estructura física de la materia orgánica que aún queda después de la incineración. La ganadería también contribuye considerablemente a la emisión de los GEI. Globalmente este sector produce un 18% (en equivalentes de CO_2) de las emisiones antropogénicas de GEI.

5. Desechos humanos

Los residuos sólidos, tratados o no, son la materia prima para los procesos microbiológicos de degradación anaeróbica, que liberan carbono a la atmósfera. Además, se genera óxido nitroso por descomposición de los excrementos humanos y el tratamiento anaeróbico de aguas residuales domésticas e industriales en fase líquida y sólida (lodos).

Distribución del carbono orgánico (CO) en los suelos de América Latina y el Caribe



El peso seco del carbono orgánico expresado en toneladas por hectárea es el indicador más ilustrativo para conocer la capacidad de acumulación de este elemento en el suelo. Este valor depende de la densidad aparente (en toneladas por metro cúbico), proporción de carbono orgánico existente (en porcentaje del peso), proporción de tierra fina presente (partículas de 2 mm o menos en porcentaje del peso) y de la profundidad (en metros). Este último valor es el que tiene más efecto en la variabilidad del indicador.

En el primer metro de profundidad de los suelos de América Latina y del Caribe se almacenan aproximadamente 185 Gt de carbono orgánico. Esta cantidad supone casi el doble de las reservas de carbono acumuladas en la vegetación de la Amazonia.

Los suelos más ricos en carbono orgánico de América Latina (CO mayor de 250 t/ha) están localizados la región sedimentaria del Carso Huasteco y la península de Yucatán en México, el delta del Orinoco en Venezuela, los bosques de Guatemala y Costa Rica, la región de Cauca y Magdalena en Colombia, Iquitos, Napo y Río Negro en la Amazonia oriental, las sabanas uruguayas y las pampas húmedas, los bosques de Valdivia en Chile y las estepas de la Patagonia en Argentina.

Respecto a las regiones más áridas (en México, Chile, Perú, Brasil y Argentina), es imprescindible preservar el escaso carbono que aún existe en éstas (CO por debajo de 25 t/ha), debido a la gran fragilidad de los ecosistemas que ahí se encuentran. (ISRIC/JRC) [47]

Degradación del suelo y cambio climático en LAC

Los principales agentes de perturbación del ciclo natural del carbono son la deforestación y las prácticas agropecuarias asociadas a los cambios en el uso del suelo. En América Latina cada año más de cuatro millones de hectáreas de bosques se transforman en nuevas áreas agrícolas de subsistencia, nuevos pastizales o en áreas urbanas.

Ejemplo del cambio de uso del suelo, en este caso de forestal a urbano, en el Valle de México de 1940 (foto de arriba/IDP) a 2010 (foto de abajo/JSR).

El mapa muestra la distribución de los principales factores antropogénicos que afectan la emisión o absorción de gases de efecto invernadero (GEI) en el suelo de América Latina. La información disponible por los diversos paises no tiene el mismo nivel de detaille. (CCG) [87, 88, 89, 90]

Deforestación

El cambio de uso forestal hacia otros usos produce en América Latina el 46% del carbono emitido hacia la atmósfera. Estas emisiones tienen su origen en la combustión por incendio, la descomposición de la biomasa vegetal y el mantillo eliminado de los bosques, así como en las pérdidas producidas durante la mineralización del carbono y la erosión.

Por ello, en el caso de la LAC, mantener el carbono orgánico dentro del suelo es una forma efectiva de enfrentar el cambio climático. Sin embargo, cuando un bosque es derribado se inicia de inmediato un proceso de oxidación y degradación de la materia orgánica, al que sigue un deterioro de la microestructura del suelo, aumentando así el factor de dispersión y el valor de la densidad aparente. La deforestación disminuye la capacidad del suelo para infiltrar el agua que escurre superficialmente durante las lluvias más intensas, lo cual conduce a una erosión más intensa por el desprendimiento y transporte de los agregados del suelo. Esto contribuye a la colmatación de muchos cuerpos de agua y ríos, reduciendo su capacidad natural y pudiendo llegar a provocar inundaciones o deslizamientos de tierras.

Brasil pierde más de 2,5 millones de hectáreas de bosque al año, más que ningún otro país del mundo. El cambio de uso de suelo en la Amazonia genera el 52% de las emisiones de GEI para Brasil. Le sigue, en magnitud de daños, México con cerca de un millón de hectáreas de bosque perdidas al año y después Perú, con 400.000. En los casos notables de Argentina y Brasil (Mata Atlántica) ha desaparecido un 70% del bosque original.

Erosión del suelo en la ladera (segundo plano) después de utilizar el método de “tumba y quema”. Región Huasteca, México. (CG)

Prácticas agropecuarias

La aplicación intensiva de fertilizantes, los riegos mal planificados y el excesivo laboreo de la tierra, provocan la compactación de los primeros 30 cm de suelo, en donde los agregados terminan por destruirse, desaparecen la mayor parte de los macroporos y el factor de dispersión se dispara. Además, si estos suelos se destinan al monocultivo, las reservas de carbono orgánico disminuirán en pocos años hasta constituir menos de la mitad de su contenido original.

No todo es preocupante, ya que también existen buenas prácticas agrícolas que ayudan a contener las emisiones de CO_2 a la atmósfera. Por ejemplo, en Brasil, el arroz se produce generalmente en una gran extensión de áreas no inundadas y la caña de azúcar se corta mecánicamente sin recurrir a la quema tradicional en una tercera parte de la superficie cosechada. En Colombia y Cuba se fomenta la producción y empleo de fertilizantes orgánicos.

Por otro lado, los suelos que son transformados en nuevos pastizales se compactan rápidamente cuando la carga animal es elevada y el pisoteo constante, como sucede en el caso de Brasil, donde solamente en los biomas de Cerrado y Amazonia se concentran más de 240 millones de cabezas de ganado.

Conservación ambiental

Los programas oficiales e iniciativas empresariales o civiles con fines de restauración ambiental se orientan en su mayoría a proteger o ampliar los bosques y, en menor medida, a proteger el suelo. En cualquier caso, América Latina tiene aún un gran desequilibrio entre las acciones positivas y negativas en lo que respecta al manejo del recurso suelo. Según fuentes oficiales, por cada ocho hectáreas deforestadas sólo una es reforestada. Los valores más extremos se encuentran en Brasil y México: 40 hectáreas deforestadas por cada una reforestada. En cambio, en países más pequeños pero con mejores políticas de conservación como Cuba, Guatemala o Costa Rica, esta proporción es de hasta tres hectáreas deforestadas por cada hectárea en reforestación.

Generalmente los estados o municipios menos participativos son generalmente también aquellos con menores recursos disponibles. En Perú, por ejemplo, los municipios de Huancavelica y Ayacucho, con los índices de pobreza más elevados, son los menos comprometidos y, paradójicamente, en ellos las posibilidades de captura y secuestro de carbono son más elevadas que en otros municipios. Lo mismo ocurre en México, donde estados como Guerrero y Oaxaca, con mucha mayor biodiversidad y mayores índices de erosión, presentan menos proyectos de conservación y las políticas orientadas a resolver estos problemas.

Existen, sin embargo, excepciones como Bolivia donde se encuentra el proyecto de restauración integral más grande del mundo, conocido como PAC-Noel Kempff, el cual cubre 634.000 hectáreas en el altiplano andino. En este país, además, se protege el suelo compensando la deforestación mediante el cultivo de plantaciones perennes de cacao silvestre y castañas. En Perú existen registros de reforestación en más de 50.000 ha, destacando Cajamarca. México por su parte orienta los esfuerzos no sólamente a reforestar, sino a restaurar los suelos más erosionados mediante obras como bordos, gaviones, terrazas y pago directo por servicios ambientales.

Por otra parte, la generación de basura es por sí misma un fenómeno de impacto negativo al medio ambiente, sin embargo, existen esfuerzos importantes para mejorar los sistemas de tratamiento de residuos sólidos depositados sobre el suelo. Por ejemplo, las diez ciudades más densamente pobladas de LAC que generan en conjunto unos 50 millones de toneladas de basura al día, de los cuales una parte es altamente contaminante y generalmente se deposita en contacto directo con el suelo.

Si los suelos que reciben estos materiales tienen alta capacidad de intercambio (arcillas expandibles tipo montmorillonita o vermiculita) la retención de estos residuos será mayor, pero en caso contrario, los residuos tóxicos terminarán por depositarse en los mantos acuíferos profundos o fluirán lateralmente hacia las corrientes de agua más superficiales. El pantanal de Mato Grosso, en el sur de Brasil, es un contenedor natural de los sedimentos domésticos e industriales del crecimiento acelerado de su población y, como ya se ha comentado previamente, es el principal emisor de metano de LAC.

Las actividades mineras pueden también tener un impacto en el suelo y los flujos de carbono. Cada vez es más importante la inversión en investigaciones enfocadas a caracterizar los impactos ambientales de las grandes explotaciones mineras, así como las nuevas tecnologías para la extracción de metales que son respetuosas con el medio natural (como podría ser el uso de bacterias oxidantes para extraer ciertos minerales).

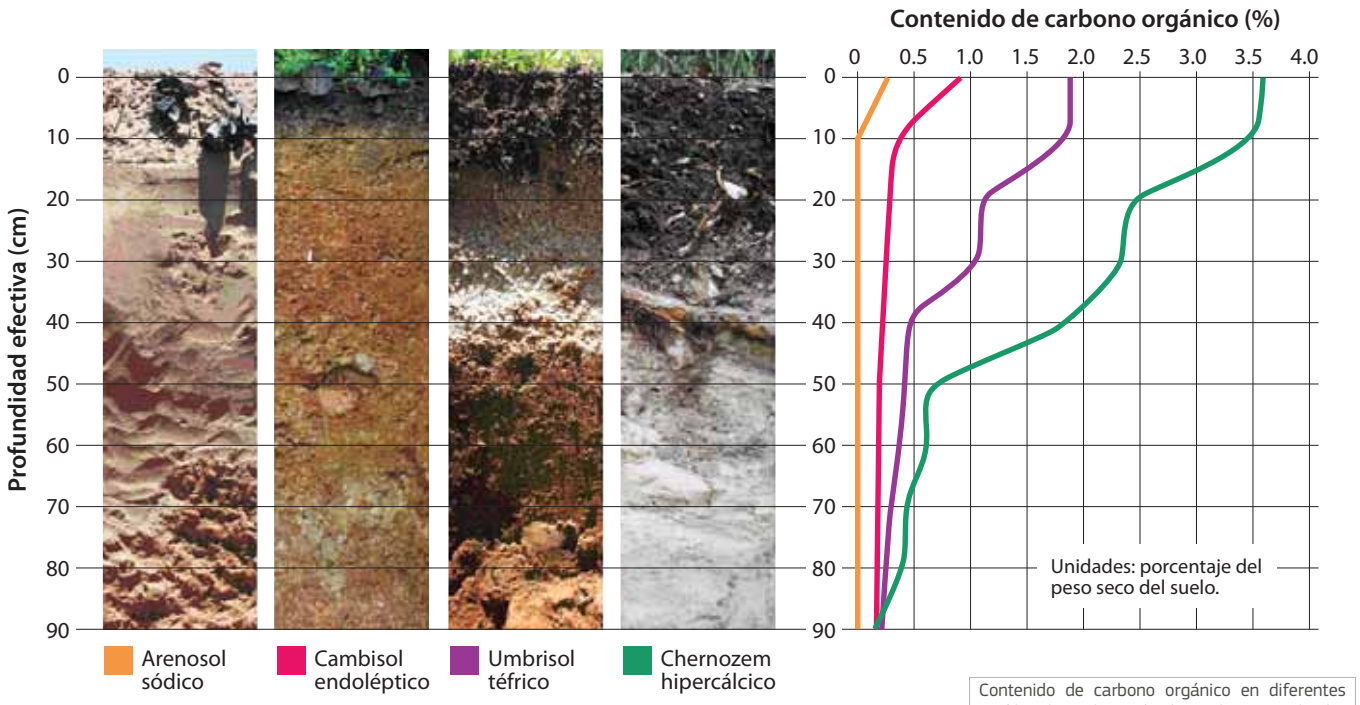
Métodos para la medida y estimación del carbono orgánico en el suelo

El contenido en carbono orgánico (CO) del suelo se ha considerado tradicionalmente como un indicador de la fertilidad del suelo. Desde 1934 uno de los métodos mas utilizado para determinar el contenido en carbono orgánico (CO) fue el de Walkey and Black.

Para entender mejor los procesos de medición de carbono debemos tener claro que el carbono total (CT) es la suma del carbono inorgánico (CI) más el carbono orgánico (CO) (es decir, CT = CI + CO), donde el carbono inorgánico puede estar libremente en los carbonatos del suelo o constituyendo los minerales de las piedras calizas, dolomitas o esquistos, así como en el dióxido de carbono disuelto en los gases que las rocas emiten al calentarse o bien en forma de carbón vegetal producto de incendios. Por otro lado, el carbono orgánico es el producto de la descomposición de plantas, el metabolismo de organismos vivos y el crecimiento bacteriano. También forma parte de compuestos sintéticos como los fertilizantes (amidas y urea). Para analizar el carbono orgánico del suelo (COS o SOC, por su acrónimo en inglés: Soil Organic Carbon) existen muchos procedimientos. En la figura de la derecha se describen los principales métodos utilizados para la evaluación y medición del carbono orgánico del suelo.

Tipología de métodos	Métodos	Proceso	Descripción
Cualitativos	NMR	Espectroscopía de resonancia nuclear magnética	Compuestos de carbono son caracterizados en base a la energía absorbida y re-emitida por los núcleos atómicos que se colocan en un campo magnético estático
	DRIFT	Reflectancia difusa infrarroja de transformada de Fourier	Compuestos de carbono son identificados en base a la absorción en el infrarrojo
Semi-cuantitativos	Oxidación húmeda	Peróxido de hidrógeno	Destrucción de la materia orgánica por oxidación húmeda, seguida de la determinación gravimétrica de la pérdida de peso de la muestra
	Combustión	Pérdida por ignición	Destrucción de la materia orgánica por combustión, seguido de la determinación gravimétrica de la pérdida de peso de la muestra
Cuantitativos	Oxidación húmeda	Oxidación con dicromato de potasio (Walkley-Black, Springer and Klee)	Oxidación en húmeda seguido de la recogida y medición de CO_2 desprendido
	Combustión	Combustión (COT)	Combustión in horno a alta temperatura (con o sin catalizador) seguido de la recogida y medición de CO_2 desprendido

Descripción de los métodos para determinar el contenido de carbono orgánico del suelo. (JRC)



Contenido de carbono orgánico en diferentes perfiles de suelo según datos de 2006. El color de la línea se corresponde con el perfil de la izquierda. (CCG)

Sombra y contenido de carbono

La frecuencia, ancho y densidad del dosel en los árboles, el diámetro de las copas en los arbustos y la densidad de cobertura en las herbáceas está relacionada directamente con la humedad y temperatura del suelo y determinan en gran medida la cantidad de hojarasca y la rapidez de la humificación.

Cuando un árbol es derribado, la intensa radiación solar elimina los organismos vivos del suelo que habitaban bajo su dosel, iniciándose un proceso de degradación biológico que puede tomar dos direcciones: una recuperación lenta del estrato herbáceo o, en el peor y más frecuente de los casos, una degradación biológica profunda y su posterior estado de erosión irreversible.

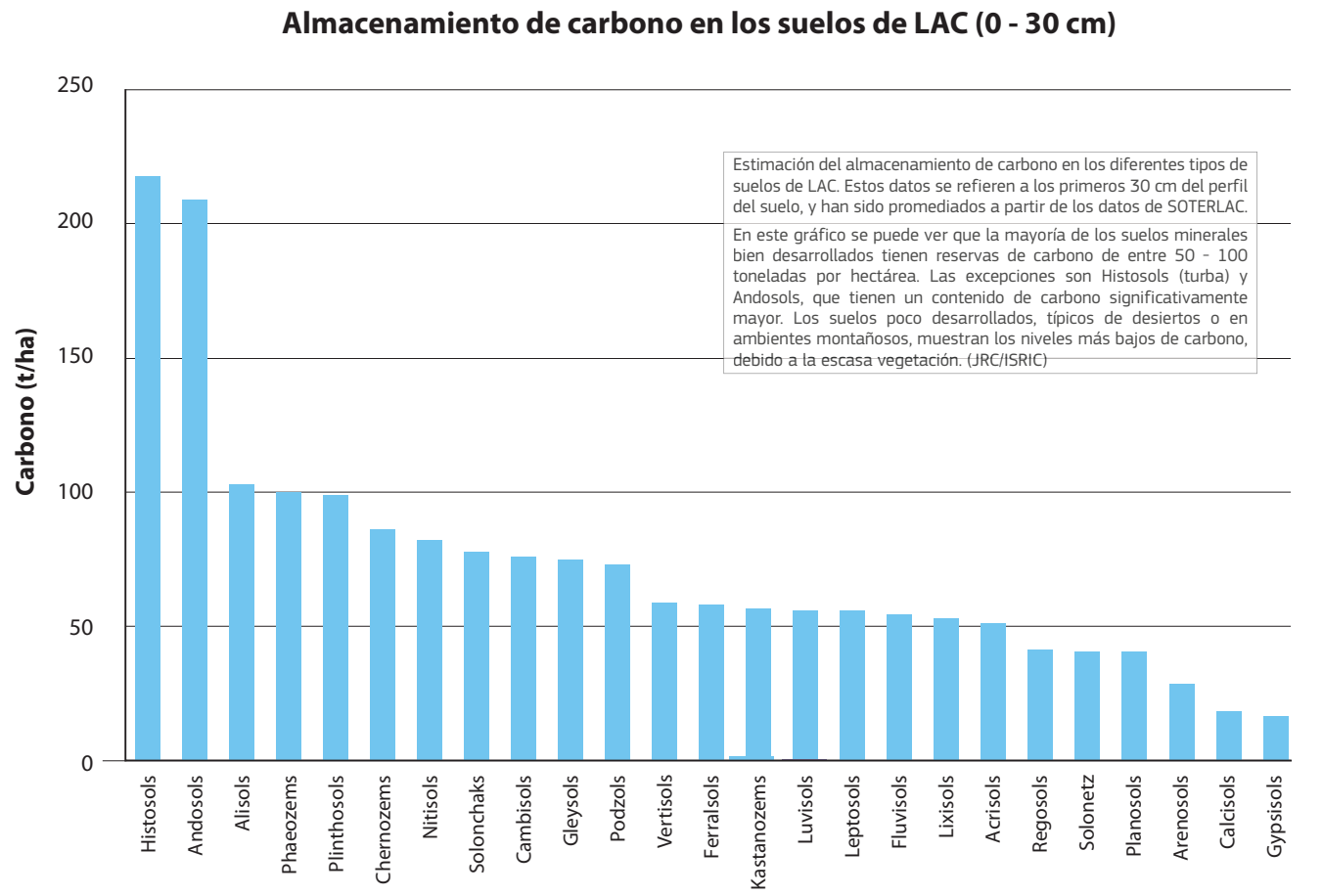
La cantidad de hojarasca acumulada bajo condiciones de sombra es mucho mayor que bajo condiciones de sol incluso a pocos metros de distancia. Peso extrapolado de 0,5 t/ha (arriba) y 0,0 t/ha (abajo).

Ambas ilustraciones corresponden al Inventario Estatal Forestal y de Suelos del estado de Aguascalientes en México. (CCG)

Usando espectroscopía para medir el carbono orgánico del suelo

En los últimos años, gran parte del trabajo se ha llevado a cabo para evaluar el uso de espectrómetros portátiles o por el aire para cuantificar con mayor precisión la cantidad de carbono orgánico presente en el suelo. Estos instrumentos sofisticados miden los niveles de la luz reflejada sobre una porción específica del espectro electromagnético para generar una especie de 'huella electromagnética'. La variación es la señal medida está determinada por las características químicas y físicas de la sustancia objeto de la investigación.

Los estudios de laboratorio han demostrado que estos instrumentos pueden detectar sutiles variaciones en el contenido de carbono orgánico en las muestras de suelo. Se están realizando esfuerzos para establecer si estos procedimientos se pueden implementar en condiciones de campo.



Estimación del almacenamiento de carbono en los diferentes tipos de suelos de LAC. Estos datos se refieren a los primeros 30 cm del perfil del suelo, y han sido promediados a partir de los datos de SOTERLAC.

En este gráfico se puede ver que la mayoría de los suelos minerales bien desarrollados tienen reservas de carbono de entre 50 - 100 toneladas por hectárea. Las excepciones son Histosols (turba) y Andosols, que tienen un contenido de carbono significativamente mayor. Los suelos poco desarrollados, típicos de desiertos o en ambientes montañosos, muestran los niveles más bajos de carbono, debido a la escasa vegetación. (JRC/ISRIC)

¿Cómo se calcula la cantidad de carbono del suelo?

La cantidad (o stock) de carbono orgánico del suelo (COS) se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$COS = C * DA * T * (1-FG)$$

donde:

- C es el contenido de carbono orgánico para un tipo de suelo específico (en % de peso seco), que se determina por análisis de laboratorio;
- DA es la densidad aparente del suelo (g/cm^3), un factor crucial que describe el peso de una muestra de suelo inalterado – los suelos pueden tener densidades que oscilan entre el 0,1 en las turbas ligeras y el 1,8 en los suelos minerales muy densos y compactos. La materia orgánica es más ligera que la materia mineral, por lo que si aumenta el contenido de materia orgánica en un suelo, la densidad disminuirá de forma correspondiente;
- T es el espesor de la capa del suelo expresado en términos de metros de profundidad (por ejemplo 30 cm);
- FG es el contenido de fragmentos gruesos (y / o hielo) en el suelo (% en peso seco);

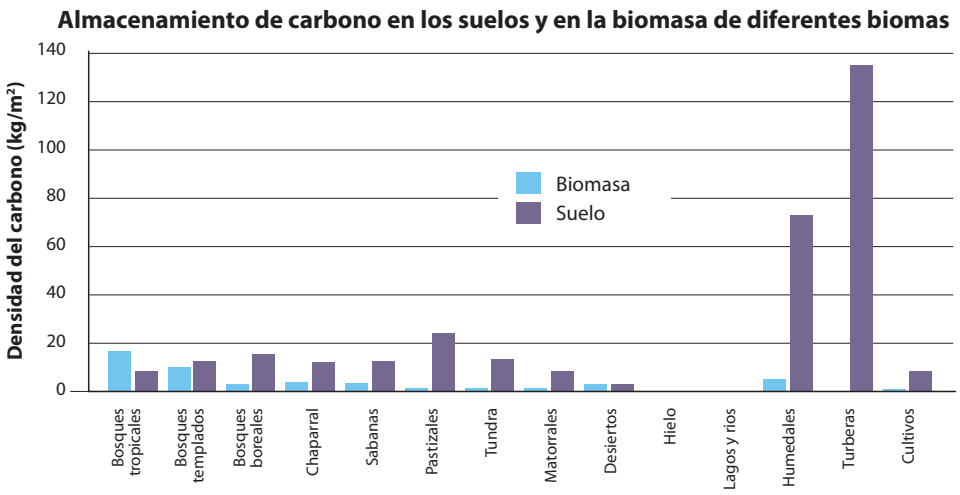
COS normalmente se expresa en toneladas de carbono (tC), gigatoneladas (Gt = 1 billón - mil de millones- de toneladas) o teragramos (Tg = 1 millón de toneladas), o petagramos (Pg = 1 billón de toneladas).

Un grupo de estudiantes de Ciencias Ambientales están recolectando muestras de suelo para la evaluación de las existencias de carbono del suelo en un bosque de hayas (*Fagus sp.*). (CG)

Retos en la medición del COS

El nivel tecnológico actual hace que sea posible analizar una muestra de suelo con gran exactitud en laboratorio. Sin embargo, existen factores externos que limitan el uso de estos análisis. Los aspectos que hay que considerar para evitar errores durante la medición y monitoreo del carbono son:

- **Diseño del muestreo**. La calidad de muestreo es el factor con mayor efecto sobre los resultados de la medición. Los enfoques estáticos de un solo muestreo es, debe transitar a enfoques dinámicos de re-muestreo en diferentes estaciones (periodos secos y húmedos). Es importante tener en cuenta aquellos eventos raros (p. ej. nevadas en zonas semicálidas) o extremos (huracanes o incendios), ya que influyen en las tasas de transformación de carbono, debido al cambio abrupto en la temperatura y humedad del suelo. Otro aspecto a destacar es que las mediciones están normalmente orientadas hacia la biomasa aérea, cuando la biomasa subterránea concentra más de las dos terceras partes del carbono terrestre.
- **Calibración de sensores**. Los sensores de los satélites indican los límites espaciales dentro de los cuales las condiciones de relieve, humedad y cobertura vegetal son similares para cada estudio de campo. La sensibilidad de los sensores, sin embargo, varía durante su vida útil. Las imágenes que se obtienen de los satélites presentan errores debido a desplazamientos, irregularidad del geoide, fuerte nubosidad, dispersión irregular del vapor de agua, así como interferencias por cobertura extrema en el dosel y heterogeneidad en la altura y en la distribución de las especies vegetales.
- **Propagación de datos y modelación de flujos de carbono**. Incluso todos datos existentes en América Latina y el Caribe estuvieran perfectamente integrados (medio millón de perfiles y un millón de barrenaciones), esta superficie supondría 1/10^7 de la superficie total donde se representaría espacialmente el contenido de carbono orgánico. Es por ello por lo que se deben elegir donde de muestreo más representativos, medir con exactitud la variación espacial del carbono, y utilizar métodos holísticos (teniendo en cuenta ecotonos, por ejemplo) para representar los flujos de carbono.



Arriba: estimación del almacenamiento de carbono orgánico en los suelos y en la biomasa de diferentes biomas. (JRC) [91]

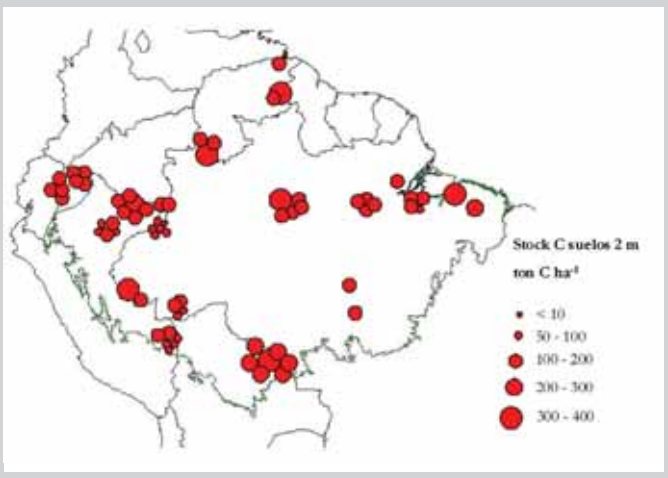
RAINFOR y carbono en la Amazonia

La Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR) es una red internacional establecida para entender la biomasa y las dinámicas de los bosques amazónicos. Desde el año 2000 se ha establecido un marco sistemático para monitorear en el largo plazo una región que contiene más biodiversidad, agua y carbono vegetal que cualquier otra parte del planeta.

Los suelos son un punto importante del proyecto RAINFOR en la Amazonia, tanto por su papel de modulación de la estructura y la dinámica del bosque, como por su enorme capacidad de almacenar carbono de manera estable. Por ejemplo, la Amazonia, con cerca de 6 millones de km^2 de bosques, almacena aproximadamente 85 Pg de carbono en la biomasa y 105 Pg de carbono en los dos metros superficiales de su suelo. Sin embargo, la preservación de esta enorme reserva de carbono depende de los cambios en el clima y los usos de la tierra, debido a que el retorno de este carbono a la atmósfera como CO_2 podría incrementar el efecto invernadero, acelerando el proceso de cambio climático, con consecuencias desastrosas para todo el planeta.

Aún cuando las reservas de carbono en la vegetación y en los suelos de la Amazonia no justificaran su conservación y manejo adecuado, existen evidencias de que los bosques y sus suelos están contribuyendo eficazmente a la reducción del efecto invernadero. Como respuesta a los cambios en el clima y en la concentración de CO_2 en la atmósfera, la selva amazónica está acelerando su dinámica natural, hoy con mayores tasas de crecimiento y de biomasa, comparados con los de tres décadas atrás. Se espera que las reservas (stocks) de carbono en los suelos de la Amazonia aumenten a largo plazo, en proporción a los aumentos de la productividad forestal y las reservas de biomasa aérea.

Actualmente, RAINFOR recibe apoyo de la Iniciativa Andes y Amazonia de la Fundación Gordon y Betty Moore, también de Natural Environment Research Council (NERC) de Reino Unido como parte del consorcio AMAZONICA.



Algunos datos de reserva de carbono orgánico en los suelos de Amazonia.
Fuente: Proyecto Rainfor/BQ.

El mapa muestra la densidad media de almacenamiento de carbono orgánico (en t/ha) para los diferente países de LAC. (JRC) [92]

Impactos del cambio climático

Los diversos reportes nacionales sintetizan los principales efectos del cambio climático en LAC en forma de lluvias más intensas, sequías cada vez más prolongadas, disminución del volumen de hielo polar y de la extensión de la nieve sobre la superficie terrestre, variación histórica de temperaturas diurna-nocturna e incluso en el cambio de la regeneración natural vegetal o en la modificación de los patrones de migración, nacimientos y fragilidad de la salud para varias especies, incluido el ser humano. El cambio climático afectará directamente al suelo por las modificaciones del patrón de lluvias y una creciente evapotranspiración que generará un clima más extremo y condiciones más propicias para extender la degradación del suelo y su desertificación.

La degradación se puede entender como la pérdida de productividad biológica o económica de la tierra por el efecto de una combinación de agentes de cambio (deforestación, prácticas agropecuarias, baja eficiencia en el tratamiento de residuos) que afectan en gran medida a las propiedades físicas o bioquímicas del suelo (principalmente profundidad, carbono orgánico, pH, salinidad y fertilidad). Se pueden observar diversas formas en las que el cambio climático provoca la degradación del suelo: reducción de glaciares, erosión y compactación del suelo, deslizamientos de tierra, inundaciones y mineralización de la materia orgánica.

Reducción de glaciares y hielo continental

En los últimos cien años los glaciares han disminuido su extensión cerca de 2 millones de km^2 a escala mundial. A partir del año 2011 los glaciares se convirtieron en uno de los iconos de los efectos del cambio climático. Cuando la superficie de un glaciar retrocede quedan expuestas las capas más activas del suelo donde se soporta la mayor parte de la actividad biológica. Algunas de estas capas pueden contener hasta 50 t/ha de carbono orgánico con mayor riesgo de liberarse hacia la atmósfera y acelerar aún más el calentamiento global. Chile es el país con mayor concentración de glaciares y hielo continental del hemisferio sur. El 75% de los 1.835 glaciares existentes en Chile se encuentra en la región de Aisen y Magallanes. Existen evidencias de que de cada 100 glaciares existentes, menos de 5 están creciendo o se encuentran en equilibrio. Otros países latinoamericanos con reducción importante de glaciares son Bolivia (glaciares Chacaltaya, Charkini, Tuni y Codorni), Argentina (en Patagonia y Cuyo), Perú y Ecuador.

Erosión y corrimientos de tierra

Es la pérdida de suelo por efecto del agua o el viento y acentuada por la intervención del hombre mediante la deforestación, las malas prácticas agrícolas, el sobrepastoreo o la remoción directa del suelo por construcción. Menos capa superior de suelo se traduce en menos alimentos, mayor pobreza y más emisiones de carbono estable hacia la atmósfera. La erosión más activa y severa se encuentran generalmente en los límites de la frontera agrícola, es decir, aquellos sitios donde se ha cambiado recientemente el uso del suelo y que por lo general se encuentra en las zonas llamadas de amortiguamiento, a las cuales en la práctica, cuando la fragilidad del suelo es alta, se convierten en las zonas con mayor erosión.

Otras de las zonas con mayor erosión se ubican en áreas sujetas con mayor frecuencia a granizadas y lluvias torrenciales como los valles interandinos de Bolivia, o bien en las zonas con intenso pisoteo de ovinos o bovinos situados en pendientes (mayor escorrentía superficial), como es el caso de Neuquén, Chubut y Rio Negro en Argentina. Otras regiones con intensa erosión por cambios en el uso del suelo se encuentran en las selvas y sierras del Perú, donde destaca Mollebomba, así como las zonas de Falcón, Costa, Andes y la Sierra de Perijá en Venezuela.

Los sabanales de Cerrado en Brasil tienen quizás la situación más preocupante de degradación física y bioquímica debido a que los suelos son en su mayor parte arenosos e inestables, con una delgada capa fértil que se pierde inmediatamente frente a los constantes incendios y pisoteo del ganado. El problema es importante porque sólo esta región aporta el 17% de las emisiones totales de GEI en Brasil.

Los corrimientos de tierra son también una forma de erosión masiva que representa un alto riesgo natural por la magnitud de sus daños. En México, Guatemala, Perú y Bolivia han ocurrido más de mil decesos por esta causa en los últimos diez años.

Inundaciones y reducción de la línea de costa

El cambio climático afectará al volumen de descarga, las características de los nuevos sedimentos en los ríos y también al desarrollo de una cubierta vegetal protectora que estabilice el paisaje. El aumento en el nivel del mar modificarán en buena parte los actuales patrones de drenaje y las secuencias típicas de los sedimentos.

En los últimos cien años el nivel medio del mar ha aumentado 15 cm. El ascenso estimado para el año 2050 variará entre 8 y 27 cm, de acuerdo con los diferentes modelos de predicción climática, mostrando altas probabilidades de llegar a 85 cm en el año 2100.

Áreas con mayor riesgo de intrusión o cubrimiento total por agua de mar proyectado al año 2100. (CCG)

Esto representa no sólo un importante retroceso en la línea de costa con la consecuente pérdida de territorio continental, sino también la inundación permanente o severa intrusión de agua de mar en el 0,4% del territorio latinoamericano y cerca del 6% del territorio cubano, mexicano o venezolano.

Desertificación y sequía

La calidad del suelo está ligada a la desertificación. Cuando el suelo mantiene temperaturas elevadas, recibe una mayor radiación solar directa y se reduce la humedad, los procesos de mineralización o erosión del carbono se disparan y las sales de carbonatos son reemplazadas por sales menos solubles de sodio que finalmente disminuirán la fertilidad.

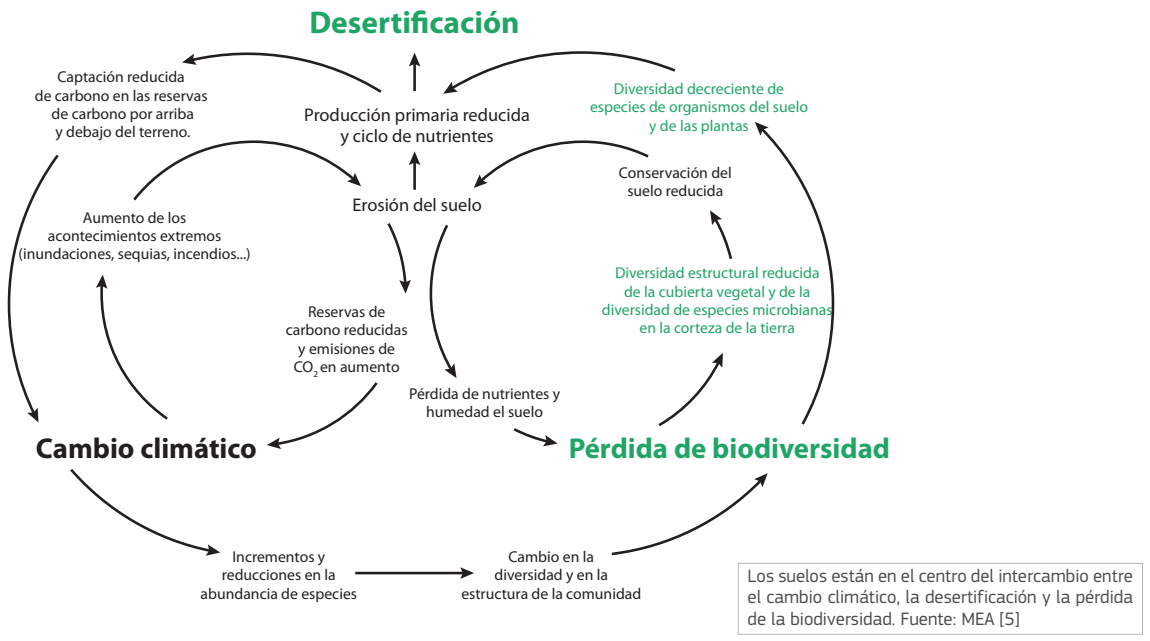
Algunos suelos fértiles con agricultura de riego como los Vertisols de México, tendrán un impacto directo en sus coeficientes de cultivo (Kc), esto es, las plantas necesitarán casi la misma cantidad de agua pero en periodos mucho más cortos de crecimiento, lo cual incrementa los costos de producción y hace a los cultivos más susceptibles a plagas y enfermedades.

AGROASEMEX, la mayor agencia de seguros agrícolas de México incluye las previsiones de variabilidad climática a la hora de definir sus políticas de aseguramiento en cultivos de secano (sobre Phaeozems y Vertisols principalmente). Sus costos de pago de seguro en estos suelos cuando el clima es anómalo son altos y por ello se impulsa la cultura para aprovechar la información climática y de suelos.

En LAC se hallan cuatro de los diez países más vulnerables del mundo al cambio climático debido a que presentan cuatro de las cinco características de vulnerabilidad reconocidas por la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC): zonas costeras bajas; zonas áridas y semiáridas; zonas expuestas a inundaciones, sequía y desertificación; y ecosistemas montañosos frágiles. Además, su crecimiento poblacional es constante, su índice de pobreza es elevado y su territorio mantiene amenazas crecientes por eventos de sequía extrema relacionados con el ENOS (Efecto del Niño Oscilación Sur). Estos son, en orden de fragilidad descendente: Haití, Perú, Bolivia y Guatemala.

Otras áreas vulnerables en el futuro a la desertificación son: el norte de Argentina, el valle del Chaco (Bolivia), Fortaleza y Campina Grande en Brasil y, en México, el altiplano central, la zona mixteca y los suelos orgánicos al norte de Yucatán. Incluso grandes regiones de las selvas sudamericanas se verán afectadas por reducciones importantes de la cantidad y/o frecuencia de precipitación.

Impactos fortalecidos por el cambio climático de fenómenos erosivos o degradativos del suelo. (CCG) [93, 94, 95, 96, 97]



Los suelos están en el centro del intercambio entre el cambio climático, la desertificación y la pérdida de la biodiversidad. Fuente: MEA [5]

En verde: Principales componentes de la biodiversidad involucrados en las interrelaciones
En negrita: Principales servicios afectados por las pérdidas de biodiversidad

Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático

Dos siglos transcurrieron entre que Arrhenius demostró el aumento de la temperatura promedio de la atmósfera de 0,5 a 0,8ºC y el establecimiento del primer sistema de cuotas nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Kioto (Japón). Si bien este acuerdo fue tardío y no alcanzó categoría de tratado, es un sistema flexible y de ampliamente reconocido, consistente en trasladar los ahorros en las emisiones de un país a otro, con un sobregiro basado en un precio internacional de carbono.

En aquel entonces, la primera meta de los países ricos (inscritos en el "Anexo B") fue reducir sus emisiones de GEI para el periodo 2008-2012 en un 5% del total respecto a 1990. Este objetivo no se cumplió cuantitativamente, pero sí supuso un estímulo para que cada país potenciara sus propias capacidades de mitigación. No obstante, la respuesta política internacional al cambio climático había comenzado en 1992, con la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Esta convención estableció directrices para estabilizar la concentración de GEI en la atmósfera, evitando así que la actividad humana interfiera peligrosamente con el sistema climático. En 2009 todos los países de América Latina habían ratificado el acuerdo, excepto Puerto Rico, por ser territorio de Estados Unidos.

¿Cuál será el costo de las políticas climáticas en Latinoamérica destinadas a controlar las emisiones de gases con miras a disminuir el efecto invernadero? La respuesta no depende de asuntos técnicos solamente; en realidad depende más del estado de la confrontación política entre adversarios y partidarios de los protocolos y cumbres mundiales. Estados Unidos emite por sí solo ocho veces más GEI que todos los países de América Latina y el Caribe, de acuerdo con el World Resources Institute. Su no ingreso a los compromisos de reducción disminuyó en un 45% la meta planteada para 2012. Por otro lado, los países en LAC sólo pueden participar en los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) participando en los proyectos que permiten a los países desarrollados alcanzar reducciones certificadas de emisiones. En esta categoría, México y Brasil acaparan el 14% de los MDL a nivel mundial [98, 99].

El protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un acuerdo internacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) que tiene por objeto reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) y tres gases industriales fluorados: los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6). El protocolo establece la reducción de las emisiones de al menos el 5%, durante el periodo 2008-2012, en comparación con las emisiones del año 1990.

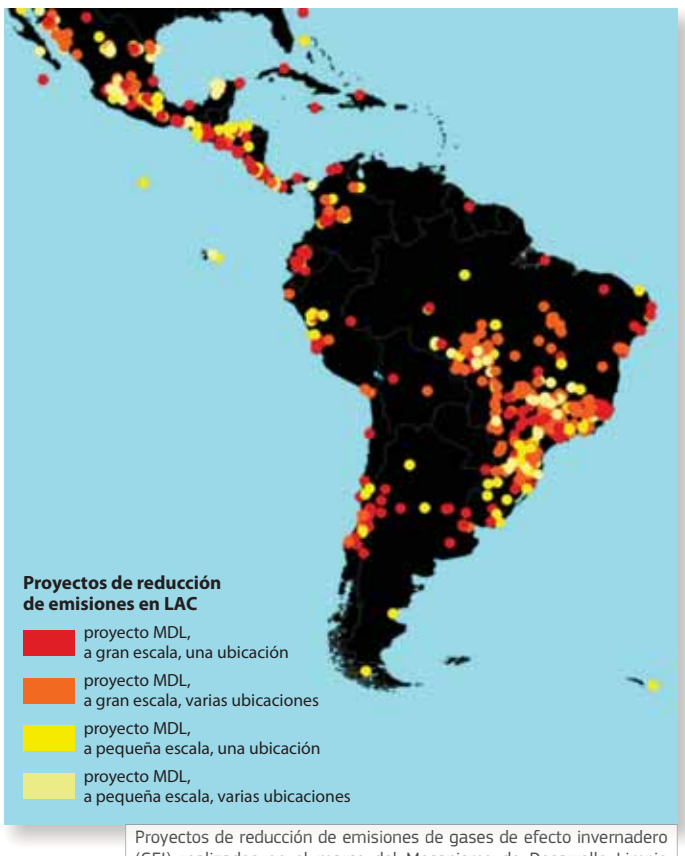
La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se estableció en el año 1992, en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro.

El IPCC

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por el acrónimo en inglés IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), es una organización internacional establecida en 1988 conjuntamente por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Su misión es evaluar científicamente el riesgo de cambio climático provocado por la actividad humana y proporcionar información científica y técnica comprensible, acerca de sus potenciales consecuencias medioambientales y socioeconómicas y las posibles alternativas para adaptarse a esas consecuencias o mitigar sus efectos.

El IPCC está empezando a esbozar su Quinto Informe de Evaluación (AR5), que se finalizará en 2014. El informe del Grupo de Trabajo I (Bases de la Ciencia Física) se publicó en septiembre de 2013. En el informe se aumenta el grado de certeza de que las actividades humanas están impulsando al calentamiento que el mundo ha experimentado, desde "muy probable" o 90% de confianza en 2007, con "extremadamente probable" o 95% de confianza.

http://www.ipcc.ch/



Proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) realizados en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). El MDL es uno de los tres mecanismos establecidos en el Protocolo de Kioto para reducir las emisiones de GEI. (UNFCCC)

¿Qué se puede hacer?

El conjunto de soluciones discutidas durante los últimos nueve foros mundiales exigen una visión multilateral, conjunta y a largo plazo. Las acciones que destacan actualmente por su importancia en cuanto a reducir las emisiones de GEI son:

- Eficacia energética. Igual bienestar con menor consumo de energía. En el sector forestal, el 65% del potencial de mitigación de LAC está en sus trópicos y del total de emisiones, una mitad puede reducirse frenando la deforestación y la degradación de los suelos forestales.
- Sustitución de las fuentes de energía, especialmente la del carbón y petróleo por el gas y las derivadas de energía nuclear, eólica, solar e hidráulica. El consumo de carbón, petróleo y gas en LAC se ha duplicado desde finales de los años 70 y la producción de electricidad en sus diferentes formas se ha triplicado. Aún así, cerca de 100 millones de personas viven en esta región sin electricidad. Cada ciudadano contribuye, en promedio mundial, con 6,25 Mg/año de CO_2 a la atmósfera. Si consideramos que cada Mg de CO_2 tiene 27% de carbono, se puede decir que la tasa de emisión de carbono es de 1,7 MgC/habitante. El extremo superior es Estados Unidos con 6 MgC/habitante al año. Los países latinoamericanos con tasas de emisión de carbono más altas son Brasil y Venezuela con 3,1 y 1,9 MgC/habitante y año, respectivamente.

La lógica económica ha influido en casi todas las políticas nacionales mediante el seguimiento de dos herramientas:

- Generación de inventarios de oportunidades de reducción en el ámbito de la administración pública, la empresa y el núcleo familiar. Esto último significa que los ciudadanos tenemos en nuestras manos acciones individuales de enorme alcance tales como emplear lámparas ahorradoras, usar menos el auto y revisar periódicamente sus llantas, reciclar, usar menos agua caliente y plantar al menos un árbol. Si cada ciudadano cumpliera al menos dos de las acciones anteriores el consumo por persona se reduciría hasta dos toneladas de carbono por año. Para México esto representaría por ejemplo una reducción de emisiones neta cercana al 40% de su compromiso oficial. Cuba, por ejemplo, cuenta con un Programa Nacional para el Enfrentamiento al Cambio Climático, que incluye al suelo y la actividad agropecuaria y se evalúa periódicamente.
- Ejecución de inversiones con mayor rentabilidad en cuanto al costo más bajo para cada tonelada de carbono no emitido. Este apartado es sumamente difícil de homologar ya que cada país presenta diferentes grados de resistencia cultural al cambio, así como acciones fiscales y aspectos culturales muy diferentes entre sí. Para lograr una estabilización en las concentraciones de 445 a 535 ppm de CO_2, el costo sería menos del 3% del PIB global, cantidad mucho menor que el costo de no tomar acciones (15% del PIB global).

Una de las inversiones más importantes de los países de Latinoamérica es el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP). Los países con mayor proporción de superficie bajo protección son: Belice (44%), Panamá (32%), Guatemala (29%) y Costa Rica (26%). Sin embargo, la mayoría de las ANP de Latinoamérica, a excepción de las de la Costa Rica, Cuba y Bolivia, carecen de inventarios detallados o el número de especies incluidas en las ANP es relativamente bajo. En general, los bosques secos y pastizales no tienen una protección suficiente por parte de las autoridades ambientales latinoamericanas.

Uno de los datos más reveladores sobre la conservación real, es el personal asignado a estas las tareas en campo. Los países con mayor personal son: Cuba, Costa Rica y Argentina (4.837, 950 y 911 personas respectivamente), mientras que Paraguay, Uruguay y El Salvador sólo disponen de 32, 16 y 5 personas respectivamente.

Actividades de formación y actualización de expertos en Edafología. Es necesario comprender el funcionamiento de los suelos para saber cómo podrían verse alteradas sus funciones como consecuencia del cambio climático. (CCG)

Entrevista a campesino para conocer la historia del uso y gestión del territorio (México), información esencial para comprender el desarrollo del suelo. (CCG)

Efecto del cambio climático en los suelos de LAC

En el contexto del programa Euroclima se elaboró, en forma de estudio temático, la "Guía metodológica para facilitar la evaluación y reducción de los efectos del cambio climático sobre los procesos de degradación de los suelos en América Latina" [100]. Según este estudio, existen diversos métodos para la estimación de la degradación de suelos, que encaran el problema desde puntos de vista diferentes y con información de diversas fuentes. No obstante, la metodología mas idónea para estudios regionales de este tipo contempla el uso de información obtenida por satélite complementada con estudios locales o subregionales. En el caso de América Latina, esta información disponible de manera gratuita corresponde a los datos generados por instituciones internacionales o a bases de datos mundiales. Algunos de los países más desarrollados, como Brasil y México, cuentan con mayor información que otros, sin embargo se hace notoria la falta de información disponible a una escala adecuada.

Según el susodicho estudio existen graves problemas de degradación de suelos en todos los países, ya sea en mayor o menor grado de extensión, afectando a zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas en forma de desertificación (un 35% del territorio, 6,9 millones de km^2). En las regiones húmedas el motor principal de la degradación del suelo es la deforestación; la pérdida de bosques afecta a un 6,5% del territorio (1,3 millones km^2). La extensión de suelo vulnerable a la erosión hídrica supone la mitad del territorio, el 49% (9,8 millones de km^2), mientras que los suelos afectados por salinidad o acidez - degradación química - suponen al menos el 56% del territorio (11,2 millones de km^2).

El análisis de distintos escenarios muestra que las condiciones climáticas en el futuro proyectado según uno de los escenarios que se contemplan (concretamente el conocido como A2, ver cuadro en esta página: "Los escenarios del IPCC") variarán de más secas en algunas zonas a más húmedas en otras. Aunque la mayor parte no sufrirá cambios considerables, muchas regiones pasarán de su condición actual a una condición más seca. La superficie total de cambio hacia un régimen más árido según dicho modelo será de 21% (4,1 millones de km^2), mientras que el paso de zonas secas a una situación más húmeda será sólo de 2% (298.000 km^2). El análisis de la información disponible para conocer el uso de suelo en esta situación no muestra cambios significativos. Es probable que la inclusión de información adicional a la escala considerada se haga necesaria para la obtención de resultados más coherentes con la realidad.

Las estimaciones sobre la vulnerabilidad a la degradación de suelos en la región indican que el grado más alto se presenta rá en al menos 1,6 millones de km^2 (8%), mientras que los grados "alto" y "medio" se darán en extensiones de 6 y 2,6 millones de km^2 respectivamente (13% y 30%). Estas superficies incrementan un 26,3% (5,3 millones de km^2) al considerarse un cambio climático bajo el escenario de emisiones A2, con un efecto acentuado en las zonas áridas y semiáridas.

En lo que respecta a la política medioambiental, América Latina es una región altamente heterogénea con diverso grado de avance en esta materia; en la actualidad, las agendas de desarrollo nacionales en su mayoría incluyen como prioridad los temas medioambientales, y en mayor o menor medida han implementado planes y programas con acciones verificables en la práctica.

La problemática de la degradación de suelos ha sido abordada tradicionalmente en el marco de la Convención de Lucha contra la Desertificación y Sequía, por lo que se han formulado instrumentos institucionales para facilitar la cooperación, la optimización de recursos, la generación de información y la ejecución de proyectos. No obstante, la integración de los temas de degradación de suelos y cambio climático es muy reciente y requiere marcos político-institucionales integrales. Las áreas con alta vulnerabilidad a la degradación de suelos requieren la preparación de respuestas y rehabilitación de las zonas afectadas por erosión, con el fin de asegurar el bienestar de la población. Aquellas estrategias tecnológicas más exitosas para el manejo y conservación de suelos y aguas son las que involucran a los beneficiarios como entes activos en el diagnóstico, planificación, ejecución y seguimiento de acciones, enriqueciendo el proceso con aportes de los actores y adaptaciones a la realidad local.

En el último capítulo del estudio se recogen medidas de reducción contra la degradación emprendidas en los países beneficiarios de EUROCLIMA y se presentan tanto las principales prácticas reconocidas por su exitosa y amplia aplicación como aquellas lecciones aprendidas en los procesos de implementación.

REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

Punto Focal de EUROCLIMA:
Sr. Luis Santos
Coordinador de la Unidad de Cambio Climático, del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Organismo Competente para los temas relacionados al Cambio Climático:
Unidad de Cambio Climático del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático

Agenda de desarrollo, marco político	La política de Estado se orienta a lograr el desarrollo sustentable del país; en la temática ambiental y de aprovechamiento de recursos naturales se apunta al aumento de la producción y obtención de productos inocuos en sistemas productivos sustentables que puedan insertarse en los mercados mundiales de forma competitiva.
Medidas institucionales y/o marco jurídico	El marco jurídico sobre uso, manejo y conservación de suelos incluye: • Ley No. 15.239 de Conservación de Suelos y Aguas con fines agropecuarios, que establece entre otras disposiciones las Normas Técnicas a la que están sometidos los tenedores de tierras con uso agropecuarios, conservación y uso sostenible del suelo y agua. • Decreto reglamentario No. 333/04 de la Ley 15.239: Regulación de uso y conservación de suelos y aguas superficiales • Decreto reglamentario No. 405/008 de la Ley 15.239: Regulación de uso y conservación de suelos y aguas superficiales • Ley Nº 18.564: Conservación, uso y manejo adecuado de suelos y aguas • Decreto 126/92: Creación (integración, cometidos, entre otros) de la Comisión Nacional Honoraria de Conservación de Suelos y Aguas
Marco Institucional	La Dirección General de Recursos Naturales Renovables (RENARE) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca es la Unidad ejecutora involucrada en la generación e implementación de políticas, planes y acciones destinadas a detener los procesos de degradación de tierras, en especial aquellos con fines agropecuarios. Cuenta con Divisiones especializadas en Suelos y Aguas las cuales tienen como objetivo conservar el recurso suelo evitando la erosión y degradación, manteniendo e incrementando su productividad. El Programa Nacional de Conservación de Suelos y Aguas (PNCSA) con

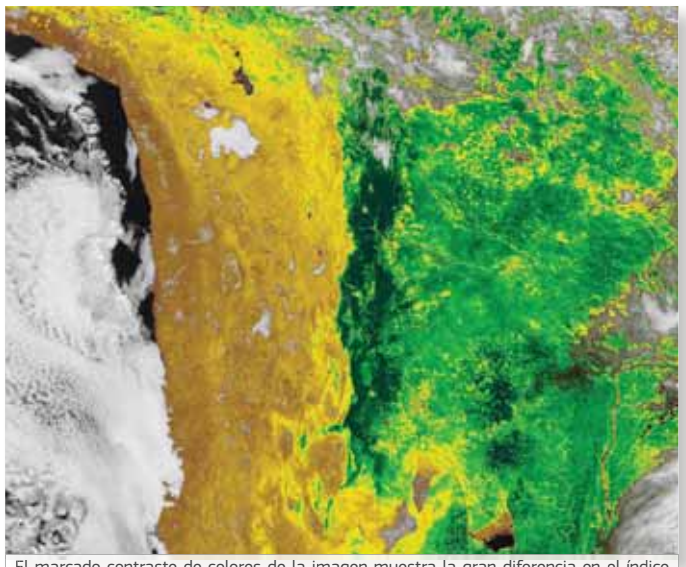
En el estudio temático se presenta una aproximación, por país, al marco político-institucional de las naciones integrantes de Euroclima. Esta incluye una breve agenda que esboza los planes y estrategias nacionales para contrarrestar la degradación de los suelos y legislación relacionada en cada caso. También se presentan los programas y proyectos emprendidos por entidades gubernamentales y apoyados en varios casos por cooperación técnica y financiera de ONGs y otros organismos internacionales. Al final de cada hoja se resumen las fortalezas y debilidades de las acciones emprendidas en el ámbito de la lucha contra la degradación del suelo. [100]

Los escenarios del IPCC

En el año 2000 el IPCC elaboró una serie de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero que se han utilizado para hacer proyecciones de un posible cambio climático futuro. Dichos escenarios describen diferentes situaciones socioeconómicas y se representan mediante una nomenclatura específica (p.ej.: A2).

Para más información se puede consultar el sitio web:

https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf



El marcado contraste de colores de la imagen muestra la gran diferencia en el índice de vegetación entre la zona árida de Chile y el oeste de Bolivia, en marrón-amarillo (índice de vegetación baja) y la tierra más fértil en Argentina, en verde (alto índice de vegetación). Los datos de satélite se pueden utilizar para controlar las variaciones en la vegetación como resultado de los cambios en las condiciones del suelo y el clima. (C)

Grupo de alpacas pastando a 2.400 m de altitud, cerca de San Pedro de Atacama (norte de Chile). Los posibles efectos del cambio climático (p.ej. cambios en la distribución e intensidad de las precipitaciones) podrían apreciarse con más facilidad en ambientes marginales. (LG)

El cambio climático y los Incas

Según los recientes análisis de los sedimentos de un lago en Perú durante el imperio inca, entre 1.400 y 1.532, existió un período más cálido de lo normal. Las temperaturas más altas desde 1.150 permitieron a los agricultores incas cultivar a altitudes antes demasiado frías para soportar la agricultura. El aumento de temperatura provocó el deshielo de algunos glaciares, incrementando así la cantidad de agua disponible para el riego. Esta combinación de factores permitió a los incas desarrollar su sofisticado sistema agrícola basado en la construcción de terrazas (andenes). En los sedimentos de dicho lago aparecen hacia el año 1.150 semillas de *Alnus acuminata* y desaparecen alrededor del 1.600; es probable que los incas repoblasen las laderas con alisos para limitar la erosión y fertilizar el suelo mediante la fijación del nitrógeno atmosférico.

http://www.newscientist.com/article/dn17516-hotter-weather-fed-growth-of-incan-empire.html

Portada del estudio temático

Suelos y grandes paisajes

Biomas, ecorregiones y suelos

Al comienzo del desarrollo de la Edafología se creía que el clima, la vegetación y los suelos estaban estrechamente relacionados e iban variando según un gradiente de norte a sur. Posteriormente, con el desarrollo de las ciencias geográficas se llegó a la conclusión de que el clima y los ecosistemas se distribuyen a lo largo de la superficie de la Tierra de una manera más compleja, dependiendo también de la configuración de los continentes, la orografía y la historia geológica del paisaje. Hoy en día también se sabe que no existe una relación directa entre la vegetación y los suelos a escala local. Sin embargo, a escala de bioma (porción del planeta que comparte el clima, la flora y la fauna), sí se puede observar una correspondencia con la cobertura edáfica. El mapa de abajo, propuesto por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF – World Wildlife Fund) [101] muestra a grandes rasgos los grandes tipos de paisaje de América Latina. Respecto a la relación de los grandes paisajes con el suelo, cabe destacar que los límites de los biomas casi siempre coinciden con los límites importantes entre edafopaisajes (ensamblajes de suelos).

Un área geográfica relativamente grande que se distingue por el carácter único de su morfología, geología, clima, suelos, hidrología, flora y fauna, se denomina ecorregión. Cada una tiene suelos únicos, y esto se debe a la combinación irrepetible de los factores formadores y la historia compleja de cada paisaje. A continuación se mostrarán ejemplos de paisajes latinoamericanos correspondientes a cada ecorregión, así como una relación de los suelos más típicos de estas regiones ecológicas.

Distintas ecorregiones según WWF (World Wildlife Fund). Una ecorregión es "una gran unidad de tierra o agua que contiene una mezcla geográficamente distintiva de especies, comunidades naturales y condiciones ambientales". Los límites de una ecorregión no son fijos ni están bien definidos, sino que abarcan un área en la que importantes procesos ecológicos y evolutivos interactúan fuertemente. Esta interacción también influye en los procesos de formación de los suelos. [101]

1. Bosques húmedos tropicales y subtropicales latifoliados

Izquierda: Vista de la selva en la cuenca alta del río Amazonas. (S) **Derecha:** distribución del bioma bosque tropical húmedo y subtropical latifoliado en LAC. (Fuente: JRC/WWF)

Comenzando en la costa oriental de México y Centroamérica, aparece un paisaje que se extiende por las Islas del Caribe, continúa por la costa Pacífica colombiana, la costa del Atlántico de la Guayana y se concentra en la Mata Atlántica de la costa brasileña. Este paisaje se caracteriza por desarrollarse en un ambiente cálido y húmedo, gran biodiversidad y una vegetación exuberante de hoja ancha distribuida en diferentes estratos o niveles. Se le conoce como selva, jungla, bosque tropical lluvioso o bosque húmedo [102].

Estos bosques húmedos se encuentran dentro de la zona climática húmeda tropical (precipitaciones anuales de más de 1.500 mm y temperatura promedio anual superior a 18ºC). Generalmente se encuentran asociados a suelos muy intemperizados y profundos. Según la clasificación WRB se trata principalmente de Ferralsols, Acrisols, Nitisols y Plinthosols. La distribución de cada grupo de suelos depende de factores como la geología y el relieve: por ejemplo, los Nitisols suelen estar asociados a la roca basáltica, y los Plinthosols se forman en las terrazas marinas y aluviales o en los piedemontes. Cabe mencionar que, a pesar de su frondosidad, este tipo de bosque puede formarse sobre suelos delgados y poco desarrollados, por ejemplo, en las zonas montañosas y/o con roca caliza.

El origen de los bosques tropicales húmedos, así como el porqué del gran número de especies que se encuentra en ellos, es aún objeto de debate. La hipótesis más acreditada es la de que dichos bosques, semejantes a los actuales, comenzaron a constituirse hace 65 millones de años, en la transición entre los periodos Cretácico y Cenozoico.

Con anterioridad al impacto del meteorito que acabó probablemente con los dinosaurios, la estructura y composición de estas formaciones boscosas calido-húmedas era muy distinta de la actual, según la información que se desprende de análisis polínicos. Hoy en día, estos bosques están dominados por angiospermas (plantas con flores), las cuales aparecieron durante el Cretácico, sin embargo, en aquel periodo, las especies dominantes eran gimnospermas y helechos con poco potencial fotosintético y no existían distintos estratos en el bosque. Fue tras la caída del meteorito, cuando las comunidades vegetales sufrieron una transformación. Durante el Cenozoico, las angiospermas y los mamíferos comenzaron a dominar la escena. Paulatinamente se fue produciendo la transición de un planeta caliente a un planeta frío. Se cree que la diversidad del bosque se ha visto afectada durante los últimos 60 millones de años, aumentando en periodos de calentamiento y disminuyendo en periodos de enfriamiento.

Es también incierto el papel que han jugado los múltiples estratos de los bosques dominados por angiospermas y su relación en la dinámica de nutrientes y carbono de los ecosistemas tropicales. El entender los procesos de cambio de diversidad y estructura de las comunidades vegetales terrestres a lo largo del tiempo geológico y su relación con cambios climáticos es muy importante para entender el cambio climático moderno. El registro fósil sugiere que las plantas modernas poseen una variabilidad genética amplia para responder a cambios de temperatura y CO_2 en el ambiente.

Amazonas: un mosaico de suelos en la selva tropical más grande del mundo

La cuenca del río Amazonas ocupa un área de unos 7 millones de km^2 cubriendo parte de Brasil, Bolivia, Colombia, Perú, Venezuela y Ecuador. El río Amazonas tiene el nombre de Marañón en su cabecera y Solimões en la parte brasileña, hasta su encuentro con uno de sus afluentes mas importantes, el Río Negro. A partir de este punto se denomina Amazonas hasta llegar al mar en el golfo Marajoara después de viajar más de 6.000 km, recibiendo la contribución de más de 200 afluentes. En el océano vierte un flujo que puede alcanzar el 20% de la descarga total anual de agua dulce en los océanos.

En su formación geológica tiene rocas magmáticas e ígneas de la época precámbrica, conchas en el escudo de las Guyanas al norte y el de Brasil al sur. La parte central de la cuenca está formada por depósitos sedimentarios de los periodos Terciario y Cuaternario. Las rocas de diferentes eras geológicas de la cuenca han sufrido diferentes procesos morfogenéticos y pedogenéticos, dando lugar a una amplia variedad de suelos en diferentes relieves y con distintos tipos de cobertura.

Los suelos varían desde texturas muy arcillosas en la parte central de la cuenca, a arenosos en la parte baja. El relieve es predominantemente llano en su mayor parte, aunque en las zonas fronterizas entre Brasil y Venezuela y en las cabeceras de los ríos en la Cordillera de los Andes es de ondulado a montañoso. La fisionomía vegetal de mayor expresión son los bosques tropicales húmedos ubicados tanto en tierra firme como en los terrenos que sufren eventuales inundaciones por periodos cortos.

En la cuenca del Amazonas predominan los suelos pobres en nutrientes. No obstante, en las zonas de tierra firme existen suelos fértiles, los cuales se han desarrollado a partir de rocas máficas (ricas en hierro y magnesio) de la región andina y del escudo brasileño. Los suelos que están situados en las terrazas del Pleistoceno y en las llanuras de inundación holocenas tienen una fertilización anual gracias a los ricos sedimentos en suspensión que aportan las aguas de los ríos. Este entorno constituye probablemente la mayor reserva de suelos eutróficos de los trópicos, con un total de más de 20 millones de hectáreas de suelo fértil.

Existe un debate desde hace mucho tiempo sobre la viabilidad del bioma del Amazonas y su capacidad agrícola para soportar grandes poblaciones, que se remonta a la época precolombina. Nuevos descubrimientos arqueológicos evidencian que existieron grandes poblaciones que habitaron en este ambiente y lo modificaron. Los estudios señalan que en América del Sur florecieron no sólo las grandes civilizaciones andinas de los Incas, Paracas y Nazca, sino también las Marajoara Tapajônica, Maracá y Xinguana en la Amazonia. Estas civilizaciones perdidas construyeron geoglifos y canales de drenaje en la parte occidental de la cuenca (Brasil, Perú y Bolivia).

El Amazonas es la ecorregión con mayor biodiversidad de plantas y animales en el planeta y es muy vulnerable a la explotación de sus recursos.

Izquierda: Imagen de satélite que detalla el efecto de la deforestación en la selva del Amazonas brasileña. Las áreas de color verde oscuro indican el bosque intacto, mientras que en las zonas marrones (suelo desnudo) o verde claro (cultivos, pastos u, ocasionalmente, bosques secundarios) la vegetación original ha sido eliminada. (NASA). **Derecha:** Horizontes típicos de suelos antrópicos y Ferralsols amarillos en la Amazonia Central de Brasil (Embrapa).

2. Bosques secos tropicales y subtropicales latifoliados

Izquierda: Bosque seco en la región Huasteca (CG) **Derecha**: Distribución del bioma bosque tropical seco y subtropical latifoliado en LAC. (WWF/JRC)

Los bosques secos tropicales crecen en áreas donde existen una o dos estaciones secas definidas al año, entre los 0 y los 1.000 m snm y con temperaturas medias anuales por encima de 24ºC. Se distinguen de los bosques húmedos por contener de un 40 a un 100% de especies leñosas deciduas, las cuales pierden su follaje de manera más o menos simultánea durante la época seca. Este tipo de bosque tiene una amplia distribución en el Neotrópico, desde el occidente mexicano hasta Costa Rica, algunas islas del Caribe, el norte de Colombia y Venezuela, el sudoeste ecuatoriano y noroeste del Perú, así como el noreste de Brasil.

El origen de los bosques tropicales se remonta al Pleistoceno, aunque su actual condición de sequedad se desarrolló hacia la mitad del Holoceno. Durante este periodo (hace 5.000 a 7.000 años), el clima dominante era el de la Zona Intertropical de Convergencia, ya que el fenómeno del Niño estaba ausente o era muy débil. Ciertos estudios proponen que la fase climática más seca del Holoceno resultó del cambio de la zona intertropical hacia su posición actual.

Los bosques secos tropicales son considerados como los más vulnerables a la persistente amenaza de deforestación por causas antropogénicas. Debido a la fertilidad de sus suelos han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de poblaciones humanas y objeto de una intensa transformación. Existen estudios que demuestran que el bosque seco, por las condiciones de sequía que sufre, tiene tasas de crecimiento menores a los bosques tropicales húmedos.

No obstante, estos bosques secos poseen una alta capacidad de recuperación después de perturbaciones, es decir, son muy resilientes. Sin embargo, si la perturbación persiste y el bosque es altamente degradado, la recuperación hacia el estado inicial no está garantizada.

Los bosques secos sufren incendios forestales de gran magnitud, debido a la acumulación de materia orgánica seca sin descomponer, aunque existen evidencias que estos bosques son menos susceptibles a estos eventos por las adaptaciones que tienen sus especies. Sin embargo, a pesar de la poca importancia que se les ha conferido a estos bosques, son fuente importante de especies vegetales útiles para el hombre. Es el caso de varias especies de leguminosas forrajeras, ornamentales y frutales originarias de esta formación vegetal.

Los suelos de los bosques secos son diversos, debido a sus diferentes grados de desarrollo. Una gran parte de estos bosques se encuentran en zonas montañosas, donde la tasa de erosión impide el desarrollo de un perfil maduro. Aunque bajo este tipo de vegetación se pueden desarrollar suelos como Luvisols, Alisols y Phaeozems, los suelos más abundantes de los bosques secos son los Cambisols, Leptosols y Regosols que se forman en las laderas, donde la tasa de erosión es mayor que la de formación de suelo. En ciertas áreas, como en la península de Yucatán (México), los suelos se desarrollan a partir de roca caliza (Leptosols y Phaeozems).

El Área de Conservación Guanacaste (Costa Rica)

La iniciativa de restauración ecológica más importante llevada a cabo en un bosque tropical seco es la del Área de Conservación Guanacaste (ACG) en Costa Rica. Una iniciativa liderada por Daniel H. Janzen, quien afirmó que los bosques tropicales secos se encontraban entre los más amenazados de todos los bosques tropicales. Así, desde 1985 se inició una campaña para la compra de tierras para así obtener un área grande de terreno y dejar que el bosque se recuperara a través del proceso natural de sucesión ecológica. De esta manera se establecieron aproximadamente 70.000 ha de bosque, las cuales habían sido transformadas en campos de cultivo y pastos. Las actividades clave desarrolladas para apoyar este proceso de restauración fueron el cese de los fuegos antropogénicos, la prohibición de recolectar plantas y cazar animales y la capacitación de personal comprometido con la causa.

El ACG representa uno del proyectos de restauración forestal más importantes llevados a cabo en los trópicos y una de las pocas iniciativas a escala de paisaje. También se ha conseguido llamar la atención sobre la importancia de la conservación de los bosques tropicales secos y lo factible de su restauración.

El bioma "elegido"

En los trópicos existe la tendencia de habitar ambientes cálidos y secos, antes que húmedos. El 79% de la población de Centroamérica se ubica en estas zonas. Aunque existen razones políticas, también influyen los factores ecológicos. Por ejemplo, comparados con el bosque lluvioso, los árboles de los bosques secos son más pequeños, y por ello más fáciles de eliminar para desempeñar la agricultura. Estos bosques son también más adecuados para la ganadería y muchas veces mas fértiles. El crecimiento de la vegetación es más lento y menos agresivo, y lo mismo sucede con la propagación de enfermedades que afectan a los humanos.

Al estar relacionados con los centros de población, los recursos de los bosques secos han sido aprovechados durante miles de años. Por ello, es posible que no exista un bosque seco completamente “virgen”. Además, una demanda de madera superior a la producción de los bosques secos, provoca una importante reducción de este recurso. Por ello, debido a la presión humana, muchas de estas regiones se mantienen como pastizales y sabanas, ya que una vez eliminado el bosque, es muy difícil que retome su forma original. Aunque existen especies vegetales adaptadas al fuego, éste se convierte en una amenaza cuando es provocado reiteradamente por el hombre.

Pampa guanacasteca, Costa Rica. (Ti)

3. Bosques tropicales y subtropicales de coníferas

Izquierda: Bosque de coníferas (*Abies religiosa)* en el Estado de México, México. (TA) **Derecha:** Distribución del bioma bosque tropical y subtropical de coníferas en LAC. (WWF/JRC)

Los bosques de coníferas se presentan en zonas altas y bajas de clima subtropical sub-húmedo. Estos bosques se encuentran en las sierras de México y se extienden desde el suroeste de Estados Unidos hasta Nicaragua. También se ubican en algunas islas de las Antillas y el sur de Brasil y el suroeste del continente americano (Chile y Argentina) (estas dos últimas zonas no aparecen representadas en el mapa debido a que los bosques del Cono Sur son mixtos y no puros de coníferas).

En su estado natural, los bosques de especies coníferas se caracterizan por ser densos e ir acompañados de un sotobosque de hongos, helechos, arbustos y árboles pequeños. En las zonas donde el bosque es más seco existe una vegetación de matorrales espinosos y plantas suculentas. Los bosques de coníferas se encuentran a ambos lados del Trópico de Cáncer. Se dan en altitudes de entre 800 y 1.300 msnm, en zonas donde la temperatura media presenta grandes variaciones. Las precipitaciones anuales están ligadas a la exposición de los vientos y pueden variar de 600 a 2000 mm.

Los bosques de coníferas varían mucho en su composición, al igual que lo hacen las condiciones climáticas y geológicas en las que se desarrollan. Por lo que los suelos bajo este tipo de bosque también varían. Los más frecuentes son los Luvisols. A mayor altitud estos suelos son reemplazados por Umbrisols, mientras que en las zonas más bajas se encuentran fundamentalmente Luvic Phaeozems. En las zonas con fuertes procesos de erosión en laderas los suelos están poco desarrollados; ahí podemos encontrar Regosols y Leptosols. Los bosques de coníferas también pueden desarrollarse sobre materiales geológicos particulares, como caliza y ceniza volcánica. En algunas montañas calizas los suelos bajo bosques de pinos (*Pinus spp.*) son poco profundos (Rendzic Leptosols). En otros lugares se encuentran suelos rojos profundos de tipo terra rossa. En cuanto a las zonas con actividad volcánica reciente, los suelos comunes son los Andosols. En ciertos lugares donde las laderas están cubiertas por productos arcillosos antiguos, los bosques de coníferas presentan rasgos típicos de los suelos del trópico húmedo; algunos se clasifican como Ferralsols o Nitisols. Los suelos de estos bosques son un ejemplo de que no existe siempre una relación estricta entre suelos y vegetación.

La explotación forestal inadecuada, especialmente la clandestina, así como los desmontes para la ampliación de zonas agrícolas, ganaderas y residenciales, son los principales factores que merman estos bosques y/o modifican su composición. La ganadería es la actividad con mayor influencia en el uso del fuego: aproximadamente el 80% de la superficie ocupada por estos bosques es sometida a incendios periódicos. El bosque de coníferas constituye un recurso de primera importancia por la demanda de madera, su fácil explotación, la rapidez de crecimiento de muchas de sus especies. Otras actividades de importancia económica son la extracción de resina o de semillas comestibles de las especies piñoneras.

Ecosistemas dependientes del fuego

Al igual que en otros ecosistemas, el fuego es esencial en los bosques tropicales y subtropicales de coníferas, en los que las especies han desarrollado adaptaciones para responder positivamente y facilitar su propagación. En estas áreas, si se quita el fuego, o si se altera el régimen más allá de su habitual rango de variabilidad, el ecosistema pierde hábitats y especies, transformándose en algo diferente.

En Mesoamérica podemos encontrar una amplia variedad de bosques de pino dependientes del fuego. México, con sus ambientes tropicales y templados, contiene la mayor diversidad de especies de pino del mundo (55 especies y variedades). La mayoría de las especies de pino está vinculada a perturbaciones, a menudo definidas por regímenes de fuego específicos. Muchos de estos tipos de bosque se extienden a América Central.

En la región del Caribe, los bosques de *Pinus caribaea*, dependientes del fuego, se extienden desde las Bahamas, más allá de Cuba, hasta Belice, Honduras y Nicaragua. En la República Dominicana existen bosques y sabanas dependientes del fuego de la especie endémica *Pinus occidentalis*. Es muy posible que muchos de estos ecosistemas dependientes del fuego estén quemándose demasiado en la actualidad, pero también hay una escasez general de información acerca de la naturaleza y la adecuación ecológica de los actuales regímenes de fuego en muchos de ellos.

La geología de las Sierras Madre mexicanas

Las Sierras Madre mexicanas forman una gran muralla ubicada entre las grandes regiones de Mesoamérica y Aridoamérica. Su interior engloba un gran conjunto de sierras, bajadas, valles y lomas atravesados por un extenso Eje Neovolcánico. Las altitudes medias de las regiones montañosas varían de 1.000 a 2.500 m snm, siendo los puntos más altos 3.700 m en la Sierra Madre Oriental y 3.300 msnm en Sierra Madre Occidental. En el Eje Neovolcánico se concentran los volcanes más altos de Mesoamérica: Pico de Orizaba (5.610 m), Popocatépetl (5.465 m) e Iztaccíhuatl (5.286 m). La característica más importante de esta región es la "sombra geográfica" creada por las sierras, la cual evita que las masas del aire húmedo provenientes del océano Pacífico y del golfo de México lleguen a la parte central de México. La aridez que origina esta situación resulta en la formación de ecosistemas muy especializados.

La estructura geológica en este sistema geográfico es bastante diversa. La Sierra Madre del Sur contiene las rocas metamórficas más antiguas (periodo Precámbrico), mientras que la Sierra Madre Occidental presenta rocas ígneas del Cretácico, más jóvenes y en la Sierra Madre Oriental se dan rocas sedimentarias cretácicas (calizas). El Eje Neovolcánico está constituido por rocas extrusivas y piroclásticas expulsadas desde el Oligoceno hasta hoy.

Existen subsistemas montañosos formados a partir de material parental meteorizado y transportado por gravedad a lo largo de las laderas. La profundidad y composición de estos depósitos depende en gran parte del desarrollo de los procesos de erosión. En los valles, el material parental lo constituyen sedimentos aluviales y lacustres.

El clima de esta área está caracterizado por un régimen de humedad tropical basado en épocas de lluvias alternadas con periodos secos. Sin embargo, por efecto de la elevación y las masas de aire provenientes del norte del continente, el régimen de temperaturas es de tipo templado, con algunas zonas frías y lluviosas en invierno. Las laderas de las Sierras Madre orientadas hacia el mar tienen mucha mayor humedad que las caras internas, por ello los bosques de coníferas se ubican en las laderas de la parte interna del país. En las laderas de las Sierras Madre así como en las sierras más bajas ubicadas hacia el interior de esta región, la humedad aumenta con la altitud y es muy común la combinación de grandes valles secos de vegetación escasa con sierras cubiertas de bosques de pino (*Pinus* spp.), encino (*Quercus* spp.), oyamel (*Abies religiosa*) o tascate (*Cupressus spp.*).

Arriba: Erosión del suelo en Michoacán, México. (PK)
Derecha: Bosque de coníferas en Durango, México. (CCG)

4. Bosques templados latifoliados y mixtos

Izquierda: Bosque de *Araucaria araucana*, Parque Nacional Nahuelbuta, Chile. (SZ) **Derecha:** Distribución del bioma bosques templados latifoliados y mixtos en LAC. (WWF/JRC)

Las regiones que comprenden estos bosques son el Bosque Valdiviano y el Bosque Subpolar Magallánico, los cuales se encuentran al sur de Chile y en la frontera sudoeste de Argentina, respectivamente [103].

Estos bosques se desarrollan bajo clima templado o por debajo de las cumbres montañosas, donde las variaciones estacionales son suaves. Generalmente en estas áreas se producen abundantes precipitaciones (régimen hiper-húmedo).

Región del Bosque Laurifolio

El Bosque Laurifolio o Laurisilva se distingue por la presencia de árboles perennifolios, de hojas grandes, brillantes y de color verde oscuro, que se desarrollan bajo un clima lluvioso todo el año. Presenta una baja oscilación térmica con valores constantes durante las estaciones. Algunas de sus especies arbóreas se consideran relictos, esto es, organismos que en otras eras fueron abundantes en áreas extensas y hoy se distribuyen en pequeñas localidades. Es un bosque denso y oscuro que es pobre en especies herbáceas, su extensión es reducida y fragmentaria, condiciones que se interpretan como una regresión de carácter biogeográfico. Se presenta en la zona al norte y al sur de Valdivia, entre los 38° y los 42° de latitud sur, donde los efectos tanto de las glaciaciones como del vulcanismo del Cuaternario fueron menores que en las áreas adyacentes. Los suelos sobre los que se desarrolla este bosque son Nitisols, Alisols, Fluvisols, Cambisols, Andosols y Gleysols. Se ubica preferentemente en tierras bajas y en las faldas de ambas cordilleras.

Pueden distinguirse tres tipos de bosque según la composición florística: Región del Bosque Laurifolio, Región del Bosque Andino-Patagónico y Región del Bosque Siempreverde y Turberas.

Los grupos de suelos dominantes son Leptosols, Cambisols, Regosols, Luvisols y Phaeozems.

Región del Bosque Andino-Patagónico

El Bosque Andino-Patagónico se extiende sobre el territorio de la Cordillera de los Andes, desde los 37° de latitud sur hasta el extremo meridional del continente (55° de latitud sur), limitado por la estepa patagónica en el este. Una de sus características ecológicas más importantes es que recibe generalmente precipitaciones en forma de nieve. En la zona de las Cordilleras de la Araucanía (37° a 40° latitud sur) este bosque se caracteriza por el dominio de los Andosols, es una zona de bosques alto-montanos, con inviernos fríos y nevadas. En cambio, durante los meses estivales las condiciones ambientales son más favorables. La vegetación del lugar es tolerante a suelos poco desarrollados y es capaz de crecer sobre mantos de lava o en grietas de rocas. La especie arbórea dominante es la araucaria (*Araucaria araucana*). Otro lugar destacado de esta región es la Cordillera Patagónica, donde el bosque se extiende desde los 45° hasta más de 52° de latitud sur, es decir, en la parte más austral de la Cordillera de los Andes. Este bosque se distribuye a lo largo de la vertiente oriental de la cordillera, sobre laderas y los grandes valles. Los grupos de suelos de referencia dominantes son Andosols y Leptosols. Sobre ellos se desarrollan especies como la lenga (*Nothofagus pumilio*).

Región Bosque Siempreverde y de las Turberas

El Bosque Siempreverde se caracteriza por las elevadas precipitaciones y temperaturas relativamente bajas, siendo éstas características en conjunto un limitante para el desarrollo de la vegetación. Este bosque se extiende sobre sectores montañosos en las laderas occidentales de las cordilleras patagónicas. Las formaciones de bosque se alternan con comunidades de matorrales y turberas. Esta vegetación se desarrolla sobre suelos de los grupos Nitisol, Cambisol, Leptosol, Andosol e Histosol.

En esta región existe un bosque Siempreverde, el cual se desarrolla a partir de los 47° de latitud sur, ocupando principalmente terrenos montanos hacia el sur y sectores medios de los valles de los grandes ríos hacia el norte. En las zonas de laderas bajas y en los valles el bosque ha sido prácticamente eliminado por el cambio de uso para el desempeño de la ganadería. La especie más destacada es el coihue de Magallanes (*Nothofagus betuloides*).

Otra zona de interés en esta región, es la de las Turberas, el Matorral y la Estepa Pantanosa. Se ubica desde los 47° de latitud sur ocupando las innumerables islas de los archipiélagos que se encuentran hasta el extremo sur del país (56° latitud sur).

En las turberas abundan los Histosols y la vegetación es de carácter sub-antártico con formaciones de plantas pulvinulares (con forma de almohadilla), cespitosas (formando grupos) y arbustos bajos.

Bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) de altura. Estancia Chacabuco, Parque Patagonia, Chile. (R)

Control del pastoreo con cerco eléctrico en la Araucanía del sur de Chile como medida para evitar el sobrepastoreo y preservar la cobertura del suelo. (PNR)

5. Desiertos y matorrales xerófilos

Izquierda: Desierto de Atacama. (CH) **Derecha:** Distribución de desiertos y matorrales xerófilos en LAC. (WWF/JRC)

Las zonas más representativas de desiertos y matorrales xerófilos en Latinoamérica se encuentran al norte de México [104], en la región del Desierto de Atacama-Sechura (Chile y Perú) y en la región de la Caatinga en Brasil, así como en el entorno de la Cordillera de la Costa venezolana o en las Islas Galápagos.

Estos ecosistemas se caracterizan por su vegetación xerófila y las escasas precipitaciones. La escasez de agua se puede deber, además del régimen de precipitaciones, al aumento de la evapotranspiración ocasionado por el viento o a la escasa retención de humedad del suelo.

Se denomina vegetación xerófila a aquellas plantas adaptadas a ambientes secos, como los arbustos leñosos, plantas suculentas como los cactus (adaptadas para almacenar agua) o especies anuales que completan su ciclo de vida en periodos cortos de tiempo o bien en una época determinada del año, por ejemplo cuando se producen lluvias.

Los grupos de suelos dominantes en los desiertos son Calcisols, Gypsisols, Arenosols, Regosols, Leptosols, Cambisols, Durisols, Solonchaks, mientras en las zonas de matorrales xerófilos son los Lixisols, Luvisols, Cambisols, Durisols, Vertisols, Kastanozems.

La Caatinga o *sertão* es el principal bioma de la región nordeste de Brasil. (JCAF)

Vegetación del desierto de Chihuahua, México. (Le)

Los desiertos de LAC

Los desiertos mexicanos

En la vegetación de los desiertos mexicanos, situados al norte del Ecuador terrestre y considerados tropicales, dominan las especies crasas o suculentas, las cuales tienen sus orígenes en la flora neotropical mesoamericana. La continentalidad (lejanía a la costa) es uno de los factores que más influye en las variaciones extremas de temperatura.

En el sur de México aparecen comunidades de plantas desérticas. En el Valle de Tehuacán destacan las cactáceas conocidas como tetechales (*Opuntia heliabravoana*). Estas comunidades son una extensión del desierto chihuahuense que quedó marginada por efectos geológicos. En la zona norte del país se pueden distinguir dos grandes desiertos: el chihuahuense, el desierto más seco y frío del país y Sonora, de clima seco tropical y conectado geográficamente con el desierto de Mojave (de clima más frío). La mayor parte de los desiertos mexicanos son dinámicos y vastos, en ellos los suelos teóricamente "poco desarrollados por la escasa humedad" resultan en la realidad muy diversos. Más de la mitad de los 32 tipos de suelos existentes en el mundo según la WRB están representados en los desiertos mexicanos. En especial abundan los suelos alcalinos ricos en carbonatos, de escasa profundidad y textura gruesa.

La Caatinga

Caatinga es un nombre de origen indígena que significa "bosque claro y abierto". Se ubica en Brasil, ocupando aproximadamente el 11% de su superficie. La Caatinga es el principal bioma de la Región Nordeste. Es rico en hábitats y en especies (en gran parte endémicos de este bioma). La sequía, la luminosidad y el calor característicos de las áreas tropicales dan como resultado una vegetación de sabana esteparia, espinosa y decidua (es decir, las hojas caen en una determinada época del año).

También hay áreas serranas, terrenos pantanosos y otros tipos de nichos climáticos más amenos. Éste bioma está sujeto a dos periodos secos anuales: un largo periodo de estiaje, seguido de lluvias intermitentes, y otro de sequía, seguido de lluvias torrenciales (que pueden faltar durante años).

Las dos estaciones acentúan los contrastes de la Caatinga: en una época, el bioma se encuentra desnudo, ceniciento y espinoso; en la otra es más verde y cubierta de una significativa cantidad de pequeñas hojas. Un 80% de los ecosistemas originales de la Caatinga han sido alterados, en especial a causa de la deforestación y de las quemas.

Atacama

El desierto del Atacama se ubica al sur del Perú y al norte de Chile, ocupa desde los 17° a los 30° de latitud sur, límite meridional del bioma del desierto de la Costa Pacífica de Sudamérica. El régimen de humedad predominante corresponde a hiper-árido desértico, con una pluviometría anual muy por debajo de los 100 mm y una altísima evapotranspiración que provoca un déficit hídrico de 1.200 mm. Se considera el desierto más seco del mundo, ya que hay zonas donde no existen registros de precipitaciones durante décadas.

Las características climáticas que hoy posee el desierto de Atacama se comenzaron a definir al comienzo de nuestro periodo, el Holoceno (hace unos 11.600 años), cuando una drástica reducción de las precipitaciones junto con un incremento de la temperatura produjeron una brusca disminución del caudal de los cursos de agua.

A causa de este fenómeno de aridización, las cuencas endorréicas (aquellas sin salida superficial de las aguas, sea al mar o a otros ríos) de la zona de las planicies altoandinas comenzaron a secarse, transformando las lagunas existentes en los salares que actualmente es posible encontrar en estas latitudes. Esta disminución en las precipitaciones ha permitido la preservación en las planicies litorales al oeste de los faldeos de la Cordillera de la Costa, una valiosa reserva de fósiles marinos, ricos en calcio. Por otra parte, en el desierto se puede identificar una gran zona cubierta por arenales de naturaleza fluvial que se movilizaron desde planicies marinas por efecto de los cambios en la intensidad de los vientos .

Se identifican cuatro subregiones: desierto absoluto, desierto andino, desierto costero y desierto florido. El primero, es la parte del desierto donde las precipitaciones son insignificantes o casi nulas. Aquí dominan los suelos de los grupos Solonchak, Leptosol, Arenosol, Calcisol y Regosol. La vida vegetal está prácticamente ausente, no obstante, existen especies que han desarrollado sistemas radiculares para absorber agua desde las napas freáticas a gran profundidad. El andino representa el piso de vegetación superior del desierto y está ubicado en las laderas occidentales de la Cordillera de los Andes en alturas de 1.800 a 3.500 m, sobre suelos de los grupos Regosol, Leptosol y Fluvisol. La subregión del desierto costero se extiende entre las laderas occidentales de la Cordillera de la Costa, principalmente sobre suelos de los grupos Arenosol, Solonchack y Calcisol. Por último, la subregión del desierto florido, ubicada entre los 27° y 30° de latitud sur, se caracteriza por poseer una gran diversidad de especies que florecen de septiembre a noviembre, sobre suelos de los grupos Arenosol y Calcisol.

6. Praderas, sabanas y matorrales tropicales y subtropicales

Izquierda: Sabanas neotropicales en los Llanos Orientales (Orinoquia, Colombia). La Orinoquia es una región geográfica de Colombia determinada por la cuenca del río Orinoco, donde hay una intensa actividad ganadera. (DA) **Derecha:** Distribución del bioma praderas, sabanas y matorral tropical y subtropical en LAC. (WWF/JRC)

Las sabanas son llanuras ubicadas en climas tropicales y subtropicales en las cuales se desarrolla una cobertura de plantas herbáceas (gramíneas perennes) formando un estrato continuo, junto con un dosel superior, discontinuo, de arbustos y/o árboles. Se encuentran en zonas de transición entre selvas y semidesiertos. Presentan características de bosque y pastizal. Los grupos de suelos dominantes en las praderas, sabanas y matorrales tropicales son Ferralsols, Plinthosols, Lixisols, Acrisols y Arenosols, mientras en las áreas subtropicales hay Phaeozems, Luvisols, Vertisols, Planosols, Solonetz.

Las sabanas tropicales, también llamadas cerrados en Brasil, son grandes planicies dominadas por una vegetación herbácea sobre la cual crecen diversas especies arbóreas, con una cobertura variable: algunas zonas pueden estar prácticamente desarboladas mientras que otras presentan una elevada proporción de árboles, asemejándose a un bosque ralo. Las palmeras -sobre todo la caranday (*Copernicia alba*)- son típicas de los pastizales cercanos a los ríos Paraná y Paraguay. A nivel mundial es el bioma de mayor extensión en la zona intertropical de África, Asia, Australia y América. En LAC, el área cubierta por este tipo de paisaje es de unos 4.000.000 km^2, lo que supone el 19,3% de la superficie latinoamericana, distribuyéndose principalmente en la zona central y oriental de Brasil, Argentina, Paraguay, Bolivia, Venezuela y Colombia.

Desde el punto de vista geológico y geomorfológico se corresponden principalmente con sedimentos aluviales del Pleistoceno, los cuales tienen su origen en la erosión de los Andes y de los escudos precámbricos de Brasil y Venezuela.

Su topografía se compone en general de grandes planicies. Éstas pueden ser desde altiplanicies planas o ligeramente onduladas, bien drenadas, estables y antiguas, como las de Brasil y Llanos Orientales de Colombia y Venezuela, hasta planicies más depresionales. Existen también sabanas más jóvenes, como las de los llanos occidentales y centrales de Venezuela y los de l Casanare y Arauca en Colombia. Sus alturas varían entre los 100 y los 600 msnm. El clima predominante es el de los trópicos bajos, con temperaturas elevadas y constantes y precipitaciones anuales entre 600 y 2000 mm, pero en general con un ciclo de lluvia de 5 a 7 meses y un fuerte periodo de sequía.

Los suelos, geomorfológicamente relativamente estables, han estado sujetos durante miles de años a periodos de sobresaturación o lavado durante la época de lluvias a fuertes sequías el resto del año. Se caracterizan por ser suelos muy lavados, ácidos, pobres en nutrientes y ricos en hierro y aluminio como son los Acrisols, Ferralsols y los Plinthosols. Allí, predominan géneros de gramíneas como *Trachypogon* y *Axonopus*, leguminosas del género *Stylosantes* y árboles resistentes a la sequía y al fuego como los de los géneros *Curatella* y *Byrsonima*. Por otra parte, en las sabanas más jóvenes sujetas a variados grados de inundación, los suelos (Stagnosols, Gleysols o Vertisols) son menos pobres en bases pero están sometidos a procesos de inundación. Allí, predominan gramíneas de los géneros *Paspalum* y *Leersia*, mientras que los árboles aparecen únicamente en las zonas mejor drenadas del paisaje.

Biodiversidad del suelo en las sabanas de Colombia

La macrofauna del suelo de las sabanas colombianas es muy rica en taxones. Las termitas (orden *Isoptera*) son el grupo más abundante (47%), seguidas de las lombrices de tierra (*Oligochaeta*, 31%). También podemos encontrar hormigas y avispas (Hymenoptera), escarabajos (*Coleoptera*), arañas (*Arachnida*), milpiés (*Myriapoda*), gusanos (*Nematoda*), moscas o mosquitos (*Diptera*). La intensificación de la agricultura y sus prácticas asociadas como la eliminación de la vegetación nativa, mecanización y uso de pesticidas, pueden conllevar cambios que lleven a una importante reducción de la biodiversidad de estas comunidades de organismos del suelo, las cuales suelen ser muy sensibles a variaciones climáticas estacionales y a las intervenciones humanas. Los cambios en las comunidades de invertebrados pueden acarrear alteraciones de las funciones del suelo, y por ende, en la provisión de servicios del ecosistema.

El Cerrado

La sabana tropical más grande de América del Sur, conocida como el Cerrado, se ubica en la zona central de Brasil y en parte de Bolivia y Paraguay. El Cerrado es la sabana con mayor biodiversidad del mundo. Se encuentra rodeada por otros biomas: el Amazonas al norte, el Chaco y el Pantanal al oeste, la Caatinga al noreste y la selva del Atlántico al este y sur. El relieve del Cerrado consta de plateas cristalinas o sedimentarias y una red de depresiones periféricas con diferentes tipos de bosque distribuidos en forma de mosaico. El clima es tropical con una estación seca y otra lluviosa. Los suelos del Cerrado pueden tener hasta 25 m o más de profundidad y se encuentran entre los suelos más antiguos y los menos fértiles del mundo.

El Cerrado se caracteriza por una enorme biodiversidad de plantas y animales pero esta riqueza está siendo amenazada por la expansión agresiva de los monocultivos, pastos para ganadería y quemas para producir carbón vegetal. Alrededor del 67% del Cerrado ha sido ya modificado respecto a su estado natural, y sólo un 1% se encuentra bajo protección. En los últimos 50 años, el Cerrado ha sufrido la mayor transformación de su historia debido a la construcción de la nueva capital de Brasil, Brasilia. La red de transporte se construyó abriendo la región a un gran proceso de desarrollo, convirtiéndola en la nueva frontera agrícola.

Los principales cultivos que se desarrollan a gran escala son: plantaciones de soja, maíz y arroz. Para el establecimiento de estos cultivos, miles de kilómetros cuadrados del Cerrado fueron eliminados sin ningún tipo de estudio ambiental previo. Las actividades agrarias continúan siendo una amenaza para la biodiversidad del Cerrado. En varios estados existen conflictos agrarios y nuevas olas de colonización, lo que hace muy difícil la conservación de lo que queda de la flora y fauna originales.

Izquierda: Paisaje de sabana en Monagas, Venezuela y su correspondiente perfil del suelo. (JC)

7. Praderas y sabanas inundadas

Izquierda: Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. (JZ) **Derecha:** Distribución del bioma praderas y sabanas inundadas en LAC. (WWF/JRC)

Los humedales incluyen un amplio espectro de ecosistemas en Latinoamérica, muy variables espacial y temporalmente. En términos generales, hay una fuerte relación entre las características del drenaje superficial y subsuperficial y la heterogeneidad ambiental interna de cada unidad. De este modo, cada humedal provee hábitats, recursos y funciones alternativas a la región y a las distintas especies biológicas presentes, incluido el ser humano. Al inundarse regularmente, el suelo se satura, quedando desprovisto de oxígeno y dando lugar a un ecosistema híbrido entre los puramente acuáticos y los terrestres [105].

Los humedales se clasifican generalmente en función de su morfología y vegetación, y, en menor grado, por su hidrología. La Convención sobre los Humedales (RAMSAR, 1971 - ver recuadro), clasifica los humedales en diversos tipos, agrupados en tres categorías: marinos y costeros, continentales y artificiales. El aporte de agua puede ser de origen marino, fluvial, pluvial o freático. Las condiciones de anegamiento o inundación, o al menos la saturación de agua del suelo, pueden suceder en forma permanente y/o semi-permanente.

Los humedales son ecosistemas muy dinámicos expuestos a la influencia de factores tanto naturales como humanos. Los suelos del humedal funcionan como sumideros de carbono, pero también de sulfatos, nitratos y sustancias tóxicas. Muchas especies vegetales de los humedales son capaces de actuar como "biofiltros", reteniendo sustancias tóxicas procedentes de plaguicidas, actividades mineras o residuos industriales. Algunas especies de plantas flotantes como por ejemplo el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) son capaces de absorber y almacenar metales pesados, como el hierro y el cobre, contenidos en las aguas residuales.

Los suelos reflejan la dinámica hidrológica local, con condiciones alternas de exceso y falta de agua. Los suelos más comunes en los humedales son los Histosols y Gleysols. Los Histosols se forman en los lugares más húmedos y con la mayor productividad biológica. Este tipo de suelos, tropicales en su mayoría, están muy humificados, son lodosos, y presentan pocas fibras vegetales. El espesor de la capa orgánica varía desde medio hasta varios metros de profundidad.

Los Gleysols son suelos más minerales (la capa orgánica es menor de 50 cm) con una evidente de reducción del hierro y manganeso por la falta de oxígeno provocada por la inundación prolongada. En los humedales también pueden encontrarse Fluvisols alrededor de los ríos y otros tipos de suelos en las zonas elevadas del terreno.

Debido a su alta productividad forrajera, en ocasiones los humedales son pastoreados de manera muy intensa, dando como resultado la sobreexplotación de sus recursos vegetales y la compactación del terreno, seguido todo ello de la invasión de especies exóticas. En los humedales de regiones secas, los procesos de degradación comienzan frecuentemente con el reemplazo de las especies propias del humedal por especies más xerófilas (como consecuencia de perturbaciones naturales y/o antrópicas que provocan descenso del nivel freático, un exceso de sales y aridez). Su integridad también está amenazada por la contaminación con hidrocarburos en las áreas de explotación petrolera. En el caso de las marismas y humedales costeros deberá tenerse en cuenta el riesgo de inundación previsible en los próximos 50 años, debido al ascenso medio del nivel del mar previsto en algunos lugares a causa del cambio climático.

El convenio de RAMSAR

RAMSAR es la Convención sobre los Humedales, firmada en Ramsar, Irán (1971). Es un tratado intergubernamental que proporciona el marco para la acción nacional y la cooperación internacional para la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos.

El Pantanal

El Pantanal es una llanura aluvial situada al oeste de Brasil, cubriendo también parte de Bolivia y de Paraguay. Debido a su suelo poco permeable, este ecosistema se caracteriza por la ocurrencia anual de inundaciones de larga duración que provocan alteraciones en el medio, la vida silvestre y en el día a día de las poblaciones locales. El clima es tropical, por lo que las temperaturas son elevadas todo el año. La región presenta dos estaciones bien definidas: el verano lluvioso, de octubre a marzo, con aproximadamente 32°C de temperatura media y el invierno seco, de abril a septiembre, cuando el promedio de temperatura es de 21°C. Las lluvias fuertes son un factor determinante en el paisaje de la región. Las inundaciones ocurren en los meses de lluvia por el aumento del caudal de los cursos de agua. Los ríos más importantes de la región son: el Cuiabá, el São Lourenço, el Itiquira, el Corrientes, el Aquidauana y el Paraguay. Todos ellos forman parte de la cuenca hidrográfica del Río de la Plata, que engloba gran parte del sudoeste brasileño. Cuando las lluvias cesan y los terrenos se secan, queda sobre la superficie una mezcla de arena, restos animales y vegetales, semillas y humus, que vuelve el suelo más fértil.

En los terrenos más altos y más secos el suelo es arenoso y ácido. En estos lugares el agua absorbida es retenida en el subsuelo, en las capas freáticas. Estos suelos son menos fértiles que los anteriormente comentados.

La planicie es el tipo de relieve predominante en el Pantanal. Cuando ésta se inunda, en medio de las aguas pueden verse elevaciones arenosas de hasta seis metros de altura (se conocen como cordilleras). Circundando la planicie existen algunos terrenos más altos, como mesetas, sierras y macizos. El macizo más famoso es el de Urucum, en Mato Grosso.

Casi toda la fauna brasileña está representada en el Pantanal. Durante el periodo de inundación, algunas especies de aves y mamíferos se desplazan a las áreas altas cercanas. En esta gran llanura aluvial, el agua es el elemento que regula la vida. Es la mayor planicie anegable del mundo: se calcula que cerca de 180 millones de litros de agua diarios entran en la planicie del Pantanal. La cobertura vegetal originaria de las áreas que lo circundan ha sido sustituida en gran parte por sembrados y pastos.

Rio Pantanal, Mato Grosso, Brasil. (MB)

8. Praderas, sabanas y matorrales templados

Izquierda: Evidencia de erosión eólica en la pampa en la provincia de Tucumán, Argentina. (La) **Derecha**: Distribución del bioma praderas, sabanas y matorrales templados en LAC. (WWF/JRC)

Este bioma está representado únicamente por la gran extensión de la Pampa (o las Pampas), situadas predominante en Argentina, aunque también en Uruguay y una pequeña porción del sur de Brasil. La región de la Pampa argentina se inserta en una llanura de acumulación de dimensiones continentales, constituida por sedimentos modernos no consolidados, que separa los antiguos escudos geológicos de Guayana-Brasil del sistema andino. Los suelos de esta zona varían según el gradiente climático. Los más abundantes son los Phaeozems. En la Pampa austral estos suelos tienen un horizonte muy característico llamado "tosca" - una entrecapa delgada endurecida de carbonato de calcio. Se cree que la tosca se formó en la etapa hidromorfa del desarrollo de estos Phaeozems pampeanos. En la parte sur del continente, de clima más árido y fresco los suelos dominantes son los Cambisols, algunos con una baja acumulación de carbonato de calcio [106, 107].

Pastizales pampeanos

Constituye una de las ecorregiones más extensas de la parte templada de América del Sur. Ocupa la región del centro-este de la Argentina: el centro-norte de la provincia de la Pampa continuando por el centro de San Luis, el sur de Córdoba y de Santa Fe, Buenos Aires (excepto el extremo sur), parte de Entre Ríos y el este y nordeste de Corrientes hasta el sur de Misiones; también el sur de Brasil y todo Uruguay. El relieve es llano y en ocasiones suavemente ondulado. El clima es templado cálido, con lluvias anuales decrecientes de nordeste (1.500 mm) a suroeste (400 mm). La vegetación dominante es la estepa o pseudoestepa de gramíneas. Los suelos son limosos, arenosos (en el oeste) o pedregosos (en las sierras). En la actualidad, solamente una pequeña área presenta pastizales naturales en buen estado de conservación, que están fragmentados en pequeños parches. En esta región es posible distinguir, según características geológicas, geomorfológicas, edáficas y de vegetación: (i) la Pampa Austral, con afloramientos rocosos abundantes, pedregosidad y suelos someros (aunque profundos en los conos aluviales; (ii) la Pampa Mesopotámica, de relieve ondulado y suaves colinas, con cursos de agua bien definidos bordeados por bosques en galería; los sedimentos de la varían desde loess en el oeste hasta aquellos de tipo arcilloso en el este; (iii) la Pampa Arenosa o Pampa Interior, donde se alternan lomas arenosas, planicies y zonas bajas, tanto inundables como no inundables.

Espinal

El Espinal rodea por el norte, oeste y sur al pastizal pampeano. El clima varía de un subtropical húmedo al norte, hasta subhúmedo seco y semiárido en el sur. Se caracteriza por la presencia de bosques bajos con predominio de árboles del género *Prosopis*. Se trata de un entorno intensamente modificado por el hombre y sus actividades de extracción de leña, producción de carbón, agricultura y ganadería. Se distinguen tres subregiones: (i) Distrito del Ñandubay, donde la especie predominante es el "ñandubay" (*Prosopis affinis*); (ii) Distrito del Algarrobo, donde las especies dominantes son *Prosopis alba* y *Prosopis nigra* (algarrobo blanco y algarrobo negro respectivamente); (iii) Distrito del Caldén, integrado por bosques xerófilos caducifolios, sobre relieves poco ondulados y serranías bajas de suelos arenosos.

Monte de llanuras y mesetas

Se trata de una extensa superficie desde el oeste del país hasta el norte de la Patagonia, sobre relieve variado: llanuras, bolsones, laderas de montañas y mesetas. Las mesetas se distribuyen discontinuamente, entre cerros, afloramientos rocosos, depresiones (ocasionalmente con lagunas o salinas), llanuras aluviales y terrazas de ríos. El clima es seco con precipitaciones escasas (80 200 mm/año) y estacionales: cálido con lluvias estivales en la mitad norte, fresco con lluvias en invierno y primavera en la mitad sur.

La comunidad vegetal característica es la estepa arbustiva xerófila (con predominio de arbustos de la familia zigofiláceas) y con presencia de suelo desnudo. Los bosques se agrupan en torno a los pocos ríos existentes.

La composición vegetal es la estepa arbustiva, con predominancia de jarillas (género *Larrea*), brea, pichana, retamo, tintitaco y otras especies. En los bosques se encuentran especies como el algarrobo (*Prosopis spp.*), el sauce (*Salix spp.*) o el maitén (*Maytenus boaria*). Desde un punto de vista ecológico, se pueden distinguir dos subregiones ya mencionadas más arriba: (i) Monte Septentrional con precipitaciones predominantemente estivo-primaverales. Abarca desde el norte todo el Monte hasta el centro de la provincia de Mendoza; (ii) Monte Austral con lluvias predominantemente invernales. Este distrito se extiende desde los 24,40° de latitud sur en Salta, hasta los 27,15° latitud sur en Hualfín, Catamarca. El Monte Septentrional presenta, proporcionalmente a su superficie, una área boscosa mucho mayor que el Monte Austral, en el que sólo aparecen árboles aislados.

Estepa patagónica

La Estepa o Provincia Patagónica, es una de las regiones fitogeográficas continentales más australes de Sudamérica. Siendo casi exclusiva de la Argentina, abarca el centro-oeste de Mendoza, oeste de Neuquén y Río Negro, Chubut, Santa Cruz y nordeste de Tierra del Fuego. El relieve está representado principalmente por mesetas, elevaciones de escasa altitud, valles, grandes cañadas y llanuras. El clima es templado-frío y seco, con precipitaciones anuales inferiores a 250 mm en casi toda la región, aumentando cerca de la Cordillera, hacia el sur de Santa Cruz y en Tierra del Fuego y con fuertes vientos del oeste, nevadas en invierno y heladas durante casi todo el año. Los suelos presentan, en general, escaso desarrollo, con textura variable aunque predominando las texturas gruesas. Son someros, pedregosos, ricos en carbonato de calcio y pobres en materia orgánica. Se pueden distinguir las siguientes subregiones: La Payunia, Estepa Central, Estepa Occidental, de los Pastizales Subandinos y del golfo de San Jorge.

La vegetación de la Estepa Patagónica se caracteriza por presentarse bajo la forma de matorrales achaparrados, adaptados a las condiciones de déficit de humedad, bajas temperaturas, heladas y fuertes vientos. En menor proporción, aparecen estepas herbáceas, de pastos xerófilos y comunidades adaptadas a ciertas características edáficas particulares, como vegas, bajos salobres y terrazas fluviales. En la franja de contacto de la estepa con los bosques de montaña, predominan en cambio los pastizales xerófilos, de mayor valor forrajero que los matorrales. En áreas de acumulación de mayor humedad, como fondos de valles, cursos de agua y vertientes, se encuentran unas praderas cenagosas conocidas localmente como mallines.

Izquierda: Ganado en la Pampa argentina. (CG) **Derecha:** perfil de un Phaeozem correspondiente al paisaje de la foto de la izquierda. Se trata de un suelo muy rico en materia orgánica, el cual se ha desarrollado sobre cenizas de los volcanes andinos cubiertas por loess. Aunque tras la conversión de estas tierras hacia el uso agrícola el contenido en materia orgánica se ha reducido, se puede observar su presencia en el horizonte superior (color marrón oscuro). (CG)

9. Praderas y matorrales de montaña

Izquierda: Altiplano chileno. (RB) **Derecha:** Distribución del bioma praderas, y matorrales de montaña en LAC. (WWF/JRC)

Este bioma engloba los herbazales y matorrales de altitud. Las praderas de montaña se comportan a menudo como "islas" biogeográficas, separadas de otras regiones montañosas por regiones más cálidas y menos elevadas, y suelen albergar muchas plantas endémicas, las cuales han evolucionado en respuesta al clima de montaña, frío y soleado. El área mas representativa en América Latina es la zona de la Puna.

La Puna es una región formada por una meseta de alta montaña propia de la Cordillera de los Andes. Se distribuye por las partes más altas de los Andes centrales y su parte central y más extensa la conforma la meseta del Altiplano. Este conjunto orográfico se encuentra entre las latitudes 8°S y 30°S aproximadamente, cubriendo territorios del centro y sur del Perú, noreste de Chile, occidente de Bolivia y el noroeste de Argentina.

Los parámetros altitudinales varían con cada país y con la latitud; así pues en el Perú se considera Puna a partir de los 3.800 o 4.000 msnm (donde comienza la altiplanicie) y su vegetación característica es el herbazal de alta montaña. En Chile se considera Puna a partir de los 4.000 m, presentando una flora de gramíneas al norte y desértica hacia el sur (Puna de Atacama).

En Bolivia se considera que el Altiplano o Puna inicia a partir de una altitud de 3.660 m, límite definido por el punto más bajo del altiplano que corresponde al salar de Uyuni. En Argentina la Puna es una continuación de la altiplanicie, pero va fracturándose en cordones de montañas y depresiones, y disminuye su altitud a los 3.700 msnm en la Puna de Jujuy y los 3.200 m al sur en la Puna de Catamarca.

La Puna es una región de baja presión atmosférica, menor difusión de oxígeno en el aire y clima frío, con escasas precipitaciones y una temperatura media anual que oscila entre 6° y -7 °C, según la región. Todos estos factores geográficos juntos al relieve, le han dado varios endemismos a la región, la cual ha sido también cuna de diversas culturas precolombinas.

El clima de la Puna es en general de montaña, frío y seco, aunque según la posición geográfica y la altura se pueden observar diferentes variaciones. La puna tiene elevada sequedad atmosférica, es calurosa en el día y muy fría en la noche. Suele presentar precipitaciones estivales de lluvia, granizo y nieve de diciembre a abril, especialmente en enero y febrero (llamado también invierno andino), que determina un clima húmedo en esta época. En las zonas más bajas el clima es templado y en los pisos altos el clima es polar.

La vegetación dominante es la estepa arbustiva, representada por especies cuyos individuos se presentan en matas dispersas. Los microclimas edáficos locales determinan la existencia de pequeños sectores con fisonomías diferentes. En la zona septentrional y oriental, donde la precipitación anual supera los 400 mm, predomina la estepa de tolas (*Parastrephia lepidophylla*), arbustos bajos de la familia de las margaritas. Hacia el sur y oeste, la estepa altoandina presenta dominancia de chijua, tolilla, añagua, rica-rica y suriyanta, entre otras especies. Son típicos los bosquecillos abiertos de queñoa, que crecen en laderas y quebradas entre los 3.800 a 4.300 msnm.

Los suelos de la zona están poco desarrollados (Regosols y Arenosols). Existen muchos suelos delgados (Leptosols). Cerca de la costa aparecen Durisols. Las áreas desérticas tienen suelos con alto contenido de sales solubles (Solonchaks).

Suelos crioturbados

Son característicos de esta zona los suelos crioturbados, aquellos sometidos a una secuencia de hielo y deshielo. Este fenómeno ocurre diariamente en la parte alta de los Andes tropicales y provoca el desplazamiento de partículas, modificando su distribución en las capas del suelo. Esta condición, sumada a las bajas temperaturas, la intensa radiación solar, y otros factores edáficos y climáticos, hacen que la vegetación que coloniza estos suelos sea diferente a la encontrada en los hábitats circundantes, principalmente respecto a su diversidad, estructura, fisiología y ecología.

El calentamiento global está afectando actualmente a la capa congelada del suelo (permafrost), lo que repercute en la distribución del carbono en el suelo y sus propiedades físicas y químicas. Estos procesos están muy relacionados con las poblaciones vegetales que habitan estos ambientes, por lo que son de esperar cambios en su composición, adaptaciones y estrategias biogeográficas.

Los recientes cambios climáticos podrían ocasionar la pérdida del ciclo hielo – deshielo, lo cual afectaría al ciclo de nutrientes. Algunos estudios muestran que este tipo de cambios en el ciclo de nutrientes favorece la presencia de algunas especies, teniendo consecuencias sobre la estructura de las comunidades de estas zonas.

Es por ello que la dinámica de estas comunidades se convierte en un indicador potencial de cambios ambientales, constituyendo un factor a considerar en futuros estudios en zonas altoandinas.

Campesino labrando la tierra en la Puna boliviana. (RV)

Llamas en el altiplano boliviano. (RV)

10. Bosques y matorrales mediterráneos

Izquierda: Vista del bosque del Parque San Carlos de Apoquindo cerca de Santiago de Chile. (BR) **Derecha:** Distribución del bioma Regiones boscosas y matorrales mediterráneos en LAC. (WWF/JRC)

El mediterráneo es un clima de tipo templado-cálido con lluvias estacionales, en el que los inviernos son húmedos y los veranos cálidos y secos. Las lluvias se distribuyen desde el otoño hasta la primavera y varían de escasas a moderadas, según se trate de mediterráneo seco o mediterráneo húmedo, aunque siempre existe una sequía estival, de más de dos meses, con una intensa radiación solar. En verano las lluvias significativas son escasas, y son relativamente frecuentes las épocas con fuertes sequías (pueden durar varios años) .

En este bioma la principal limitación es la larga sequía estival (a veces más de 4 meses), cuando las temperaturas son más altas. La estación de crecimiento está limitada a los meses con suficiente humedad en el suelo, temperaturas adecuadamente cálidas y suficientes horas de luz, principalmente la primavera. También tiene lugar en el otoño, aunque en esta época del año, cuando se recuperan las reservas de agua, las temperaturas comienzan a bajar y las horas de luz a acortarse. La estación de crecimiento también puede extenderse al invierno, sobre todo en las zonas más cercanas a los trópicos donde las temperaturas son más suaves y los días más largos.

Pese a su extensión relativamente pequeña, este bioma presenta una gran biodiversidad, tanto de plantas como de animales, además de una gran variedad de formas del terreno y de tipos de suelo. Algunas de las razones que explicarían la gran heterogeneidad de los ecosistemas mediterráneos son: su ubicación en la zona de transición entre los climas húmedos y secos, y entre las regiones templadas y tropicales; la heterogeneidad de relieves y microclimas suelos; la pluralidad de los orígenes biogeográficos; y la intensa influencia humana. Además, y al igual que ocurre con las regiones desérticas del mundo, cada una de las áreas de clima mediterráneo se encuentra aislada de las otras, habiéndose desarrollado comunidades de plantas y animales características en cada una de las zonas. Sin embargo, debido a la convergencia ecológica, muchos de estos matorrales tienen una apariencia similar (es el caso, por ejemplo, del maquis de la cuenca del Mar Mediterráneo, el chaparral de California, en EE.UU, y el matorral de Chile), aunque muchas de sus especies vegetales no estén emparentadas.

Los suelos en este bioma son muy diversos, debido tanto a la diversidad de subclimas (de semiáridos a húmedos) como de sustratos geológicos, y tienden a ser poco profundos al estar muy extendidos los procesos erosivos. Estos se ven muy favorecidos por el relieve abrupto y la abundancia de rocas sedimentarias blandas, por las lluvias torrenciales posteriores a las épocas de sequía, cuando la cobertura vegetal es menor, por la gran extensión de territorios degradados por la acción humana, en muchos casos milenaria y por los frecuentes fuegos forestales.

En los términos de la WRB, los suelos dominantes en esta zona son los Leptosols, seguidos de los Regosols y Arenosols. Sin embargo, también pueden encontrarse Cambisols y Luvisols en los elementos del relieve más estables.

Bosque Mediterráneo en Chile

En la zona central de Chile la vegetación mediterránea recibe el nombre genérico de matorral o bosque esclerófilo y tiende a mostrar una mayor estratificación (árboles, arbustos, hierbas) y a ser más abierto que el chaparral norteamericano. En esta región son escasas las masas de vegetación natural bien conservadas, pues, como la mayoría de las zonas mediterráneas, está muy poblada y transformada por los humanos. De la antigua vegetación boscosa solo quedan escasas manchas, sobre todo en áreas húmedas.

El bosque esclerófilo comparte su distribución con la región administrativa más poblada de Chile, la Región Metropolitana. Esta región alberga el 40% de la población total (6 millones de habitantes) en una superficie del 2% del territorio chileno.

Las regiones de bosque y matorral mediterráneo sufren una presión constante de cambio de uso de su suelo para fines de expansión urbanística y agrícola. Esto ha conducido a la rápida degradación de los suelos, lo que ha generado un proceso de desertificación, agravado por la utilización de las aguas subterráneas para el consumo humano, los incendios forestales y el secado de pantanos, entre otros factores.

El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNAPE), es la institución gubernamental que se encarga de administrar y proteger las áreas de protección del país. En Chile, el 19% del territorio se encuentra protegido bajo el SNAPE, la mayor parte de este territorio se concentra en latitudes altas, en áreas de escasa productividad y en territorios remotos o con poco acceso. Solamente un 2% del bosque esclerófilo se encuentra bajo protección, a pesar de ser un ecosistema único en el mundo.

Dentro de esta gran diversidad, se pueden considerar como suelos más característicos (aunque no sean los más extendidos) los conocidos como "suelos rojos mediterráneos". Los procesos de ferralitización se dan en climas templado-cálidos con estaciones muy contrastadas, en las que se alternan precipitaciones abundantes con largos periodos de . horizonte presenta acumulación de arcillas y un característico color rojo o pardo rojizo. Este proceso de enrojecimiento se debe a la acumulación de óxidos de hierro deshidratados durante los periodos secos.

El Parque Nacional La Campana es una de las áreas naturales más representativas de la Zona Central de Chile. Se caracteriza por tener uno de los últimos bosques de palma chilena. (BR)

Río Mapocho, Santiago de Chile. (CH)

11. Manglares

Manglar en la ciénaga de Ocumare, Venezuela. (D) **Derecha:** Distribución del bioma Manglares en LAC. (WWF/JRC)

El término mangle proviene del guaraní y significa "árbol retorcido". En el continente americano, los manglares se distribuyen desde Baja California y Florida en el norte, hasta Perú y Brasil en el sur. Los manglares son un bioma con árboles muy tolerantes a la sal que ocupan la zona intermareal y se encuentran cercanos a desembocaduras de agua dulce en latitudes tropicales de la Tierra.

Es posible encontrar extensos bosques de manglar compuestos de bien una sola especie o bien mixtos. La mayoría son mixtos y existe una sucesión entre las tres especies de mangle más abundantes. El más expuesto al agua es el mangle rojo, (*Rhizophora mangle*), el cual crece en los bordes del manglar, seguida del mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el mangle negro (*Avicennia germinans*), que ocupa las planicies lodosas inundables. Esta zonación puede deberse a una estrategia reproductiva, su capacidad de respuesta a la salinidad e inundación, o bien a la competencia.

Los grupos de suelos dominantes en este bioma son los Fluvisols, seguidos de Histosols, Leptosols y Gleysols. En las zonas inundables aparecen Solonchaks, Fluvisols e Histosols con rasgos salinos.

De acuerdo con la WRB, la característica más significativa de los manglares es su carácter tidalic (td): "que se inunda con agua de marea pero no es cubierto por agua en la marea baja media". Para hacer mediciones de suelo, es necesario drenarlo y en el proceso sus características sulfato-sódicas cambian drásticamente.

Se estima que en las últimas dos décadas se ha perdido aproximadamente el 35% de los manglares del mundo. Los manglares son una fuente de productos madereros, sobre todo para las poblaciones locales. Sin embargo, la explotación para varios usos (urbanos, turísticos, agrícolas o cultivos de camarón) son las principales causas del perjudicial cambio de uso en este bioma.

La recuperación de un manglar es muy difícil o imposible, dependiendo de su grado de degradación, ya que requiere la restauración de unas condiciones físico-químicas muy particulares, al encontrarse interconectados con otras especies de plantas en las zonas de inundación. Se requieren de alrededor 50 años para alcanzar la madurez estructural y sobre la restauración biogeoquímica, no se tiene actualmente el conocimiento suficiente para asegurar el éxito de una reforestación de mangle.

Servicios ambientales

Los manglares, brindan una gran variedad de servicios ambientales, como por ejemplo:

Actúan como refugio y fuente de alimentación para una gran cantidad de organismos acuáticos, muchos de ellos de interés pesquero.

- Poseen una alta productividad.
- Los taninos producidos por sus cortezas son empleados en curtimbres y tintorería.
- Son fuente de maderas pesadas, de gran longitud, de fibra larga y resistentes a la humedad.
- Proporcionan una protección natural contra catástrofes naturales.
- Brindan protección a las costas contra la erosión eólica y el oleaje.
- Funcionan como filtro biológico.
- Forman suelos.
- Abastecen de agua y regulan su disponibilidad.
- Ofrecen servicios recreativos y culturales

Manglares de Tamasopo, Veracruz, México. (CCG)

Crecimiento de la industria de cultivo de camarón en Honduras, durante el periodo de 1986 a 1999. (NASA)

Los suelos de LAC: una perspectiva nacional

Argentina

Área: 2.780.400 km²
Población: 40.764.561 habitantes

Los suelos de Argentina

Argentina es un país situado en el extremo sureste de América del Sur. Limita al norte con Bolivia y Paraguay, al nordeste con Brasil, al este con Uruguay y el océano Atlántico, y al sur y oeste con Chile. El clima predominante es el templado, aunque podemos encontrar también un clima subtropical en el norte y subpolar en el extremo sur. Las características generales de la orografía de la Argentina son la presencia de montañas en el oeste y de llanos en el este, configurando una planimetría que disminuye en altitud de oeste a este.

Los usos principales del suelo son: pastos (40%), tierra arable (12%) y zonas forestales (11%).

Argentina es un país de marcados contrastes geológicos, geomorfológicos y climáticos, por lo que existe una gran diversidad de suelos. Si bien se suele conocer al país por sus amplias planicies de suelos fértiles y clima húmedo, estas condiciones sólo se presentan en menos de un tercio de su superficie, siendo el área restante dominada por condiciones áridas y semiáridas. Debido a esta marcada heterogeneidad, se hace necesario dividir al país en grandes ambientes para su descripción.

La Llanura Chaco-Pampeana es una extensa planicie con pendientes muy suaves, donde predominan los suelos bien desarrollados, con buenos valores de materia orgánica y elevada fertilidad natural. La Mesopotamia está caracterizada por sus suelos rojos profundos evolucionados sobre roca basáltica, siendo su principal producción la forestal.

La cordillera de los Andes se caracteriza en el sector norte-centro por sus marcadas pendientes y su clima seco y por los suelos de textura gruesa y escaso desarrollo que aparecen entre amplios afloramientos rocosos; y en el sector sur por su clima frío y húmedo, la vegetación boscosa y los suelos de mayor desarrollo, algunos de ellos evolucionados sobre materiales volcánicos y de marcada fertilidad.

Ubicadas en el sector central del país, las Sierras Pampeanas presentan suelos con algún grado de desarrollo, de textura media a gruesa y de uso ganadero. En el sector austral del país y compuesta por mesetas y antiguas terrazas, se encuentra la Patagonia extraandina, caracterizada por la presencia de suelos desarrollados sobre sedimentos de granulometría media a gruesa y uso mayoritariamente ganadero.

La degradación de los suelos argentinos

En la Argentina un 20% del territorio (unos 60 millones de hectáreas) está afectado por procesos de erosión hídrica y eólica. A su vez, las regiones áridas y semiáridas del país, que cubren alrededor del 75%, albergan ecosistemas frágiles vulnerables a la desertificación. Estas regiones, que abarcan el oeste y sur del territorio nacional, se ven afectadas en un 10% de su superficie por una desertificación clasificada como muy grave, mientras que en un 60% ésta es de moderada a grave, a causa del pastoreo excesivo y el sobreuso de los recursos naturales.

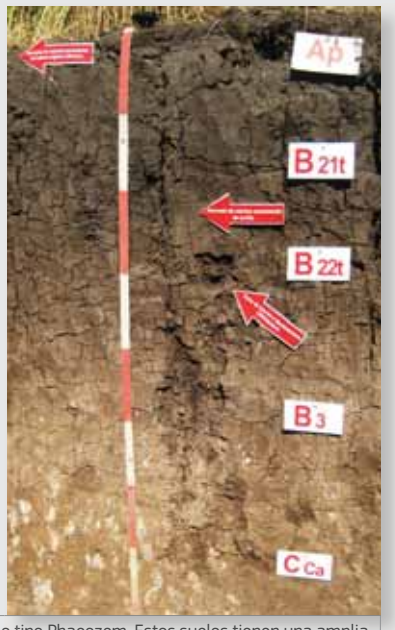
La difusión del sistema de siembra directa en la llanura pampeana, cuyos suelos se ubican entre los más productivos del mundo, ocurrió en forma exponencial desde principios de la década de 1990. Ello permitió mejorar la calidad de los suelos gracias a un efectivo control de la erosión, el incremento de la materia orgánica del suelo y un mejor aprovechamiento del agua pluvial.

En los últimos años se ha producido una simplificación de los sistemas productivos pampeanos y extrapampeanos, con un paulatino reemplazo de las rotaciones tradicionales por el monocultivo de soja, lo cual genera preocupación debido a su impacto desfavorable sobre las funciones del suelo y la sostenibilidad del agroecosistema.

En las regiones áridas y semiáridas de la Argentina la desertificación es un problema ambiental y socio-económico que se desarrolla bajo climas con una severa escasez de agua, afectando negativamente a regiones con recursos naturales muy limitados en suelo, agua y cobertura vegetal, como es la Patagonia. También es muy notable la degradación de los recursos naturales de la Región Centro-Oeste del país que afecta a las provincias de La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis y el oeste de La Pampa. El desmonte de los bosques secos, el sobrepastoreo extensivo de bovinos, ovinos y caprinos y el uso del fuego sobre las formaciones del monte y el espinal, han provocado la destrucción de la cubierta vegetal con incremento de los procesos de erosión y desertificación. La expansión de la frontera agropecuaria a zonas marginales de fragilidad ecológica ha ocasionado la degradación de los recursos naturales, con pérdidas cuantiosas de biodiversidad.

El manejo integrado de los recursos naturales aparece hoy como el sistema más apropiado y seguro para la empresa agropecuaria, tanto desde el punto de vista productivo como del impacto sobre los ecosistemas de la región.

Trigales en suelos fértiles de la región de la Pampa. (MA)



Perfil de suelo tipo Phaeozem. Estos suelos tienen una amplia distribución en la Pampa y se consideran de los más fértiles de América Latina. (MA)

Belice

Área: 22.965 km²
Población: 317.928 habitantes

Suelos de Belice

Belice es un país de América Central con costa en el Mar Caribe. Limita al norte con México y al oeste y al sur con Guatemala. El clima es tropical y la temperatura, generalmente oscila entre 24 y 27°C, dependiendo de la elevación y cercanía a la costa. Durante la estación lluviosa, de mayo a noviembre, son comunes las inundaciones y la llegada de huracanes.

Los usos más importantes del suelo son: forestal (62%), agrícola (10%) y pastos (2%).

La geología de Belice consiste en gran parte en variedades de piedra caliza, a excepción de los Montes Mayas, las cuales forman un gran bloque de granito que atraviesa de noreste a suroeste la parte central del país. En este conjunto de estribaciones montañosas se ubica el pico Victoria, el más alto del país, con 1.160 m. Belice se encuentra fuera del área tectónicamente activa de América Central y gran parte de la zona norte se sitúa sobre la plataforma de Yucatán.

El relieve de Belice muestra claras diferencias regionales entre el norte, tierras bajas con predominio de suelos arenosos, y el sur, más accidentado gracias a la presencia de los Montes Mayas. Las regiones montañosas que rodean a los montes Mayas están formadas por calizas del Cretácico, donde predomina una topografía kárstica que se caracteriza por numerosas dolinas, cuevas y arroyos subterráneos.

Las llanuras costeras están cubiertas por depósitos aluviales, algunos de ellos muy fértiles. Belice cuenta con la segunda barrera coralina más larga del mundo (después de la Gran Barrera de Coral) y la más larga del hemisferio occidental. Tres de los cuatro únicos atolones existentes en el hemisferio occidental se encuentran frente a la costa de Belice.

Los suelos de Belice presentan limitaciones de moderadas a severas para la agricultura a causa del mal drenaje, baja fertilidad y falta de humedad en la época seca. Los suelos con mayor potencial para la agricultura, están cultivados con cultivos para exportación como cítricos y bananos ubicados en las llanuras costeras del norte. Existen zonas con capacidad agrícola limitada y zonas marginales donde se pueden llevar a cabo actividades forestales y agricultura de bajo impacto.

Agricultura y erosión en los suelos de Belice

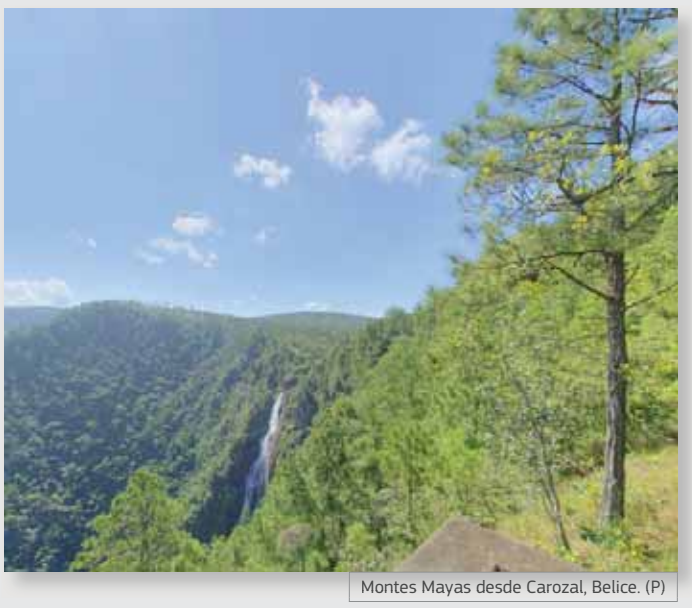
En Belice, el 38% de las zonas que deberían ser destinadas a la protección del bosque, por su topografía, son cultivadas. La mayoría están ubicadas en el sur del país, en zonas de fuertes pendientes y en condiciones de alta precipitación. La ausencia de una gestión agrícola estructurada y el uso de sistemas tradicionales como la corta y quema inducen la erosión del suelo. El proceso de corta y quema consiste en eliminar los árboles del bosque para sembrar cultivos, lo que deja poca vegetación para proteger la capa superficial de nutrientes, la cual se elimina con la lluvia.

La capa superficial del suelo se agota rápidamente, obligando a los agricultores a pasar a otra zona, donde las mismas prácticas se repiten con resultados similares. Ejemplos de estas prácticas se encuentran en los distritos de Stann Creek y Toledo. En esta zona del país los bosques se eliminaron, incluyendo la quema de los residuos, para sembrar maíz. Este tipo de eliminación de los residuos después de la tala de los árboles expone al suelo al impacto directo de las gotas de lluvia, pudiéndose evitar si los residuos de la corta se dejasen sobre el suelo sin quemar. Los efectos de la erosión laminar se pueden detectar por la presencia de rocas en la superficie de la parte superior de las laderas.

El uso del suelo recomendado para el 64% del territorio es el de explotación forestal limitada y de protección. Sin embargo, en gran parte de este área se practica la agricultura. De hecho, aproximadamente el 38% de las áreas no recomendadas para uso agrícola se encuentran cultivadas, en ocasiones en lugares donde se combinan las fuertes pendientes con precipitaciones elevadas, lo que incrementa notablemente el riesgo de erosión hídrica. En estas zonas es necesario implementar prácticas apropiadas para la conservación del suelo.

El sector forestal

En Belice el recurso forestal se consideraba inagotable. Hoy, con una cobertura forestal arbórea de un 62% y una tasa de deforestación anual de aproximadamente 36.000 hectáreas durante la última década, empieza a considerarse un recurso finito. A finales de los ochenta se realizó un estudio de ordenamiento territorial a nivel nacional, según el cual, únicamente el 14% de los bosques presenta las condiciones adecuadas para una extracción forestal sostenible.



Montes Mayas desde Carozal, Belice. (P)

Pescadores en Belmopan. (PC)

Bolivia

Área: 1.098.581 km^2
Población: 10.088.108 habitantes

Los suelos de Bolivia

Bolivia se encuentra en la zona central de América del Sur. Limita al norte y al este con Brasil, al sureste con Paraguay, al sur con Argentina, al suroeste y al oeste con Chile y al oeste con el Perú. Existe una gran diversidad de climas debido principalmente a sus características altitudinales y su posición latitudinal.

Los usos más importantes del suelo son el forestal (53%), los pastos (30%) y la agricultura (4%).

Desde un punto de vista fisiográfico, se pueden diferenciar seis provincias. Por un lado encontramos las dos cadenas montañosas que componen la cordillera de los Andes: (i) la Occidental, constituida por rocas volcánicas e igneas, y (ii) la Oriental, formada por rocas sedimentarias y metamórficas. Entre ambas cordilleras se sitúa el (iii) Altiplano. Por su parte, las provincias (iv) del altiplano Subandino, (v) de las llanuras y (vi) del escudo precámbrico en gran parte presentan depósitos de materiales sueltos como arcillas, arenas y gravas.

La cordillera Occidental está formada por una cadena montañosa de conos volcánicos de actividad reducida o nula. Sin embargo es posible observar secuelas posvolcánicas como sulfatares y fumarolas, especialmente en la zona sur. El pico más elevado del país es el Sajama con 6.542 msnm. La cordillera Occidental esta caracterizada por la presencia de suelos que varían de moderadamente profundos a someros. El altiplano boliviano se constituye en la interfaz entre la cordillera Occidental y la Oriental, y se subdivide por influencia del régimen climático en tres partes: Norte, Centro y del Sur. Los suelos varían de superficiales y arenosos a profundos arcillosos.

La Cordillera Oriental constituye un conjunto de montañas, serranías, colinas y valles interandinos al centro del país, que presenta suelos muy superficiales. En la Faja del Subandino los suelos varían de muy superficiales en las serranías a moderadamente profundos en el pie de monte. La Llanura Chaco Beniana tiene suelos con una capa superficial pesada. En la Pampa, los mejores suelos están sujetos a agricultura intensiva de exportación en las planicies de Santa Cruz. Los suelos en el Gran Chaco Sudamericano presentan limitaciones de fertilidad y déficit hídrico.

Según la clasificación WRB, los suelos más comunes en Bolivia son Gleysols, Acrisols, Luvisols, Cambisols y Regosols.

La degradación de los suelos en Bolivia

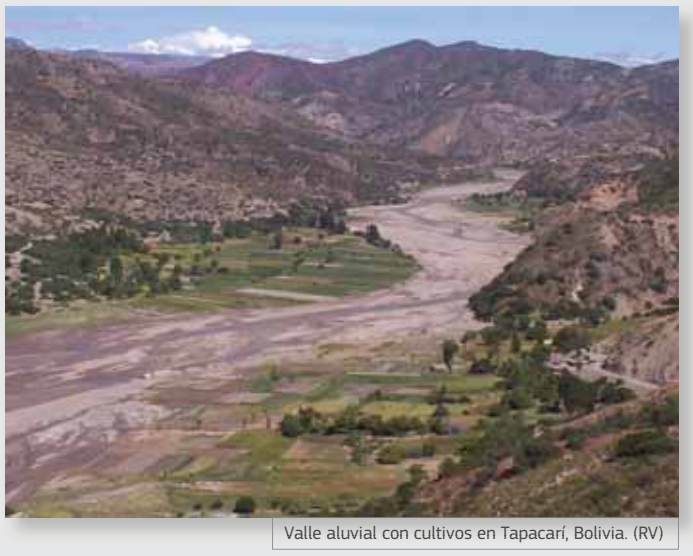
Una de las razones que impide alcanzar el máximo potencial productivo de Bolivia es la degradación de los suelos, causada fundamentalmente por la erosión del terreno. Entre 1954 y 1996, la erosión y el arrastre o lavado del suelo por efectos del viento y/o la lluvia se incrementaron en un 86% en las regiones árida, semiárida y subhúmeda seca.

Según diversos estudios, el 41% de los suelos del territorio sufre procesos de degradación. Dichos procesos abarcan una superficie de más de 45 millones de hectáreas que comprende gran parte de los departamentos de Oruro, Potosí, Chuquisaca y Tarija, el 32% del Departamento de La Paz, el 46% de Cochabamba y el 33% de Santa Cruz. El 22% del territorio sufre una degradación que puede clasificarse como severa. Por degradación se entiende la pérdida progresiva de la capacidad productiva de los suelos debida a la erosión, pérdida de fertilidad, contaminación, salinización y/o compactación.

Los suelos agropecuarios y forestales de Bolivia suelen ser frágiles y con escasa cobertura vegetal (sobre todo en zonas áridas y secas), debido a las condiciones climáticas y a que son suelos "jóvenes". Su fragilidad se incrementa de manera muy notable con la pérdida de la cobertura vegetal, causada por la implementación de prácticas inadecuadas de producción agropecuaria y forestal.

En el Altiplano y los valles, el sobrepastoreo y el sobreuso de bosque para la obtención de leña, hacen que el suelo quede descubierto, quedando así vulnerable a ser lavado o arrastrado por el viento y el agua de lluvia.

Por otro lado, según la Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), en las tierras bajas se han perdido 1,8 millones de hectáreas de bosque entre los años 2000 y 2010. Esto se debe a la expansión de la agricultura mecanizada, seguida por la ganadería y la agricultura a pequeña escala. La expansión de la agricultura mecanizada responde al buen acceso a los mercados de exportación, el suelo fértil y las condiciones de lluvia; mientras que la agricultura a pequeña escala y la ganadería estarían relacionadas sobre todo con la cercanía de mercados locales.



Valle aluvial con cultivos en Tapacarí, Bolivia. (RV)

Deforestación en el Departamento del Beni. (RV)

Brasil

Área: 8.502.728 km^2
Población: 192.379.287 habitantes

Los suelos de Brasil

Brasil se ubica en América del Sur. Al norte limita con Venezuela, Guyana, Surinam y el departamento ultramarino francés de la Guayana Francesa; al noroeste con Colombia; al oeste con Bolivia y Perú; al sureste con Argentina, Paraguay; y al sur con Uruguay. Cuenta con seis subtipos climáticos principales: ecuatorial, tropical, semiárido, tropical de altitud y subtropical. El país se encuentra incluido en su totalidad en la plataforma sudamericana, cuyo basamento es de una evolución geológica muy compleja. Los usos más importantes de la tierra son el forestal (62%), los pastos (23%) y el agrícola (8%).

Los suelos de los grupos Ferralsols y Acrisols tienen una amplia distribución en las ecorregiones brasileñas, desde la Amazonia hasta la Pampa gaucha, en el norte hasta el extremo sur del país, a través del Cerrado y la Mata Atlántica. Estos suelos se formaron a partir de materiales diversos como los sedimentos arcillosos, limosos y arenosos del Terciario, areniscas, rocas básicas e intermedias, calizas, granitos, gneises y migmatitas.

En la Amazonia, los Ferralsols y los Acrisols rojo-amarillentos son los suelos más representativos. Estos derivan de los sedimentos arcillosos, limosos y arenosos del Terciario y presentan caracterísitcas comunes como baja fertilidad natural y elevada saturación de aluminio intercambiable. A pesar de estas limitaciones los suelos amazónicos, por su topografía, han sido convertidos en pastizales y plantaciones, con la consecuente pérdida de biodiversidad, así como de rentabilidad, ya que no son productivos. Hay todavía suelos fértiles, como los Gleysols (30 millones ha), importantes áreas con Podzols en el norte y Plinthosols en el sur.

La región nordeste tiene como característica peculiar la gran variabilidad de los suelos y de las condiciones ambientales, con diferentes potenciales para la producción agrícola. En la ecorregión Caatinga, se encuentran suelos poco profundos pero con buena fertilidad. Los Regosols y los Luvisols son importantes suelos en esta región, aunque hay extensas áreas con Ferralsols y Acrisols. El sur es la región de las montañas y mesetas, con suelos de media a alta fertilidad. Allí son comunes Ferralsols, Leptosols y Nitisols. Estos suelos son susceptibles a la erosión hídrica. En el sureste, aunque los Ferralsols y Acrisols ocupan el 78% de la región, los cultivos son de alta productividad debido a la implementación de formas de manejo altamente tecnificadas.

Tierras degradadas en Brasil

En Brasil, la deforestación y la gestión inapropiada de las actividades agropecuarias son considerados los principales factores de degradación de la tierra. Estos factores aceleran los procesos de erosión, en particular la erosión hídrica y la salinización, lo que conduce en muchos casos a la desertificación. En 2012 el área deforestada en Amazonia alcanzó el 15%, según el Instituto Brasileño Geografía y Estadística (IBGE); la coversión en cultivo del Cerrado había llegado en el 2010 al 49%; datos de 2009 indican que la Caatinga perdió un 46% de su cobertura vegetal y el Pantanal el 15% de su área total.

El aprovechamiento de los recursos forestales sin el debido cuidado y, frecuentemente, con el uso del fuego, pueden generar rápidas pérdidas y la degradación del medio ambiente. El manejo de los sistemas de producción de pastos ha incrementado la degradación del suelo por la erosión, y sobre todo por la pérdida de la biodiversidad.

Aproximadamente el 48% del total de los terrenos agrícolas brasileños en 2006 eran pastizales (28% plantados y 17% naturales). Cerca del 78% de las áreas con pasto plantado (gestión poco mecanizada) suelen ser aptas para ese uso y nivel de manejo. Esto se da principalmente en el centro-oeste del país. De las tierras con uso pascícola situadas en diferentes biomas del país, el 77% están destinadas exclusivamente a este uso (el 46% de estas áreas se ubica en la Caatinga). Según el IBGE, 98.400 Km^2 de pastizales, el 3% del total de tierras en uso en Brasil, estaban degradadas en 2006. Se cree que alrededor del 60% del área actual ocupada por pastizales presenta algún tipo de estado de degradación del suelo, lo cual repercute en la productividad y el empobrecimiento de la calidad del agua.

También según datos de 2006, unos 7.890 km^2 de las tierras en uso en Brasil se encontraban en avanzado estado de degradación y cerca de 60.900 km^2 ya no podían ser destinadas a la explotación agrícola o ganadera. Se estima que las pérdidas anuales por erosión en zonas de cultivos y pastos en la actualidad son de 970 millones de toneladas, lo que representa $ 5.800 millones anuales. Estos resultados no tienen en cuenta las pérdidas por erosión en zonas urbanas y peri-urbanas.

La conclusión que se desprende de estos resultados es que la degradación de la tierra tiene un costo significativo y de gran influencia en la eficiencia y la sostenibilidad de la agricultura en Brasil.

Arriba: paisaje sobre Ferralsols. (Embrapa)

Abajo: perfil correspondiente a la imagen de arriba. Este grupo de suelos goza de una amplia distribución en las principales ecorregiones de Brasil. (Embrapa)

Chile

Área: 756.102 km^2
Población: 17.248.450 habitantes

Los Suelos de Chile

Chile es un país ubicado en el extremo sudoeste de América del Sur. Limita al norte con Perú y al este con Bolivia y Argentina. Está situado a lo largo de una zona altamente sísmica y volcánica. La amplitud latitudinal de Chile, su relieve y la influencia del océano son la causa del clima seco del norte, los climas templados en el centro y los climas más fríos y lluviosos en el centro-sur.

Chile se caracteriza por la gran variedad de suelos debido a su diversidad de materiales de origen, diferentes condiciones climáticas, y sucesión de numerosos eventos geológicos y geomorfológicos.

Los usos más importantes del suelo son el forestal (22%), los pastos (19%) y los cultivos (2%).

Los principales tipos de suelo de Chile son los: Andosols, Nitisols, Phaeozems y Plinthosols. Los suelos de la cordillera de los Andes varían a lo largo del gradiente latitudinal: en el norte son de texturas gruesas y muy delgados, con alto contenido en materia orgánica y elevada salinidad; hacia el centro del país, se encuentran suelos derivados de materiales gruesos; mientras que en el sur aparecen suelos de origen volcánico que se caracterizan por su alto contenido en materia orgánica. La Cordillera de la Costa, si bien tiene menor altura que la andina, presenta áreas de relieve accidentado que desencadenan procesos erosivos de gran extensión e intensidad.

En el centro-norte de dicha cordillera dominan los suelos derivados de roca granítica, mientras que hacia el sur los suelos se derivan de rocas metamórficas. La depresión intermedia, entre ambas cordilleras, presenta suelos derivados de la deposición de sedimentos finos y también suelos calizos. Las planicies litorales, situadas entre la cordillera de la Costa y la línea de costa, pueden ocupar desde decenas de kilómetros hasta desaparecer completamente, allí donde la Cordillera de la Costa cae abruptamente sobre el océano Pacífico.

La mayor parte de los suelos de las planicies litorales son de origen sedimentario, procedentes de la meteorización de los materiales de la vecina Cordillera de la Costa, por lo que su origen es granítico en el sector centro-norte y metamórfico en el centro-sur.

Los suelos de la Zona Central de Chile

Los suelos de la Zona Central son los que tienen mayor valor productivo para el país. Por sus características, permiten una gran variedad usos sin necesidad de prácticas especiales de conservación. Se ubican desde el Valle de Aconcagua hasta el norte de la IX Región, apareciendo a modo de islas a lo largo del llano central (regiones V, VI y VIII, además de la Metropolitana de Santiago). Los suelos con una aptitud moderada para el uso agrícola con prácticas intensivas de conservación se ubican en la depresión intermedia, alcanzando su mayor extensión en la provincia de Talca. Sin embargo, debido a ese uso intensivo, a paesar de su resiliencia, los suelos de la Zona Central son los más amenazados del país por los procesos de degradación. A continuación se enumeran los principales problemas asociados a la degradación del suelo en Chile.

La degradación del suelo en Chile

Las principales causas de degradación del suelo en Chile son:

- *Contaminación por agroquímicos*: la producción agrícola nacional requiere menores tasas de aplicación de plaguicidas en relación con otros países, debido a la existencia de barreras naturales que impiden la propagación de plagas y enfermedades. Pese a esto, en menos de 15 años el uso de agroquímicos se ha triplicado. Destacan, por su gran riesgo ambiental al ser poco específicos y altamente persistentes, los plaguicidas organoclorados que dejan un residuo en el horizonte Ap (en la fracción orgánica del suelo).
- *La salinización*: en los climas áridos o semiáridos, como es el caso del norte de Chile, no existe la posibilidad de un lavado natural del suelo. La escasa percolación a capas profundas del suelo, unida a la alta evapotranspiración, produce una acumulación de sales en el perfil del suelo que afecta al normal crecimiento y desarrollo de muchas especies cultivadas. El origen de la salinización del suelo se halla frecuentemente en al aumento de los riegos y el uso de tecnologías inapropiadas.
- *El sellado de suelo y la pérdida de suelo fértil* debido a la expansión urbana.

Cordillera de la Costa, VII Región del Maule y parte de la VIII del Bío-Bío. (WL)

Perfil excavado por la Asociación Constitución. Corresponde a un suelo de la Cordillera de la Costa en la VII Región del Maule. (WL)

Colombia

Área: 1.141.748 km^2
Población: 46.581.823 habitantes

Los suelos de Colombia

Colombia es un país ubicado en la zona nor-occidental de América del Sur. Limita al oriente con Venezuela y Brasil, al sur con Perú y Ecuador y al occidente con Panamá. El clima es tropical y varía desde el frío extremo en los nevados hasta las temperaturas más cálidas a nivel del mar. Existen dos estaciones secas y dos lluviosas. Geológicamente, el territorio colombiano forma parte del cinturón de fuego del Pacífico.

Los usos más importantes del suelo son: forestal (53%), pastos (30%) y cultivos (5%).

De acuerdo a las características del relieve y climáticas, pueden distinguirse seis regiones: Caribe, Insular, Pacífico, Orinoquía, Amazonia y Andina. En la región Caribe se encuentran suelos que normalmente se desarrollan bajo clima seco: superficiales y afectados por la presencia de sales. Los tipos de suelo dominantes son los Acrisols, Cambisols, Ferralsols, Litosols y Fluvisols.

En los valles de los ríos aparecen suelos afectados por inundaciones permanentes, mientras que algo más lejos de la zona de inundación del río, los suelos son fértiles y están bien drenados. Este es el caso también de los de la región Insular, a excepción de las playas y suelos inundados a la orilla del mar (ocupados por manglares). En la región del Pacífico, predominan los suelos ácidos y poco evolucionados, debido principalmente a las altas precipitaciones de la zona (pueden alcanzar los 10.000 mm anuales); hay dos sectores menos lluviosos en donde hay zonas fértiles aptas para cultivos. Se trata de los valles de los ríos Mira y Patía y en el Darién Chocoano.

En la Orinoquía se desarrollan los suelos más antiguos del país. Predomina el ecosistema de sabana tropical, el cual presenta dos estaciones muy definidas. Los suelos de la región de la Amazonia son viejos, aunque en menor grado que los de Orinoquía. Se caracterizan por ser de baja fertilidad en la mayor parte del territorio.

Por último, los suelos de la región andina pueden definirse como jóvenes, con buena fertilidad y ligeramente ácidos. Predominan los suelos derivados de materiales volcánicos.

La amenaza de la urbanización

La expansión urbana y el crecimiento industrial son procesos muy dinámicos que ocasionan cambios drásticos en el uso del suelo, a menudo con consecuencias irreversibles para la cubierta arbórea y en detrimento de la producción de alimentos de origen vegetal y animal. Esta expansión urbana engloba también las áreas que se transforman en zonas de recreo con urbanizaciones campestres, lujosas mansiones o campos de golf.

En Colombia se está trabajando en mejorar el nivel de detalle de los levantamientos de suelos en áreas potencialmente aptas para actividades agrícolas (a escala 1:10.000) amenazadas por la expansión urbanística. Simultáneamente, el gobierno nacional ha establecido una norma mediante la cual no pueden autorizarse actuaciones urbanísticas de subdivisión, parcelación o edificación de inmuebles que impliquen la alteración o transformación del uso actual de dichos terrenos. Los suelos que están incluidos en esta normativa, de acuerdo con la Clasificación de las tierras por su capacidad de uso del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, son los que pertenecen a las clases I, II y III, así como aquellos dedicados a la conservación de los recursos de aguas, control de procesos erosivos y zonas de protección forestal (clase VIII).

Los humedales de Colombia

Los humedales son todos los ecosistemas cuyo componente fundamental es el agua, en torno a la cual se forman ambientes intermedios que varían entre permanentemente inundados y normalmente secos, incluyendo todos los niveles de diversidad biológica que allí se puedan sustentar. En Colombia, factores como el régimen climático, la complejidad orogénica y la ubicación biogeográfica se han combinado de forma excepcional para permitir que el recurso hídrico sea abundante y modele el paisaje tropical formando ríos, estuarios, pantanos, ciénagas y lagunas, distribuidos en todos los paisajes y climas, destacando los humedales de los departamentos de Arauca y Casanare. El buen estado de los humedales permite, en gran medida, el control de las inundaciones en las áreas planas susceptibles a éstos procesos, ya que actúan como sistemas amortiguadores en épocas de invierno para las corrientes de aguas permanentes de gran caudal. Sin embargo, la presión ejercida por actividades humanas como la ganadería, la agricultura o la minería han desecado dichos complejos de humedales en varias partes del país.

Zona rural donde se desarrollan actividades agrícolas. Éstas pueden propiciar la expansión urbanística. (CC)

Corrimientos de tierra por deforestación de las laderas y uso inadecuado de la tierra (CC).

Costa Rica

Área: 51.100 km^2
Población: 4.301.712 habitantes

Los suelos de Costa Rica

Costa Rica está situada en el istmo de América Central. Limita al norte con Nicaragua y al sureste con Panamá. Su territorio está bañado al este por el mar Caribe y al oeste por el océano Pacífico. El clima dominante es tropical lluvioso y presenta dos estaciones climáticas (lluviosa y seca) con condiciones térmicas similares durante todo el año.

El origen geológico de Costa Rica se remonta aproximadamente al periodo Jurásico, dada la intensa actividad volcánica y los procesos de erosión. La topografía del territorio se caracteriza por la presencia de dos ejes montañosos centrales: la cordillera Volcánica del Norte y la cordillera de Talamanca. Estos dos ejes que cubren la pequeña extensión del país de montañas y valles y determinan a grandes rasgos la división del país en tres regiones fisiográficas y climáticas.

Los usos mas importantes del suelo son: forestal (51%), tierras de pastoreo (25%) y tierras de cultivo (10%).

En Costa Rica, existe una gran diversidad de suelos, debido principalmente a la variedad de formas del relieve y la abundancia de microclimas. En las cordilleras volcánicas de Guanacaste, Central y gran parte del Valle Central predominan los Andosols derivados de cenizas volcánicas. En estas zonas la transformación del vidrio volcánico y los silicatos de hierro y aluminio dan lugar a suelos de texturas medias, ricos en materia orgánica, de color negro, estructurados, profundos, bien drenados y con baja saturación de bases.

En todo el territorio, especialmente en las llanuras del Atlántico y del Pacífico, aparecen Cambisols, con escaso desarrollo del perfil del suelo y ricos en bases, donde se cultivan productos de exportación como banano, palma aceitera y arroz. En la cuenca del río Tempisque podemos encontrar Vertisols, con altas concentraciones de bases y bajo contenido de azufre, donde se cultiva el arroz. En llanuras recientes encontramos Fluvisols. Con carácter local, se pueden encontrar suelos altamente productivos (como los Phaeozems). Otro grupo, también presente aunque menos representativo, el de los Histosols. Estos aparecen en algunas zonas litorales y partes altas de la cordillera de Talamanca. En estos suelos la materia orgánica se acumula por la falta de oxígeno en el suelo y por una combinación de bajas temperaturas y acumulación de agua en las ciénagas a grandes altitudes. Por último, en el bosque nuboso de altura encontramos Podzols, mientras que en las zonas litorales aparecen Arenosols.

El uso del suelo y políticas nacionales

El territorio nacional es algo más que el suelo y las comunidades animales y vegetales que se desarrollan sobre él. Toda actividad humana que se establezca involucra aspectos económicos que tienen repercusiones sociales y ambientales. El uso real que se le ha dado al territorio de Costa Rica en las últimas décadas ha estado determinado principalmente por pugnas políticas que han buscado incrementar la productividad agropecuaria, algunas veces sin ir acompañadas de una planificación apropiada y sin tener en cuenta el uso sostenible del suelo. Desde los primeros informes del Estado de la Nación, está documentada la ampliación de la frontera agrícola que se produjo en respuesta a modelos productivistas sin planificación, como fue el incentivo crediticio a la ganadería entre 1960 y 1990, que condujo a la transformación masiva de tierras de cobertura boscosa en áreas de pastos. Otras consecuencias adversas de políticas de este tipo son la degradación de las áreas de recarga acuífera, la erosión de suelos en algunas zonas, la colmatación de embalses y los daños a los ecosistemas costeros. También la falta de planificación ha conducido, especialmente en el Valle Central, a la pérdida de los mejores suelos a expensas de la expansión urbanística.

Producción orgánica en Costa Rica

La producción orgánica ha crecido en Costa Rica, por iniciativa principalmente de pequeños productores en todo el territorio nacional. Muchos de ellos han identificado la agricultura orgánica como una alternativa para hacer frente a los altos costos de producción que ha traído el proceso de globalización, mientras que otros productores lo hacen con fines de proteger la biodiversidad, conservar el medio natural y mantener sus propias tierras libres de contaminación. La agricultura orgánica surge como un proceso sostenible y económico que trabaja en armonía con la naturaleza. Se basa en el uso de materias orgánicas y minerales naturales para mejorar la estructura y contenido nutricional de los suelos. Así, se mantienen en equilibrio los niveles de oxígeno y agua para las plantas, además de recuperarse los suelos. En Costa Rica la agricultura orgánica tecnificada y de alto rendimiento se inició en 1984 como proceso simultáneo al cultivo de mora, café y hortalizas. Actualmente se ha extendido a todo el territorio nacional y algunos productos orgánicos son de exportación. En 1997 se creó un reglamento mediante el cual se regula y certifica la producción y comercialización de estos productos.

Deforestación en las Alturas de Cotón, frontera con Panamá al borde del Parque Internacional La Amistad. (GD)

Feria verde de Aranjuez, venta de productos orgánicos en San José. (FG)

Cuba

Área: 109.884 km^2
Población: 11.247.925 habitantes

Los suelos de Cuba

Cuba es un país asentado en un archipiélago del Mar de las Antillas, también conocido como Mar Caribe. El clima de Cuba es tropical, moderado por los vientos alisios, con temporada de sequía (de noviembre a abril) y temporada lluviosa (de mayo a octubre). Geológicamente la isla está conformada por rocas carbonatadas en más del 60% del territorio, donde los accidentes kársticos dominan amplias zonas del relieve y subsuelo. El país es predominantemente llano con cuatro cadenas montañosas localizadas en el occidente, centro y oriente (dos de ellas) de la isla.

Los usos más importantes de la tierra son el agrícola (38%), el forestal (28%) y los pastos (25%).

La formación de los suelos de Cuba tuvo lugar en dos etapas diferenciadas: la de los arcos de islas y la de la plataforma. La formación de los arcos de islas corresponde actualmente con los cuatro macizos montañosos. En estas regiones bajo clima lluvioso y altas temperaturas se formaron suelos muy evolucionados, profundos y desaturados (Acrisols, Alisols y Ferralsols).

Los procesos de tectogénesis conllevaron que las rocas sedimentarias del periodo platafórmico afloraran en superficie, sobresaliendo material calcáreo del Neógeno que ha estado expuesto durante el Cuaternario a procesos de peniplanación y pediplanación.

En los peniplanos se formaron suelos rojos profundos, sobre rocas calizas duras (Nitisols, Ferralsols y Lixisols), mientras que en los pediplanos surgen suelos en relieves jóvenes sobre rocas más antiguas que el Neógeno, con formación de Cambisols y Phaeozems. Abundan los suelos Alisols y Cambisols en las zonas montañosas de Guaniguanico, Guamuhaya, la Sierra Maestra y el conjunto Nipe-Sagua-Baracoa. Los suelos Nitisols y Ferralsols se encuentran distribuidos geográficamente en la llanura de La Habana-Matanzas, Ciego de Ávila, así como en los sistemas montañosos de la Sierra Maestra. Los Vertisols y Gleysols son típicos del norte de las provincias centrales y el Valle del Cauto en la región oriental del país.

De tal forma que en un territorio relativamente pequeño, se presenta una amplia variedad de tipos de suelos. El país cuenta con Estudios de Suelo a escala 1:250.000; 1:50.000 y 1:25.000.

La salinización de los suelos cubanos

En Cuba, el uso de prácticas agrícolas inadecuadas ha provocado la salinización de un porcentaje del suelo, en su mayoría debido a causas humanas. La contínua explotación de los suelos con problemas de drenaje y el uso de agua con ciertos niveles de sal para el riego de áreas de arroz en la provincia de Granma, han incrementado los contenidos de sal en el suelo causando la disminución de áreas fértiles y de los rendimientos del cultivo del arroz. En suelos con problemas de drenaje y alto nivel freático, la adición de algunos fertilizantes ha causado la salinización secundaria del suelo. La reducción del crecimiento de los cultivos, el bajo rendimiento y la baja calidad de la producción agrícola son consecuencias comunes en los suelos fuertemente afectados por la salinización. Los productos más afectados por ésta problemática son: la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), los pastos y el arroz (*Oriza sativa*), aunque la salinización se extiende a otros cultivos. En relación con el suelo, el fenómeno no sólo se presenta en los Solonchak; hay salinidad potencial o real también en Gleysols, Vertisols y Fluvisols, e incluso en algunos Cambisols y Ferralsols. Existe un Programa Nacional de acción contra este fenómeno.

La agricultura urbana en Cuba

En Cuba existe un exitoso movimiento de agricultura urbana que contempla la producción de alimentos frescos en cualquier espacio libre del perímetro urbano. Esta forma de producción se basa en tres principios: el empleo de abonos orgánicos y medios biológicos de protección de los cultivos; el uso racional de los recursos locales y la directa comercialización de los productos a los consumidores. Existen diferentes programas, que incluyen: floricultura, frutales y cría de aves de corral y animales, entre otros. Su principal prioridad es el abastecimiento de hortalizas y condimentos frescos durante todo el año a la población, mediante técnicas agroecológicas. Sobresale el empleo de los llamados organopónicos, a cuyo fin se levantan canteros conformados por tierra fértil (en muchas ocasiones, transportada) y una fuente de abono orgánico a partes iguales. En 2010 se produjeron por esta vía 1,5 millones de toneladas de hortalizas y condimentos frescos. Recientemente el país inició la llamada agricultura periurbana, con el fin, esta vez, de acercar la producción de alimentos a los pobladores mediante la aplicación de muchos de los principios de la agricultura urbana y siempre en función de las demandas e intereses locales.

Suelo salino-sódico, provincia Guantánamo, Cuba. (OMU)

Cultivos organopónicos: canteros de tierra fértil y abono orgánico en una zona urbana de Cuba. (OMU)

Ecuador

Área: 256.370 km²
Población: 14.666.055 habitantes

Los suelos de Ecuador

Ecuador es un país situado en la región noroccidental de América del Sur. Limita al sur y al este con Perú, al norte con Colombia, y al oeste con el océano Pacífico. Debido a la presencia de la cordillera de los Andes, su ubicación ecuatorial y la influencia del mar, presenta dos estaciones definidas: la húmeda y la seca. El territorio de Ecuador se articula en torno a una sección volcánica de la cordillera de los Andes con más de ochenta volcanes y cumbres superiores a los 6.000 msnm dividida en dos cadenas, una occidental y otra oriental; al oeste de los Andes se encuentra el golfo de Guayaquil junto con una llanura aluvial y al este aparece la región amazónica. El país también incluye el archipiélago de Galápagos.

Los usos más importantes de la tierra son el forestal (41%), pastos (20%) y agrícola (10%).

La distribución y características de sus suelos están fuertemente correlacionadas con la diversidad fisiográfica, climática y paisajística del país. Se distinguen cuatro zonas: la costa, que comprende los territorios situados por debajo de los 1.300 msnm en las estribaciones occidentales de los Andes y hasta la superficie relativamente plana de las tierras bajas, así como la cordillera Costera. Los principales suelos de esta región son de origen aluvial, y son el sustento, entre otros, de los principales cultivos de exportación que produce el país (banano, el cacao y café). La región de la Sierra incluye las áreas ubicadas por encima de 1.300 msnm, tanto de la cordillera oriental como de la occidental de los Andes. La gran mayoría de suelos de la región, son de origen volcánico, procedentes de cenizas principalmente, y cubren prácticamente todos los paisajes montañosos dominantes. Son aptos para cultivos de altura, como los cereales cebada, avena y trigo, así como el maíz y los tubérculos andinos como la patata, por lo que constituye el granero del país. Además comprende numerosos espacios protegidos y relictos de vegetación nativa. La región Amazónica o trasandina comprende los territorios ubicados por debajo de los 1.300 m en las estribaciones orientales de los Andes. Provienen de rocas antiguas, son suelos lavados con liberación de óxidos de hierro y aluminio y por lo tanto tóxicos y no aptos para utilización agropecuaria. En el archipiélago de Galápagos, los suelos son marginales y de ninguna manera favorecen labores agrícolas o pecuarias. Los Acrisols, Ferralsols, Cambisols, Litosoles, Nitosols y Andosols son los tipos de suelos más comunes en Ecuador.

Los suelos del páramo ecuatoriano

Entre el límite superior de altura de los bosques andinos (entre 3.000 y 3.500 msnm) y el límite inferior de las nieves perpetuas (entre 4.800 y 5.000 msnm), aparece en los Andes septentrionales y ecuatoriales un medio particular: el páramo. Estos prados de altura dominados por gramíneas formadoras de penachos se enfrentan a un clima frío y húmedo. Los páramos cubren una superficie de 12.560 km², un 5% de la superficie del país.

Los suelos de los páramos se han desarrollado esencialmente sobre los depósitos piroclásticos resultantes de las erupciones de los numerosos edificios volcánicos de la llamada “avenida de los volcanes” de los Andes septentrionales, con más de cien volcanes (cinco de ellos en actividad). Se trata en general de Andosols, aunque su morfología y propiedades varían considerablemente según los principales factores de la pedogénesis, como la edad (diferenciándose claramente los suelos desarrollados sobre depósitos recientes de los de aquellos más antiguos), la naturaleza y composición química de los materiales y las condiciones climáticas. Debido su composición, con gran abundancia de vidrios, la alteración de los depósitos volcánicos es muy rápida y conduce a la formación de complejos aluminio-orgánicos y/o de minerales poco cristalizados como las alófanas y la imogolita. Los suelos del páramo presentan globalmente altas capacidades de retención de agua (del 60 al 200%) y a menudo importantes acumulaciones de materia orgánica.

Por la importante retención de agua de sus suelos, el páramo funciona como un medio de regulación de los flujos hídricos: almacenamiento en período húmedo y liberación progresiva en período seco. El alto poder de infiltración de tales suelos controla además la intensidad de las crecidas. Sin embargo, el papel de los páramos es igualmente importante en lo que respecta a la disponibilidad de agua para la población de los valles andinos. Se puede considerar que una gran parte de habitantes del Ecuador depende del agua almacenada en los páramos para su abastecimiento doméstico. Además, el funcionamiento hídrico de los páramos desempeña un papel considerable en el abastecimiento de las centrales hidroeléctricas.

Volcán y recientes flujos de lava de la Isla Isabela (Galápagos). (DR)

Vegetacion tipica de los suelos de la Sierra. (AGA)

El Salvador

Área: 21.041 km²
Población: 6.216.143 habitantes

Los suelos de El Salvador

El Salvador es un país localizado en América Central. Debido a su pequeña extensión territorial, es el más densamente poblado de América continental. Limita al norte y al este con Honduras, al sur con el océano Pacífico, y al oeste con Guatemala. El Salvador se encuentra en la zona climática tropical y ofrece condiciones térmicas poco variables durante todo el año. Las principales rocas que han dado origen a los suelos de El Salvador son lavas basálticas, además de cenizas volcánicas ácidas, tobas y otro tipo de material no consolidado.

Los usos del suelo principales son agrícola (44%), pastos (31%) y forestal (14%).

La mayoría de los suelos que forman el territorio salvadoreño son de origen volcánico y aluvial. Pueden distinguirse varios grupos de suelos en función de su desarrollo. Los suelos jóvenes poco desarrollados están conformados por materiales arenosos de origen marino situados en cordones litorales (Regosols halomórficos); materiales de origen aluvial reciente (en vegas de los ríos y lagunas) y volcánico (Andosols). Estos últimos ocupan desde áreas planas hasta pendientes fuertes de las faldas de los volcanes.

También encontramos suelos que evolucionan principalmente por efecto de los procesos erosivos (Leptosols). Los Vertisols salvadoreños son muy arcillosos y negros, “pegajosos” y plásticos cuando mojados, mientras que secos son muy duros y presentan grietas. Aparecen en zonas cubiertas por vegetación arbustiva.

Dentro del grupo de suelos con un nivel más alto de desarrollo podemos encontrar Luvisols, coloreados por la presencia de minerales de hierro de distintos tipos y grados de oxidación, sobre medias y fuertes pendientes, con textura superficial franco-arcillosa y subsuelo arcilloso. Son muy pedregosos donde su origen es lava o lodos volcánicos. También podemos encontrar Acrisols y Nitisols, similares a los anteriores pero más profundos, antiguos, más ácidos y consecuentemente más pobres en nutrientes. Estos últimos se distribuyen en enclaves de la zona norte y tierras más altas en las montañas. Aunque pueden ser aptos para cultivar pequeñas áreas con flores, hortalizas y frutas, su uso más idóneo es el forestal.

Degradación de los suelos salvadoreños y planificación territorial

En El Salvador, la erosión del suelo es causada por diversos agentes: el suelo experimenta la erosión causada por la lluvia (denominada erosión hídrica) y la provocada por las condiciones del uso y manejo del suelo hecho por el hombre (erosión acelerada por el hombre). Muchas zonas que estaban ocupadas por bosques nativos han sido deforestadas en favor de cultivos anuales, lo cual ha propiciado la pérdida del suelo.

El 65% de la superficie nacional presenta suelos degradados, por efecto de la combinación de erosión y malas prácticas de uso del suelo como la deforestación. La degradación del suelo produce al mismo tiempo el empeoramiento de las condiciones socio-económicas y ambientales. Únicamente un tercio de las tierras son adecuadas para la agricultura intensiva mecanizada. En ellas se cultivan principalmente: caña de azúcar, arroz, frutales, café, maíz y frijol. La producción de café y caña de azúcar se destina a la exportación en su mayor parte.

Sin embargo, dadas las características de los suelos, otro tercio de las tierras adecuadas para la agricultura podría destinarse a una agricultura muy productiva y sostenible, implementando siempre buenas prácticas agrícolas, evitando por ejemplo cultivar en fuertes pendientes. En las zonas no aptas para cultivo, como las urbanas o las de protección de los cuerpos de agua (ríos, lagos y lagunas), los suelos requieren vegetación permanente de protección como los bosques nebulosos (que se nutren del agua que forma la niebla) o bosques de galería (en los ríos).

Un adecuado ordenamiento territorial que diera prioridad a la utilización de los levantamientos de suelos a las diferentes escalas de intervención permitiría mejorar los rendimientos productivos de la agricultura al tiempo que se optimiza el uso del recurso suelo. En este contexto se considera necesario concentrar esfuerzos para encarar los graves problemas de deterioro de los recursos naturales, la baja rentabilidad agrícola y la pobreza rural.

Imagen de la Ciudad de San Salvador obtenida mediante satélite. (NASA)

Vista del volcán Usulután desde las planicies costeras del Pacífico en El Salvador. (LS)

Guatemala

Área: 108.900 km²
Población: 15.073.375 habitantes

Los suelos de Guatemala

Guatemala es un país situado en América Central. Limita al oeste y al norte con México, al este con Belice y el golfo de Honduras, al sureste con Honduras y El Salvador y al sur con el océano Pacífico. El clima en la meseta central es subtropical mientras que en las regiones costeras es tropical. La estación de lluvias tiene lugar entre mayo y noviembre. El territorio de Guatemala está situado sobre tres placas tectónicas, sobre una porción terrestre geológicamente muy activa, como muestra su actual actividad volcánica.

Los usos más importantes de la tierra son el forestal (35%), agrícola (23%) y pastos (18%).

A continuación se describen los grupos de suelos más representativos en Guatemala. Los Acrisols se ubican principalmente en la parte central y norte del altiplano occidental, al norte de los departamentos de El Quiché y Huehuetenango, dentro de la llamada Franja Transversal del Norte, al este del departamento de Izabal, y al sur del lago del mismo nombre. Los Andosols se localizan en la áreas con mayores altitudes dentro del altiplano occidental, en parte de las llanuras de la costa sur y en una pequeña parte del altiplano central. Los Cambisols se encuentran al sur de la falla del río Motagua, en el departamento de El Progreso Zacapa, en el este del Departamento de Petén, en la Sierra de las Minas, al norte del río Motagua, en el centro-este del país y en las montañas kársticas de Alta Verapaz.

Por otro lado, se pueden encontrar Gleysols en las proximidades del río de la Pasión, en el Departamento de Petén y en el valle del Polochic, en la costa del pacífico en los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu. Hacia el sur y suroriente, en los departamentos de Santa Rosa Jalapa y Jutiapa se localizan los Nitisols, los cuales aparecen en superficies tanto llanas o suavemente onduladas como en relieves accidentados.

Por último, los Regosols se ubican preferentemente en la costa del Atlántico, en el departamento de Izaba, en el litoral sur del país y en las proximidades de algunos volcanes. Los Vertisols se encuentran la parte norte y sur central de Petén, en el valle de Monjas (Jalapa), el valle de Ipala (Chiquimula), la parte central del valle de La Fragua (Zacapa), Agua Blanca y Asunción Mita (Jutiapa).

Los recursos mineros de Guatemala

El suelo, muy fértil, es el recurso más importante del país. Algunos de los minerales con que cuenta Guatemala, si bien no todos están suficientemente explotados, son: hierro, petróleo, níquel, plomo, zinc y cromita; también se han descubierto depósitos de uranio y mercurio. En el altiplano del departamento de San Marcos, desde el año 2006 se explota el oro. Las tierras bajas de Petén representan un área de bosque tropical húmedo con una elevación media de 100 msnm donde existen depósitos de yeso, carbonatos y petróleo. La Cordillera Central, de vocación predominantemente forestal, cubre un tercio del territorio. Forma parte del sistema que se desarrolla desde Chiapas (México) hasta las islas del Golfo de Honduras. Los minerales no metálicos de mayor ocurrencia en esta zona son: barita, mármol de serpentinita y calcáreo, esquistos, jade, talco y rocas industriales. Esta región contiene además la mayor concentración del país de minerales metálicos, entre los que se incluyen plomo, cobre, antimonio, zinc, plata, oro y níquel. La Provincia Volcánica abarca un área aproximada de 25.000 km². En ella se sitúan los 40 volcanes que forman parte de los 324 focos eruptivos identificados en todo el país. La elevación varía entre 50 y 300 msnm. En esta región se pueden encontrar extensos depósitos de piedra pómez, tobas y lavas, (minerales no metálicos). Entre los minerales metálicos aparecen aparecen plomo, zinc, plata y oro. Por último, la Planicie costera del Pacífico comprende una banda de unos 50 km de ancho que se extiende a lo largo del litoral y está compuesta por productos de material derivado de las tierras altas volcánicas. Aquí se pueden encontrar arenas, gravas y piedra pómez, y también, sedimentos de arena con gran contenido de hierro y titanio (como las arenas negras titaníferas de las playas del océano Pacifico). El potencial minero del país coincide en gran medida con las regiones con mayor índice de pobreza, caracterizadas por suelos rocosos con cobertura vegetal escasa o inexistente, así como zonas apartadas con poco desarrollo económico y alto índice de desempleo.

Los suelos volcánicos de Guatemala

Los suelos de origen volcánico se encuentran en el altiplano de la cordillera central de país, lugar donde se asienta cerca del 40% de la población. Es en estos territorios habita la mayor parte de la población indígena. Desde el punto de vista económico, en los suelos volcánicos se desarrolla gran parte de la producción agrícola de subsistencia, pero también coexiste una buena parte de la producción agrícola (horticultura) de exportación.

Paisaje en el altiplano occidental de Guatemala a 2.740 msnm en un suelo Andosol. (HTV)

Perfil de un Andosol en el altiplano occidental de Guatemala. La capa blanca en el centro del perfil es la ceniza volcánica que ha sido enterrada por el desarrollo del suelo después de la erupción. (HTV)

Haití

Área: 27.700 km²
Población: 10.123.787 habitantes

Los suelos de Haití

Haití se encuentra en la parte occidental de la isla La Española. El terreno se puede calificar de montañoso escarpado, con profundos valles y planicies costeras. El clima es de tropical a semiárido. Hay dos temporadas de lluvias: una de abril a junio y la otra de octubre a noviembre. La geología general se compone de rocas calcáreas y otras rocas ígneas intermedias en las montañas y colinas. Haití sufre sequías e inundaciones de manera periódica, debido a las tormentas tropicales y huracanes.

La tierra cultivable supone el 49% de la superficie del país. Los cultivos permanentes ocupan menos del 15% de dicha tierra cultivable. Los principales cultivos agrícolas son café, mango, caña de azúcar, arroz, plátanos, maíz, sorgo, frijoles y granos de cacao. También se cultivan raíces o ñame, frutas, verduras. Los bosques se encuentran principalmente en dos parques y una reserva forestal y ocupan menos del 4% del territorio (cuando se estima que originalmente cubrían un 85% del territorio). La mayoría de la superficie forestal ha sido aprovechada (para madera y carbón). Los pastos ocupan un 18% del territorio.

Haití presenta 4 grupos de suelos principales que son, en orden decreciente de extensión, Cambisols, Lixisols, Vertisols y Luvisols. Los Cambisols y Lixisols se encuentran preferentemente en las montañas y colinas. Los Luvisols y Vertisols se sitúan en los valles y llanuras. En general, el régimen de temperaturas de los suelos puede calificarse de arídico, isotérmico o isohipertérmico. El régimen de humedad del suelo es ústico o údico. La mineralogía mixta o esmectítica.

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) Haití es uno de los países más degradados del mundo. Se estima que más del 98% de los bosques nativos ha sido eliminado. La intensa deforestación debida a causas históricas ha causado la aceleración de los procesos erosivos. El agua procedente de las precipitaciones no es retenida por el suelo, y como consecuencia las cuencas hidrográficas sufren tanto inundaciones destructivas como flujos bajos. Las principales limitaciones de los suelos de la región son baja fertilidad, acidez, erodibilidad, poca profundidad y fuertes pendientes.

La degradación de los suelos haitianos

Desde 1492, cuando Colón llego a la isla de la Española, Haití ha sufrido una constante pérdida de suelo, primero bajo el dominio español, cuando se eliminó parte de la cobertura forestal para cultivar caña de azúcar, y después bajo la colonización francesa, que eliminó los bosques esta vez en favor del cultivo de café, añil y tabaco.

Tras la independencia, los especuladores y agricultores de las clases altas expulsaron de los valles fértiles a los campesinos, los cuales se vieron obligados a asentarse en las áreas rurales más boscosas, donde cultivaron de manera intensiva maíz, frijol y mandioca. Este uso agrícola, combinado con la intensa explotación de los recursos forestales (principalmente madera para combustible) aceleró la deforestación, llevando a la pérdida del suelo. La pobreza y la inestabilidad social históricas han contribuido al problema, que se ha intensificado en las últimas décadas. En efecto, aún actualmente el 75% de las necesidades energéticas domésticas del país son suplidas por biomasa (leña), con lo que la limitada área forestal remanente sigue menguando sin tiempo de regenerarse. También se mantiene el predominio de una agricultura de subsistencia y tradicional donde los suelos no tienen un periodo de recuperación; una vez agotados, los agricultores se mueven a nuevas tierras.

A la predisposición natural a la erosión del país, provocada por su escarpada topografía junto con la presencia de fuertes lluvias, se ha sumado el mencionado factor antropogénico, conduciendo a la degradación del suelo (es decir, a la pérdida de sus propiedades químicas y físicas, así como de la capacidad de producción). Se estima que cerca de 4.200 ha de suelo son arrastradas cada año.

En total, un 75% de los suelos antes fértiles han perdido su capacidad productiva.

Haití ha disminuido su biodiversidad, degradado sus fuentes de agua, y aumentado su vulnerabilidad a los desastres naturales; pero la degradación de los suelos y la pérdida de suelo fértil se considera uno de los problemas ambientales más graves que enfrenta el país.

Imagen de satélite que muestra la deforestación en Haití (izquierda) en la frontera con República Dominicana (derecha). (NASA)

Erosión en la zona de Bas-Ravine, parte norte del cabo haitiano. (RK)

Honduras

Área: 112.492 km²
Población: 8.215.300 habitantes

Los suelos de Honduras

Honduras se localiza al centro de América Central y limita al norte y al este con el Mar Caribe, al sureste con Nicaragua, al sur con el Golfo de Fonseca y El Salvador, y al oeste con Guatemala. Se encuentra en una posición tropical y únicamente cuenta con una estación seca (diciembre-abril) y una estación lluviosa (mayo-julio). El territorio hondureño es montañoso, con fuertes pendientes y altitudes por debajo de los 1.800 msnm. Atendiendo a las formas del relieve, el territorio hondureño se puede dividir en tres zonas: Planicie Costera del Norte, Planicie Costera del Sur y Región Montañosa (compuesta por las cordilleras del norte, centro y sur).

Los usos principales del suelo son: forestal (47%), pastos (16%) y agrícola (13%).

La mayoría de los suelos están constituidos por rocas sedimentarias, están poco desarrollados, se ubican en fuertes pendientes y tienen bajo contenido en materia orgánica. Estos suelos corresponden principalmente a la región montañosa del país donde habita la mayoría de la población rural. Los suelos en Honduras se clasifican según su régimen de humedad en: húmedos, secos, zonas pantanosas y rocas (sin suelo). La fertilidad es variable, siendo los más aptos para la agricultura los aluviales poco profundos de origen volcánico que se ubican en valles entre montañas o en las extensas planicies costeras, donde se concentran las principales plantaciones de café y palma africana, respectivamente. Siguiendo la WRB los suelos hondureños pueden clasificarse en: Gleysols, Cambisols, Fluvisols, Nitisols, Arenosols y Kastanozems.

En Honduras las laderas representan más del 80% del territorio; el alto grado de inclinación del terreno influye en las características físicas y químicas del suelo. Es en estas laderas donde vive el 60% de la población total y donde se produce más del 75% de los granos básicos (maíz y frijol) y el 67% de los cultivos perennes (especialmente café). Debido a este relieve montañoso, la deforestación, el uso indebido de agroquímicos y una red vial mal planificada, han acelerado los procesos de degradación del suelo. Una de las consecuencias de la degradación es la sedimentación de los cuerpos de agua, lo que, además de empeorar la calidad del agua, disminuye sus capacidades amortiguadoras (en cuanto a inundaciones, por ejemplo) y de almacenamiento.

Efecto del ganado bovino en las laderas hondureñas

Honduras es uno de los países más pobres de Latinoamérica, donde los problemas medioambientales relacionados con la desertificación y la sequía favorecen situaciones de pobreza, migraciones, inseguridad alimenticia e inestabilidad política.

La mayoría de la población rural subsiste gracias al cultivo de granos básicos (maíz y frijol), por lo que dependen del mantenimiento de la productividad de la tierra. El uso del suelo sin las técnicas apropiadas de manejo, la falta de recursos económicos y la carencia de conocimientos hacen que éste se vuelva muy vulnerable a amenazas de carácter tanto natural como antrópico.

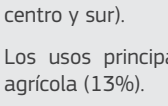
El campesino hondureño tiende a diversificar la producción de cultivos en sus pequeñas fincas e incluye además la ganadería bovina, en la mayoría de los casos sin contar con las infraestructuras y fuentes de alimento requeridas. El pastoreo del ganado bovino puede generar cambios importantes en las propiedades físicas del suelo, como por ejemplo la compactación debida al pisoteo, la cual reduce la infiltración del agua y el desarrollo radicular de las plantas. La cubierta arbórea también se ve afectada en cuanto a su capacidad de regeneración, ya que el ganado consume los brotes de las plantas, disminuyendo así el aporte de materia orgánica (biomasa) al suelo y favoreciendo procesos de erosión.

Durante la estación seca (diciembre-mayo), el pasto verde del que se alimenta el ganado escasea. Como estrategia, los campesinos pastorean el ganado en rastrojos de cultivos.

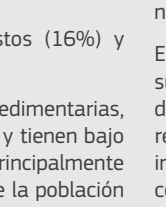
Las instituciones gubernamentales, centros de investigación y agencias de desarrollo encargados de elaborar los criterios técnicos y dar asesoramiento acerca de los actuales sistemas de gestión ganadera recomiendan, por ejemplo, la implementación de sistemas de parcelas, así como la introducción de especies de plantas forrajeras anuales y perennes con alto potencial productivo en áreas pequeñas. Estas especies podrían cultivarse en parte de la parcela, en combinación con los pastos permanentes. Es necesario determinar la capacidad de carga del terreno antes de sembrar pastos permanentes. También hay que tener en cuenta la pendiente (en general se pueden cultivar zonas con pendientes inferiores al 45%).

Bosque tropical hondureño. (DG)

Ganado en San Ramón, Choluteca. (ZC)



Jamaica



Área: 10.991 km²
Población: 2.709.291 habitantes

Los suelos de Jamaica

Jamaica es una isla del Mar Caribe y es parte de las Antillas Mayores. Se encuentra al sur de Cuba y al oeste de Haití y República Dominicana. El clima de Jamaica es tropical, cálido y húmedo, siendo más fresco en las zonas montañosas. Por su ubicación geográfica y topografía no sufre con tanta frecuencia la presencia de huracanes como las islas vecinas.

Los usos principales del suelo son el agrícola (41%), forestal (37%), tierra arable (12%) y cultivos permanentes (10%).

La isla está compuesta principalmente por terreno montañoso rodeado de una pequeña franja de costa. Las ciudades se encuentran en esta llanura costera. Montañas y mesetas cubren la mayor parte de la longitud de la isla. Las mayores cumbres se encuentran en las Montañas Azules. La isla se divide en tres regiones fisiográficas principales: la meseta central, que ocupa más de la mitad de la isla y presenta rocas calizas sobre un sustrato de origen metamórfico e ígneo; las elevaciones orientales, con un relieve muy abrupto dominado por areniscas y conglomerados; y las llanuras costeras en la región meridional. Los suelos superficiales de muchas zonas de montaña son particularmente susceptibles a la erosión. Los suelos aluviales de las planicies ccosteras, compuestos principalmente por arcillas, sustentan los principales cultivos: cítricos, caña de azúcar y banana. Según la clasificación WRB los tipos de suelos más comunes en Jamaica son los Acrisols, seguidos por los Vertisols en las zonas costeras.

La deforestación vinculada a minería, agricultura y turismo

Jamaica tiene un triste récord en cuanto a la tasa de deforestación, en gran parte debido al rápido crecimiento de la industria turística y la expansión de la agricultura, principalmente de las plantaciones de café. Las prácticas agrícolas inadecuadas sobre las tierras en donde antes crecían los bosques, desencadenan procesos erosivos que llenan de sedimentos las resevas de agua y producen inundaciones. La sinergia de estos acontecimientos es la causa de la degradación de los arrecifes de coral que rodean la isla. La explotación de las minas de bauxita es la principal causa de deforestación en Jamaica. Esta actividad destruye grandes áreas de bosque debido a que la bauxita se extrae en minas a cielo abierto, las cuales requieren la remoción total de la vegetación y del horizonte superficial del suelo.

Vista de las Montañas Azules, Jamaica. (W)

Bahía de Parlatuvier, Trinidad y Tobago. (Ch)

El volcán Soufriere Hills (Montserrat) en plena erupción en 1995. Geológicamente las Antillas Menores son en su mayoría islas jóvenes de origen volcánico o coralino. (NSF)

Antillas Menores

Área: 13.012 km²
Población: 3.735.636 habitantes

Los suelos de las Antillas Menores

Las Antillas Menores son un grupo de pequeñas islas que se ubican en el Mar Caribe formando un arco desde el este de Puerto Rico hasta la costa occidental de Venezuela. El clima es tropical con presencia de vientos alisios durante todo el año. Existen dos estaciones: la seca, de diciembre a junio y la húmeda, de junio a noviembre con presencia de huracanes.

Las Antillas Menores coinciden con el borde exterior de la Placa del Caribe, y muchas de las islas se formaron como resultado de lasubducción de una o más placas del Atlántico por debajo de la placa del Caribe. Las islas se dividen en dos arcos insulares: las del arco exterior tienen escaso relieve y son principalmente de piedra caliza sobre rocas volcánicas, mientras que las del arco interno son montañosas y de origen volcánico. La geografía física de las Antillas menores es muy variada. Algunas islas como Anguila y Aruba son llanas, mientras que otras como Dominica y Granada tienen relieves más irregulares.

La zona presenta una elevada diversidad ambiental que se refleja en la gran variedad de suelos existente. Hay 11 grupos de suelos de referencia de la clasificación WRB. Por orden decreciente de extensión se pueden encontrar: Cambisols, Ferralsols, Luvisols, Gleysols, Planosols, Lixisols, Phaeozems, Alisols, Kastanozems (exclusivos de las Islas Vírgenes), Andosols y Regosols. En general, los suelos tienen un régimen de temperatura de suelo térmico o isohipertérmico, un régimen de humedad ústico o údico y son de mineralogía mixta.

Las principales limitaciones de los suelos de la región son la poca profundidad a la roca madre y la inclinación de sus laderas.

México

Área: 1.964.375 km^2
Población: 114.793.341 habitantes

Suelos de México

México es un país situado en la parte meridional de América del Norte. Limita al norte con EE.UU, al sureste con Belice y Guatemala, al oriente con el golfo de México y el mar Caribe y al poniente con el océano Pacífico. En México es posible encontrar una gran diversidad edáfica como consecuencia de la diversidad climática (de climas áridos a cálidos húmedos), fisiográfica y geológico-litológica. Al encontrarse en una zona donde hay gran actividad tectónica, México posee numerosas fallas, zonas sísmicas y volcanes.

Los usos principales del suelo son: pastos (39%), forestal (33%) y tierras arables (14%).

En México, están representados 25 de los 30 grupos de suelos de acuerdo con la WRB. Los suelos dominantes por su extensión son Leptosols, Regosols, Phaeozems y Calcisols. Los Leptosols se encuentran en todo el país, ocupan el 27% de la superficie, son dominantes en las zonas montañosas y en las llanuras y lomas kársticas de la península de Yucatán. Los Regosols representan el 14% de la superficie del país, siendo comunes en las regiones montañosas y en las lomas de las zonas áridas y semiáridas.

Los Phaeozems ocupan el 12% del territorio y se desarrollan en llanuras subhorizontales y onduladas. Los Calcisols ocupan el 10% de la superficie, se localizan en climas áridos, semiáridos y y, en menor proporción, en los cálidos subhúmedos; tienen una gran importancia para la agricultura y su potencialidad para esta actividad está condicionada por la disponibilidad de agua. Los Luvisols ocupan el 9% y se ubican en las zonas semiáridas en el norte y centro del territorio, en el centro-sur en la sierra Madre Occidental y en las zonas de clima cálido subhúmedo de la península de Yucatán. Los Vertisols ocupan el 9%; pueden ser de origen aluvial o residual, se sitúan en llanuras y piedemontes, como las grandes llanuras costeras del golfo de México y del océano Pacífico, al suroeste de la Península de Yucatán, el bajío guanajuatense y el graben de Chapala.

Los Cambisols representan el 5%; se encuentran asociados a los Leptosols, principalmente en la región noroeste, al occidente y suroeste de las llanuras costeras del océano Pacífico.

Las amenazas a los suelos mexicanos

En el 2002 la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SEMARNAT) estimó que un 64% del territorio presenta algún tipo de degradación, causada principalmente por el sobrepastoreo, deforestación y otras malas prácticas agrícolas. Dentro de las causas de degradación, la erosión hídrica, con un peso del 37%, supone uno de los problemas de degradación más severos; mientras que la erosión eólica representa el 15% de las causas. La degradación química, con un 7%, generada por el uso excesivo de fertilizantes y el riego de cultivos con agua de baja calidad, propicia diversos grados de salinidad en el suelo. La degradación biológica supone un 4% de las causas de degradación, propiciada por la pérdida de materia orgánica y de los procesos que mantienen la fertilidad del suelo. La degradación física (2%) incluye la compactación del suelo y la formación de capas fuertemente cementadas (tepetates).

Entre los problemas que afectan severamente a los suelos de México destacan la salinización y la erosión de los mismos. El primer fenómeno se produce, además de por la presencia de aguas subterráneas salobres, como resultado de altos índices de evaporación en zonas de niveles someros de agua subterránea, disolución de minerales evaporíticos y presencia de agua de elevada salinidad. Otra de las causas que contribuyen a este fenómeno es la ascensión de la interfase salina provocada por una sobrexplotación de los acuíferos costeros utilizados para el riego de áreas agrícolas.

Los cambios de uso del suelo, son determinados por la dinámica de las actividades humanas, repercutiendo directamente en la manifestación de los fenómenos de erosión, tanto hídrica como eólica.

Impacto del cambio climático en el suelo

Los efectos previstos del cambio climático para América Latina se sintetizan en los diversos reportes nacionales y se caracterizan por la presencia de lluvias más intensas, sequías cada vez más prolongadas, disminución del volumen de hielo polar y extensión de la nieve sobre la superficie terrestre, variación histórica de temperaturas diurna-nocturna e incluso cambio del modelo de regeneración vegetal o la modificación de los patrones de migración, nacimientos y fragilidad de la salud para varias especies incluido el ser humano. El cambio climático afectará directamente al suelo por las modificaciones al patrón de lluvias y una creciente evapotranspiración que generará un clima más extremo y condiciones más propicias para extender la degradación del suelo y su desertificación.

Erosión hídrica en cárcavas. (CCG)

Un paisaje Lixisol en Tequila. (CCG)

Nicaragua

Área: 130.373 km^2
Población: 6.071.045 habitantes

Los suelos de Nicaragua

Nicaragua es un país de América Central con costas en el océano Atlántico como en el Pacífico. Limita al norte con Honduras y al sur con Costa Rica. La estación lluviosa tiene lugar de mayo a octubre y el verano, de noviembre a abril. Nicaragua está limitada en sus costas por importantes unidades tectónicas: en el Pacífico por la plataforma Continental, la fosa Mesoamericana, la placa de Coco y la placa Nazca, mientras que la costa Atlántica está limitada por la placa del Caribe y el banco de Nicaragua.

Los usos principales del suelo son el forestal (38%), pastos (22%), y tierra agrícola (40%).

Entre los suelos que se encuentran en Nicaragua destacan: los suelos de tobas, muy comunes en la región central del país, formados a partir de antiguos materiales de origen volcánico depositados o arrastrados al fondo de valles y llanuras, donde sus partículas se aglutinaron y consolidaron para formar terrones; su fertilidad es de media a baja. También encontramos suelos arcillosos (llamados “sonsocuite”), los cuales resultan de la descomposición lenta de la roca madre alterada por la acción prolongada de la intemperie.

Estos suelos forman un lodazal en la época de lluvias, mientras que en verano se secan y agrietan. Son comunes en los llanos usados para el cultivo del arroz, junto al mar y alrededor de los lagos. Los suelos arenosos ácidos proceden de la disgregación de ciertas rocas con alto contenido en sílice. Por último, los suelos de tipo aluvial están formados por el arrastre de materiales desde las partes altas a las bajas y su fertilidad depende de su compactación y calidad de los materiales que lo integran. Junto a los ríos y costas se depositan lodos y limos buenos para la agricultura. Los suelos pedregosos son el resultado de la erosión profunda de los mantos superficiales.

Los principales grupos suelos de acuerdo con la WRB que se pueden encontrar en Nicaragua son: Cambisols, Nitosols, Vertisols y Andosols, en este último se encuentran los suelos mas fértiles y productivos, localizados en el occidente del país.

Los suelos volcánicos de Nicaragua

Los suelos de origen volcánico cubren extensas llanuras del occidente del país. Son de formación reciente, a partir de materiales arrojados durante las erupciones son permeables y ricos en minerales básicos y están considerados como óptimos para las actividades agrícolas. En algunas zonas existen suelos de origen volcánico que se caracterizan por presentar un horizonte endurecido conocido en Nicaragua como “talpetate”. El talpetate forma una capa relativamente impermeable cuya profundidad puede variar desde muy cerca de la superficie a dos metros en un área muy pequeña. Esta capa puede impedir el crecimiento de raíces, limitando la capacidad de cultivos y árboles para aguantar los periodos secos.

Los suelos de la macrorregión pacífica son de origen volcánico reciente, y localmente han sido afectados por erupciones durante los últimos 10.000 años. Como los volcanes activos están más cercanos a la costa del Pacífico, hacia donde las cenizas son llevadas por los vientos dominantes, la renovación de la fertilidad de los suelos por esta acción ha sido menor en la vertiente caribeña. Existe la creencia de que los suelos volcánicos son todos fértiles. La realidad es que son muy variables en cuanto a su calidad. Su fertilidad depende tanto de la naturaleza del material volcánico original como de su susceptibilidad hacia los procesos principales de la formación de suelos: clima (temperatura, humedad, vientos), relieve, factores biológicos, tiempo y factor humano. Su porosidad permite cultivar en laderas con fuertes pendientes, aunque muchos muestran deficiencias de fósforo, azufre y del micronutriente Boro (B). En Nicaragua, algunos suelos profundos procedentes de cenizas tienen la desventaja de drenar y secarse rápidamente, mientras que los suelos de las riberas de los lagos Nicaragua y Managua, con contenidos más altos de arcilla, mantienen mejor la humedad por lo que son más propicios para su cultivo.

Secuestro de carbono en suelos de zonas cafetaleras

Una forma de mitigar los efectos del cambio climático es almacenar carbono en la biomasa (mediante la fotosíntesis) y en el suelo a través de la acumulación de materia orgánica. En sistemas cafetaleros agroforestales, el componente suelo tiene la mayor capacidad de secuestro de carbono con el 60%, seguido del dosel arbóreo (21%), el café (15%) y la hojarasca (4%). Los suelos Phaeozems del departamento de Jinotega (centro norte de Nicaragua) son capaces de capturar hasta 83 mg de carbono/ha en los primeros 30 cm.

Además de la provisión de alimentos el suelo brinda otros servicios como por ejemplo material de construcción o para artesanía. (JM)

Partículas de carbono en suelos cafetaleros orgánicos. (JM)

Panamá

Área: 74.177 km^2
Población: 3.571.185 habitantes

Los suelos de Panamá

Panamá está ubicada en el extremo sureste de América Central. Limita al norte con el mar Caribe, al sur con el océano Pacífico, al este con Colombia y al oeste con Costa Rica. Tiene un clima tropical, muy caluroso durante todo el año en las costas y tierras bajas, modificándose hacia el interior a medida que se gana altitud, con temperaturas frías por encima de 2.000 msnm. La mayor parte del territorio panameño está formado por tierras bajas (89%). El área restante se compone de tierras altas dominadas por el Volcán Barú y la Cordillera Central.

Los usos más importantes de la tierra son: forestal (44%), pastos (21%) y tierra arable (9%).

Panamá se caracteriza por poseer una importante variedad de suelos. Los suelos dominantes son: Acrisols, Cambisols, Litosols, Nitosols y Ferralsols. Las tierras altas de la provincia de Chiriquí se caracterizan por poseer un clima templado húmedo de altura, con suelos profundos y fértiles, derivados de cenizas volcánicas. Son adecuados para el desarrollo de la agricultura y el cultivo de buenos pastos para la ganadería. Sin embargo, estos usos deben mantener un constante equilibrio con la conservación de los recursos naturales, ya que la zona forma parte del área de amortiguamiento de importantes espacios protegidos. Los suelos aluviales, aptos para la agricultura, se localizan en las tierras bajas y cercanas a los ríos.

Los suelos arcillosos o rojos son pobres para el cultivo pero se pueden destinar al uso ganadero (pastos). Este suelo se usa como material básico para la fabricación de bloques, ladrillos y tejas de arcilla, muy solicitadas para la construcción de viviendas y edificios. En la zona que incluye la montaña, la cordillera Central y la comarca Ngäbe Bluglé los suelos no son adecuados para la agricultura, porque son suelos de vocación forestal o destinados a la protección de las reservas hídricas; no obstante, son los únicos de que disponen las comunidades indígenas para su subsistencia. Dentro de dicha zona, en el sector del Pacífico predomina el uso agropecuario de subsistencia, los bosques están altamente intervenidos y aún persisten unos pocos bosques secundarios maduros.

La erosión y degradación de suelos es notable y se requiere de una pronta atención a estos terrenos, los cuales sustentan una de las poblaciones más pobres del país.

Zona de tierras bajas del Arco Seco

Correspondiente a las provincias de Cocé, Herrera y Los Santos, la zona de tierras bajas del Arco Seco se sitúa entre 0 y 700 m de altitud. La mayoría de estos terrenos de fertilidad media alta son de uso agropecuario intensivo.

En sus áreas costeras encontramos manglares y bosques secos costeros conocidos como albinas. Los suelos en su mayoría son de textura franco arcillosa, arcillosa y franco arenosa. Se trata de suelos poco profundos, con bajo contenido en materia orgánica, pero que presentan una saturación de aluminio en niveles tolerantes para la mayoría de los cultivos. Según el mapa de clasificación de la FAO, predominan los siguientes órdenes de suelo: Luvisols, Cambisols, Vertisols, Gleysols y, en algunos casos, Fluvisols.

La región presenta un clima tropical de sabana, con precipitaciones medias anuales cercanas a los 1.000 mm, distribuidas irregularmente y caracterizadas por enérgicos y cortos aguaceros. A pesar de considerarse como la mejor zona de vida para la agricultura de todas las tierras bajas del país, soporta fuertes vientos y una elevada evapotranspiración, que aumentan la demanda de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.

Durante muchos años las malas prácticas agropecuarias (deforestación, quemas descontroladas o pastoreo excesivo) han contribuido a la degradación de sus recursos naturales, provocando la alteración del régimen hidrológico de sus principales ríos y la disminución de la recarga de los acuíferos subterráneos de la región. Estos desequilibrios se manifiestan más severamente en la época de sequía y durante la ocurrencia del fenómeno de El Niño. El Arco Seco se encuentra representado por las siguientes "zonas de vida" (en Panamá se distinguen 12 ecorregiones bajo esa denominación): bosque seco tropical, bosque seco premontano, bosque húmedo tropical y bosque húmedo premontano.

Vista panorámica de la península de Azuero en Panamá. (GD)

Deforestación y ganadería en fuertes pendientes en Azuero, Panamá. (GD)

Paraguay

Área: 406.752 km^2
Población: 6.568.290 habitantes

Los suelos de Paraguay

Paraguay es un país ubicado en la parte centro-sur oriental de América del Sur. Limita al sur, sudeste y sudoeste con Argentina, al este con Brasil y al noroeste con Bolivia. La geografía paraguaya contiene tres tipos climáticos: semitropical continental en el oeste del Chaco, semitropical semiestépico en el área central con eje en el río Paraguay y semitropical húmedo en la región oriental. Los principales elementos geotectónicos del Paraguay están constituidos por cuencas sedimentarias y altos regionales que las separan.

Los usos principales del suelo son: forestal (45%), pastos (43%) y tierra arable (10%).

Uruguay posee dos regiones geográficas con características edáficas muy distintas: la región oriental y la región occidental o Chaco paraguayo (ver texto de la derecha), que forma parte del Gran Chaco sudamericano. La región oriental es la zona económica más activa del país. Posee una superficie de 159.827 km^2 (el 39% del total del territorio) y concentra más del 98% de su población. Es la zona del país más desarrollada y sus tierras son en gran parte aptas para la agricultura. La geomorfología de la región oriental se caracteriza por el predominio de terrenos planos a ligeramente ondulados.

Respecto al material de origen de los suelos, la arenisca ocupa la zona del centro y el oeste, el basalto principalmente hacia el este y sedimentos aluviales hacia el suroeste y extremo oeste. Los suelos originados a partir de areniscas son de textura gruesa, con baja fertilidad y baja capacidad de retención de humedad. Los suelos originados a partir de basalto, sin embargo, presentan textura fina, son plásticos y pegajosos, con buena fertilidad y alta capacidad de retención de humedad, y corresponden en general a los suelos agrícolas mas productivos del país.

Los departamentos Ñeembucú y Misiones presentan suelos originados de sedimentos aluviales y durante gran parte del año, se encuentran saturados de agua, por lo que requieren drenaje artificial para su aprovechamiento. En la región oriental se pueden identificar suelos pertenecientes a los grupos: Planosols, Luvisols, Nitosoles, Arenosols, Regosols, Fluvisols, Cambisols, Phaeozems, Ferrasols, Vertisols, Acrisols, Gleysols.

El Chaco paraguayo

El Chaco Paraguayo cubre el 61% del territorio paraguayo y alberga cerca del 2% de la población total del país. Posee una superficie aproximada de 246.925 km^2 y una densidad poblacional de 0,4 habitantes por km^2 . Forma parte del Gran Chaco Americano y constituye una llanura plana, de formación aluvional, la cual se inclina levemente desde los contrafuertes andinos. El Chaco paraguayo se puede dividir en tres zonas: bajo Chaco, Chaco central y alto Chaco. Su temperatura media anual es de 37,8°C.

Una de las características geográficas del Chaco es la presencia del litoral del Paraguay, una franja de hasta 100 km de anchura, la cual engloba parte del departamento Alto Paraguay. Esta zona litoral es llana y boscosa. Dichos bosques albergan maderas duras como el quebracho y el palo santo, además de palmares. La subzona seca abarca también parte del departamento Alto Paraguay, así como los departamentos Boquerón y Presidente Hayes. Este área se caracteriza por ser una planicie seca, con vegetación de arbustos espinosos y cactus. También aparecen dunas arenosas y tierras abiertas con algunos pantanos.

La zona llamada Bajo Chaco, es la sub-región situada en la confluencia de los ríos Paraguay y Pilcomayo, compuesta por zonas inundables en las épocas lluviosas y con grandes pantanos, palmares y vegetación arbustiva. En esta zona se encuentra el estero más extenso del Paraguay: el estero Patiño. En el Chaco cuenta con una división política en tres departamentos: Presidente Hayes, Boquerón y Alto Paraguay.

Los suelos del departamento Presidente Hayes, ocupando gran parte del Bajo Chaco (72.910 km^2), pertenecen a los grupos Cambisols, Gleysols, Luvisols, Planosols, Regosols y Solonetz.

Los suelos del departamento de Boquerón, situado en el Chaco central alto, con una superficie aproximada de 86.000 km^2, pertenecen a los grupos Arenosols, Cambisols, Fluvisols y Gleysols.

Por último, en el departamento Alto Paraguay, el cual ocupa gran parte del Chaco central y alto, con una superficie aproximada de 86.010 km^2, aparecen suelos de los grupos Cambisols, Gleysols, Luvisols, Regosols, Solonetz, Solonchaks y Vertisols.

Protección del suelo con abono verde. (AER)

Lago Ypacanai, Paraguay. (AER)

Perú

Área: 1.285.216 km^2
Población: 29.797.694 habitantes

Los suelos de Perú

Perú es un país situado en la parte occidental intertropical de América del Sur. Limita al norte con Ecuador y Colombia, al este con Brasil, al sureste con Bolivia, al sur con Chile y al oeste con el océano Pacífico. Las costas central y sur del país presentan un clima árido subtropical o desértico, mientras que la costa norte posee un clima árido tropical, la sierra un clima templado subhúmedo y la selva un clima semitropical muy húmedo. El territorio peruano se ubica sobre la zona de interacción de dos placas tectónicas: la sudamericana al este, donde se halla todo su territorio continental y la placa de Nazca debajo del océano Pacífico.

Los usos más importantes del suelo son: forestal (53%), pastos (13%) y tierra arable (4%).

El Perú presenta una gran variedad de suelos, como resultado de su diversidad de climas, materiales de origen y vegetación. Los principales grupos son: Leptosols, Regosols, Cambisols, Luvisols, Acrisols, Gleysols y Solonchaks. La costa es la región más árida del país, siendo sus límites el océano Pacífico, al oeste y las estribaciones de la Cordillera de los Andes al este.

La costa muestra los suelos menos desarrollados, con niveles bajos de materia orgánica y nitrógeno. La Sierra constituye la región que se encuentra a partir de los 500 metros de altitud, desde el flanco occidental de los Andes, pasando por las tierras más altas de más de 4.000 m. Los niveles más altos de materia orgánica se presentan en los suelos de las zonas más altas debido a su baja tasa de descomposición. La selva representa la región amazónica más lluviosa y cálida, con precipitaciones de entre 2.000 y 5.000 mm anuales. Aquí se encuentran los suelos más desarrollados del país, exhibiendo valores ácidos de pH, texturas arcillosas y contenidos bajos de nutrientes.

Los principales problemas que presentan los suelos en el Perú son: en la costa, la salinización por mal manejo del agua de riego, y la erosión eólica debido a los fuertes vientos; en la sierra, la erosión hídrica superficial y por remoción en masa; en la selva, la deforestación, a causa de la extracción descontrolada de árboles para madera, y la agricultura migratoria, la cual consiste en rozar y quemar el bosque para sembrar cultivos, para después, cuando el suelo pierde fertilidad, desplazarse hacia otra parte de la selva y llevando a cabo el mismo proceso.

Los suelos de los bofedales

Los bofedales constituyen un tipo de humedales que se extiende a lo largo de toda la zona altoandina del Perú, principalmente por encima de los 4000 m de altitud. Están constituidos por vegetación herbácea principalmente de los géneros *Distichia, Calamagrostis* y *Poa*, y representan una importante reserva de agua para los animales de las tierras altas, especialmente los camélidos sudamericanos. Debido a las condiciones de bajas temperaturas y de hidromorfismo en que se desarrollan, la materia orgánica se acumula en el perfil, no descomponiéndose con facilidad.

Estos humedales altoandinos son ecosistemas extremadamente frágiles, los cuales cumplen una relevante función ecológica porque almacenan gran cantidad de agua hallándose en la cabecera de las cuencas donde nacen diversos ríos, como el Amazonas, que se origina en un bofedal del departamento de Arequipa, sobre los 5.000 m de altitud y a casi 7.000 km de su desembocadura en el Atlántico. Sin embargo, sufren diversas amenazas, desde el cambio climático hasta efectos antrópicos de carácter local como el sobrepastoreo, la actividad minera y la construcción de caminos que provocan modificaciones en el flujo normal de las aguas y drenaje.

Por sus altos niveles de materia orgánica, se piensa que los suelos de bofedales son orgánicos en sentido estricto, es decir Histosols; sin embargo, esto no es cierto puesto que los contenidos de carbono orgánico de muchos de ellos no son lo suficientemente elevados como para incluirlos en ese grupo. Además el espesor de ese material orgánico puede ser no significativo, encontrándose capas de origen mineral en los estratos inferiores. De esta manera se pueden encontrar suelos de bofedales que pertenecen a los grupos de Andosols, Cambisols, Chernozems, Kastanozems y Gleysols.

Por otro lado, no todos son ácidos, ya que esto depende de la naturaleza de la roca madre del lugar. En la sierra altoandina peruana, por ejemplo, la presencia de rocas calcáreas como la caliza es común. Cuando existen bofedales en sitios donde predomina este material, los suelos son desde ligeramente ácidos a básicos.

Bofedal en la zona de la sierra. (JNR)

Perfil del suelo con alta acumulación de materia orgánica y fósforo. (BT)

Puerto Rico

Área: 9.104 km^2
Población: 3.706.690 habitantes

Los suelos de Puerto Rico

Puerto Rico, la isla más oriental de las Antillas Mayores, se sitúa en la porción noreste del mar Caribe, al este de la República Dominicana y al oeste de las Islas Vírgenes. Goza de un clima tropical, con una temperatura promedio mínima de 19,4°C y máxima de 29,7°C. La precipitación media anual es de 1.700 mm.

En cuanto a la geología de la isla, Puerto Rico se compone de rocas volcánicas y plutónicas de los periodos Cretácico y Eoceno cubiertas por rocas sedimentarias del Oligoceno y periodos recientes. El 40% del territorio está ocupado por montañas como la Cordillera Central, la Sierra de Luquillo y la Sierra Cayey. Otra parte del territorio lo cubren lomas y el 25% restante lo ocupan llanuras principalmente en la región costera norte. Componen también el territorio otras islas como Mona, Monito, Vieques, así como cayos e islotes al este y sur de la isla.

Los usos principales del suelo se distribuyen de la siguiente manera: 61% de cobertura forestal, 12% de cultivos y 10% pastos.

Puerto Rico es muy diverso en cuanto a ecosistemas y suelos. Los 8 grupos de suelos de referencia identificados son: Cambisols, Alisols, Phaeozems, Luvisols, Ferralsols, Gleysols, Vertisols y Kastanozems. Todos ellos requieren abonos o fertilizantes químicos para dar rendimientos agrícolas óptimos. Esta diversidad de tipos de suelo se debe a la complejidad del material rocoso, los patrones de precipitación, la exposición solar y a la topografía del terreno. Las características de los suelos de los valles costeros varían de manera significativa de norte a sur, debido a los distintos regímenes de precipitaciones.

Las principales limitaciones de los suelos de la región son la poca profundidad y las fuertes pendientes. De hecho, los deslizamientos de tierra representan un peligro cuando los suelos en laderas con grandes pendientes se saturan de agua, especialmente cuando se producen huracanes. Sin embargo, el principal factor responsable de la pérdida de tierras de cultivo es el desarrollo urbano, concretamente el que tiene lugar en la periferia de las áreas metropolitanas.

Uso histórico de la tierra

Puerto Rico ha experimentado muchos cambios en el uso de la tierra a lo largo de la historia, tanto durante la colonización española (1493-1898) como posteriormente, en tanto que es territorio de EE.UU. La deforestación de las tierras bajas se inició cuando la caña de azúcar fue introducida en 1515. Los bosques también fueron eliminados para establecer pastizales. A partir de 1736, los bosques montañosos situados entre 300 y 1.200 m se eliminaron para la producción de café.

Las políticas que favorecían la inmigración alentaron la expansión de cultivos como la caña de azúcar, el café y el tabaco, así como de prácticas ganaderas. En 1896, como consecuencia de las noticias recibidas acerca de la degradación del territorio causada por la deforestación para la extracción de madera y la puesta en cultivo a lo largo del s. XIX, el rey español Alfonso XIII proclamó el área de Luquillo como reserva oficial. En la actualidad, esta reserva forestal es parte del Bosque Nacional El Yunque.

A medida que la población creció, la deforestación aumentó hasta que aproximadamente el 90% de los bosques se habían talado en 1950. Durante esa década, Puerto Rico comenzó el tránsito de una sociedad agraria a una sociedad industrializada. El abandono de las granjas de subsistencia y las plantaciones de café y de azúcar ha permitido que aumente la cubierta forestal hasta cubrir aproximadamente 30% de la isla. Este cambio ha creado una oportunidad para estudiar el proceso de conversión del uso del suelo de tierras agrícolas a tierras forestales.

Diversos estudios han demostrado que los 500 años de agricultura han tenido consecuencias adversas sobre el recurso suelo, produciendo erosión, compactación y sedimentación. También han alterado sus condiciones nutricionales y el ciclo hidrológico. Por ejemplo, el encalado y la fertilización de las plantaciones de café promueven el restablecimiento de ciertas especies con la capacidad de hacer mayor uso de la fertilidad. Los suelos utilizados para la caña de azúcar requerían la alteración de la hidrología natural, por lo que se establecieron drenajes artificiales. Esta práctica hizo que aquellos suelos con un contenido alto de materia orgánica la perdieran debido a la oxidación, imposibilitando así la restauración del bosque.

Plantación de piña en el norte de Puerto Rico. La piña es un cultivo que se adapta a suelos con pocos nutrientes y baja humedad. (FB)

Experimentos de cultivos anuales sobre suelos poco fértiles en Isabela, Puerto Rico. (FB)

República Dominicana

Área: 48.671 km²
Población: 10.056.181 habitantes

Los suelos de la República Dominicana

La República Dominicana ocupa aproximadamente dos tercios de La Española. Limita al norte con el océano Atlántico, al sur con el mar Caribe, al este con el canal de la Mona y al oeste con la República de Haití. El país presenta un clima subtropical modificado por los vientos alisios del nordeste y por la topografía. Las variaciones climáticas son marcadas, oscilando desde condiciones semiáridas a muy húmedas. El origen de la isla se remonta a la segunda parte del periodo Cretácico, cuando por el fenómeno de subducción de las placas norteamericana y caribeña surgieron los sistemas montañosos más antiguos de la isla. Los valles y llanuras costeras surgieron durante la Era Cuaternaria. La geografía se caracteriza por la presencia de cuatro cadenas de montañas paralelas separadas entre sí por cuencas de deposición y llanuras.

Los usos más importantes del suelo son: forestal (41%), tierra arable (26%) y pastos (25%).

El país tiene gran diversidad de suelos. Los principales suelos que se encuentran pertenecen a los grupos Cambisols, Litosols, Fluvisols, Luvisols, Nitosols y Vertisols.

El conocimiento de los suelos del país incluye el estudio de su origen, desarrollo y comportamiento, y se enmarca en las siguientes grandes zonas geográficas: División Norte, División Este, División Central y División Suroeste. División Norte comprende los suelos más fértiles del país, grandes áreas con características de sabana, extensas áreas con suelos áridos de variada capacidad productiva y suelos con escaso valor agrícola. Los terrenos de la División Este tienen relativa importancia, a pesar de la mediana a baja fertilidad inherente de sus suelos. Son apropiados para pastos y el cultivo de caña de azúcar.

La División Central está formada por tierras llanas con buenas características físicas y alta capacidad productiva, constituidas por suelos que se han formado, principalmente, por deposición aluvial.

En la División Suroeste se encuentran suelos de alta productividad, grandes extensiones de suelos áridos y suelos de muy escaso valor agrícola. La República Dominicana dispone del 55% de su superficie como zonas cultivables. Los principales cultivos son arroz, cacao, café, plátano, caña de azúcar, yuca y banano.

El Valle del Cibao

El Valle del Cibao está ubicado entre las cordilleras central y septentrional, al norte del país, y es el más extenso e importante de la República. Se extiende desde las bahías de Montecristi y Manzanillo hasta la bahía de Samaná en dirección noroeste-sudeste, con una longitud de 225 km y anchuras entre 10 y 45 km. Las precipitaciones varían entre 900 y 1.500 mm anuales y el promedio de temperatura es de 25°C.

Los suelos del Valle Oriental del Cibao se han formado principalmente a partir de materiales depositados en condiciones de laguna y por acumulación de sedimentos transportados por las corrientes fluviales. Los principales suelos del Valle Oriental del Cibao son:

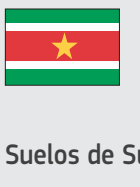
a. aluviales recientes indiferenciados,
b. suelos de topografía llana, drenaje medio a pobre y textura arcillosa (Asociación La Vega - Laguna Verde - El Jobo),
c. suelos formados por acumulación de arcillas ácidas en condiciones de laguna (Asociación Maguaca),
d. suelos fértiles, arcillosos, negros, de drenaje excelente (Asociación Moca-Guiza),
e. suelos planos, de drenaje pobre y subsuelo con arcilla plástica (Asociación Pimentel - Fantino - Cotuí).

El tipo de suelo dominante es el Vertisol. En estos suelos se producen cultivos de arroz, yuca, batata, plátano, hortalizas, cacao y tabaco. También se desarrolla la ganadería en pastos de calidad con animales bovinos, caprinos, ovinos y equinos. La aplicación inapropiada de fertilizantes, pesticidas y herbicidas en la agricultura intensiva del valle del Cibao, así como los desperdicios de animales en la avicultura y el ganado, son fuentes de contaminación de las aguas. Sus aguas también presentan altos contenidos de sales y nutrientes como el fósforo, nitrógeno y hierro, asociados con drenajes de zonas agrícolas y la reutilización del agua de riego.

El agua contaminada llega a la población al ser tomada directamente de las fuentes originales, como ríos y pozos, al ser servidas sin tratamientos suficientes por los acueductos, o al hacer un manejo inadecuado en los hogares, como el almacenamiento en recipientes y envases contaminados, en tanques oxidados y en cisternas sin oxigenación.

Fertilización del suelo en un cultivo de mandioca (*Manihot esculenta*) en la República Dominicana. (PNR)

Efecto de la erosión hídrica: pérdida de cobertura y de la biodiversidad en suelos de pendiente en el sur de la República Dominicana. (PNR)



Surinam

Área: 163.820 km²
Población: 529.419 habitantes

Suelos de Surinam

Surinam es un país de América del Sur colindante con el océano Atlántico al norte, Guayana Francesa al este, Guyana al oeste, y Brasil al sur. La geomorfología del territorio está constituida por una extensa llanura costera, un vasto altiplano central, y por diversas cadenas montañosas. En la parte norte del país, la zona costera, es donde habita la mayor parte de la población y donde se cultiva la tierra. La parte sur consiste en selva húmeda tropical escasamente habitada. Ya que está cercano a la línea del Ecuador, el clima de Surinam es más bien tropical, y las temperaturas no varían mucho durante el año. El año tiene dos estaciones lluviosas, de diciembre a principios de febrero y de fines de abril a mediados de agosto.

El uso principal del suelo es forestal (95%). Tan sólo un 1% está dedicado a tierra arable y pastos.

Se pueden distinguir cuatro zonas geomorfológicas principales: (i) la planicie costera joven, (ii) la planicie costera antigua, (iii) el cinturón de sabana y (iv) las tierras altas del interior. La planicie costera joven se caracteriza por poseer suelos de texturas variadas, desde arenosos y arcillosos hasta turberas.

La planicie costera antigua comprende una banda de terreno de unos 20 km de anchura. Su parte norte, denominada “paisaje Lelydorp” está formada por un conjunto de lomas arenosas erosionadas, mientras que la parte sur o “paisaje Para” se compone de suelos de texturas limosa y limoso arcillosa. La tercera región, el cinturón de sabana, ocupa una franja que recorre Surinam de este a oeste, de anchura variable (desde 5-10 km en el este hasta 60-70 km en el oeste) y una elevación media de 30 m. Los suelos presentan texturas arenosas y son muy pobres y con capacidad muy limitada en cuanto a retener la humedad.

Aquellos que se clasifican como “blanqueados” están compuestos en un 90% por sílice (SiO_2) y se formaron por el proceso de Podsolización. Por último, los suelos de las tierras altas del interior (50-1.280 m de altitud), la región más extensa (80% del país), se conocen como “suelos residuales”, haciendo referencia a su formación como productos (residuos) de la meteorización profunda de materiales precámbricos del escudo de la Guayana (rocas ígneas y sedimentarias). Estos suelos pueden clasificarse según la WRB dentro de los grupos Ferralsols y Acrisols.

Pesticidas naturales

El Distrito de Saramacca, ubicado al norte de Surinam, depende sobre todo de la agricultura y la extracción de petróleo. Esta zona solía tener suelos fértiles. Hoy en día la fertilidad se ha reducido debido al uso excesivo de fertilizantes sintéticos. Los rendimientos de los cultivos se han ido reduciendo cada vez más debido a que se ha agotado el suelo. Con el fin de recuperar la fertilidad de los suelos, el Instituto Caribeño de Surinam ha desarrollado un método biológico que controla los efectos de las plagas y enfermedades durante el periodo de recolección de cultivos. El método utiliza un extracto de la semilla de la planta herbácea *Crotalaria striata*, conocida popularmente como cascabelito. Esta sustancia se mezcla con agua y se aplica en los cultivos cada dos meses. Este método no elimina por completo las poblaciones de nemátodos, pero los reduce en cantidad suficiente para que no afecten al rendimiento de los cultivos.

Otro pesticida biológico es el que se extrae a partir de las hojas del tabaco para combatir las plagas de pulgones. Cuando se introdujo esta nueva técnica los agricultores aplicaban estas medidas con cierto recelo, pero después de recibir formación y aprender la técnica, se mostraron motivados y participaron activamente, adoptando eventualmente esta nueva práctica. Esta transición no sólo ha ayudado a los agricultores a adoptar una horticultura orgánica competitiva y a desarrollar una cadena de suministro agrícola sostenible, sino que también ha dado como resultado mejores rendimientos.

Flores de *Crotalaria striata*.

Guyana

Área: 214.970 km²
Población: 784.894 habitantes

Guayana Francesa

Área: 83.534 km²
Población: 157.213 habitantes

Guyana, Guayana Francesa y Surinam comparten una misma tectónica de placas y geología. Poseen clima, relieve y vegetación semejantes. Exuberantes bosques tropicales así como relictos de sabanas, enclaves de matorrales xerofíticos y manglares cubren el territorio. Estos países se encuentran sobre el Escudo de Guayana, de gran antigüedad y caracterizado por la presencia de suelos profundos y evolucionados pero también pobres en nutrientes y poco aptos para la agricultura; por esto es por lo que la población y las actividades agrícolas se encuentran en la costa.

Los Acrisols y Ferralsols son los suelos dominantes en esta región, seguidos por los Nitisols. Guyana presenta suelos someros mientras que la Guayana Francesa presenta Fluvisols, esta diferencia se debe a la presencia de manglares en su costa. En Guyana existe una amplia extensión de suelos hidromorfos, como es el caso de los Histosols presentes en las turberas. La distribucion de estos suelos no esta acclarada y se necesitan más estudios técnicos para determinar si estos suelos se encuentran mas en zonas pantanosas de las costas o en turberas frías de las llanuras montañosas.

Tractor en campo de arroz de Guyana. (TDS)

Uruguay

Área: 176.215 km^2
Población: 3.251.526 habitantes

Suelos de Uruguay

Uruguay es un país de América del Sur, situado en la parte oriental del Cono Sur americano. Limita al noreste con Brasil, al oeste con Argentina y tiene costas en el océano Atlántico al sureste y sobre el Río de la Plata hacia el sur. El clima en Uruguay es templado y húmedo (promedio 17^{0}C), con veranos cálidos y precipitaciones más o menos homogéneas durante todo el año.

La mayor parte de los terrenos geológicos presentan una cobertura sedimentaria de origen continental. Estas capas de edad pleistocénica han dado origen a los suelos.

Los usos más importantes del suelo son los pastos asociados a la ganadería (60%), tierra arable (25%) y uso forestal (10%). La actividad agrícola se concentra principalmente en el sur, en el suroeste y en el litoral del río Uruguay. En el centro y norte del país predomina la actividad ganadera. En el este, la ganadería y la agricultura, en especial el cultivo de arroz.

Los principales suelos del Uruguay son: Phaeozems, Leptosols, Vertisols, Acrisols y Luvisols. Los suelos presentan variaciones tanto regionales como locales.

En el sector de la cuesta basáltica del noroeste, la cual ocupa una cuarta parte del territorio, predominan los suelos superficiales. También aparecen suelos más profundos de fertilidad media-alta. En el centro-noreste se encuentran diversos materiales de origen y formas de relieve onduladas. Aunque predominan suelos superficiales a profundos con grados de fertilidad no muy altos, existen suelos de excelente aptitud agrícola. En el sureste y este se localizan los suelos más someros, incluso con afloramientos rocosos. En general, presentan baja fertilidad natural, escasa resistencia a la sequía y, al desarrollarse en formas de relieve quebrado con fuertes pendientes, un alto riesgo de erosión. El litoral atlántico-lagunar, caracterizado por lomas y planicies, presenta suelos con alta resistencia a la sequía y sin riesgo de erosión. Esta es la principal área arrocera del país, con suelos de buena retención de agua, mal drenaje, terrenos con poca pendiente y abundante agua para el riego de los cultivos. El centro-sur presenta suelos de alta fertilidad desarrollados sobre limos y con resistencia media a la sequía. En el oeste y suroeste los suelos dominantes se desarrollan sobre areniscas de edad cretácica, arenas arcillosas y loess.

La yerba mate

La yerba mate (*Ilex paraguariensis*) es una planta originaria de las cuencas de los ríos Paraná, Paraguay y el curso alto del Uruguay. El mate es el nombre que recibe la infusión preparada a partir de sus hojas (secas, cortadas y molidas), de sabor amargo debido a los taninos que contiene.

Los indígenas guaraníes utilizaron esta hierba por sus propiedades alimenticias y curativas. Hoy en día se consume como una infusión con fuerte tradición cultural y extendida en varios países de la región, como Argentina, Paraguay y Brasil. El área de distribución de la yerba mate está muy restringida. Se encuentra en estado silvestre o en plantaciones cultivadas en la zona delimitada en el este por el Atlántico y al oeste por el Río Paraguay. Requiere elevadas temperaturas, ambiente húmedo y suelos profundos y frescos ricos en ácidos fosfóricos, potasio y hierro.

El gobierno del país ha impulsado iniciativas para la conservación y manejo de esta planta nativa de Uruguay. Un ejemplo de ello es el proyecto de biodiversidad llevado a cabo en las Sierras del Yerbal, zona de amortiguamiento del área protegida "Quebrada de los Cuervos", en el departamento de Treinta y Tres.

El área cuenta con altos valores en cuanto a diversidad biológica, siendo la yerba mate una especie emblemática en la zona. El proyecto pretende establecer un proceso de restauración del hábitat del bosque nativo, fomentando activamente la cantidad de ejemplares de yerba mate en el monte, así como una profundización del conocimiento de la especie y sus posibilidades de cultivo sostenible, ya que Uruguay es el primer país del mundo en cuanto a consumo individual de mate (con un promedio de casi 10 kilos de consumo de yerba per cápita por año) y a la vez el primer importador. No obstante no bastaría esa cantidad de territorio para llevar a cabo una producción a escala industrial.

El 5% de la yerba importada por Uruguay proviene de Argentina y Paraguay, los otros dos países que junto con Brasil comercializan este producto. Argentina es el principal productor de yerba del mundo con 206.000 hectáreas cultivadas –90% en Misiones y 10% en Corrientes–, seguido de Brasil. En Uruguay, en tanto, no hay bosques naturales de araucarias, como sucede en Brasil, para proporcionar la sombra necesaria y se debería sacrificar algún que otro cultivo.

Paisaje de valles y serranías dedicados a la ganadería vacuna sobre pastizales naturales y cultivados. (MP)

Vista de campos cultivados con trigo de acuerdo a las normas de conservación de suelos con franjas de protección para proteger las fuentes de agua. (MH)

Venezuela

Área: 916.445 km^2
Población: 27.150.095 habitantes

Suelos de Venezuela

Venezuela está situada en el norte de América del Sur, entre Colombia y Guyana. La zona costera está bañada por las aguas del mar Caribe y el océano Atlántico. El clima es tropical, caluroso y húmedo, más moderado en las tierras altas. La mitad del territorio es montañoso. El sur (escudo de Guayana) es muy antiguo y estable, mientras que al norte del río Orinoco la geología es más joven e inestable. En el sur del Orinoco predominan las rocas ácidas, ausentes en los Andes y la cordillera central. Los materiales de las planicies del occidente y centro del país son aluviones relativamente ricos en bases, mientras las del oriente son ácidas, arenosas y pobres en bases. El Delta del río Orinoco es muy peculiar y posee una extensa cobertura de depósitos de materia orgánica sobre arcillas de origen marino.

Los usos más importantes son el forestal (53%), pastos (20%) y cultivos (4%). La mayoría de los bosques se encuentran bajo la protección de Parques Nacionales.

La gran variación de los factores formadores ha dado lugar a una gran variedad de suelos. Al sur del Orinoco, los llanos orientales y del sur dominan unos suelos muy meteorizados y lavados, ácidos, pobres en nutrientes y con predominio de texturas arenosas en superficie. En el centro del país aparecen predominantemente suelos de texturas medias y arcillosas. Los suelos de los llanos occidentales y de la planicie del Lago de Maracaibo son predominantemente jóvenes, ricos en bases y en materia orgánica, pero con problemas de drenaje superficial.

Los suelos de las montañas son poco profundos, con dominio de los ácidos pero ricos en materia orgánica por encima de los 1.000 m de altitud. En el norte árido, predominan suelos delgados ricos en carbonatos y algunos salinos. Las principales amenazas de los suelos se dan por la erosión en las montañas y por la deforestación en zonas de pendientes pronunciadas, las cuales quedan así expuestas al impacto de las lluvias que provoca erosión laminar y deslizamientos de tierra.

Las zonas centrales y sur de los llanos, por su plana topografía, sufren fuertes inundaciones por el desbordamiento de los ríos. Los principales tipos de suelos que se encuentran en Venezuela son los Acrisols, Ferralsols, Gleysols, Nitisols y Leptosols.

Los suelos del delta del río Orinoco

El río Orinoco forma un extenso delta al encontrarse con el Atlántico en el noreste de Venezuela. El delta tiene unos 27.000 km^2, tiene más de 300 afluentes conocidos y una exuberante vegetación arbórea muy rica en maderas preciosas y palmeras de valor comercial. Al delta llegan anualmente por el Río Orinoco más de 100 millones de metros cúbicos de sedimento, por lo cual el limite entre la tierra y el mar avanza 45 m al año. Esto significa que el territorio se ha incrementado en 900 km^2 en los últimos 75 años.

Como muchos deltas, está sujeto a aportes fluviales y marinos y a fenómenos de subsidencia. En este complejo patrón de ríos, afluentes e islas, viven indígenas de la tribu waraos desde hace más de 7.000 años, subsistiendo de la pesca y de la producción sostenida de varias palmas locales (géneros *Mauritia* y *Manikaria*). Las condiciones de anegamiento, las mareas diarias y la predominancia de turbas ácidas, han frenado la invasión agrícola. Es por ello por lo que la mayoría del Delta representa un ecosistema muy conservado y una parte importante del mismo ha sido declarada Reserva de la Biosfera.

El Delta se divide en superior, medio e inferior. El primero está dominado por bancos fluviales bien drenados con bosques de galería y cubetas arcillosas inundadas con herbazales y rabanales (*Montrichardia arborescens*). Los tramos medio e inferior están dominados por planicies cenagosas con herbazales, palmas y manglares (*Rhizophora mangle*). Allí, en especial, dominan las turbas o suelos orgánicos de variable espesor descansando, en muchos casos, sobre arcillas de origen marino o que, por efecto de los mangles, la carga de sales de las mareas (sulfatos) y el estado de anaerobiosis o reducción, se han enriquecido en sulfuro de hierro (FeS_2) o pirita. Estos minerales, al ser drenados los suelos, responden a reacciones químicas y biológicas que producen sales muy ácidas, haciendo que los valores de pH pasen de 7 a 3. Dicha acidificación resulta en los llamados suelos ácido sulfatados, lo cual destruye la vegetación y las posibilidades de cualquier uso. Este proceso ya se dio en una parte del Delta superior e intermedio, cuando un gran afluente, el Máname, fue parcialmente cerrado para drenar áreas con fines agrícolas y mejorar la navegación fluvial. Estos hechos, junto con la intrusión hasta 45 km de aguas arriba de las mareas salinas, limitaron futuras acciones de drenaje.

Paisaje en el Estado de Carabobo, Venezuela. (JC)

Río Orinoco. (JC)

Conclusiones

Paysaje de la Cordillera Andina en Chile. La erosión natural de estas rocas volcánicas da lugar a un material parental rico en nutrientes, que transportado a elevaciones más bajas, da lugar a suelos fértiles. (MF)

El suelo se puede definir como la capa superficial de la corteza terrestre. Es una sustancia natural compuesta por partículas de rocas alteradas (los minerales), materia orgánica, agua y aire. Generalmente, un suelo está formado aproximadamente por un 45% de minerales, 25% de agua, 25% de aire y 5% de materia orgánica, aunque estas proporciones pueden variar.

Este medio cumple funciones muy diversas: constituye una reserva genética, sirve de plataforma para las actividades humanas y forma parte del paisaje y del patrimonio cultural. Asimismo se extraen de él materias primas. Un suelo sano y fértil constituye la piedra angular de la seguridad alimentaria. Por todo ello, dada su importacia socioeconómica y medioambiental, el suelo debe ser protegido.

Los procesos formadores de suelo suelen ser lentos y normalmente reqiueren largos periodos de tiempo: la tasa aproximada de formación de suelo en praderas de climas templados es de tan sólo 1–2 cm cada 100 años.

La cantidad de suelo que se pierde como consecuencia de los procesos de degradación como la erosión o la contaminación, puede recuperarse de manera natural, pero para ello son necesarios cientos o incluso miles de años. Por lo tanto, el suelo debe considerarse un recurso natural no renovable, ya que, desde la perspectiva de la esperanza de vida humana, cuando éste se pierde no se vuelve a recuperar.

Además es posible que el cambio climático favorezca algunos procesos de degradación como la desertificación, con drásticas consecuencias para las funciones del suelo: sequías más frecuentes e intensas harán que los mecanismos de retención de agua del suelo colapsen, llevando a la erosión y en ocasiones a la desertificación.

Muchos de los suelos de América Latina y el Caribe (LAC), por sus propiedades inherentes, son frágiles y/o pobres en nutrientes. Más del 95% de los alimentos consumidos en LAC provienen, directamente o indirectamente, de la tierra, al igual que la leña utilizada para cocinar y calentarse. A pesar de los avances tecnológicos, el suelo será siempre necesario para el cultivo de alimentos y la producción de forraje, combustible y fibras textiles, entre otras funciones.

En LAC, la globalización se manifiesta a través de dos procesos opuestos; la creciente demanda global de producción de alimentos y ganado (tanto para el consumo interno como para exportación) acelera la deforestación a favor de áreas destinadas a la agricultura intensiva, mientras que el abandono de tierras agrícolas marginales promueve la recuperación de los ecosistemas en algunas áreas de suelos pobres. El cambio de uso de suelo, y de la pérdida de cobertura vegetal asociada a muchos de estos procesos, afecta al intercambio de energía entre la superficie terrestre y la atmósfera, lo que tiene efectos microclimáticos y sobre la capacidad de retención de carbono. Además, conlleva pérdidas de biodiversidad a diferentes escalas, degradación del suelo, deterioro y/o pérdida de los servicios ambientales, pérdida de resiliencia y un incremento en la vulnerabilidad de los asentamientos humanos ante las perturbaciones naturales y los eventos climáticos extremos.

El uso y la gestión insostenible de la tierra está llevando a un aumento de la degradación del suelo y a veces a la pérdida de un recurso fundamental para la vida en el continente latinoamericano. En este contexto hay que prestar especial atención a procesos como la pérdida de nutrientes, la contaminación, la erosión, deslizamientos de tierra, la salinización, la pérdida de biodiversidad y la compactación y el sellado del suelo debidos a la urbanización y el desarrollo de infraestructuras.

La degradación de los recursos de la tierra tiene un impacto negativo sobre los medios de vida rural y urbano. Es el caso de los suelos agotados o infértiles. Este estado, junto con la creciente aridez, provocan la desertificación que, como se ha documentado, ha causado un aumento del nivel de pobreza en las zonas rurales. Esto da lugar a la migración de la población hacia las ciudades.

Es necesario que los responsables de la formulación de políticas ambientales y los usuarios de la tierra sean conscientes de que la producción agrícola depende de la productividad de los suelos y para mantenerla deben usarse adecuadamente los recursos naturales. La tierra no es un recurso infinito.

En los últimos años, el empleo de un mismo espacio para diferentes usos (por ejemplo, infraestructuras, aprovechamientos forestales y agricultura) ha sobrecargado la capacidad de recuperación de los procesos naturales, causando la degradación severa del suelo y una disminución de su productividad. Por lo tanto, las estrategias de intensificación de la producción agrícola deberían tratar de lograr altos rendimientos por unidad de superficie al mismo tiempo que mejoran la salud del suelo y conservan los recursos hídricos y la vitalidad del medio ambiente. Esto se puede lograr cuando los usuarios son informados de las posibilidades y necesidades de gestión de un área determinada de tierra identificada para un propósito específico.

Sin embargo, la prevención de la degradación del suelo está limitada también por la escasez de datos (véase la página siguiente). Los países latinoamericanos deben considerar el desarrollo de un enfoque armonizado susceptible de ser utilizado tanto para la vigilancia de los suelos como para creación y/o aplicación de los programas de recolección de datos.

También es necesario apoyar el desarrollo de proyectos de investigación dedicados, en particular, a profundizar el conocimiento sobre los beneficios económicos, sociales y ambientales de las funciones que realiza el suelo, así como sobre el impacto en el medio y largo plazo de los procesos de degradación del suelo.

Por último, es importante desarrollar iniciativas para sensibilizar a la sociedad en su conjunto del valor y la importancia del suelo para protegerlo; en este caso la educación desempeña un papel fundamental.

Un mejor conocimiento del suelo

Con objeto de facilitar el desarrollo de políticas medioambientales y la toma de decisiones en relación con el uso sostenible de los recursos terrestres, es fundamental contar con información actualizada sobre el estado de los suelos. Esta información se obtiene a través de levantamientos de suelo e inventarios.

En combinación con los datos socioeconómicos, la información edafológica y ecológica sirve para evaluar la idoneidad de diferentes suelos de acuerdo a distintos usos. Estos datos son muy útiles también como base de referencia para detectar cambios en el estado de los recursos naturales. En este contexto, es esencial pues el desarrollo de un programa de seguimiento. Actualmente, la disponibilidad de datos actualizados, coherentes y comparables en LAC es muy variable. La falta de armonización existente dificulta los esfuerzos para desarrollar indicadores para medir su situación actual y su evolución, especialmente en relación con las principales amenazas para el suelo que se han descrito en esta publicación.

La recientemente creada Red de Agencias del Suelo de América Latina y el Caribe podría constituir la base para la recolección, armonización y difusión de datos de suelo.

El desarrollo y mantenimiento de actividades de formación y concienciación sobre el recurso suelo, en todos los niveles educativos, también debe ser una prioridad. Sin una comunidad científica capacitada, la recogida de información de calidad es inviable.

Además, otras iniciativas globales, tales como la Alianza Mundial por el Suelo o el proyecto Digital Soil Map, y en particular las actividades del nodo de LAC, deben desempeñar un papel fundamental para la recopilación, condivision y difusión de datos sobre los suelos.

Valle de Viñales: un paisaje emblemático de Cuba y un área famosa por el cultivo del tabaco, debido a las caracteristicas de los suelos y del clima. La gestión sostenible del suelo necessita actividades de formación y concienciación a todos los niveles: desde la educación, a la sociedad civil y a los grupos de interés. (OMU)

El enfoque político

En los últimos años, ha habido un reconocimiento creciente del valor de la tierra para la sociedad y la conciencia de que el suelo necesita al menos el mismo nivel de atención y protección que el aire y el agua, ya que como estos elementos, forma parte del capital natural. De hecho, muchas de las crisis sociales en todo el mundo, tienen sus orígenes en gran medida en políticas inadecuadas de gestión del agua y del suelo.

En 1982, la organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) adoptó la Carta Mundial de los Suelos, delineando algunos principios básicos para la gestión y la protección sostenibles del suelo, los cuales deberían seguir los gobiernos, organizaciones internacionales y otros usuarios. Sin embargo, en muchas partes de América Latina los principios de la Carta no se están aplicando.

Para fomentar y/o reforzar el compromiso en la conservación de los suelos, la FAO puso en marcha en 2011 la Alianza Mundial por el Suelo. Los objetivos de esta iniciativa se concentran en cinco propuestas de acción fundamentales:

1. Promover el manejo sostenible del recurso suelo para fomentar su protección, conservación y productividad sostenibles;
2. Fomentar la inversión en materia de suelo para propiciar la cooperación interdisciplinar, las políticas de protección del suelo, la concienciación a través de la educación y la capacitación técnica;
3. Promover la investigación y el desarrollo en el campo de la Edafología, centrado en las prioridades que se hayan identificado y buscando la sinergia con acciones relacionadas con la producción y el desarrollo ambiental y social;
4. Mejorar la cantidad y la calidad de los datos e información edafológica: recopilación de datos (generación de datos), análisis y validación de los mismos, presentación de informes, monitoreo e integración con otras disciplinas;
5. Armonizar los métodos, las medidas y los indicadores de las característics del suelo para favorecer el manejo sostenible y la protección de este recurso natural.

La realización de estos objectivos a nivel de LAC por parte de la Alianza Latinoamericana para el Suelo puede lograr importantes avances en el ámbito de la conservación y el uso sostenible del suelo.

¿Qué es desarrollo sostenible?

"Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades".

La definición de desarrollo sostenible se formalizó por primera vez en 1987, como resultado de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en 1983.

Dicha definición se asumió en el Principio 3° de la Declaración de Río (1992). Es a partir de este informe cuando se acotó el término inglés *sustainable development*, de donde surgió el debate sobre si existe o no diferencia entre los términos desarrollo sostenible y desarrollo sustentable. Este último se define como el proceso por el cual se preservan, conservan y protegen sólo los recursos naturales para el beneficio de las generaciones presentes y futuras sin tomar en cuenta las necesidades sociales, políticas ni culturales del ser humano.

La agricultura urbana (en la imagen un ejemplo de Cuba) es una actividad sostenible, ya que promueve el ahorro de energía mediante la producción local de alimentos, al mismo tiempo que contribuye a la soberanía alimentaria. (OMU)

Cultivo de papa en Ecuador. La gestión correcta y sostenible de los suelos es crucial para la seguridad alimentaria. (JEM)

Información adicional

Glosario

Las siguientes páginas contienen algunos términos técnicos utilizados en este Atlas. Los lectores que deseen información adicional, pueden consultar diversos glosarios en internet. Por ejemplo:

Definiciones técnicas de términos de suelo de la ASSS:

https://www.soils.org/publications/soils-glossary

Términos del suelo dirigidos a niños y público general:

http://www.soil-net.com

Definiciones

Ácido: una sustancia con un pH<7 que reacciona con una base. Las sustancias que tienen las propiedades de un ácido se denominan sustancias ácidas.

Adsorción: proceso en el cual átomos, moléculas e iones son retenidos en la superficie de sustancias sólidas por medio de uniones químicas o físicas.

Aeróbico: ver **anaeróbico**.

Agregados: partículas de suelo unidas por agua, películas orgánicas o actividad biológica. Se clasifican en función de su tamaño, forma (por ejemplo, granular) y grado (por ejemplo, fuerte).

Agricultura: es el conjunto de técnicas y conocimientos para cultivar la tierra y producir especies vegetales para la alimentación, fibras y/o combustible.

Agricultura de conservación: sistema de agricultura que busca minimizar la pérdida del suelo y agua e incrementar el nivel de materia orgánica. Implica cero o mínima labranza y se dejan los residuos de cosecha en la superficie para proteger el suelo.

Agricultura de subsistencia: sistema de agricultura en el cual se producen alimentos suficientes para alimentar una familia o a un grupo reducido de personas.

Aguas subterráneas: todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo. Estas aguas se forman a partir de la infiltración del agua de lluvia en el suelo y por aportes de los cursos superficiales. Viajan en forma vertical por la fuerza de la gravedad, generalmente hasta encontrar un piso impermeable, y luego discurren horizontalmente hasta desaguar en los colectores mayores.

Alcalina: sustancia que se comporta como una base: ejemplos de ellos son los hidróxidos de los metales alcalinos y el amoniaco, los cuales neutralizan ácidos para formar sales.

Aluvión: depósitos de sedimentos arrastrados por un río o corriente de agua, comúnmente son terrenos agrícolas muy productivos.

Anaeróbico: es un término técnico que significa vida sin aire (donde "aire" se refiere a oxígeno); es opuesto a aeróbico.

Anión: un ión con carga negativa.

Antropogénico: generado por humanos.

Arcilla: partículas minerales presentes en el suelo menores de 0,002 mm.

Arcillas de tipo 1:1: arcillas cuya estructura esta compuesta por el apilamiento de una capa T - tetraédrica - y una O - octaédrica - y así sucesivamente.

Arena: conjunto de partículas procedentes de la disgregación de las rocas, cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm.

Barbecho: técnica por la cual la tierra se deja sin sembrar durante uno o varios ciclos vegetativos, con el propósito de recuperar y almacenar materia orgánica y humedad, además de evitar patógenos (esperando a que sus ciclos terminen sin poder volver a renovarse debido a la falta de hospedantes).

Base: sustancia que acepta iones de hidrógeno; lo opuesto a ácido.

Biocombustible: combustible líquido producido a partir de alcoholes presentes en determinadas especies vegetales (por ejemplo, el etanol obtenido a partir de la caña de azúcar).

Bioma: áreas de la superficie terrestre con relaciones de clima-flora-fauna características (por ejemplo, el bosque tropical lluvioso).

Biomasa: la cantidad total de organismos vivientes en la superficie y bajo de la tierra en un área específica y un determinado momento.

Bolsón: en Arg., Col., Guat. y Méx. Cuenca entre montañas, relativamente circular, a veces atravesada por un río que permite su desagüe al exterior.

Calidad del suelo: la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo; es el estado de las propiedades dinámicas del suelo (contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos) en un determinado periodo de tiempo.

Capa activa: capa del suelo que está sujeta a procesos anuales de congelación y descongelación. Capa superior del permafrost.

Capa arable: nivel superior del suelo destinado a cultivo. Generalmente oscila entre 10 y 50 cm.

Capacidad amortiguadora: capacidad del suelo de reducir niveles altos de alcalinidad o acidez (por ejemplo, los suelos calizos pueden neutralizar ácidos).

Capacidad de Campo (CC): es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo después de saturarse o de haber sido mojado abundantemente y tras dejarse drenar libremente (sin considerar las pérdidas por evapotranspiración) hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice (alrededor de 24 a 48 horas después de la lluvia o riego).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): la capacidad del suelo de mantener los nutrientes disponibles para las plantas.

Capacidad de Retención de Agua disponible (CRAD o IHD o Agua Útil): es diferente para cada suelo dependiendo básicamente de su textura. La CRAD (IHD) es un valor entre la Capacidad de Campo (límite superior) y el Punto de Marchitez (límite inferior).

Carbonatos: sales del ácido carbónico. Las sales tienen en común el anión CO_3^{2-} y se derivan del ácido carbónico H_2CO_3. El carbonato más abundante es el carbonato cálcico ($CaCO_3$).

Carbono: elemento no metálico con el símbolo C y numero atómico 6. El carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento de los cultivos sostenido en el largo plazo. El COS influencia la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo.

Catión: partícula con carga positiva.

Cero labranza: consiste en poner directamente la semilla de los cultivos sobre el suelo, sin remover los residuos del cultivo anterior. Es utilizada como técnica de conservación de suelos y en la agricultura sostenible.

Ciclo del carbono: la transformación del dióxido de carbono en formas orgánicas por la fotosíntesis, el reciclaje a través de la biosfera (con incorporación parcial a los sedimentos) y finalmente el regreso a su estado original mediante la respiración o combustión.

Clima templado: tipo de clima que se caracteriza por temperaturas medias anuales de alrededor de 15°C y precipitaciones medias anuales entre 500 y 1.000 mm.

Clima tropical: tipo de clima típico de los trópicos, no árido. Todos los meses del año tienen temperaturas medias superiores a los 18°C.

Clima: promedio del tiempo atmosférico en un lugar determinado, durante un periodo largo, comúnmente 30 años.

Comisión Europea: el órgano ejecutivo de la Unión Europea encargado de proponer la legislación, verificar la aplicación de las decisiones, la defensa de los tratados de la Unión y del día a día de la UE.

Compactación del suelo: proceso resultante de la compresión mecánica de partículas de suelo y agregados (muchas partículas de suelo juntas en una sola porción). La compactación tiene como resultado la rotura de los agregados de suelo más grandes, y la reducción o eliminación de espacios (poros) entre partículas del suelo.

Conductividad eléctrica (CE): sirve para medir la concentración total de sales en el suelo; a medida que el suelo se seca, la CE de la solución del suelo va en aumento. A una misma cantidad de sales aplicada al suelo, la concentración de las sales en la solución de suelo en capacidad de campo será menor.

Conductividad hidráulica: velocidad de percolación del suelo. Es el factor de proporcionalidad de la ley de Darcy, que trata del flujo viscoso de agua en el suelo.

Congelamiento: el descenso de la temperatura del aire a niveles inferiores al punto de congelación del agua (0 °C).

Coníferas: plantas leñosas, en su mayoría árboles (a veces arbustos). Son el grupo más importante de gimnospermas, desde el punto de vista ecológico y económico. Sus hojas suelen tener forma de aguja. Los miembros de este grupo son llamados coníferas porque la mayoría lleva las semillas en estructuras especializadas llamadas conos.

Contaminación: presencia de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes). Es un tipo específico de degradación del suelo.

Contaminante: elemento en concentraciones mayores de las habituales (anomalías) que tiene un efecto adverso sobre algunos organismos. Según su origen, puede ser geogénico o antropogénico. Los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el contrario, los antropogénicos tienen su origen en residuos derivados de actividades industriales, agrícolas o mineras, y de los residuos sólidos urbanos.

Corteza de intemperismo: la parte superior de la pedosfera que sirve para identificar el estado de intemperismo en que se encuentra el suelo. Hay cortezas de intemperismo jóvenes que se denominan sialíticas y fersialíticas (con predominio de minerales arcillosos 2:1 ó 2:1 y 1:1, con hierro libre) y más evolucionadas, ferralíticas, en las que predomina la caolinita y los sesquióxidos de hierro y aluminio. Igualmente, en las regiones tropicales hay cortezas de intemperismo antiguas que pueden ser *in situ* o redepositadas, con un espesor de hasta 3 m de profundidad.

Cosecha: se refiere a la recolección de los frutos, semillas u hortalizas de los campos en la época del año en la que maduran.

Cuarzo: mineral muy común en los suelos, debido a su abundancia natural en la mayor parte de las rocas y su resistencia al ataque químico. El cuarzo confiere al suelo buena parte de su porosidad, debido a que suele estar en forma de granos más o menos gruesos. Suele encontrase en suelos poco estructurados de textura arenosa.

Cuaternario, periodo: periodo geológico que va desde hace 2 a hace 1,65 millones de años. El cuaternario se divide en dos épocas: Pleistoceno, la primera y más larga, la cual incluye los periodos glaciares y la época reciente o postglaciar, también llamada Holoceno, en la que vivimos actualmente.

Deforestación: eliminación de árboles de un terreno arbolado.

Densidad aparente: peso seco de una unidad de volumen de suelo. Se suele expresar en unidades del Sistema Internacional (kg/m^3).

Depósitos coluviales: acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en las vertientes del territorio montañoso, habiéndose formado por alteración y desintegración *in situ* de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes y la acción de la gravedad.

Deslizamientos: movimiento lento de una masa de suelo y rocas en una ladera de más de 15° de inclinación, sobre la que resbala. Los deslizamientos son favorecidos por infiltración de agua y contacto de rocas inclinadas en dirección de la pendiente de la ladera.

Dióxido de carbono: compuesto químico natural formado por dos átomos de oxígeno unidos a un átomo de carbono (CO_2). En condiciones normales se encuentra en forma gaseosa. Durante la fotosíntesis, las plantas absorben dióxido de carbono para producir energía en forma de carbohidratos. El dióxido de carbono también se produce por la combustión de hidrocarburos (por ejemplo, petróleo), la fermentación de líquidos y la respiración de los mamíferos. Es un gas de efecto invernadero.

Ecotono: zona de transición entre dos o más ecosistemas distintos.

Edafología: ciencia que estudia el suelo en su conjunto (composición, funciones, formación y pérdida, su clasificación y su distribución a lo largo de la superficie del planeta).

Eluviación: proceso de translocación de material desde un horizonte del suelo por medio del movimiento del agua.

Emisiones GEI: la industrialización y la conversión de tierras forestales a tierras agrícolas han llevado a un importante incremento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera.

Eólico: relacionado con el viento.

Erosión: proceso natural de movimiento de las partículas del suelo de un sitio a otro, principalmente por la acción del agua o del viento.

Escorrentía: término hidrogeológico que hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia. Se puede calcular como la precipitación menos la evapotranspiración real y menos la infiltración de agua al suelo.

Esmectitas: familia de arcillas que se hinchan cuando se humedecen con agua o ciertos líquidos orgánicos.

Estructura del suelo: granulometría de los elementos que lo componen y modo en que se hallan dispuestos.

Evapotranspiración: ver p. 18.

Evapotranspiración potencial (ETP): la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua. Según esta definición, la magnitud de la ETP está regulada solamente por las condiciones meteorológicas o climáticas, según el caso, del momento o periodo para el cual se realiza la estimación.

Exudados de la raíz: además de los productos liberados al suelo por los microorganismos, las plantas emiten por sus raíces multitud de sustancias, tanto de desecho como con fines concretos. Entre estas últimas hay productos que atraen a bacterias (por ejemplo bacterias simbiontes, en el caso de las leguminosas) y hongos de la rizosfera.

Feldespatos: grupo de minerales que constituyen el 60% en volumen de la corteza terrestre. Los más importantes son ortoclasa ($KAlSi_3O_8$), albita ($NaAlSi_3O_8$) y anortita ($CaAl_2Si_2O_8$).

Fertilidad de suelos: es la capacidad inherente de un suelo para proporcionar nutrientes en cantidades y proporciones adecuadas desde el punto de vista agrícola.

Fertilización: Aplicación de nutrientes, en formas químicas saludables y asimilables por las raíces de las plantas, para mantener y/o incrementar el contenido de estos elementos en el suelos.

Fertilizante: sustancia que se agrega al suelo para suministrar aquellos elementos que se requieren para la nutrición de las plantas. Los fertilizantes completos contienen los tres macronutrientes para las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio.

Fluvial: asociado a los ríos y arroyos y a los depósitos y relieves creados por ellos.

Fosfatos: sales del ácido fosfórico ($H3PO_4$). Los fosfatos son compuestos importantes en la formulación de los abonos minerales. Su disponibilidad es un factor limitante para la productividad de la mayoría de los suelos tropicales.

Fósforo: elemento químico de número atómico 15 y símbolo P. Se encuentra en la naturaleza combinado en fosfatos inorgánicos y en organismos vivos pero nunca en estado independiente. Forma parte de las moléculas de ADN y ARN.

Fotosíntesis: proceso por el cual los organismos con clorofila, como las plantas verdes, las algas y algunas bacterias, capturan energía en forma de luz y la transforman en energía química.

Gases de efecto invernadero (GEI): gases que atrapan el calor en la atmósfera, contribuyendo así al calentamiento global.

Geología: es la ciencia que estudia la composición y estructura interna de la Tierra y los procesos por los cuales ha ido evolucionando a lo largo del tiempo geológico.

Geomorfología: es la rama de la geología que estudia las formas de la superficie terrestre.

Glaciar: masa de hielo que se origina en la superficie terrestre por acumulación, compactación y re-cristalización de la nieve.

Ha: ver **hectárea**.

Hábitat: es el espacio que reúne las condiciones adecuadas para que una especie pueda vivir y reproducirse, perpetuando su presencia.

Halomorfo: se dice que un suelo es halomorfo cuando se caracteriza por la presencia de sales en el perfil. Suelen darse bajo climas secos, donde el balance hídrico es negativo, dado que las lluvias resultan insuficientes para lixiviar estas sales.

Hardpan: término en inglés para designar un horizonte férrico endurecido.

Hectárea: es la superficie que ocupa un cuadrado de 100 m de lado, totalizando con ello una superficie de 100 m x 100 m = 10.000 m^2. Su abreviatura es "ha".

Hidrógeno: elemento químico representado por el símbolo H y de número atómico 1. En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable.

Horizontes edáficos: son capas aproximadamente paralelas a la superficie, definidas en función de cambios de sus propiedades y constituyentes (que son el resultado de la actuación de los procesos de formación del suelo) con respecto a las capas inmediatas.

Horizontes diagnósticos: son determinadas capas del suelo originadas por procesos pedogenéticos naturales, cuyas características morfológicas, físicas o químicas se definen con precisión, tanto cualitativa como cuantitativamente.

Humedal: es una zona generalmente plana, en la que la superficie se inunda de manera permanente o intermitente. Al cubrirse regularmente de agua, el suelo se satura, quedando desprovisto de oxígeno y dando lugar a un ecosistema híbrido entre los puramente acuáticos y los terrestres.

Humificación: es el proceso de formación del humus (es decir, conjunto de procesos responsables de la transformación de la materia orgánica). La transformación de la materia orgánica puede llegar a la destrucción total de los compuestos orgánicos dando lugar a productos inorgánicos sencillos como CO_2, NH_3, H_2O. y se habla, en este caso, del proceso de mineralización.

Humus: es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos (hongos y bacterias).

Iluviación: descenso de materias del horizonte A al horizonte B. En otros casos existe una migración ascendente o bien, si se trata de pendientes, oblicuas. Los elementos migratorios son partículas de arcilla, óxido de hierro y de aluminio y humus.

Intercambio de cationes: intercambio entre un catión en una solución y otro catión en la capa externa entre la solución y una superficie con carga negativa (por ejemplo, arcilla o materia orgánica). Constituye el principal proceso en la toma de nutrientes por las plantas.

Ión o ion: átomo o agrupación de átomos que, por pérdida o ganancia de uno o más electrones, adquiere carga eléctrica.

Jungla: también conocida como selva, es un bosque denso con gran diversidad biológica, vegetación de hoja ancha (especies frondosas) y, por lo general, con dosel arbóreo cerrado y varios pisos de vegetación.

Labrar: operación agrícola consistente en trazar surcos más o menos profundos de forma manual o mecanizada.

Limo: material suelto con una granulometría de diámetro entre la arcilla y la arena fina (0,002 - 0,063 mm).

Lixiviación: fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles (arcilla, sales, hierro, humus) causado por el movimiento vertical de agua en el suelo. Es un proceso característico de climas húmedos.

Loess: depósitos de limo originados por la deposición de partículas con tamaños que van de 0,01 a 0,05 mm.

Maleza: término genérico que se refiere a cualquier especie vegetal arbustiva que crece de forma silvestre en una zona cultivada o controlada por el ser humano.

Manglar: ecosistema tropical dominado por los árboles y arbustos de mangle que se forma en la zona de contacto entre el mar y la tierra.

Materia orgánica del suelo (MOS): conjunto de compuestos heterogéneos con base de carbono formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal parcial o completamente descompuestos, en continuo estado de descomposición.

Mesoamérica: región del continente americano que comprende la mitad meridional de México; los territorios de Guatemala, El Salvador y Belice; así como el oeste de Honduras, Nicaragua y Costa Rica.

Micas: mineral compuesto de láminas brillantes, elásticas, sumamente delgadas, que se rayan con la uña. Es un silicato múltiple con colores muy diversos y que forma parte de varias rocas.

Micorriza: simbiosis entre un hongo y las raíces de una planta.

Mineral: sustancia natural inorgánica y generalmente sólida de estructura cristalina y composición química, color y dureza características. Suele formarse por procesos geológicos.

Minerales arcillosos: silicatos de tamaño de las arcillas que pueden retener en el espacio entre capas cantidades significativas de agua y otras sustancias.

Monocultivo: plantación de gran extensión con el cultivo de una sola especie, con los mismos patrones, resultando en una similitud genética, utilizando los mismos métodos de cultivo para toda la plantación.

Movimientos de masa: Son los desplazamientos de masas de suelo, causados por exceso de agua en el terreno y por efecto de la fuerza de gravedad.

Mulch: cubierta superficial del suelo, de naturaleza orgánica o inorgánica, que tiene un efecto protector y ayuda al establecimiento de la vegetación.

Nitratos: sales del ácido nítrico HNO_3. Los nitratos forman parte esencial de muchas formulaciones de abonos (nitratos di potasio, amonio y calcio).

Nitrógeno: el nitrógeno es uno de los elementos principales para la vida. Es esencial para las plantas porque estimula el crecimiento de su parte aérea. El nitrógeno molecular (N_2) compone el 78% de la atmósfera.

Nivel de Agotamiento Permisible (NAP): aunque las plantas pueden extraer agua del suelo hasta un nivel de humedad que corresponde con el límite inferior (punto de marchitamiento), existe un nivel de humedad entre el límite superior y el inferior a partir del cual las raíces encuentran dificultades para extraer el agua (aumenta el esfuerzo metabólico por la succión), produciéndose una disminución de la transpiración que conlleva pérdidas en la producción (menor vegetación y frutos más pequeños). Este nivel se conoce como NAP y normalmente se representa como una fracción del Intervalo de Humedad Disponible. El nivel de agotamiento permisible dependerá del cultivo que se considere.

Nutrientes: para que un suelo produzca adecuadamente debe abastecer a la planta de los nutrientes en cantidad necesaria y en equilibrio unos con otros. Las plantas requieren unos elementos esenciales inorgánicos, la mayoría de los cuales se obtienen a partir del suelo: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, y sólo necesarios para algunas plantas son N, Ni, Co, Si. Cada tipo de nutriente ejerce una función en la planta y su deficiencia es detectable, a veces a simple vista (p.ej. coloraciones en las hojas).

Oxidación: proceso electroquímico por el cual un átomo o ion acepta electrones. Es el proceso contrario a la **reducción** (ver glosario).

Óxidos e hidróxidos de hierro, manganeso y aluminio: Los óxidos e hidróxidos de Fe^{3+} (y a menudo los de aluminio y los de manganeso) son se suelen acumular en el suelo como consecuencia de procesos de alteración de otros minerales, constituyendo la fase estable del hierro en superficie o condiciones cercanas a la superficie.

Pantano: depresión del terreno, generalmente de poca profundidad, en la que se acumula y estanca agua de forma natural y cuyo fondo es cenagoso. Dícese también de un gran depósito artificial de agua.

Pastos permanentes: tierras utilizadas para el cultivo de gramíneas u otras plantas herbáceas, ya sean naturales (espontáneos) o cultivados (sembrados), y no incluidas en la rotación de cultivos de la explotación durante cinco años o más.

Pedogénesis: proceso por el cual se crea suelo. Es el principal objeto de estudio de la ciencia del suelo y la pedología.

Perfil de un suelo: sección o corte vertical de entre uno y dos metros de profundidad (excepto si aparece antes la roca madre) que utilizan los edafólogos para analizar y describir el suelo.

Permafrost: es la capa de hielo permanentemente congelado en los niveles superficiales del suelo de las regiones muy frías o periglaciares.

Permeabilidad: capacidad que tiene un material, en este caso el suelo, de permitirle a un fluido (por ejemplo, el agua) que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Muchos factores afectan a la permeabilidad del suelo, que generalmente está relacionada con su textura y estructura.

Pirita: mineral del grupo de los sulfuros cuya fórmula química es FeS_2.

Podsolización: proceso mediante el cual se forma un horizonte de color blanquecino donde se acumula cuarzo junto con otros minerales resistentes a la alteración.

Poro: espacio entre los agregados que forman el suelo.

Potasio: uno de los tres nutrientes minerales que necesitan las plantas en mayor cantidad, junto con el nitrógeno y el fósforo. Las plantas absorben el potasio que se encuentra en la solución del suelo en forma del catión (K^+). La falta de este elemento influye negativamente en el rendimiento y calidad del cultivo.

Precipitación: el agua que alcanza el suelo en forma de lluvia, nieve o granizo.

Productividad del suelo: capacidad del suelo para producir cultivos. Los principales factores que influyen en la productividad del suelo son el contenido en materia orgánica (incluyendo la biomasa microbiana), la textura, la estructura, la profundidad, el contenido de nutrientes, la capacidad de almacenamiento de agua y la existencia de elementos tóxicos.

Profundidad del suelo: es la distancia entre la superficie y el nivel a la que las raíces de las plantas en determinado suelo pueden penetrar sin dificultad.

Pseudomicelios: sustancias redepositadas, en este caso carbonatos de calcio (carbonatos secundarios) en forma de canales formados por raíces.

Punto de marchitamiento permanente: es el punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo, sin poder recuperarse de la pérdida hídrica (incluso con humedad ambiental).

Quelante: sustancia que forma complejos con iones de metales pesados.

Quelato: (del griego, *chele*, "garra") los quelatos son complejos formados por la unión de un metal y un compuesto que contiene dos o más ligandos potenciales. El quelato de hierro sirve para aportar hierro a las plantas.

Queluviación: proceso por el cual hierro, aluminio y humus son desplazados de la superficie al interior del suelo. Forma parte de un proceso más complejo, la **podsolización** (ver glosario).

Reducción: proceso electroquímico por el cual un átomo o ión gana electrones. Implica la disminución de su estado de **oxidación** (ver glosario). Cuando un ión o un átomo se reduce, presenta las siguientes características: gana electrones, actúa como agente oxidante, es reducido por un agente reductor y disminuye su número de oxidación.

Regolito: es el término general usado para designar la capa de materiales no consolidados, alterados, como fragmentos de roca, minerales y otros depósitos superficiales, que descansan sobre la roca sólida inalterada.

Rendimiento: la cantidad de una cosecha específica (por ejemplo, maíz, café o frijoles) producida por unidad de superficie. Generalmente se expresa en kg/ha.

Rizosfera: parte del suelo inmediata a las raíces, donde tiene lugar la interacción de éstas con los microorganismos del suelo. Las características químicas y biológicas de la rizosfera se manifiestan en una porción de apenas 1 mm de espesor a partir de las raíces.

Rotación de cultivos: siembra sucesiva de diferentes cultivos en un mismo campo, siguiendo un orden definido (por ejemplo, maíz-frijol-girasol o maíz-avena). Este método es usado tradicionalmente para proteger el suelo /o reducir su desgaste y para evitar plagas en los cultivos. En contraste, el **monocultivo** es la siembra repetida de una misma especie en el mismo campo, año tras año.

Secuestro o captura de carbono: es el proceso de extracción del carbono o del CO_2 atmosférico y su almacenaje en un depósito. La fotosíntesis es el principal mecanismo de secuestro de carbono. Las bacterias fotosintéticas, las plantas y la cadena alimentaria, se consideran sumideros de carbono.

Sedimento: material sólido acumulado sobre la superficie terrestre (litosfera) derivado de las acciones de fenómenos y procesos que actúan en la atmósfera, hidrosfera y biosfera (vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones, desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos o de organismos vivos).

Sellado del suelo: cobertura de forma permanente una superficie de terreno con material impermeable artificial, como cemento o asfalto. Este fenómeno afecta a los servicios ecosistémicos básicos, como la producción de alimentos, la absorción de agua, el filtrado y la capacidad de almacenamiento del suelo, así como a la biodiversidad.

Selva tropical o bosque lluvioso tropical: es la formación vegetal de clima tropical húmedo que se caracteriza por unas elevadas precipitaciones (2.000 a 5.000 mm anuales) y una elevada temperatura media anual.

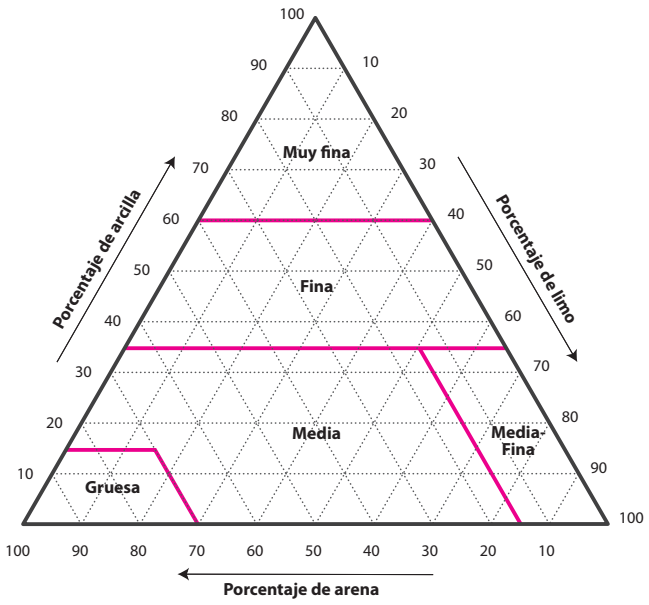
Sílice: también conocido como óxido de silicio (IV) o dióxido de silicio (SiO_2) es un compuesto de silicio y oxígeno. Es uno de los componentes de la arena. Una de las formas naturales en que aparece es el cuarzo.

Subsuelo (generalmente conocido como horizonte B): son las capas que se encuentran bajo el horizonte A (debajo de la capa superficial del suelo y el arado, por lo general después de los 30 cm de profundidad). De manera similar a la capa superior del suelo, se compone de una mezcla variable de partículas minerales, pero carece de la materia orgánica. Bajo el subsuelo se encuentra el material parental, que generalmente se ve poco afectado por los factores formadores del suelo.

Sumidero de carbono: un medio que absorbe o toma el carbón emitido durante alguna fase de su ciclo. Son sumideros de carbono, la atmósfera, la biosfera terrestre (incluyendo el suelo), océanos y sedimentos geológicos (incluidos los combustibles fósiles).

Tabla de agua (o nivel freático): es la superficie de la zona saturada de agua subterránea. Normalmente, la presión en esta zona es igual a la atmosférica.

Textura del suelo: contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. Es una característica relacionada con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.



Turba: material orgánico, de color parduzco oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible.

Vermiculita: mineral formado por silicatos de hierro o magnesio, del grupo de las micas.

Zonalidad: disposición de las zonas del planeta con características ambientales homogéneas de acuerdo a dos criterios; (1) la zonalidad latitudinal (desde el Ecuador a los polos geográficos) establece que, a medida que nos alejamos del Ecuador, encontramos zonas de menor temperatura; (2) la zonalidad altimétrica o altitudinal, (desde el nivel del mar a la cima de las montañas), determina la variación de los valores de temperatura y humedad en relación inversa a la altitud (a mayor altitud, menor temperatura y humedad).

Escala de tiempo geológica (Basado en BA)

Edad (Ma)	Era	Periodo	Época
0,01 - 0	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno
1.8 - 0,01			Pleistoceno
5,3 - 1,8		Neógeno	Plioceno
23,8 - 5,3			Mioceno
33,7 - 23,8		Paleógeno	Oligoceno
54,8 - 33,7			Eoceno
65 - 54,8			Paleoceno
144 - 65	Mesozoico	Cretácico	
206 - 144		Jurásico	
248 - 206		Triásico	
290 - 248	Paleozoico	Pérmico	
354 - 290		Carbonífero (Misisípico y Pensilvánico)	
417 - 354		Devónico	
443 - 417		Silúrico	
490 - 443		Ordovícico	
540 - 490		Cámbrico	
2500 - 540	Proterozoico		
4550 - 2500	Arqueozoico		

Fotografía seleccionada en el II Concurso de Fotografía de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo 2012. El uso de la fotografía como forma de expresión personal es un medio adecuado para difundir la concienciación sobre el recurso suelo. El tema de este concurso era "Pensar el Suelo desde Latinoamérica, España y Portugal". Título de la fotografía: Deshabitada. Salar de Uyuni, Bolivia, 2009. (FNF)

Contactos y bibliografía

Si desea aprender más sobre los suelos de su país o las actividades de la Unión Europea en materia de protección del suelo, puede hacerlo a través del siguiente contacto:

Luca Montanarella
European Commission, DG - JRC
Via E. Fermi, 2749
I-21027 Ispra (VA)
ITALIA
e mail: luca.montanarella@jrc.ec.europa.eu

Contactos sugeridos para la información nacional

ARGENTINA

Marcos Angelini
Instituto de Suelos. CIRN - INTA
De los Reseros y Nicola´s Repetto 1686, Hurlingham
Provincia de Buenos Aires
ARGENTINA
e mail: mangelini@cnia.inta.gov.ar

BOLIVIA

Javier Burgos
Centro de Investigación y de Servicios en Teledetección (CISTEL)
Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Simón (UMSS)
Av. Petrolera km. 4.5, Cochabamba
BOLIVIA
e mail: alfredob2216@yahoo.com

BRASIL

Maria de Lourdes Mendonça Santos
Embrapa-Solos
Rua Jardim Botânico, 1024
CEP. 22460-000, Rio de Janeiro, RJ
BRASIL
e mail: lourdes.mendonca@Embrapa.br

CHILE

Gerardo Reyes Calvo
Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)
Av. Manuel Montt 1164
Santiago, XIII
CHILE
e mail: greyes@ciren.cl

COLOMBIA

Ricardo Siachoque Bernal
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
Carrera 30 Nº 48-51
Bogotá
COLOMBIA
e mail: rsiachoque@hotmail.com

COSTA RICA

Rafael Mata
Centro de investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica
Calle la Cruz
San Pedro
COSTA RICA
e mail: rafael.mata@ucr.ac.cr

CUBA

Olegario Muñiz Ugarte
Instituto de Suelos (IS) - Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo
Autopista Costa Costa Km 8 ½ y antigua Carretera de Vento
Capdevila, Boyeros
CP 10800 - La Habana
CUBA
e mail: sccsmuniz@ceniai.inf.cu

ECUADOR

Augusto González Artieda
Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN)
Jose Valentín OE-522 y La Isla
Quito
ECUADOR
e mail: gaugustor@yahoo.com

EL SALVADOR

Jose Luis Colocho Ortega
Asociación Salvadoreña de la Ciencia del Suelo (ASCS)
Avenida Olímpica 3838- Colonia Escalón
San Salvador
EL SALVADOR
e mail: colochortega@gmail.com

GUATEMALA

Hugo Antonio Tobías
Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos (FAUSAC)
Oficina B-11 Edificio T-8 Ciudad Universitaria Zona 12.
Guatemala
GUATEMALA
e mail: hugotobiasv@gmail.com

HONDURAS

Carlos Antonio Gauggel Rivas
Universidad Agrícola Panamericana de Zamorano (UAPZ)
Apartado Postal 93
Tegucigalpa
HONDURAS
e mail: ggauggelarevalo@hotmail.com

MÉXICO

Carlos Cruz Gaistardo
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI.
Dirección General de Geografía
Departamento de Suelos
Av. Héroe de Nacozari 2301 Sur
Puerta 9, 1er. Nivel
Fracc. Jardines del Parque
C.P. 20276
Aguascalientes
MÉXICO
e mail: carloscruzg@yahoo.com.mx

NICARAGUA

Jorge Luis Martínez Rayo
Facultad de Ciencias Agropecuarias UCATSE
Esteli
NICARAGUA
e mail: jmartinazaret@yahoo.com

PANAMÁ

Jose Ezequiel Villarreal
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
Edifs. 161 y 162
Ciudad del Saber, Clayton
Calle Carlos R. Lara
PANAMÁ
e mail: villarrealjose47@gmail.com

PARAGUAY

Arnulfo Encina Rojas
Departamento de Suelos Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Asunción
Casilla de Correos 1618
Campus Universitario
San Lorenzo
PARAGUAY
e mail: villarrealjose47@gmail.com

PERÚ

Julio Alegre Orihuela
Facultad de Agronomía Depto. de Suelos
Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)
Calle Atahualpa 210
Depto 613-A Miraflores
Lima 18
PERÚ
e mail: jalegre@lamolina.edu.pe

PUERTO RICO

Thomas Reinsch
United States Department of Agriculture (USDA)
Natural Resources Conservation Service
5601 Sunnyside Avenue
Beltsville, MD 20705-5471
EE.UU/USA
e mail: thomas.reinsch@wdc.usda.gov

REPÚBLICA DOMINICANA

Pedro Antonio Núñez
Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF)
Rafael Augusto Sánchez, 89
Ensanche Evaristo Morales
Santo Domingo
REPÚBLICA DOMINICANA
e mail: pnunez58@gmail.com

URUGUAY

Mariana Hill
Dirección General de Recursos Naturales Renovables
Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP)
Av. Garzón 456
Montevideo
URUGUAY
e mail: mhill@mgap.gub.uy

VENEZUELA

Juan Comerma
Sociedad Venezolana de Ciencias del Suelo (SVCS)
Calabozo
Guárico
VENEZUELA
e mail: comermasteffensen@gmail.com

Contactos internacionales

FAO

Ronald Vargas Rojas
Oficial de Suelos y Manejo de Tierras
División de Tieras y Aguas (NRL)
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Roma
ITALIA
e mail: Ronald.Vargas@fao.org

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Km 17, Recta Cali-Palmira
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

http://ciat.cgiar.org/es/

Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo

www.slcs.org.mx/educacion.htm

Acrónimos de otras organizaciones mencionadas en el atlas

CeNPat: Centro Nacional Patagónico (Argentina)
IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (Argentina)
INCA: Instituto Nacional de Ciencias Agrarias (Cuba)
IPE-CSIC: Instituto Pirenaico de Ecología (España)
NPO: National Planning Office (Surinam)
RAINFOR: Amazon Forest Inventory Network (Brasil)
SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (México)
SOPACIS: Sociedad Paraguaya de Ciencias del Suelo (Paraguay)
UDELAR: Facultad de Agronomía (Uruguay)
UNA: Universidad Nacional Agraria (Nicaragua)
UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México (México)

La clasificación WRB 2006 se encuentra disponible en español en el sitio web de la FAO: http://www.fao.org

Referencias bibliográficas

Los números entre corchetes en el texto del atlas se refieren a las referencias que se enumeran a continuación.

1. UNEP, 2007. Global Environmental Outlook GEO4 – Environment for Development. Nairobi: United Nations Environment Programme. 540pp
2. Palm, C.A., Smukler, S.M., Sullivan, C.C., Mutuo, P.K., Nyadzi, G.I. & Walsh M.G., 2010. Identifying potential synergies and trade-offs for meeting food security and climate change objectives in sub-Saharan Africa. Proc Natl Acad Sci USA, 107:19661-19666.
3. Sachs, J., Remans, R., Smukler, S., Winowiecki, L., Andelman, S.J., Cassman, K.G., Castle, D., De Fries, R., Denning, G., Fanzo, J., Jackson, L.E., Leemans, R., Lehmann, J., Milder, J.C., Naeem, S., Nziguheba, G., Palm, C.A., Pingali, P.L., Reganold, J.P., Richter, D.D., Scherr, S.J., Sircely, J., Sullivan, C., Tomich, T.P. & Sanchez P.A., 2010. Monitoring the world's agriculture. Nature, 466:558-560.
4. Sanchez, P.A., Ahamed, S., Carré, F., Hartemink, A.E., Hempel, J., Huising, J., Lagacherie, P., McBratney, A.B., McKenzie, N.J., Mendonça-Santos, M.L., Minasny, B., Montanarella, L., Okoth, P., Palm, C.A., Sachs, J.D., Shepherd, K.D., Vågen, T., Vanlauwe, B., Walsh, M.G., Winowiecki, L.A. & Zhang, G., 2009. Digital soil map of the world. Science 325, 680–681.
5. Millennium Assessment, 2003. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Millennium Ecosystem Assessment Series. Island Press, Washington, DC.
6. Lal R., 2009. Soils and food sufficiency. A review. Agronomy for Sustainable Development, 29: 113-133.
7. OECD-FAO, 2009. Agricultural Outlook 2009-2018. http://www.agri-outlook.org/dataoecd/2/31/43040036.pdf
8. Royal Society, 2009. Reaping the Benefits: Science and the Sustainable Intensification of Global Agriculture. The Royal Society, London, UK.
9. OECD-FAO, 2010. Agricultural Outlook 2010-2019. http://www.agri-outlook.org/dataoecd/13/13/45438527.pdf
10. FAO, 2006. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005 – Hacia la ordenación forestal sostenible. Estudio Montes Nº 147. UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. http://www.fao.org/docrep/009/a0400s/a0400s00.htm
11. FAO, 2006. Guidelines for soil description. UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
12. Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York, USA.
13. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F., 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, 15: 259-263.
14. Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 25: 1965-1978.
15. WorldClim Database v1.4. http://www.worldclim.org/
16. Van Wambeke, A., 1982. Calculated soil moisture and temperature regimes of Africa. SMSS Technical Monograph #3. Soil Management Support Services, Soil Conservation Service, USDA
17. US Department of Agriculture Global Soil Temperature Regimes Database. http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/str.html
18. US Department of Agriculture Global Soil Moisture Regimes Database. http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/str.html
19. Kerr, Y.H., Waldteufel, P., Wigneron, J.-P., Delwart, S., Cabot,F., Boutin, J., Escorihuela, M.-J., Font, J., Reul, N., Gruhier, C., Juglea,S.E., Drinkwater, M.R., Hahne, A., Martín-Neira, M. & Mecklenburg,S., 2010. The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle. Proceedings of the IEEE, 98 (5): 666 - 687.
20. SMOS. http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/SMOS
21. Bartholome, E.M. & Belward A.S., 2005. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth Observation data. International Journal of Remote Sensing, 26: 1959-1977.
22. JRC, 2000. Global Land Cover Map 2000. EC-JRC. http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/products.php
23. Center for International Earth Science Information Network - Population Database. http://www.ciesin.org/
24. Nelson, A., 2008. Estimated travel time to the nearest city of 50,000 or more people in year 2000. EC-JRC. http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/gam/
25. Simonson, R.W. 1959. Outline of a generalized theory of soil formation. Soil Science Society of America Proceedings, 23: 152-156.
26. Sanchez, P.A., Bandy, D.E, Villachica, J.H. & Nlcholaides, J.J., 1982. "Amazon Basin Soils Management for Continuous Crop Production," Science, 216: 821-827.
27. CPCS, 1967. Classification des sols, Ecole nationale supérieure agronomique, Grignon, France. 87pp
28. Segalen, P., Fauck, R., Lamouroux, M, Perraud, A., Quantin, P., Roederer, P. & Vieillefon, J., 1979. Projet de Classification des Sols. ORSTOM, Paris. 301pp
29. De Bakker, H. & Schelling, J., 1966. Systeem voor bodemklassifikatie voor Nederland, De hogere niveaus, STIBOKA, Pudoc, Wageningen, The Netherlands. 217pp
30. Van der Eyk, J.J., 1957. Reconnaissance soil survey in Northern Surinam. Thesis, Wageningen, The Netherlands.
31. Soil Survey Staff, 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook. 436pp
32. Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, Ma. del C., Ahrens, R., Cruz-Gaistardo, C.O., Sedov, S. & Solleiro-Rebolledo, E., 2013. The soils of Mexico. Dordrecht-New York-London-Tokyo-New Delhi: Springer. ISBN 978-94-007-5659-5. 186pp
33. CETENAL, 1970. Modificaciones al Sistema de Clasificación FAO/UNESCO 1968, una opción ante el problema de clasificación de suelos para México. México.
34. IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for Soil Resources. 2nd edition. World Soil Resources Reports no 103, UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 128pp

34b. Selvaradjou, S-K., Montanarella, L., Spaargaren, O. & Dent, D., 2005. European Digital Archive of Soil Maps (EuDASM) - Soil Maps of Latin America & Caribbean Islands. EUR 21822 EN

34c. Institut de recherche pour le développement (IRD) Sphaera Map Portal. http://www.cartographie.ird.fr/sphaera/

35. Jacomine, P.T.K. & Camargo, M.N., 1996. Classificaçao pedologica nacional em vigor. In: V.H. Alvarez, L.E.F. Fontes and M.P.F. Fontes (eds) O solo nos grandes dominios morfoclimaticos do Brasil o e desenvolvimento sustentado, SBCS-UFV, Viçosa, Brasil, pp675–689. Solos, Rio de Janeiro, Brazil. 306pp
36. Beinroth, F.H., 1978. Relationship between U.S. Soil Taxonomy, the Brasilian soil classification system and FAO/UNESCO soil units. In: Bornemisza, E. and Alvarado, A. (eds) Soil Management in Tropical America, Proceedings of a Seminar held at CIAT, Cali, Colombia, 10–14 February 1974, Gordon Press, Raleigh, NC. pp92–108.
37. Embrapa, 2006. Sistema Brasileiro de Clasificação de solos. 2 ed. Embrapa Produção de Informação, Brasília – Embrapa-Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 306pp
38. Hernández Jiménez, A., Ascanio García, M.O., Moralez Díaz, M. & León Valido, A., 2006. La historia de la clasificación de suelos en Cuba. Editorial Félix Varela, Instituto Nacional de Ciencias Agricolas, La Habana, Cuba. 98pp
39. Instituto de Suelos, 1975. Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Serie Suelos 23, Academia de Ciencias de Cuba, Ciudad de La Habana, Cuba. 36pp
40. Instituto de Suelos, 1999. Nueva Versión de Clasificación genética de los Suelos de Cuba. AGRINFOR, Ministerio de la Agricultura, Ciudad de La Habana, Cuba. 64pp
41. DSF, 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1.000.000. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, División Suelos y Aguas, MGAP. Montevideo, Uruguay.
42. De Boer, M.W.H., 1979. A System of Soil Classification for Surinam. Dienst Bodemkartering Surinam, Surinam. 59pp
43. IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. World Soil Resources Report No. 103. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. ISBN-10:9251055114.
44. United States Department of Agriculture, 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service, Soil Survey Division Staff, U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
45. FAO, ISRIC, UNEP & CIP, 1998. Soil and terrain database for Latin America and the Caribbean, 1:5M. scale. CD-ROM, Land and Water Digital Media Series 5. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
46. van Engelen V.W.P. & Wen T.T., 1995. Global and National Soil and Terrain Digital Database (SOTER). Procedures Manual. ISRIC - World Soil Information, Wageningen, The Netherlands.
47. van Engelen V.W.P. & Peters W.L., 1995. Soils and Terrain Digital Database for Six Countries in Latin America at scale 1:5,000,000 (SOTER-LA). Final Report, ISRIC - World Soil Information, Wageningen, The Netherlands.
48. FAO-Unesco, 1974. Soil map of the World 1:5000000. Legend, Volume 1 -Unesco, Paris, France.
49. FAO-UNESCO, 1974 - 1981. Soil Map of the World, sheet IV-1 and IV-2. Unesco, Paris FAO Unesco 1974-1981.
50. Defence Mapping Agency, 1993. Digital Chart of the World.
51. ESRI, 1992. The Digital Chart of the World for use with ARC/Info Data Dictonary. ESRI, Redlands, Calif., USA.
52. Lagacherie, P., Coulouma, G., Ariagno, P., Virat, P., Boizard, H. & Richard, G., 2006. Spatial variability of soil compaction over a vineyard region in relation with soils and cultivation operations. Geoderma, 134, 207-216.
53. Sunderlain, W., Hatcher, J., & Liddle, M., 2008. From exclusion to ownership? Challenges and opportunities in advancing tenure reform. Rights and Resources Initiative.
54. Lambin, E.F., Geist, H.J. & Lepers, E., 2003. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions, Annual Review of Environment and Resources, 28(1): 205-241.
55. Seixas, M.A. & Ardila, J., 2002. La Agricultura de América Latina y el Caribe, sus Desafios y Oportunidades, desde la Óptica del Cambio Tecnológico. Unpublished manuscript, Brasilia.
56. Manuel-Navarrete, D., Gallopín, G., Blanco, M., Díaz Zorita, M., Ferraro, D. & Herzer, H., 2008. Multi-causal and integrated assessment of sustainability: the case of agriculturization in the Argentine Pampas. Environment Development and Sustainability.
57. CEPAL, 2007. «Panorama de la inserción internacional de América Latina y el Caribe, 2006 Tendencias 2007». Santiago de Chile, septiembre. Publicación de las Naciones Unidas.
58. UN DESA, 2009. Objetivos de Desarrollo del Milenio, Reporte 2009. http:// millenniumindicators.un.org/unsd/mdg/ Resources/Static/Products/Progress2009/MDG_Report_2009_Es.pdf
59. PNUMA, 2007. GEO 4: Perspectivas del medio ambiente mundial. Ed. Phoenix Design Aid, Danamarca. 540pp
60. Cohen, A.J., Anderson, H.R., Ostro, B., Pandey, K.D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., Gutschmidt, K., Pope, A., Romieu, I., Samet, J.M & Smith, K., 2004. Mortality impacts of urban air pollution. En: Ezzati M, López AD, Rodgers A, Murray CJL, eds. Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors. Non-serial publication. OMS. Ginebra, Suiza. pp 50-52.
61. United Nations Commission on Human Settlements (UNCHS), 2002. The State of the World Cities Report 2001. United Nations Publications, New York, NY.
62. PNUMA, 2010. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe – GEO ALC 3 - PNUMA, Ciudad de Panamá. 380pp
63. FAO, 2013. Land Use Systems Map. http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=37139
64. Woods, W.I., Teixeira, W.G., Lehmann J., Steiner, C., Winkler Prins, A. & Rebellato, L., 2009. Amazonian Dark Earth: Win Sombroek's vision. 1. ed. Heidelberg: Springer. 309pp
65. Villagran, X.S., Klokler, D., Nishida, P., Gaspar, M. & DeBlasis, P., 2010. Lecturas estratigráficas: arquitectura funeraria y depositación de residuos en el sambaqui Jabuticabeira II. Lat. Am. Ant 2: 195-216.
66. Smith, N.J.H., 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. Ann. Assoc American Geographers. 70 (4): 553-56.

66b. Glaser, B., 2007. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 362 (1478): 187-196.

67. OECD, 1994. Public policies for the protection of soil resources. Environment Monographs OCDE/GD, (94) 18, Paris, France. 77pp
68. Lal, R., 1998. Soil Quality and sustainability. En Lal, R., W. H. Blum, C. Valentine y B. A. Stewart (Eds). "Methods for assessment of sol degradation", en: Advances in Soil Science. Boca Raton, New York, CRC Press. pp. 17-30.
69. FAO, 2000. Land resource potential and constraints at regional and country levels. World Soils Resource Report 90. FAO, Rome, Italy. 114pp.
70. FAO, ISRIC & ITC, 2001. Catholic University of Leuven and Wageningen Universiteit. Lecture Notes on the Major Soils of the World: World Soil Resources Reports 94. FAO, Rome, Italy.
71. Gerrard, J., 2000. Fundamentals of soils. Routledge, London. 225pp
72. Bautista, F., Zinck, A. J. & Cram, S., 2010. Los suelos de Latinoamérica: retos y oportunidades de uso y estudio. En: Boletín del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. 2: 93-142.
73. Bautista F, Durán-de-Bazúa C. & Villatoro-Resendiz J., 2000. La materia orgánica soluble en el mejoramiento de los suelos tropicales. En: Quintero-Lizaola, T. Reyna-Trujillo, L. Corlay-Chee, A. Ibañez-Huerta y N.E. García-Calderón (Eds). La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Colegio de postgraduados en ciencias agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma de Chapingo. pp 247-253. Edo. de México, México.

74. Bautista F., 1999. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Publicación de la Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México. 109pp

75. Blakely, J.K., Neher D.A. & Spongberg A.L., 2002. Soil invertebrate and microbial communities,and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. Applied Soil Ecology, 21: 71-88.

76. Roehring, R., Langmaack, M., Schraeder, S. & Larink. O., 1998. Tillage systems and soli compactation, their impact on abundance and vertical distribution of Enchytraeidae. Soil & Tillage Research, 46: 117-127.

77. Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Sphritz, L. Fitton, R. Saffouri & R. Blair. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, 267: 1117-1123.

78. Farell J.G. & Altieri M.A., 2004 Sistemas agroforestales. En: Altieri M.A. (Eds) Agroecologia: Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan–Comunidad, Montevideo (Uruguay). 345pp

79. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.), 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 11.6 - Assessment of projected climate change for Central and South America. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

80. Rosenzweig, C., Neofotis, P., Vicarelli, M. & Xing, X. (eds.), 2008. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Observed Climate Change Impacts Database Version 1.0. Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/observed/.

81. Poder Ejecutivo Federal. México, 2008. Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012. 96pp

82. UNEP, 2005. Atlas of Our Changing Environment. UNEP, New York. ISBN: 92-807-2571-8. 332pp

83. National Geographic en Español, 2008. Edición especial: El pulso de la tierra. Reporte visual de un planeta amenazado. pp. 38-39, 65-67.

84a. Suplemento de National Geographic Maps. Un mundo transformado. Publicación: Septiembre, 2002.

84b. Suplemento de National Geographic Maps. Clima cambiante. Publicación: Octubre, 2007.

85. USDA, 2000. Soil inorganic carbon map. http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/sic.html

86a. República Bolivariana de Venezuela, 2005. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Caracas, Venezuela.

86b. Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2010. Segunda Comunicación Nacional de Brasil a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Brasilia, Brasil.

86c. República Argentina, 2007. Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bunos Aires, Argentina.

86d. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología, 2009. México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México D.F., México.

87. Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A. & Sombroek, W.G., 1991. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD). World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. ISRIC/UNEP/FAO, Wageningen, Nairobi, Rome. ISBN-10: 9066720468

88. FAO, 2012. Situación de los bosques en el mundo 2007-2011. FAO, Rome, Italy.

89. Barreto, P., Souza Jr. C., Anderson, A, Salomao, R., Wiles, J. & Nogueròn, R., 2005. Human pressure on the Brazilian Amazon Forest. Instituto Mundial de Recursos Imazon & World Resources Institute (WRI). 86pp

90. Worldwatch Institute, 2007. Vital signs 2007-2008. The Trends That Are Shaping Our Future. ISBN-13: 978-0-393-33129-5.

91. Oak Ridge National Laboratory http://daac.ornl.gov/NPP/other_files/worldnpp1.txt

92. Lal, R.& Cerri, C. (eds), 2006. Carbon sequestration in soils of Latin America. CRC Press. 554pp. ISBN-13: 978-1560221364

93. IUCN & UNEP, 2009. The World Database on Protected Areas (WDPA). UNEP-WCMC. Cambridge, UK. http://www.wdpa.org

94. Hoekstra, J.M., Boucher, T.M., Ricketts, T.H. & Roberts, C., 2005. Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. Ecology Letters, 8 (1): 23-29.

95. SAGARPA, 2009. Sistema de Análisis de los Impactos Ecológicos de la Actividad Ganadera. Documento de Referencia para la Estimación de la Erosión Actual del Suelo en México. Proyecto desarrollado por el Colegio de Postgraduados para la Coordinación General de Ganadería de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F. 46pp.

96. Comunicaciones nacionales ante la convencion marco de las Naciones Unidas sobre cambio climatico. Paises diversos.

97. Sanderson, E.W., Redford, K.H., Vedder, A., Coppolillo, P.B. & Ward, S.E., 2002. A conceptual model for conservation planning based on landscape species requirements. Landscape and Urban Planning, 58: 41–56.

98. FAO, 2010. Agricultura climáticamente inteligente. Políticas, prácticas y financiación para la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. Rome, 54pp

99. Comisión Intersecretarial De Cambio Climático, 2009. México: Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Mexico, 274pp ISBN 978-607-7908-00-5.

100. Ontiveros, R., 2013. Cambio climático y degradación de los suelos en América Latina: escenarios, políticas y respuestas. Programa EUROCLIMA, Dirección General Desarrollo y Cooperación – EuropeAid, Comisión Europea. 176pp

101. Olson, D.C., Dinerstein, E., Wikramanayake, E.D., Burgess, N.D., Powell, G.V.N., Underwood, E., D'Amico, J.A., Strand, H.E., Morrison, J.C., Loucks, C.J., T.F. Allnutt, J.F. Lamoreux, T.H. Ricketts, I. Itoua, W.W. Wettengel, Y. Kura, 2001. A new map of the world. BioScience, 5: 933–938.

102. Hirota, M.M.. Monitoring the Brazilian Atlantic Forest cover. In: Gllindo-Leal, C.; Camara, I.G. (eds.). The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook. Washington, D.C.: Center for Applied Biodiversity Science and Island Press, 2003. pp.60-65.

103. Gajardo, R., 1994. La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria S.A. Santiago, Chile. 165pp

104. Rzedowski, J., 2006. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf

105. del Valle H.F., 1993. Mallines de ambiente árido: Pradera salina y estepa arbustivo-graminosa en el noroeste del Chubut. En: J.M. Paruelo, M.B. Bertiller, T.M. Schlichter y F.R. Coronato (Eds.), pp. 31-39, Secuencias de deterioro en distintos ambientes patagónicos: Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones. Convenio Argentino-Alemán, Cooperación Técnica INTA-GTZ (LUDEPA-SME).

106. Moscatelli G., 1991. Los suelos de la Región Pampeana. En Osvaldo Barsky (ed.) El desarrollo agropecuario pampeano pp 1-76. INDEC-INTA-IICA, Buenos Aires.

107. Ghersa CM. & León RJC., 2001. Ecología del paisaje pampeano: consideraciones para su manejo y conservación. En: Ecología de Paisajes, Teoría y Aplicación. Naveh Z. & Lieberman AS. (ed.). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires.

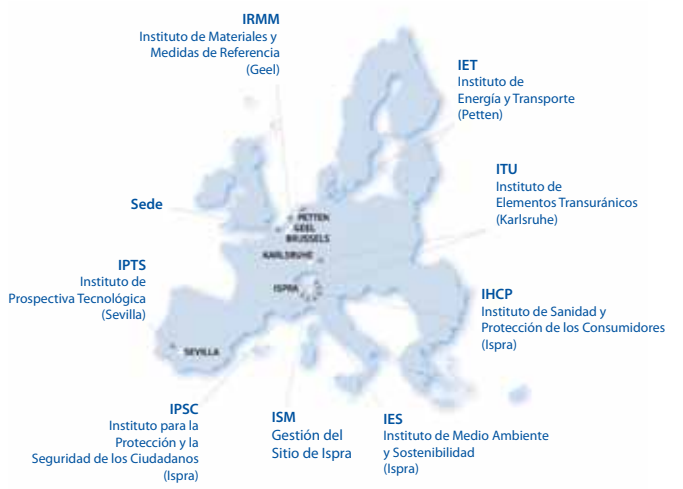
108. Brady, N.C. & Weil, R., 2007. The Nature and Properties of Soils (14th edition, Language: English). Pearson Education. ISBN-10: 0135133874

Información adicional

Para más información relacionada con el contenido de esta publicación:

eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/LatinAmerica_Atlas/index.html

Todos los hiperenlaces de la web (urls) que se presentan en este atlas se revisaron en Septiembre 2013.



Los siete institutos científicos y la sede del JRC. (JRC)

El Instituto para el Medio Ambiente y la Sostenibilidad está ubicado en Ispra, una pequeña localidad a orillas del Lago Maggiore en el norte de Italia. (JRC)

El salar de Uyuni (Bolivia) es el desierto de sal más grande (12.000 km ^{2}) y más alto (3.700 msnm) del mundo. Se originó a partir de la desecación de un lago salado prehistórico sin drenaje rodeado de montañas. La sal se recoge en la forma tradicional como se observa en la imagen, acumulándose en pequeños montículos para que el agua se evapore. (LG)

La Comisión Europea

Este atlas ha sido elaborado por dos servicios de la Comisión Europea: la Dirección General del Centro Común de Investigación y la Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid.

Dirección General del Centro Común de Investigación

La misión del Centro Común de Investigación (JRC, por sus siglas en inglés: Joint Research Centre) es ofrecer soporte técnico y científico, con un enfoque orientado al destinatario, para la concepción, desarrollo, aplicación y seguimiento de las políticas de la Unión Europea. Como servicio que ofrece la Comisión Europea, el JRC funciona como centro de referencia científico y técnico en la Unión. Su cercanía al proceso de creación de políticas sirve al interés común de los Estados Miembros, independientemente de intereses de otro tipo, ya sean de carácter privado o nacional.

Las actividades del JRC relacionadas con el suelo son llevadas a cabo por el Instituto para el Medio Ambiente y la Sostenibilidad (IES, por sus siglas en inglés: Institute for Environment and Sustainability). Con sede en Ispra, una pequeña localidad a orillas del Lago Maggiore en el norte de Italia, es uno de los siete institutos que conforman el JRC. El objetivo del IES es dar apoyo científico-técnico a las estrategias de protección del medio ambiente de la UE, contribuyendo así al desarrollo sostenible. El IES colabora estrechamente con laboratorios oficiales, centros de investigación e industrias de los Estados Miembros de la UE, sirviendo de puente entre las políticas de la UE y los ciudadanos europeos. La combinación de estas competencias complementarias en los campos de las ciencias experimentales, analíticas, modelizaciones, SIG y teledetección, sitúa al IES en una posición de gran importancia para la contribución a la mejora del Área de Investigación Europea y a la consecución de la sostenibilidad ambiental.

http://ies.jrc.ec.europa.eu/

Comisión Europea, Centro Común de Investigación
Via E. Fermi, 21027 Ispra (VA), Italia

El Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe es un ejemplo de colaboración científica de alto nivel generada por el Instituto de Medio Ambiente y Sostenibilidad. Gracias a las actividades conjuntas de científicos de América Latina, Caribe y Europa, el Atlas refleja los beneficios de la colaboración internacional y la necesidad de políticas científicamente sólidas para la gestión sostenible de un recurso natural fundamental que es la piedra angular de la seguridad alimentaria, los servicios ambientales fundamentales, la cohesión social y la economía de muchos países de la región.

Dr. Maria Betti

Directora del Instituto para el Medio Ambiente y la Sostenibilidad (IES)
Dirección General - JRC

América Latina y el Caribe conforman una región heterogénea con un gran potencial económico que se enfrenta a nuevos retos. Entre ellos destacan el desarrollo sostenible y el cambio climático, temas claves en las relaciones UE-ALC. La necesidad de garantizar una producción agrícola sostenible, dando prioridad a las prácticas desarrolladas a nivel local y a las pequeñas explotaciones, y de lograr patrones de consumo adaptados, requiere un énfasis en la inversión en investigación y en el buen uso de los resultados científicos. En este sentido el programa EUROCLIMA, con la producción del Atlas, contribuye a mejorar el conocimiento de los responsables de la formulación de políticas y la comunidad científica, así como a apoyar a los países para afrontar el cambio climático, mejorar la sostenibilidad ambiental y socioeconómica y reducir la pobreza y las desigualdades sociales. Todo ello conforme a nuestra política de Cooperación y Desarrollo y, en particular, a la Agenda para el Cambio de la UE (2011).

Sra. Jolita Butkevičienė

Directora, América Latina y el Caribe, Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid

Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid

EuropeAid es responsable de las políticas de desarrollo de la UE y del suministro de ayuda a través de programas y proyectos en todo el mundo mediante un conjunto de instrumentos financieros para garantizar la calidad y la eficacia de la ayuda. Con una posición activa y proactiva en el ámbito del desarrollo, EuropeAid fomenta la gobernanza y el desarrollo económico y humano y aborda problemas universales como el hambre y la conservación de los recursos naturales. EuropeAid tiene como finalidad contribuir a la reducción de la pobreza en el mundo, garantizar el desarrollo sostenible y promover la democracia, la paz y la seguridad.

Dentro de la Dirección General la Unidad de Programas Regionales América Latina y Caribe, con el apoyo de la Asistencia Técnica del Programa, gestiona de forma centralizada el programa EUROCLIMA, responsabilizándose de la coordinación general del programa y de sus diferentes componentes orientados al diálogo político, los aspectos socioeconómicos y los aspectos biofísicos del Cambio Climático en la región. Dentro de sus responsabilidades destaca asegurar la coherencia de los distintos componentes de EUROCLIMA y fomentar la aplicación e integración de los conocimientos científicos y socioeconómicos sobre el cambio climático en las políticas públicas de la región Latinoamericana.

http://ec.europa.eu/europeaid/index_es.htm

La Comisión Europea

La Comisión Europea el órgano ejecutivo de la Unión Europea (UE) encargado de proponer la legislación, verificar la aplicación de las decisiones, defender de los tratados de la Unión y del día a día de la UE.

La Comisión actúa como un gabinete de gobierno, con los 28 miembros de la comisión - un representante por cada Estado miembro. La Comisión se compone de 33 Direcciones Generales, incluida una Secretaría General y 11 servicios.

La serie de Atlas de Suelos del JRC

El Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea colabora con edafólogos e investigadores de todo el mundo con objeto de elaborar una serie de atlas acerca de divrsos aspectos del suelo. Si desea una copia o para más información, por favor diríjase a la Oficina de Publicaciones de la Unión Europea (Publications Office of the European Union) **(http://publications.europa.eu/)** o bien consulte la página web de la Acción Suelo del JRC **(http://eusoils.jrc.ec.europa.eu)**.

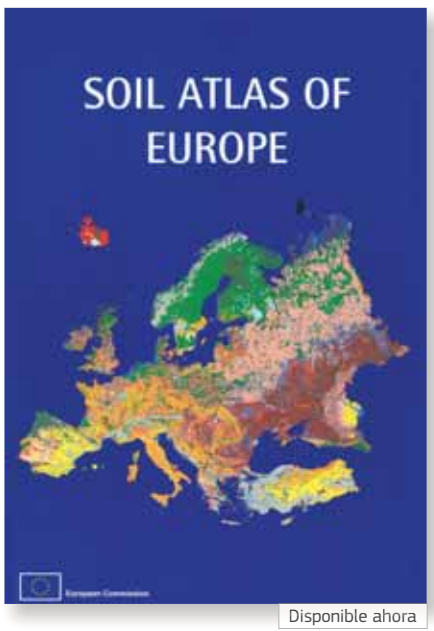
La Oficina de Publicaciones de la Unión Europea

El sitio web "EU Bookshop" **(http://bookshop.europa.eu/)** es el punto de acceso a las publicaciones de las instituciones de la Unión Europea. EU Bookshop ofrece un resumen del contenido de las publicaciones, a partir de completas reseñas bibliográficas. Algunas de estas publicaciones se encuentran disponibles en formato PDF para su descarga de forma gratuita. Si la publicación que está buscando no está disponible, puede activar la opción "PDF on request" y se le informará por e-mail cuando se incorpore ese archivo PDF al sitio web.

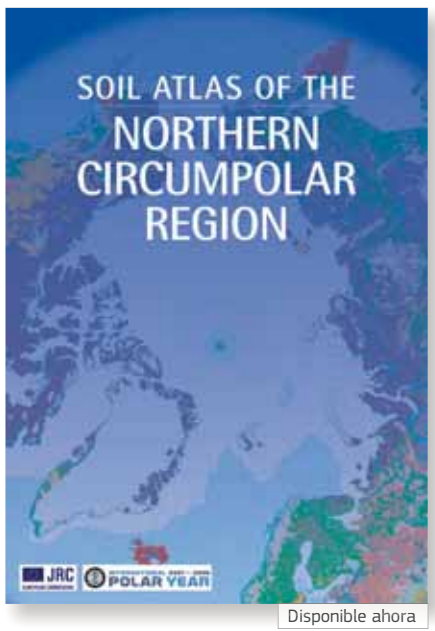
Según las existencias disponibles, también se puede adquirir una copia de cualquiera de las publicaciones gratuitas. Como en el caso de las publicaciones en venta, puede efectuar su pedido con EU Bookshop mediante nuestros agentes comerciales o bien descargar el PDF gratuito. Los envíos se realizan en un plazo de unas 48 horas a partir de la realización del pedido.

Las publicaciones pueden encontrarse a través de simples funciones de búsqueda (p. ej. soil atlas), seleccionando el área temática o el autor (p. ej. European Union institution). Además, existe la posibilidad de acceder a "My EU Bookshop" para disfrutar de un acceso y funciones personalizadas que permiten, como por ejemplo, guardar criterios de búsqueda para utilizarlos regularmente o recibir notificaciones por e-mail sobre nuevos productos que puedan interesarle.

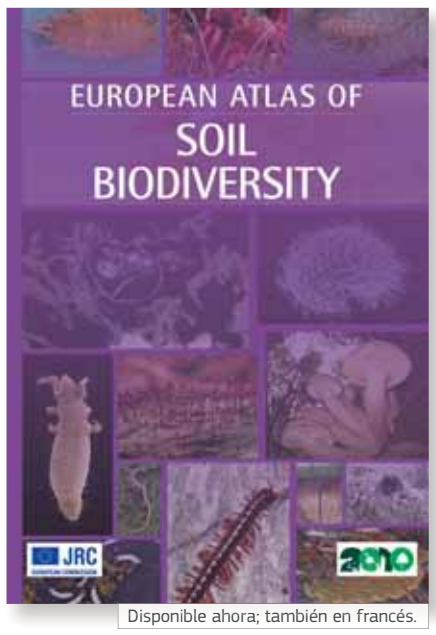
La Oficina de Publicaciones prentende hacer de EU Bookshop el punto de acceso común para todas las publicaciones de la UE. Actualmente, el sitio web está disponible en 22 idiomas. Los atlas de suelos están disponibles en copia impresa (€25) o formato PDF (gratuito).



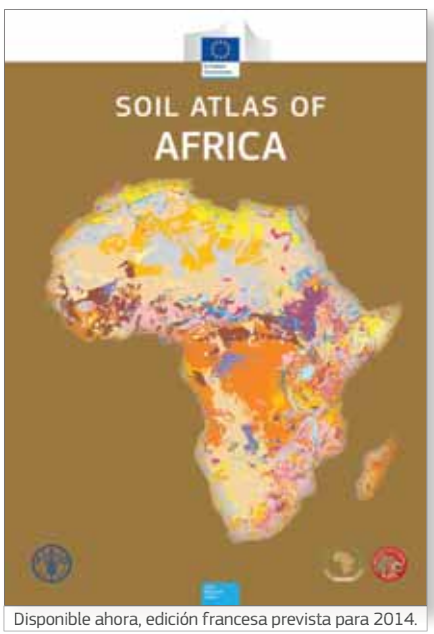
Disponible ahora



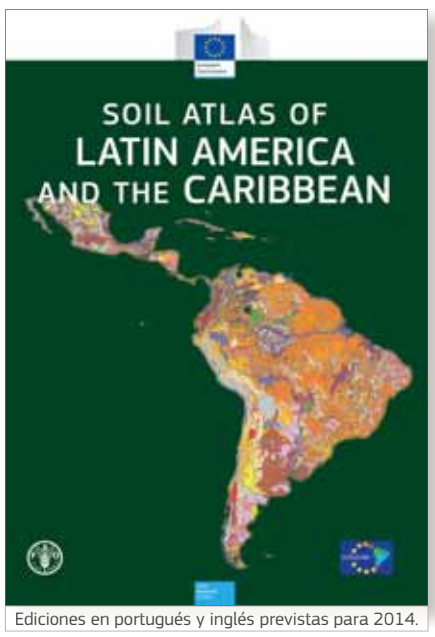
Disponible ahora



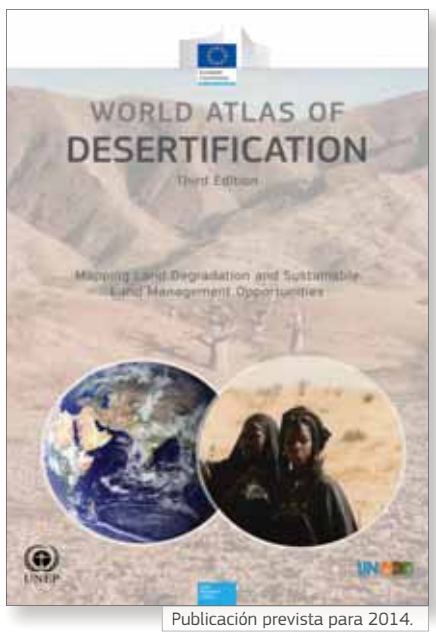
Disponible ahora; también en francés.



Disponible ahora, edición francesa prevista para 2014.



Ediciones en portugués y inglés previstas para 2014.



Publicación prevista para 2014.

¿Qué es el suelo? ¿Cómo se forma? ¿Cuáles son las particularidades de los suelos de LAC?

¿Qué servicios ofrece el suelo a la sociedad? ¿Cuál es el impacto del cambio climático sobre los suelos?

El primer Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe tiene como objeto responder a estas preguntas acerca del origen y las funciones del suelo, valiéndose de mapas, textos explicativos, fotografías y gráficos. También se describen aquí los diferentes tipos de suelo existentes en la región. Mediante el uso de las técnicas de cartografía digital es posible ilustrar la diversidad de suelos del continente. Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de científicos de América Latina, El Caribe, Europa y Norteamérica.

En el Atlas se presta especial atención a los posibles efectos negativos del cambio climático sobre el funcionamiento y propiedades del suelo, así como a las medidas de mitigación que se pueden adoptar para proteger este recurso natural.

En definitiva, el Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe constituye una referencia esencial para la gestión de un recurso no renovable, fundamental para la vida en la Tierra.

LB-NA-25402-ES-C

Los suelos son un reflejo de su material original, el clima, la topografía, la vegetación, el tiempo y la influencia de la actividad humana. Sus propiedades, características y su uso derivan de la interrelación de estos factores.

En las imágenes de arriba, de izquierda a derecha, se muestran unas estudiantes realizando prácticas de manejo de suelos en Nicaragua (arriba); un ejemplo de la biodiversidad que se desarrolla sobre el suelo en una reserva natural de Costa Rica (abajo); un perfil de un suelo clasificado como Nitisol, en Cuba; un perfil de un suelo tipo Fluvisol, en Argentina; un perfil de tipo Solonetz en Brasil; cultivo intensivo en Argentina en suelos clasificados como Phaeozem, muy fértiles (arriba); y por último, un cultivo de mandioca en República Dominicana (abajo). La producción de alimentos es una de las funciones del suelo más importantes para el bienestar humano.

El Parinacota es un gran volcán situado en la frontera de Chile y Bolivia. Muchos de los suelos de América Latina están formados por materiales de materiales volcánicos.

Tanto las propiedades del suelo como su vulnerabilidad varían enormemente de una región a otra en el continente americano. En la zona de la Pampa se encuentran algunos de los suelos más fértiles de Latinoamérica, no exentos del riesgo de erosión y la consecuente pérdida de materia orgánica. Por otra parte, los suelos de los bosques tropicales forman parte de algunos de los ecosistemas más ricos en biodiversidad y frecuentemente sufren procesos de degradación química. En las zonas de baja altitud donde el clima es seco, pueden aparecer problemas de salinización del suelo y falta de nutrientes si se altera la cubierta vegetal. La erosión hídrica es un proceso de cierta importancia en zonas montañosas (por ejemplo en las regiones andinas), mientras que los suelos de las llanuras áridas se encuentran más expuestos a procesos de degradación producidos por la erosión eólica, es decir, por el viento (por ejemplo, en el sur de Argentina).

La casi totalidad de las plantas dependen del suelo como medio de anclaje y para el abastecimiento de agua y nutrientes.

Esto es sólo un aspecto de todas las funciones que cumple el suelo, entre las que se encuentran: filtro y amortiguador de las sustancias que se introducen en el medio natural, almacenamiento y suministro de los recursos hídricos y de materias primas útiles para los seres humanos, almacenamiento de carbono orgánico, mitigación del cambio climático, hábitat, reserva genética y componente del paisaje y del patrimonio cultural.

Oficina de Publicaciones

EUR 25402 ES • **Precio en Luxemburgo** (IVA excluido): **€25**

ISBN 978-92-79-25599-1