



Determinación de la erosión actual
y potencial de los suelos de Chile

Región de Arica y Parinacota

Síntesis de Resultados

Diciembre 2010

SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO
INSTITUTO DE DESARROLLO AGROPECUARIO
OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS
CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL

InnovaChile
CORFO



Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile

■ Región de Arica y Parinacota

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile

Región de Arica y Parinacota

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Publicación N° 140

Registro de propiedad intelectual: 200589

Autores:

Juan Pablo Flores V.

Eduardo Martínez H.

Marión Espinosa T.

Gabriel Henríquez A.

Pablo Avendaño V.

Patricio Torres F.

Isaac Ahumada F.

Cartografía:

Luz María Marín A.

Marcelo Retamal G.

Balfredo Toledo H.

Editado por:

Juan Pablo Flores V.

Diseño:

Simón Rodríguez Tachi

Centro de Información de Recursos Naturales

Director Ejecutivo: Eugenio González Aguiló

Manuel Montt 1164, Providencia.

Fono (56-2) 200 89 00

www.ciren.cl

Santiago de Chile - 2010

Dedicado a Patricio Lara Greene.

ÍNDICE

Resumen	7
Introducción	8
Antecedentes del área de estudio	10
Metodología	12
<i>Modelo de erosión actual</i>	12
<i>Modelo de riesgo de erosión potencial y actual</i>	18
Línea base de información biogeofísica	20
Equipo de Trabajo	21
Resultados y estadísticas	22
Conclusiones	42
Referencias	43



RESUMEN

El presente estudio estima la erosión actual y potencial del territorio de Chile mediante la aplicación de dos modelos cualitativos, usando técnicas de geomática, teledetección y SIG. El estudio cubre un área estimada de 75 millones de hectáreas y tiene dos escalas de trabajo dependiendo de la disponibilidad de información de cada región, nivel semidetallado 1:50.000 en sectores silvoagropecuarios entre la Región de Coquimbo y Los Lagos y escala generalizada 1:250.000 en las regiones extremas y Cordillera de los Andes. A nivel local, la superficie de estudio de la XV Región de Arica y Parinacota es de 1,69 millones de hectáreas.

Para la XV Región existe una superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de 1,48 millones de hectáreas, lo que representa el 87% de la superficie regional. Sin embargo, gran parte de esta superficie, en especial hacia la Cordillera de los Andes, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión de tipo geológica. Las comunas con mayores problemas de erosión actual son Arica y Putre. El riesgo actual y potencial de erosión hídrica es moderadamente bajo, por cuanto las precipitaciones son casi nulas en gran parte de la región.

La metodología planteada permite realizar una cualificación del paisaje de forma eficaz y a menores costos que metodologías tradicionales de campo.

Palabras Claves: riesgo de erosión del suelo, índices espectrales, geomática, teledetección, erodabilidad del suelo, erosividad de la lluvia.

INTRODUCCIÓN

La erosión de los suelos en Chile, constituye en la actualidad uno de los problemas ambientales más significativos del sector silvoagropecuario (Araneda et al, 1999; Bonilla *et al.*, 2010), especialmente porque el recurso suelo resulta ser no renovable a escala humana (figura 1) y es altamente vulnerable a actuaciones antrópicas y condiciones de variabilidad climática y cambio climático global (Yoma, 2003). Sumado a ello, se deben considerar las importantes exigencias ambientales de los mercados internacionales en la producción de recursos naturales y los actuales desafíos del país en el campo del manejo sustentable, sujeto a la "Convención Internacional de lucha contra la desertificación" de las Naciones Unidas (Pizarro *et al.*, 2008).



Figura 1. Erosión geológica de los suelos de Chile, XV Región de Arica y Parinacota.

El abordaje de esta problemática demanda una cuantificación actual y potencial de la erosión en Chile, pero los estudios de degradación de recursos naturales, erosión y fragilidad existentes en el país son escasos o se presentan a escalas generalizadas, y los estudios de mayor detalle son muy localizados por el alto costo que ello implica.

Los primeros testimonios de la pérdida de suelo se remonta a los estudios del botánico francés Claudio Gay, los historiadores Benjamín Vicuña Mackenna y R.E Mc Lure y el científico alemán Federico Albert quienes manifestaron la enorme fragilidad de los suelos y el daño ambiental de las malas prácticas antrópicas en amplias zonas de Chile y qué consecuencias tendrían para las futuras generaciones. Diversos estudios contemporáneos de la situación de los suelos en Chile han sido desarrollados por diferentes instituciones públicas, privadas y universidades, a saber; Elgueta y Jirkal en 1943, Rodríguez en el año 1957, INFOR en 1964, IREN y Ministerio de Agricultura en el año 1966, Peña (1983, 1985), Honorato et al (2001), Pérez y González (2001), Soto (1997), Bonilla *et al.* (2010), Castro y Aliaga (2010), entre otros. Estos estudios revelan que existe una situación preocupante de superficie erosionada en Chile, especialmente en las zonas silvoagropecuarias del secano costero e interior, es decir, desde las regiones de Coquimbo a Los Lagos.

Sin embargo, el único estudio disponible con información espacial para todo el territorio nacional fue realizado en 1979, por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN), donde se estableció la situación del recurso suelo y vegetación en lo que se refiere a la degradación progresiva, a fin de formular un prediagnóstico de la situación de la erosión de los suelos a nivel generalizado (escala 1: 500.000).

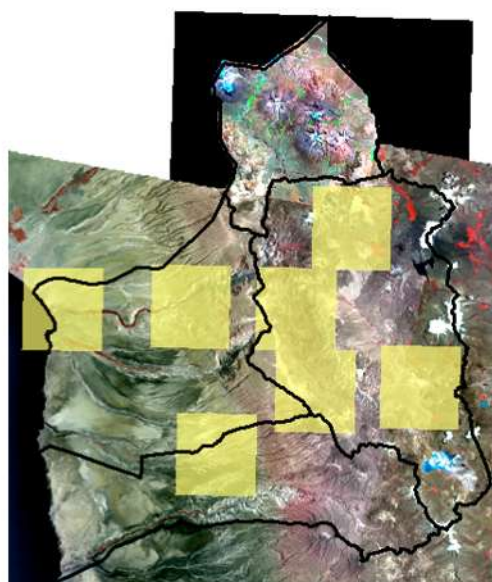


Figura 2. Estudio de la erosión con imagen Landsat 5 TM.

Durante las recientes décadas, los grandes avances en desarrollo de modelos empíricos, conceptuales y físicos (Merrit *et al.*, 2003; Saavedra, 2005) que utilizan, en la mayoría de ellos, datos obtenidos de sensores remotos, integrados en sistemas de información geográfica (SIG), permiten obtener nuevas herramientas de gestión de recursos naturales (Datta y Schack-Kirchner, 2010), beneficiando con ello a las ciencias del suelo, al cubrir amplias extensiones a menores costos (figura 2).

En este marco, el año 2004 y 2006, el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), en conjunto instituciones del Ministerio de Agricultura, a través de dos proyectos con financiamiento CORFO, elaboró mapas de erosión actual y potencial, en varias zonas de Chile central. Estos estudios ratifican la preocupante situación de los suelos agropecuarios, en cuanto a su degradación antrópica.

En el año 2007, las instituciones CIREN, CONAF, SAG, ODEPA e INDAP, todos pertenecientes al Ministerio de Agricultura de Chile, ejecutan el presente estudio, que tiene el objetivo de elaborar la cartografía de erosión potencial y actual de suelos a nivel semidetallado 1:50.000 y generalizado a escala 1:250.000 en todo el país, utilizando técnicas de geomática, teledetección y SIG.

El presente informe presenta las estadísticas y resultados finales para la Región de Arica y Parinacota, en el marco del proyecto “Determinación de la erosión actual y potencial del territorio de Chile, financiado por el INNOVA-CORFO.

ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Región de Arica y Parinacota se ubica en el extremo norte del país y limita en esa dirección con la República del Perú, al sur con la I Región de Tarapacá, al este con la República de Bolivia y al oeste con el Océano Pacífico. En esta región predomina el clima desértico, con algunas variaciones de mar a cordillera, destacando el clima desértico costero con alta nubosidad, clima desértico normal y el clima de estepa de altura. En esta región se presentan cuatro de las grandes formas básicas que estructuran el relieve chileno, que son: Farellón Costero, Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de los Andes.

Los suelos de la Región de Arica y Parinacota son conocidos principalmente como suelos de desiertos; i) Entisoles, que se localizan en los lomajes de la cordillera de la costa. Son suelos de gran variabilidad en textura, pedregosidad, profundidad, color y grado de desarrollo, marcadamente coluviales y esqueléticos-francos en todo el perfil. ii) Aridisoles, localizados principalmente en la Depresión Intermedia y el piedmont, son suelos poco evolucionados, derivados de sedimentos gruesos, diferenciándose según se ubiquen en las pampas no salinas donde en algunos casos es posible encontrar con horizontes cámbico, cálcico y petrocálcico. La pampa presenta zonas con altas concentraciones salinas. En los valles los suelos son de origen aluvial, de texturas gruesas y con diferentes grados de salinización y sodificación. iii) Histosoles, suelos derivados de materiales vegetales o minerales, predominan en el Altiplano a 3.000 m. de altura, conocidos como bofedales (Universidad de Chile, 2008).

La XV Región tiene una marcada segregación en función de la altitud y, por consiguiente, del clima (disminución de la aridez y aumento de las bajas temperaturas). Ello permite observar una sucesión regular de pisos de vegetación nítidamente ligadas a una franja altitudinal y a la macroexpresión correspondiente (CORFO, 1982). En la costa, debido a la influencia oceánica, predominan las hierbas y los pastos de carácter efímero que crecen en los periodos de mayor humedad. En la pampa intermedia del desierto no existe presencia de vegetación debido a la ausencia total de lluvias, a excepción de pequeñas áreas con influencia litoral donde se observa algunas cactáceas (BCN, 2010). Únicamente las zonas con un grado de artificialización alto hacen excepción a esta regla como el caso de la Pampa del Tamarugal y de los valles transversales cultivados (CORFO, 1982). La zona altiplánica, presenta un tapiz vegetal denso con plantas pequeñas, las cuales en conjunción con un ambiente salino, provocan condiciones ecosistémicas frágiles y muy singulares (BCN, 2010).

El uso del suelo es mayoritariamente está compuesto por praderas y matorrales y áreas desprovistas de vegetación (cuadro 1).

Cuadro 1. Superficie regional por tipo de uso del suelo (hectáreas y porcentaje), XV Región.

USO	Superficie	
	(ha)	%
Áreas urbanas e industriales	8.925,1	0,15
Terrenos agrícolas	29.341,2	0,49
Praderas y matorrales	1.877.313,4	31,46
Bosques	34.274,9	0,57
Humedales	46.096,2	0,77
Áreas desprovistas de vegetación	3.952.255,9	66,24
Nieves y glaciares	5.474,9	0,09
Aguas continentales	3.712,6	0,06
Áreas no reconocidas*	9.381,5	0,16
TOTAL	5.966.775,7	100,00

* Cifras hacen referencia a Región de Tarapacá, previa creación de Región de Arica y Parinacota.

Fuente: PROYECTO CONAF-CONAMA-BIRF. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. 1999.

En la Región de Arica-Parinacota el grado de desertificación es grave (76,7 %). Sin embargo, esta cifra se funda en apreciaciones de expertos y gran parte de la desertificación es causada principalmente por lo que se denomina “desertificación geológica”. El estudio de erosión de 1979 (cuadro 2 y figura 3) revela que existe una superficie de 2,54 millones de hectáreas en cualquier grado de erosión, que correspondiente al 43% de la superficie entre la región XV y I. Sin embargo, el área de extrema fragilidad alcanza los 1,17 millones de hectáreas, que corresponde al 46% del área de estudio (recuerde que estas cifras considera la superficie de Región de Tarapacá).

Cuadro 2. Superficie afectada por erosión en Chile en distintos grados (hectáreas), estudio “Fragilidad de los ecosistemas de Chile”, 1979.

REGIONES	Hectáreas	NIVEL DE EROSION				TOTAL
		0	1	2	3	
XV - I	(mill.)	0.04	1.03	1.12	0.36	2.54
	%	1.5	40.5	44	14	
TOTAL	(mill.)	2.38	9.13	15.57	7.41	34.49
	%	6.9	26.5	45.1	21.5	

Niveles de erosión: 0 muy grave; 1 grave; 2 moderada; 3 leve.

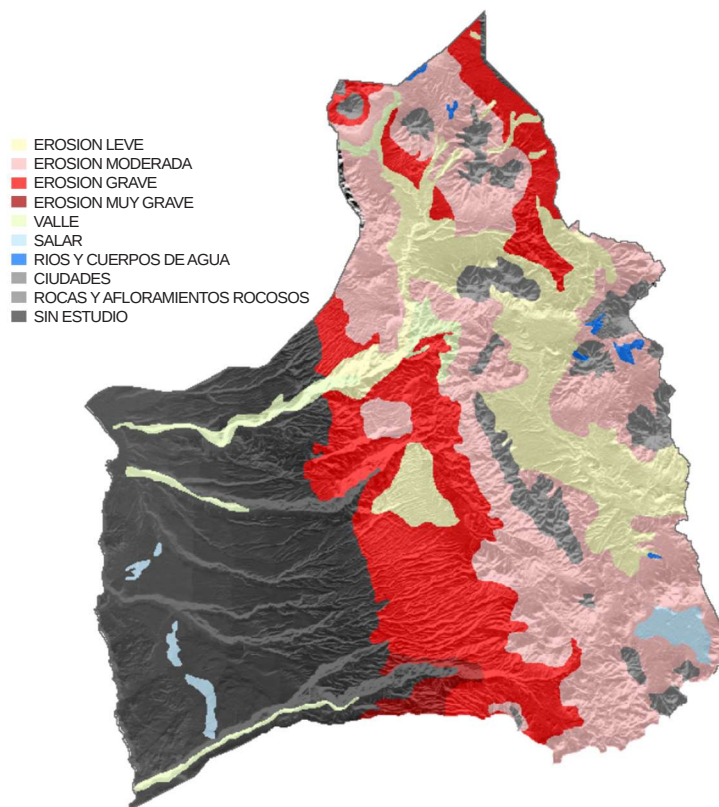


Figura 3. Mapa de nivel de erosión para la Región de Arica y Parinacota, IREN-1979.

METODOLOGÍA

El área de estudio para la determinación de la erosión actual y potencial corresponde al territorio continental chileno, aproximadamente 75 millones de hectáreas. El estudio se desarrolló en dos fases: i) la determinación de la erosión actual, y ii) la estimación de la erosión potencial (fragilidad del suelo). La cartografía de erosión actual se entregó en el Datum Provisional Sudamericano de 1956 (PSAD56). Para la cartografía de riesgo de erosión potencial y actual, la información contenida en las bases de datos geográficas del modelo digital de elevación global, generado por el sensor aster de Japón (ASTERGDEM) y de cada cobertura usada (clima, suelo y vegetación) en el modelo de erosión fue rasterizada (30 x 30 m) y proyectada en coordenadas UTM y datum WGS 84 huso 19S.

Modelo de erosión actual

En el primer caso la base metodológica consistió el análisis interpretativo visual de imágenes satelitales Landsat TM 5, datos de estudios agrológicos, curvas de nivel, e índices espectrales confrontadas con las observaciones tomadas en las campañas de terreno en todas las regiones de Chile. Tales capas de información se integraron mediante SIG, complementada con técnicas de Geomática (figura 4).

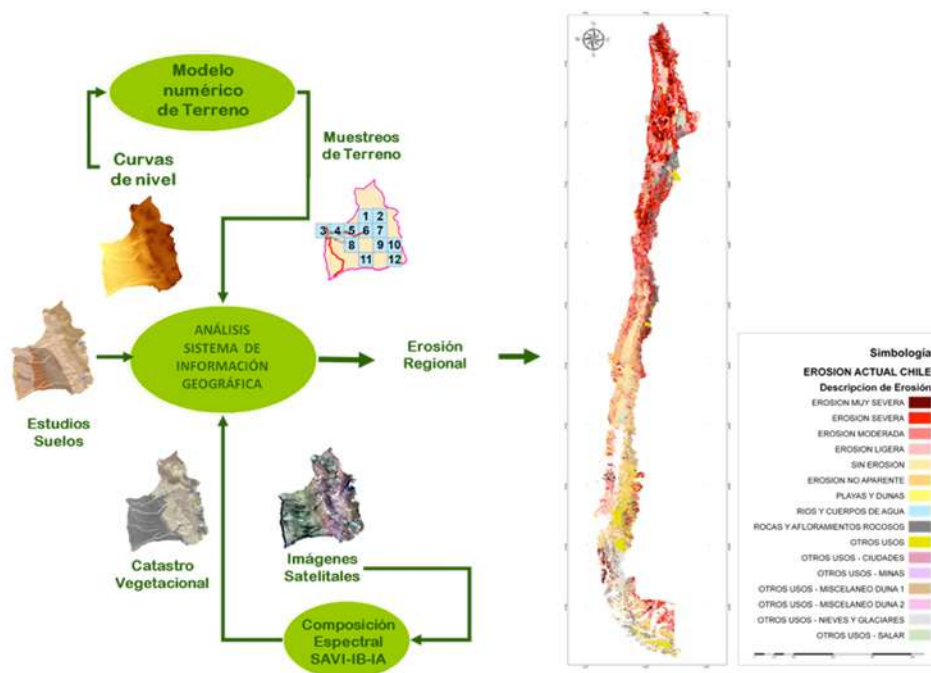


Figura 4. Diagrama metodológico del modelo de erosión actual.

Para la clasificación de erosión de suelos se unificaron criterios de acuerdo a los estudios agroecológicos y los boletines técnicos de CONAF y el SAG, estableciendo un criterio con seis categorías: nula o sin erosión, ligera, moderada, severa, muy severa y erosión no aparente.

La **erosión nula o sin erosión** se define como una superficie de suelo no presenta alteraciones o signos de pérdidas de suelo o se encuentra protegido de las fuerzas erosivas, como la lluvia, viento o gravedad, por algún tipo de cubierta vegetal, corresponde en términos generales a suelos planiformes o depositacionales (fotografía 1).



Fotografía 1. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión nula o sin erosión.

La **erosión ligera** corresponde a un suelo ligeramente inclinado u ondulado o con cobertura de vegetación nativa semidensa (mayor a 50% y menor a 75), que se encuentra levemente alterado el espesor y carácter del horizonte. En la mayor parte de los casos el manejo de estos suelos no es diferente a los suelos no erosionados (fotografía 2).



Fotografía 2. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión ligera.

La **erosión moderada** se define como un suelo que tiene clara presencia del subsuelo en al menos el 30% de la superficie de la unidad en estudio (Unidad cartográfica homogénea, UCH). Existe presencia de pedestales o pavimentos de erosión en al menos el 30% de la superficie. El suelo original se ha perdido entre 40 a 60%. Existe presencia ocasional de surcos o canalículos (fotografía 3).



Fotografía 3. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión moderada.

La **erosión severa** corresponde a un suelo que presenta ocasionalmente surcos y cárcavas. La unidad presenta entre un 30 a 60% de la superficie con el subsuelo visible, con pedestales o pavimentos. La pérdida de suelo es del orden del 60 a 80%. Hay presencia de zanjas con un distanciamiento medio de 10 a 20 metros (fotografía 4).



Fotografía 4. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión severa.

La **erosión muy severa** corresponde a unidades de suelo no apropiadas para cultivos por cuanto se ha destruido el suelo en más de un 60% de la superficie. El subsuelo se presenta a la vista y el material de origen en más de un 60% de la superficie. Existe una presencia de pedestales o pavimento en más del 60% de la superficie. Existe una pérdida del suelo superior al 80% del suelo original. Presencia de cárcavas con distanciamiento medio entre 5 a 10 metros (fotografía 5).

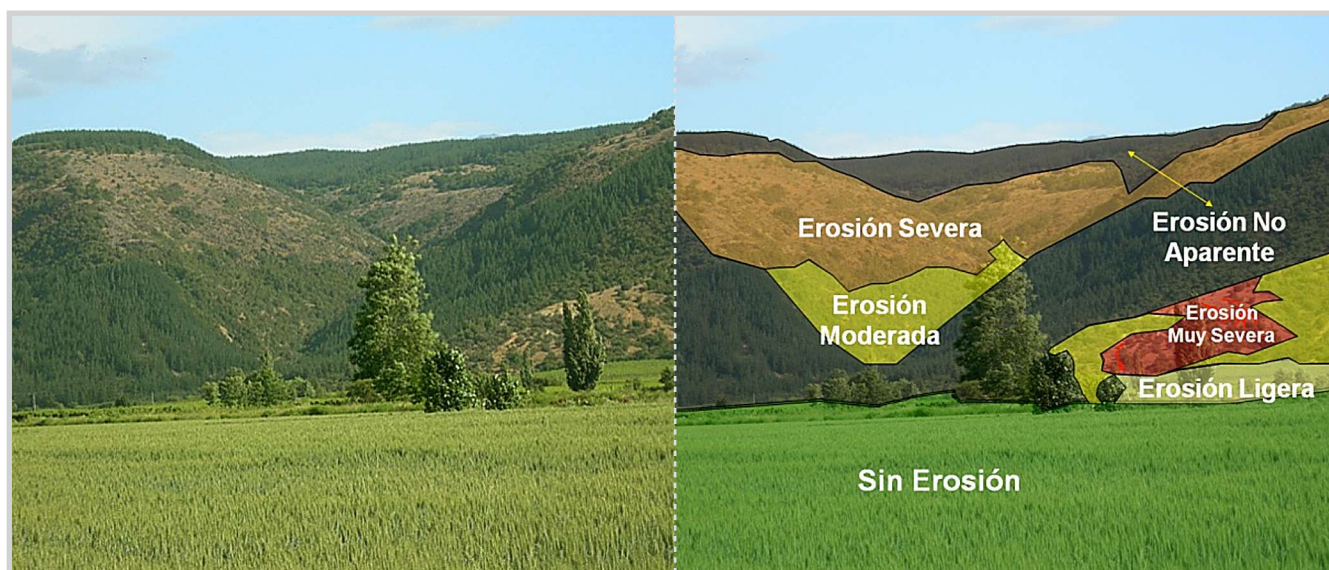


Fotografía 5. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión muy severa.

La **erosión no aparente** corresponde a sectores que se encuentran protegido por algún tipo de cubierta vegetal de densidad mayor a 75% o su uso está sujeto a buenas prácticas de manejo (fotografía 6).



Fotografía 6. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión no aparente.



Fotografía 7. Clasificación de erosión actual, sector Santa Laura, VII Región del Maule

Adicionalmente, se considera las siguientes categorías;

MD/1 o **Dunas interiores o continentales**, corresponde a terrenos arenosos, de topografía ondulada, que han sido estabilizados o mantienen una cubierta herbácea pobre. No tienen contacto con playas marítimas y están casi siempre ubicadas al interior del territorio. Frecuentemente presentan algún tipo de vegetación, aunque no puede hablarse de utilización agrícola o ganadera. En aquellos casos en que se observó algún uso agrícola o ganadero no se levantó como duna (fotografía 8).



Fotografía 8. Clasificación de erosión de suelo, caso dunas interiores o continentales.

MD/2 o **Dunas litorales**, corresponde a terrenos litorales, constituidos por arenas sueltas de tipo andesítico-basáltico, sin vegetación y de topografía ondulada (fotografía 9).



Fotografía 9. Clasificación de erosión de suelo, caso dunas litorales.

Las observaciones de terreno para la calibración de las clases de erosión se tomaron en base a un muestreo descriptivo de suelos y vegetación que cubrió la totalidad de las áreas de estudio. Las áreas de muestreo se determinaron a nivel regional, en función de la diversidad de patrones espectrales, siendo posible seleccionar 12 áreas de interés. Los sitios muestreados para erosión se posicionaron espacialmente mediante tecnología GPS. La campaña de terreno de recopilación de información tuvo como propósito entregar una descripción general de la región, el punto coordinado (UTM) con la categoría de erosión, la fotografía de terreno del lugar y las fichas de terreno que contienen una base de datos con la información levantada en terreno.

A partir de los datos obtenidos en terreno para cada unidad de muestreo, se elaboró la cobertura de erosión actual, utilizando la técnica de extrapolación, que consistió en asignar la información proveniente de las unidades cartográficas homogéneas de terreno a aquellas que no fueron muestreadas, utilizando patrones visuales de la imagen satelital (color, textura y contexto), características de la topografía, posición de la ladera, exposición y pendientes según categorías previamente establecidas, descripción de suelo, uso actual y vegetación nativa, hidrología, entre otros.

La metodología incluyó la incorporación de índices espectrales derivados de data satelital, para la determinación de la erosión actual. Para el análisis de los suelos existen una serie de indicadores espectrales, que tienen como finalidad el realzar los distintos tipos de suelos, composición y estado actual. Tales índices constituyen una capa de discriminación de las unidades de suelo. Se generaron los índices espectrales de brillo (IB), índice de arcilla (IA), índice de rojo

(IR), índice de vegetación ajustada al suelo (SAVI) invertido a partir de las imágenes Landsat TM 5 disponibles. En el caso del índice SAVI, ha sido construido con sus valores inversos, de manera que todos los índices espectrales queden en una relación directa con los porcentajes de suelos desnudos. Se realizó una composición SAVI invertido – IB – IR en los canales 1, 2 y 3 para ser visualizados en RGB. La figura 5 despliega la composición 2, 1, 3 (RGB, Figura 5a) y como referencia la composición 4, 3 y 2 (RGB, Figura 5b), para visualizar las unidades erosionadas en distintas intensidades de color amarillo, correspondiendo a los colores amarillos más intensos, los suelos con erosión severa y muy severa. Los colores cian, verdes, azules corresponden a suelos sin erosión o erosión no aparente, situación que se relaciona con suelos planos a ligeramente ondulados con coberturas de vegetación sobre el 50%.

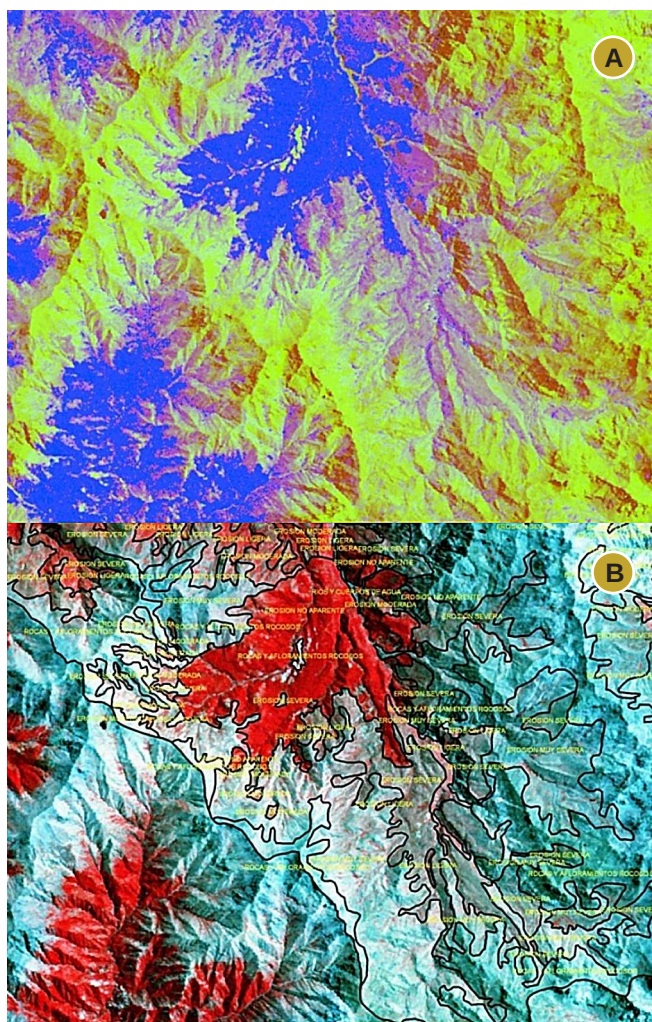


Figura 5. (a) Índice de erosión, composición falso color 2,1,3 para análisis visual de erosión actual.

(b) Imagen Landsat TM, composición 4,3,2, correspondiente a la zona andina de la VI Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins.

Finalmente, la información cartográfica y temática fue validada con equipos de profesionales de CIREN, visitando cada una de las áreas definidas en las cartas muestrales de terreno (figura 6).



Modelo de riesgo de erosión potencial y actual

Para estimar la erosión potencial de los suelos de Chile se utilizó un modelo empírico cualitativo (IREPOT), basado en la conceptualización de la erosión potencial descrita por Wischmeier y Smith (1978), el cual integra las características intrínsecas del suelo, topográficas, climáticas y biológicas (riesgo de erosión actual), que se relacionan en dos componentes principales, erodabilidad del suelo y erosividad de la lluvia (figura 7). El modelo se basó en el supuesto que la potencialidad de erosión es independiente del uso y manejo actual del suelo. En otras palabras, las pérdidas, arrastre o transporte de partículas del suelo son las que tendrían lugar en caso de no existir vegetación alguna, esas pérdidas son las máximas o potenciales. Las variables básicas, así como los índices generados a partir de su combinación fueron discretizados y clasificados en función de su efecto sobre la erosión potencial en cuatro rangos: bajo(1), medio(2), alto(3) y muy alto(4).

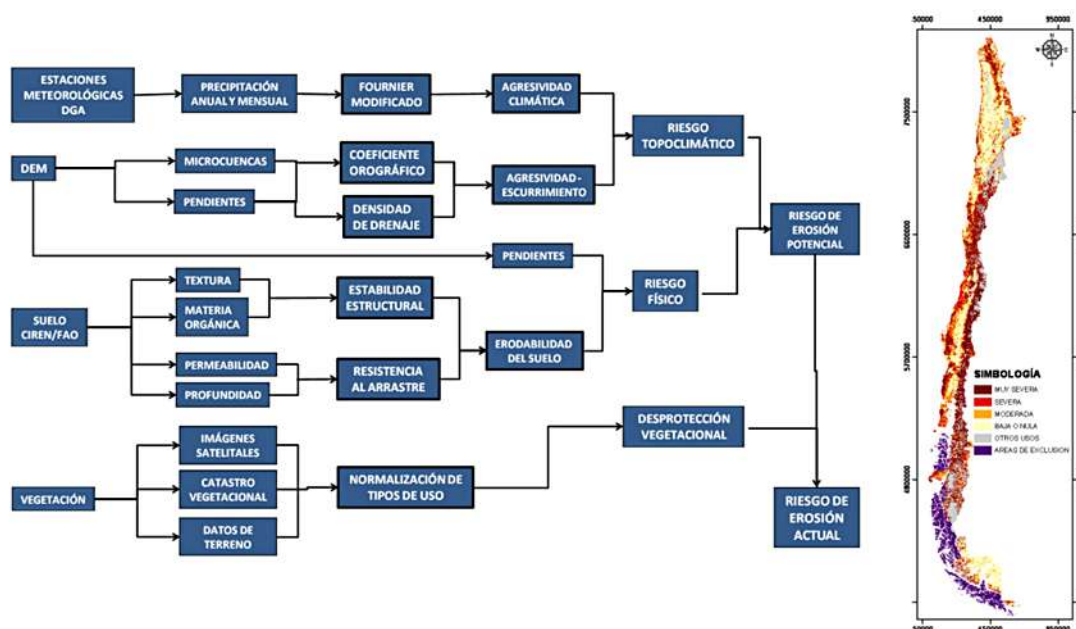


Figura 7. Diagrama metodológico del modelo de riesgo de erosión potencial y actual.

Las variables de suelo clase textural, materia orgánica, permeabilidad y profundidad, definen la erodabilidad intrínseca del suelo. En el modelo resultó de la combinación entre la estabilidad estructural (clase textural con materia orgánica) y la resistencia al arrastre superficial. Esta última variable resulta de la combinación de permeabilidad y profundidad del suelo, la cuales afectan la velocidad de infiltración, capacidad de almacenaje de agua y por consiguiente la escorrentía superficial. La escala de la fuente de información utilizada para caracterización de erodabilidad fue los estudios agrológicos de suelo de CIREN, escala 1:20.000 a 1:100.000 y la base de datos de suelos SOTERLAC de FAO, escala 1:5.000.000 (utilizada en zonas sin estudios de suelos). La erodabilidad del suelo al combinarse con el porcentaje de pendiente modifican la potencialidad del suelo a sufrir erosión, así un suelo inclinado es más susceptible a erosión respecto a un suelo plano de igual erodabilidad. Esta combinación entre erodabilidad y porcentaje de pendiente se definió como riesgo físico.



Las variables topográficas altitud y pendiente media de las microcuencas definieron el coeficiente orográfico, el cual al combinarse con la densidad de drenaje de las microcuencas determinan el riesgo de agresividad escurrimiento. Se utilizó el modelo de elevación digital obtenido del modelo digital de elevación global, generado por el sensor aster de Japón, llamado oficialmente ASTER global digital elevation model V001 (ASTGTM), disponible en formato raster y cuya resolución es de 30m x 30m por pixel.

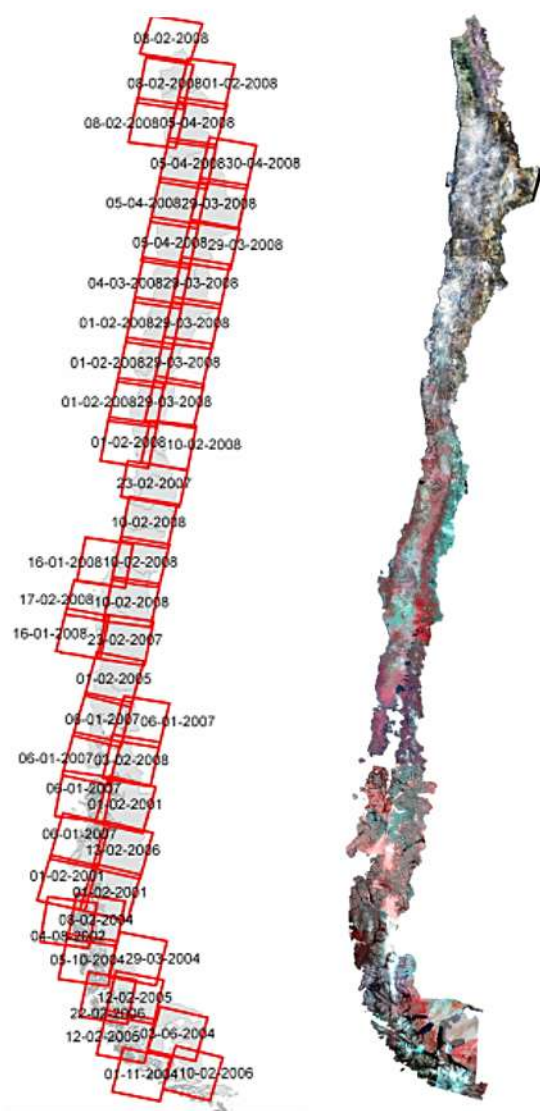
La agresividad climática es un índice que da cuenta de la erosividad de la lluvia, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación. La construcción de este índice se basó en la espacialización de registros pluviométricos proporcionados por 459 estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas de Chile. En cada cuenca representativa de grandes unidades fisiográficas se seleccionaron estaciones denominadas “patrones”. Para cada unidad se usaron alrededor de seis estaciones patrones, las cuales fueron elegidas por calidad, cantidad de datos disponibles y fiabilidad de los registros. La completación de los datos faltantes en las estaciones patrón se estimó a través de regresión lineal STATGRAPHICS desde una estación vecina, y para la completación y corrección de datos de cada estación pluviométrica con respecto a su estación patrón se utilizó el software Hidrobas. Luego de analizar la representatividad de la agresividad de las lluvias en relación a la distribución espacial de varios índices en el territorio nacional (Índice de Fournier, Índice de Fournier Modificado e Índice de Concentración de las Precipitaciones), se decidió utilizar al Índice de Fournier Modificado como el mejor indicador de la agresividad climática. La espacialización de los datos pluviométricos se llevó a cabo mediante interpolación geoestadística por co-kriging, como función del IFM, altitud y precipitación anual. Este índice, combinado con el índice de agresividad escurrimiento proporciona el índice de riesgo topoclimático.

Finalmente, el índice de riesgo físico relacionado con el riesgo topoclimático define lo que en el modelo se definió como el riesgo de erosión potencial. El riesgo de erosión potencial refleja la capacidad que tiene el suelo, el clima y la topografía del sitio de ser erosionado, refleja la fragilidad del suelo independiente a la vegetación y a las prácticas de manejo.

El riesgo de erosión potencial al correlacionarlo con el índice de desprotección actual del suelo (derivado de la cobertura vegetal a partir de imágenes satelitales y uso de la tierra) definen el riesgo de erosión actual. Este índice se puede utilizar como un estimador de la erosión actual del suelo en aquellas áreas clasificadas como “erosión no aparente” en el modelo satelital de erosión actual. Este índice refleja la potencialidad que tiene el suelo a ser erosionado si se mantienen las condiciones actuales de vegetación. Dado que a la escala de presentación de los resultados es difícil observar las prácticas de manejo específicas de un suelo, este factor relevante a escala predial, no se incluyó directamente en el modelo de determinación de erosión potencial y de riesgo de erosión actual.

LÍNEA BASE DE INFORMACIÓN BIOGEOFÍSICA

La línea base del proyecto se construyó a partir de la compilación de la información existente (figura 8), tanto en formato digital como en papel, para las diferentes zonas de estudio. Se recopilaron las capas de información de forma de ajustar, corregir, o reproyectar dichos coberturas y proceder al calce de todos los elementos temáticos y cartográficos que se encontraron disponibles.



Imágenes Landsat 5 TM de 30 metros de resolución.
Curvas de nivel del Instituto Geográfico Militar, IGM.
Hidrografía (ríos, cuerpos de agua, esteros, quebradas, etc.).

Geomorfología (Información base CIREN).

Hidrología (Información base IGM).

Caminos (Información base IGM).

Límites administrativos (Información base IGM)

Estudios agrológicos de CIREN.

Datos pluviométricos de la Dirección General de Aguas, DGA-Chile (periodo 1950 - 2008).

Catastro de la vegetación nativa de Chile de CONAF y sus actualizaciones.

Modelo de elevación digital ASTER-GDEM.

Estudios de suelos regionales disponibles.

Mapas digitalizados desde el Centro de documentación CIREN, contienen indicadores de erosión y fragilidad e información de suelos a nivel de fases de series. Cartografía de erosión, IREN 1979.

Reconocimiento generalizado de suelos (1: 500.000). Se utilizó como material de apoyo referencial y no como capa de información digitalizada.

Reconocimiento de suelos y uso actual de agricultura localizada (1:20.000), incluye al Valle de Lluta, Valle de Azapa, Valle de Camarones.

Análisis de los ecosistemas de la I Región de Chile de la Universidad de Chile.

Génesis y propiedades de algunos suelos del altiplano de Chile realizado por Luzio, W., Norambuena, P., Casanova, M., Vera, W.

Figura 8. Línea base de información -
Imágenes satelitales Landsat TM 5.



EQUIPO DE TRABAJO

El equipo técnico que participó en el desarrollo del proyecto fue el siguiente:

Director de Proyecto: Juan Pablo Flores Villanelo, Ing.For. DEA.

Director Alterno: Marión Espinosa Toro, Ing.Agr. MSc.

Asesor Temático: Eduardo Martinez Herrera, Ing.For. Dr.

Asesor Satelital: Pedro Muñoz Aguayo. Geog.

Desarrollo y Apoyo Terreno

Pablo Avendaño Vercellino, Ing.Agr.

Patricio Torres Fuentes, Ing.Agr.

Gabriel Henríquez Armijo, Ing.Agr. MSc

Isaac Ahumada Fonseca, Ing.For. MBA(c)

Rodolfo Freres González, Ing. Agr.

Catalina Hernández Silva, Ing. Agr.

Carolina Leiva Madrid, Ing.Agr.

Claudia Sanguesa Pool, Ing.For. MSc.

Marcelo Retamal Gajardo, Cart.

Balfredo Toledo Hernández, Cart.

Luz María Marín Arce, Cart.

Gabriel Ortiz Flores, Cart.

Claudia González Bustamante, Ing.Amb. MSc.

Coordinadores de Proyecto

Mario Lagos Subiabre, Servicio Agrícola Ganadero - SAG

Sergio Maldonado Solis, Servicio Agrícola Ganadero - SAG

David Aracena Lassarre, Instituto de Desarrollo Agropecuario - INDAP

Patricio Grez Marchant, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - ODEPA

José Ramírez Cabello, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – ODEPA

Roberto Lisboa Valle, Corporación Nacional Forestal - CONAF

RESULTADOS Y ESTADÍSTICAS DE LA REGIÓN

Se presentan los resultados de erosión actual, y las coberturas de información utilizadas (figuras 9 y 10).

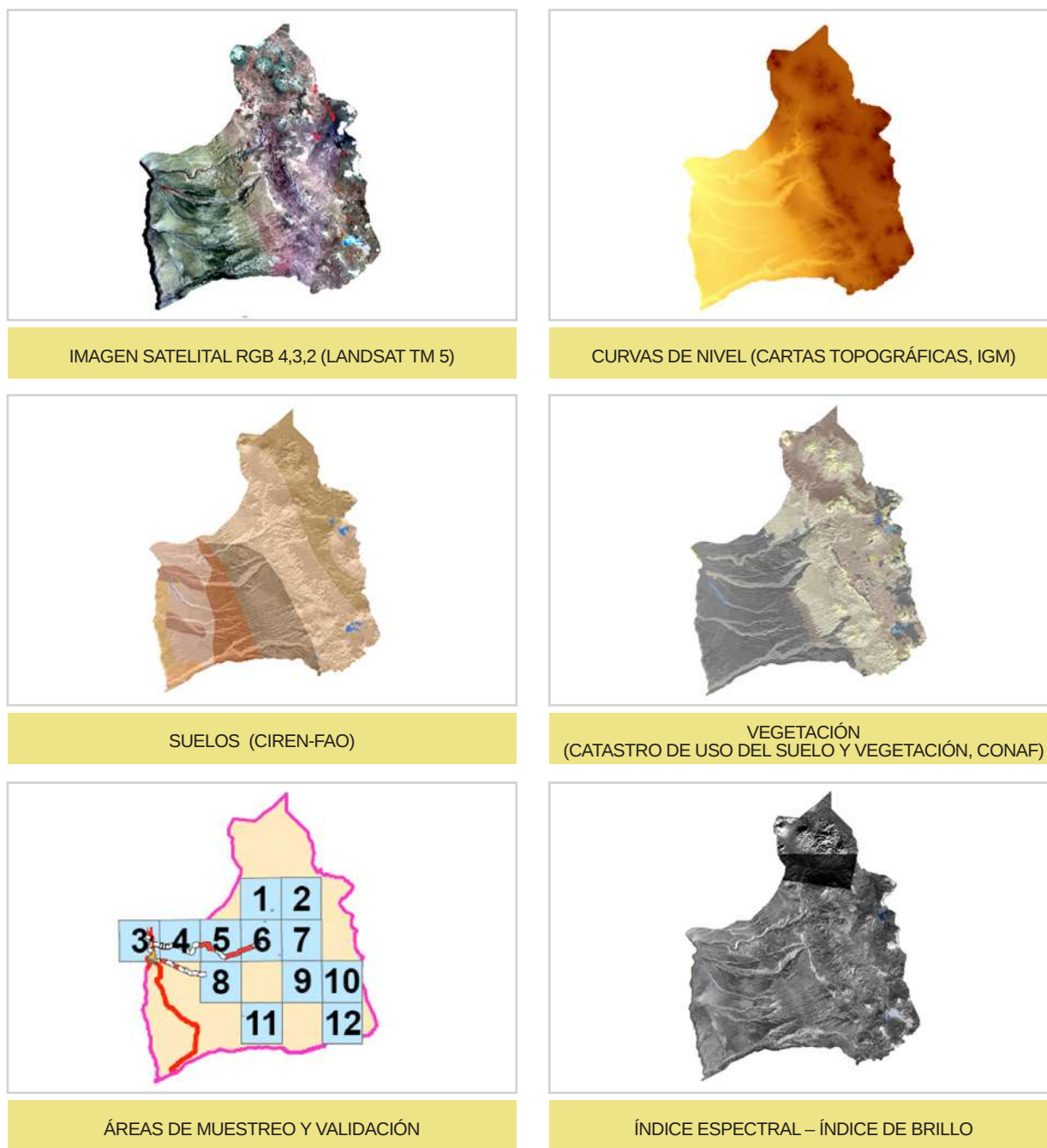


Figura 9. Cobertura de información biogeofísica para la determinación de la erosión actual en la Región de Arica y Parinacota - modelo de erosión actual.

CARTOGRAFÍA EROSIÓN ACTUAL

XV REGION DE ARICA Y PARINACOTA

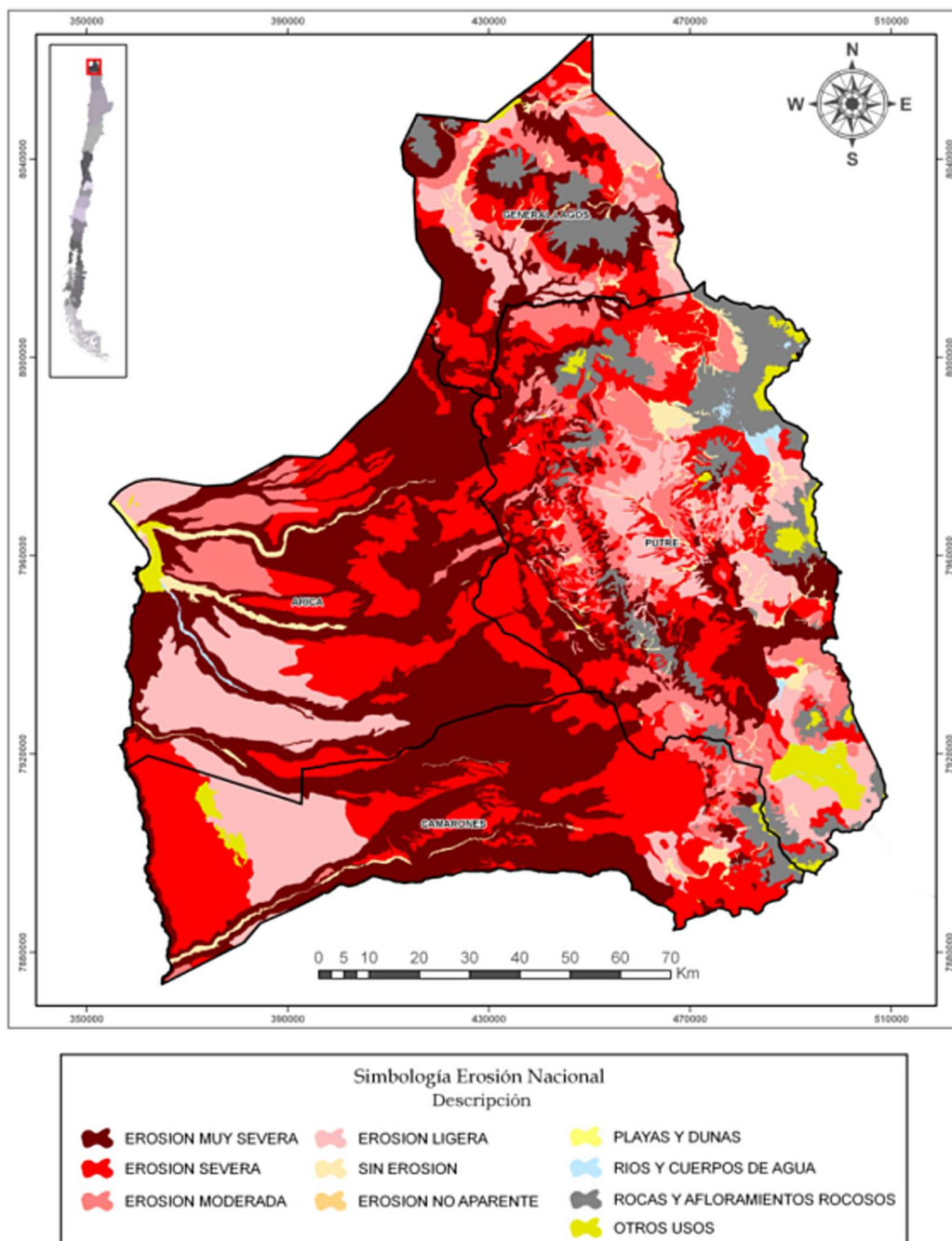


Figura 10. Mapa de erosión actual para la XV Región de Arica y Parinacota.

Las estadísticas regionales de la erosión actual se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Superficie de erosión actual en la Región de Arica y Parinacota (por comunas).

	SIN	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN	OTRAS	SUELOS	Total
Región/Provincia/Comuna	EROSIÓN	LIGERA	MODERADA	SEVERA	MUY SEVERA	NO APARENTE	CATEGORIAS	EROSIONADOS	general
ARICA Y PARINACOTA	50.204	255.732	171.562	468.745	583.595		155.706	1.479.635	1.685.546
ARICA	19.356	132.947	42.713	259.277	398.397		19.452	833.334	872.142
ARICA	12.205	80.644	30.143	110.510	242.480		5.432	463.777	481.415
CAMARONES	7.151	52.302	12.570	148.767	155.917		14.020	369.556	390.727
PARINACOTA	30.848	122.786	128.849	209.468	185.198		136.255	646.301	813.404
GENERAL LAGOS	10.412	40.459	28.352	47.341	73.354		25.018	189.506	224.936
PUTRE	20.436	82.326	100.498	162.127	111.844		111.237	456.795	588.469

* Suelo erosionado comprende las clases ligera, moderada, severa y muy severa. Sensor remoto no registra información en zonas con cobertura vegetal sobre el 75% (erosión no aparente).

Las categorías de erosión expresadas en términos de superficie, indudablemente varían su significancia o proporción relativa de acuerdo al tamaño de cada región. La superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de la XV Región es de 1,48 millones de hectáreas, lo que representa el 87% de la superficie regional (figura 11). Sin embargo, gran parte de esta superficie, en especial hacia la Cordillera de los Andes, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión natural (agua, hielo, viento), sin mayor intervención del ser humano.

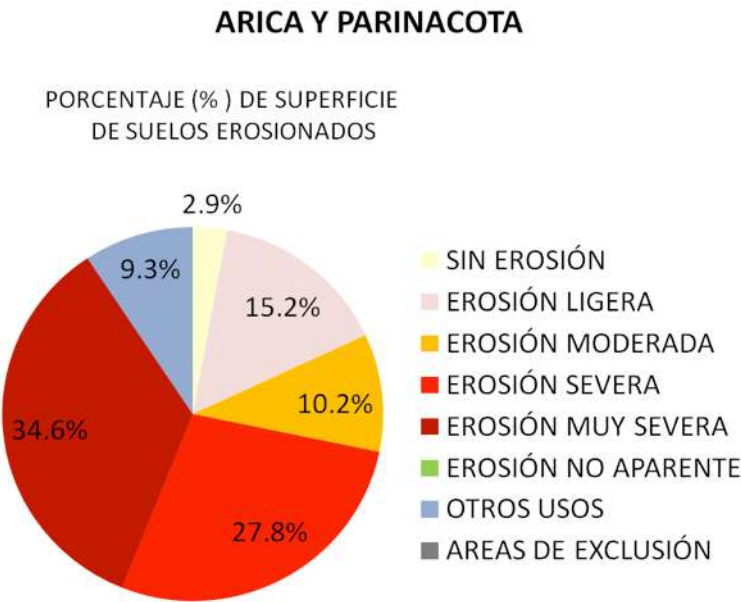


Figura 11. Porcentaje regional (%) de superficie de suelos erosionados.

A nivel nacional, se pudo observar que la mayor cantidad de suelos erosionados aumentan de sur a norte. Una superficie de 36,8 millones de hectáreas, equivalentes al 49,1% del territorio nacional presenta algún grado de erosión. Los sectores con mayores problemas de erosión actual lo lideran las regiones de Coquimbo, con el 84%; Valparaíso, con 57%, y O'Higgins con el 52% de sus suelos.

En cuanto al riesgo de erosión potencial determinado a partir de un modelo empírico y cualitativo integró las características intrínsecas del suelo, topográficas, climáticas y biológicas. Se describen los índices de resultados intermedios: Índice de agresividad - escurrimiento, Índice de erodabilidad del suelo, Índice de agresividad climática e Índice de desprotección vegetal. Posteriormente, se describen los siguientes índices producto de la combinación de los índices anteriores: índice de riesgo topoclimático, índice de riesgo físico, índice de riesgo de erosión potencial e índice de riesgo de erosión actual.

Índice de agresividad - escurrimiento.

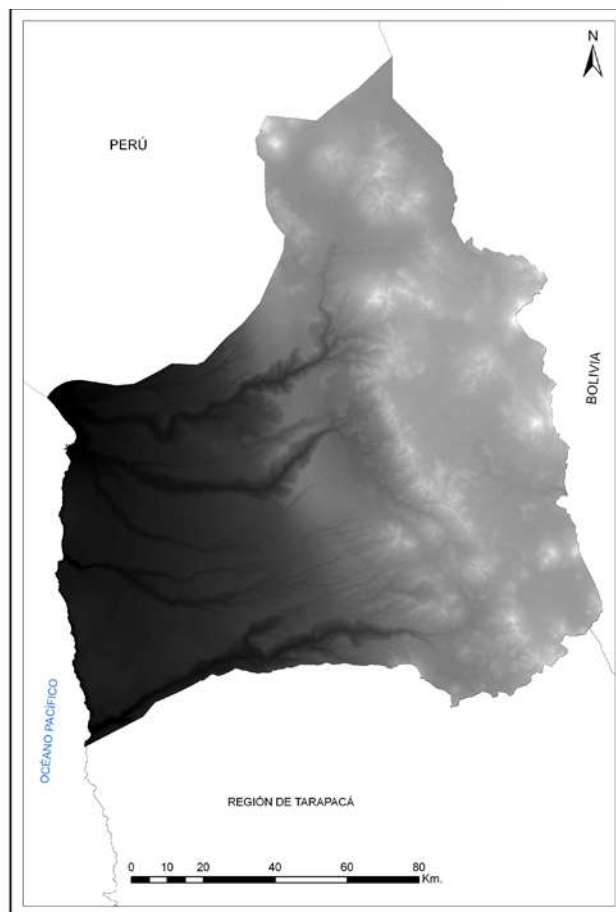
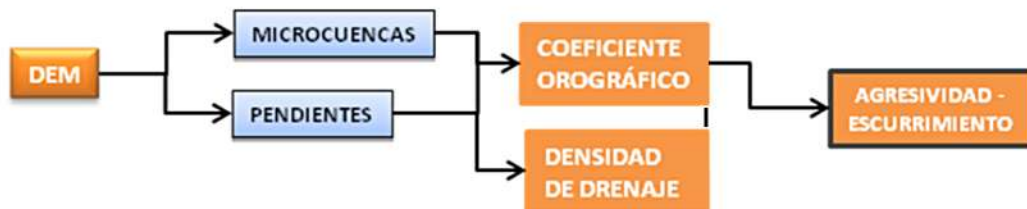


Figura 12. Modelo Global de elevación digital ASTER-GDEM.

La obtención de este índice se basó en la información proporcionada por el Modelo Digital de Elevación (DEM) generado por el sensor Aster de Japón (ASTER Digital Elevation Model V001) que está disponible en formato raster, con una resolución 30 x 30m por pixel, en coordenadas geográficas Lat/Long y Datum WGS84, Huso 19 Promedio. El DEM correspondiente a la superficie ocupada por Chile fue ajustado a los límites continentales del país. La figura 12 muestra el modelo de elevación digital regional.

Cartografía de cuencas.

Se delimitó las cuencas hidrográficas y se determinaron parámetros geomorfológicos mediante el uso del modelo de elevación digital ASTER-GDEM y la modelación raster de TNTmips, considerando la integridad del flujo de grandes cuencas hidrográficas (figura 13).

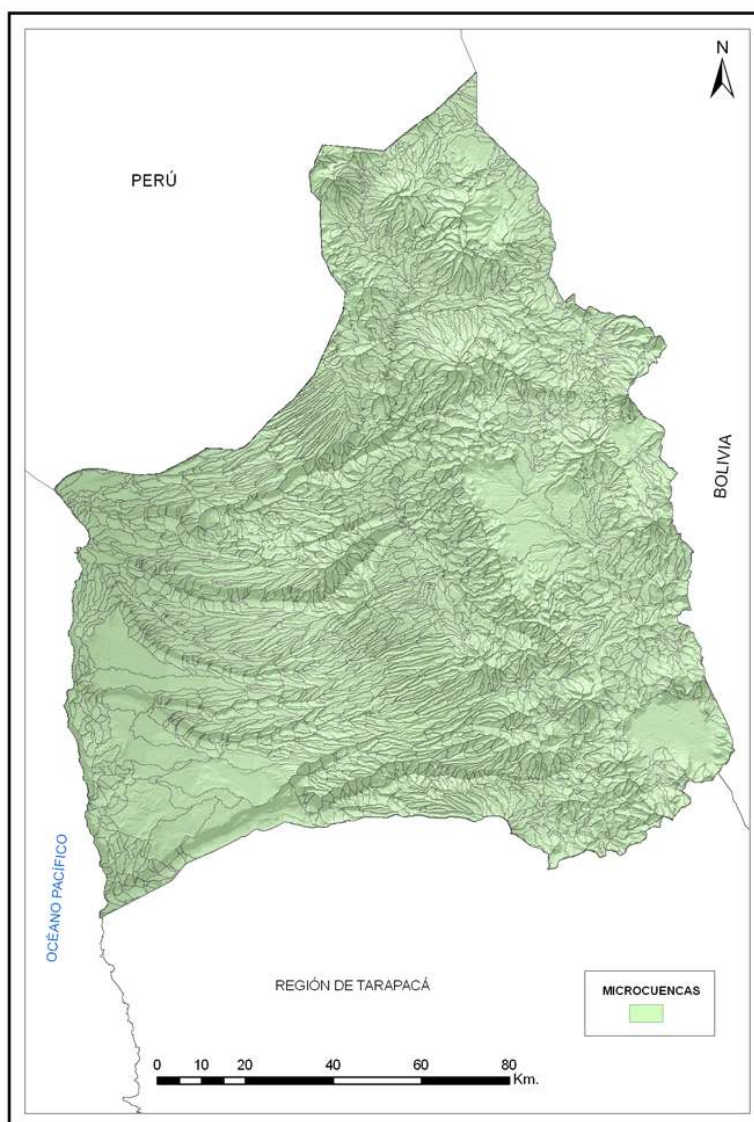


Figura 13. Microcuencas para la XV Región de Arica y Parinacota.

Coefficiente orográfico.

Constituye un indicador de la topografía de la ladera considerando en forma conjunta la pendiente y la altura media. Un indicador clasificado en un valor mayor a 6 indicaría presencia de relieve accidentado, es decir, mayor riesgo de erosión (figura 14).

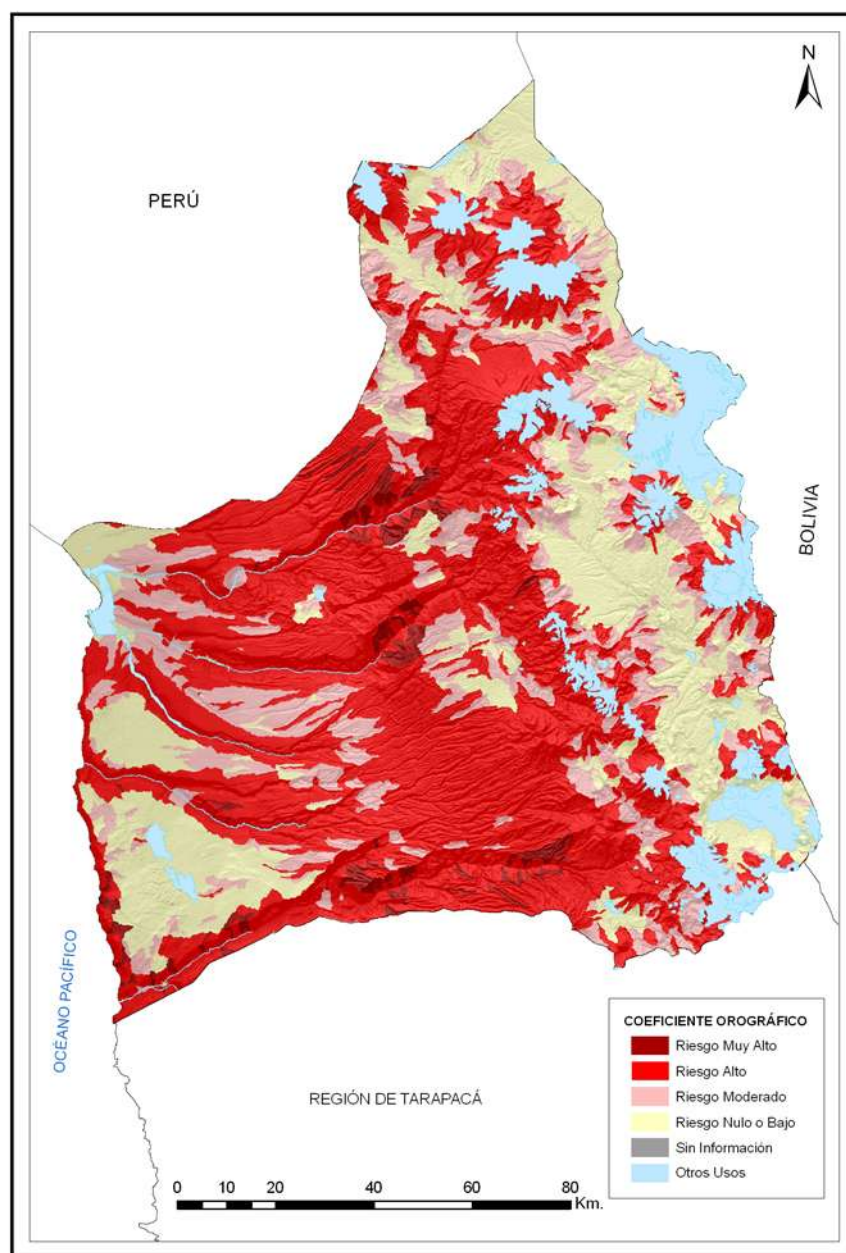


Figura 14. Índice de coeficiente orográfico.

Cartografía de pendientes.

Representa el grado de inclinación del paisaje. Mayores pendientes del terreno provocan mayores riesgos de erosión de los suelos (figura 15).

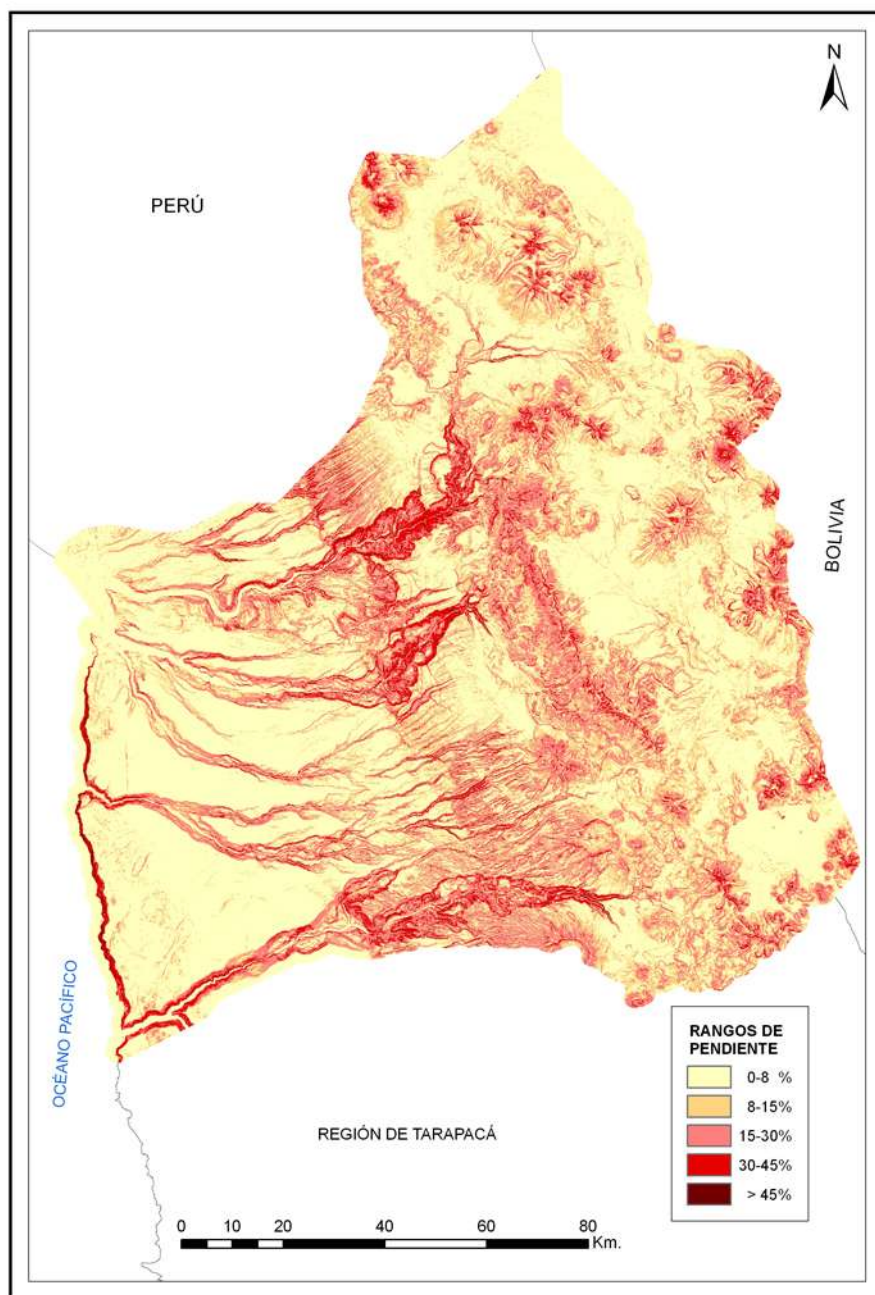


Figura 15. Índice de riesgo por pendientes.

Densidad de drenes.

Definida como el cociente entre el largo (m) de los drenes de una cuenca y la superficie (m²) de la cuenca. Da cuenta del riesgo correspondiente a la incisión natural que la ladera contiene. A suelos con rocas blandas, le corresponde un potencial mayor de escorrentía superficial y una mayor densidad de drenes naturales, por consiguiente, un mayor potencial de riesgo erosivo (figura 16).

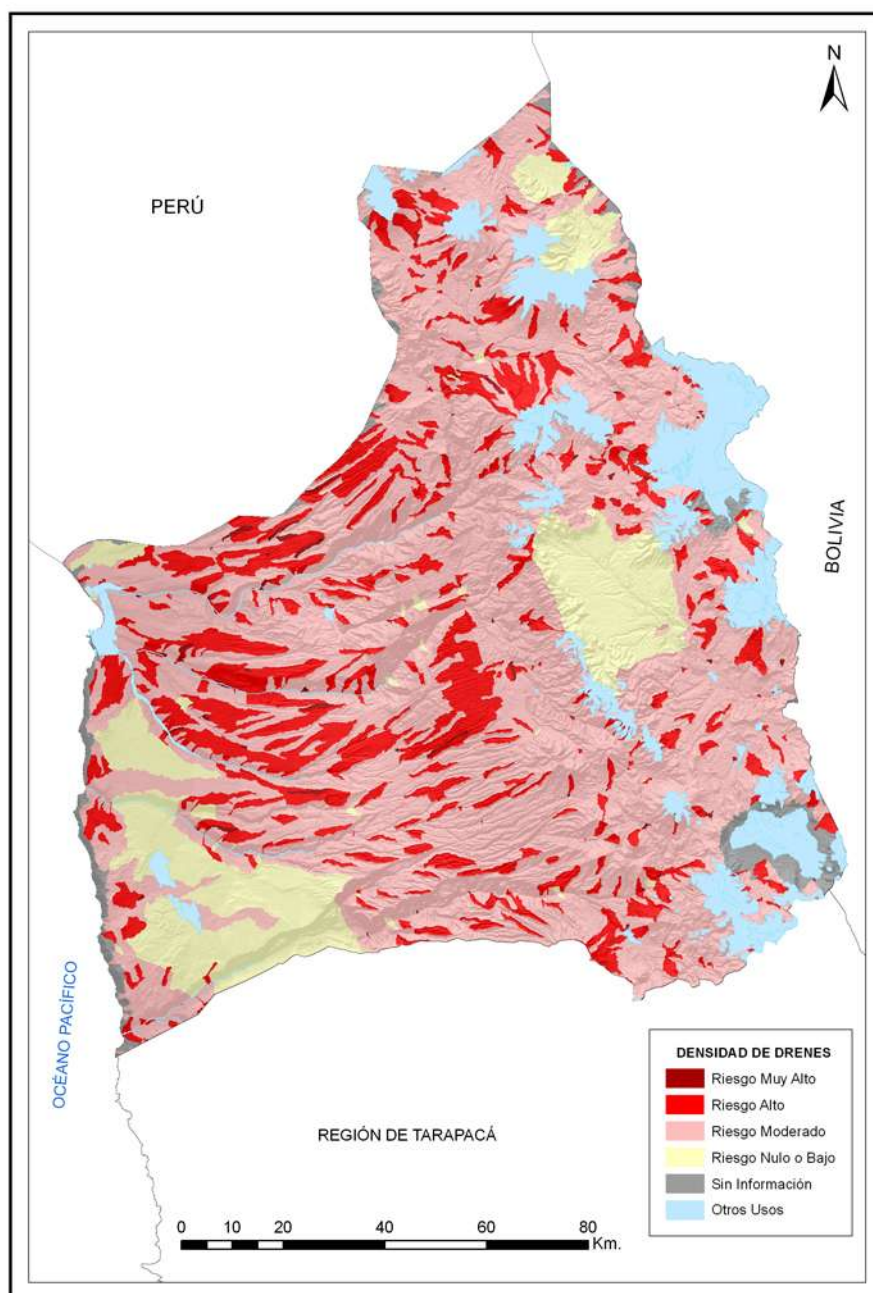


Figura 16. Índice densidad de drenes.

Finalmente, el índice de agresividad-escurrimiento se muestra en la figura 17.

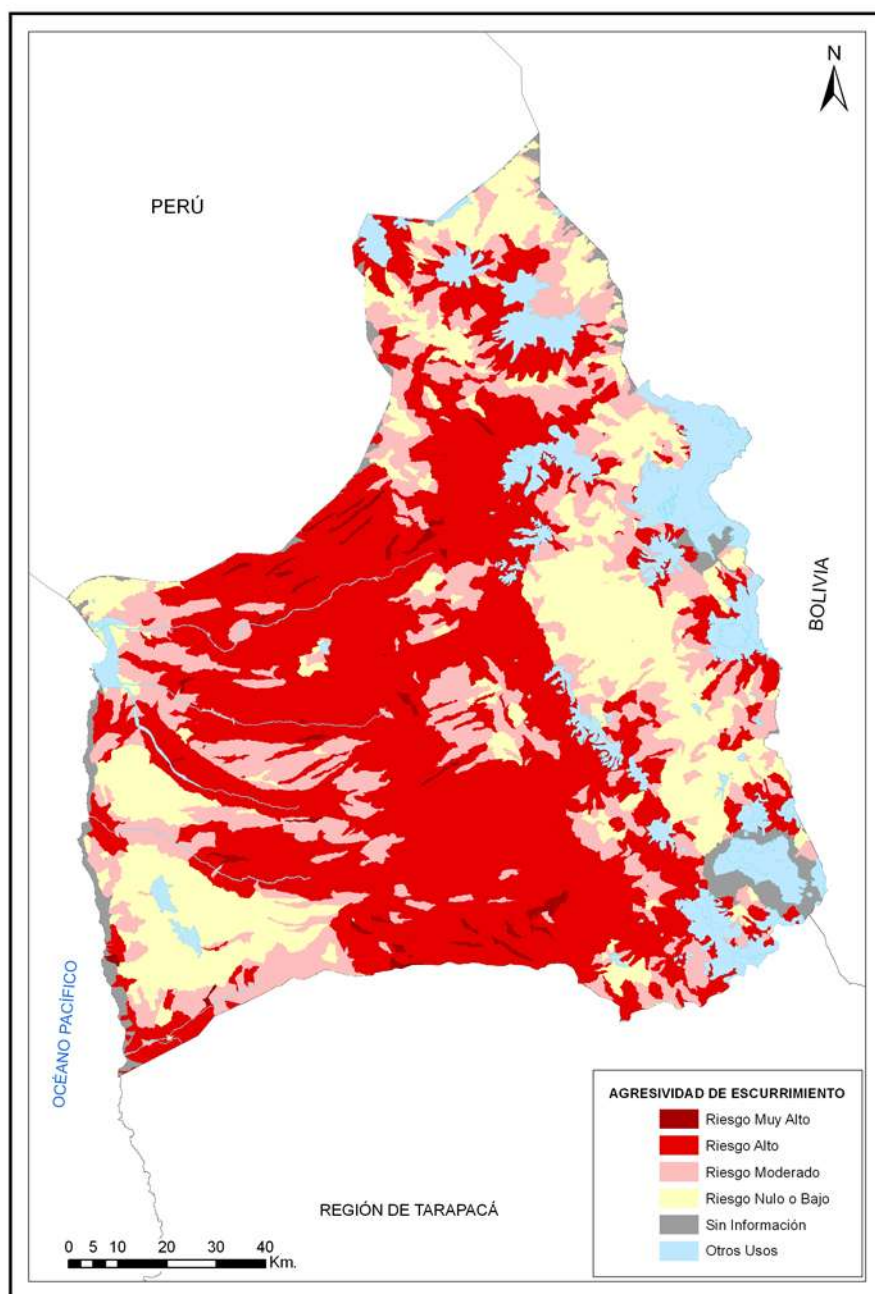
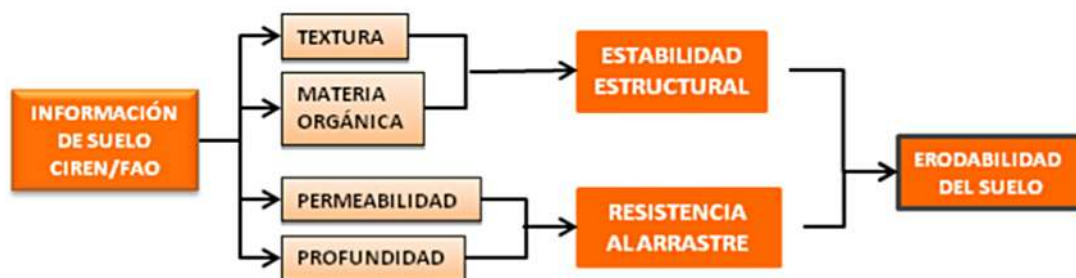


Figura 17. Índice de agresividad escurrimiento.

Índice de erodabilidad del suelo.



La erodabilidad del suelo (figura 18) se obtuvo considerando el desprendimiento de partículas por impacto de la gota de agua (estabilidad estructural) y el transporte (resistencia al arrastre por escorrentía).

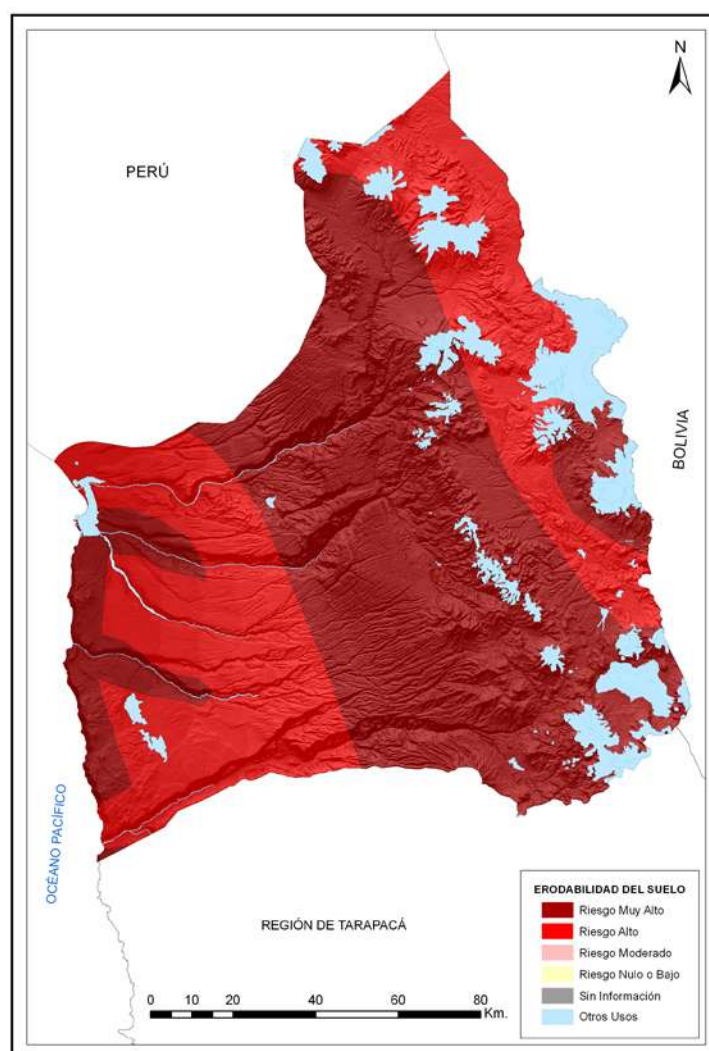


Figura 18. Índice de erodabilidad de suelo.

Índice de agresividad climática.

La agresividad climática da cuenta de la erosividad de la lluvia (Índice de Fournier Modificado, IFM), independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación (figura 19). A mayor intensidad de lluvia, mayores son las tasas de pérdida de suelos.

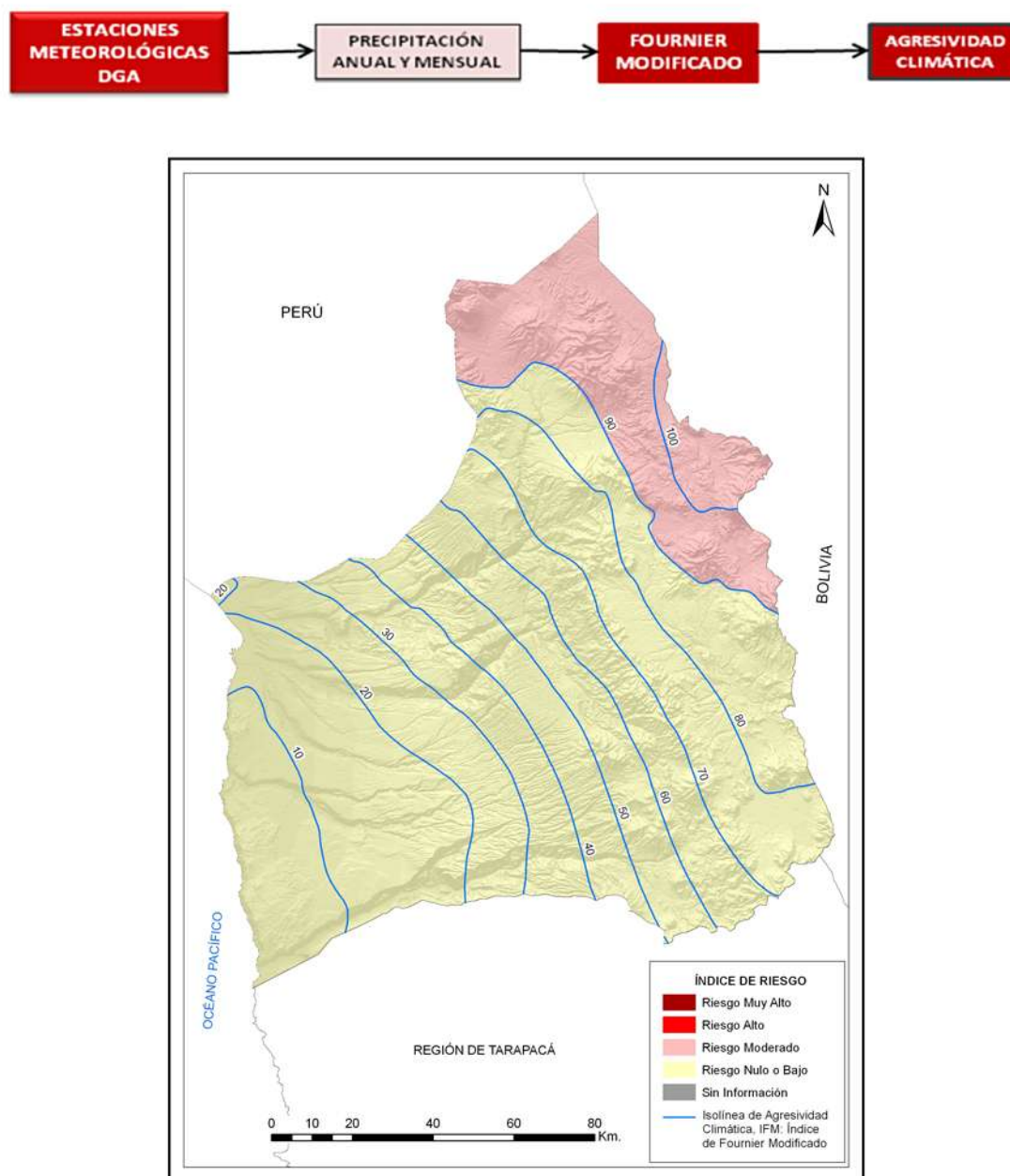


Figura 19. Índice de agresividad climática.

Índice de riesgo topoclimático.

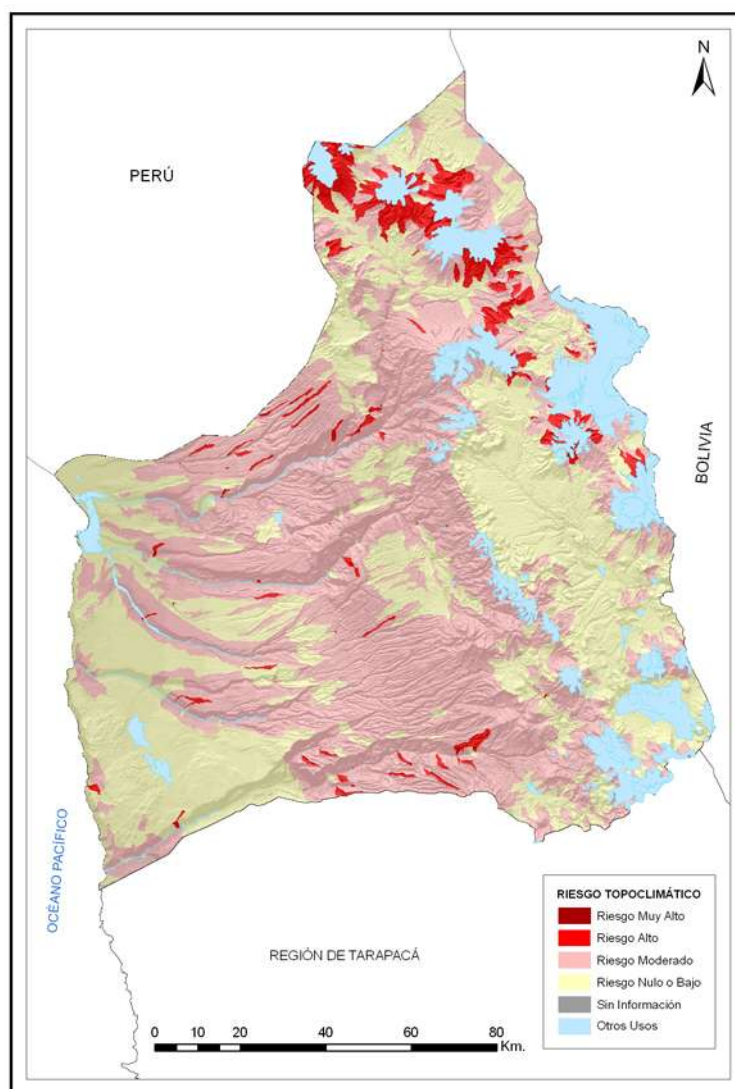


Figura 20. Índice de riesgo topoclimático.

Índice de riesgo físico.

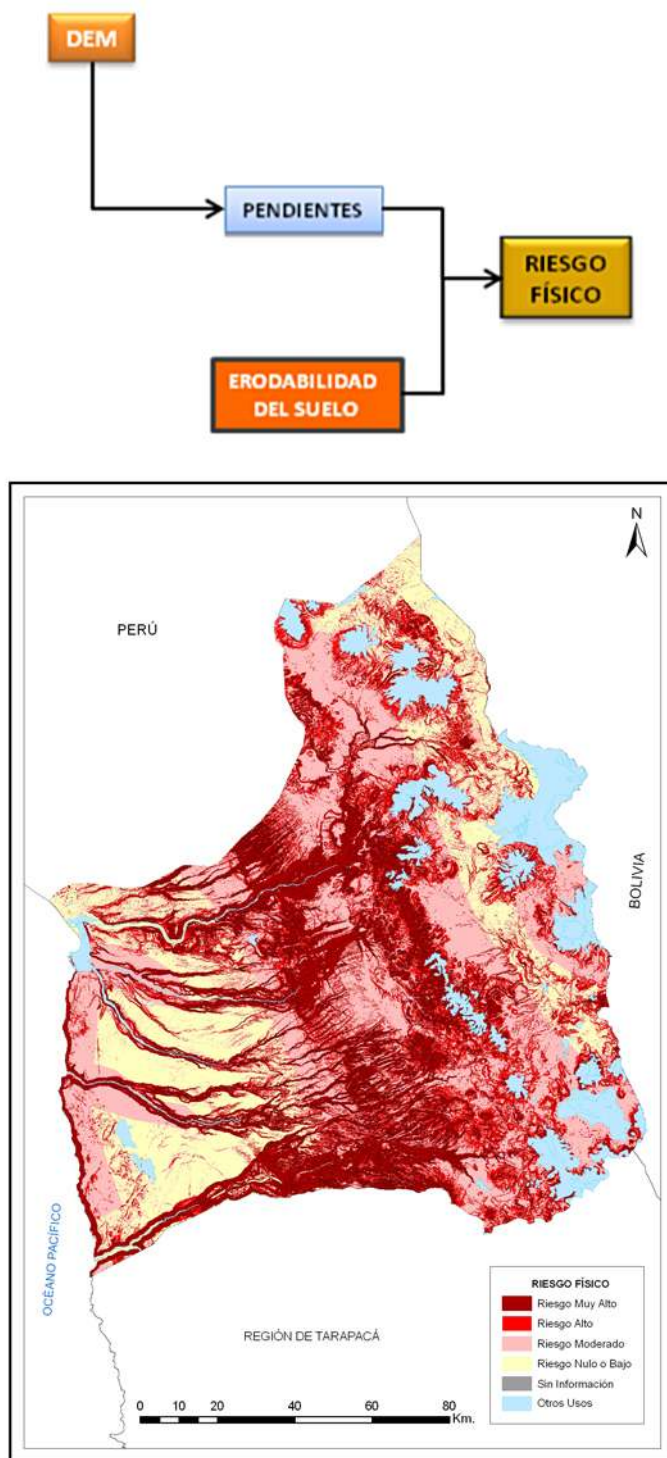
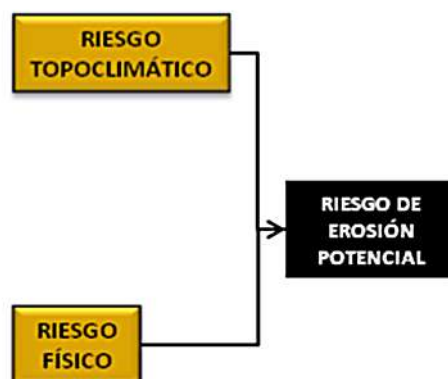


Figura 21. Índice de riesgo físico.

Índice de riesgo de erosión potencial.

El modelo es el resultado de la combinación de tres grupos de variables básicas: topográficas-hidrológicas, agresividad de la lluvia y suelo. A partir de estas variables se generaron distintos índices, que tratados con criterios mecanicistas y empíricos y utilizando herramientas de combinación espacial, permiten definir los índices resultantes. Así, el índice de riesgo físico relacionado con el riesgo topoclimático define lo que en el modelo se definió como el riesgo de erosión potencial.



A continuación, se presenta los resultados a nivel comunal (cuadro 4) y a nivel regional (figura 22 y 24).

Cuadro 4. Estadística del índice de riesgo de erosión potencial (por comunas).

Región/Provincia/Comuna	BAJA O NULA	MODERADA	SEVERA	MUY SEVERA	OTRAS CATEGORIAS	Total general
ARICA Y PARINACOTA	546.014	344.617	352.998	282.632	160.175	1.686.435
ARICA	276.374	183.734	183.375	205.469	23.521	872.473
ARICA	163.874	112.499	88.081	108.531	8.686	481.670
CAMARONES	112.501	71.235	95.294	96.938	14.835	390.803
PARINACOTA	269.640	160.883	169.623	77.163	136.653	813.962
GENERAL LAGOS	80.748	47.327	60.349	11.799	24.995	225.218
PUTRE	188.892	113.556	109.274	65.364	111.658	588.745

ARICA Y PARINACOTA

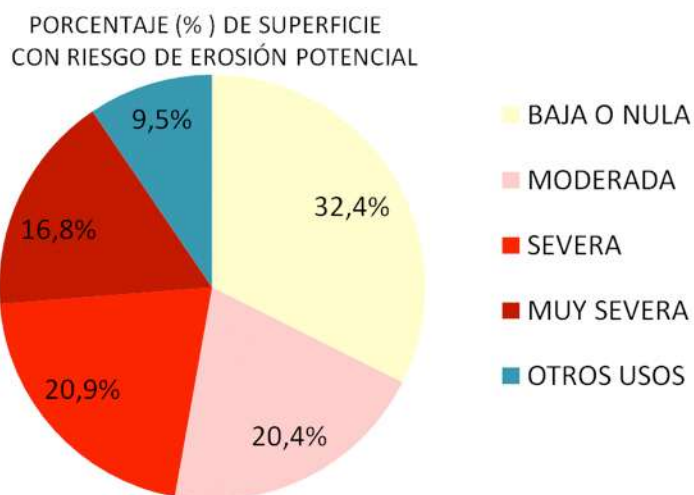


Figura 22. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión potencial, a nivel regional.



Figura 23. Transecto Putre – Caquena
Coordenadas: E: 470979, N: 8001936, Altura: 4403
Clase de erosión: Sin erosión

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION POTENCIAL REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA

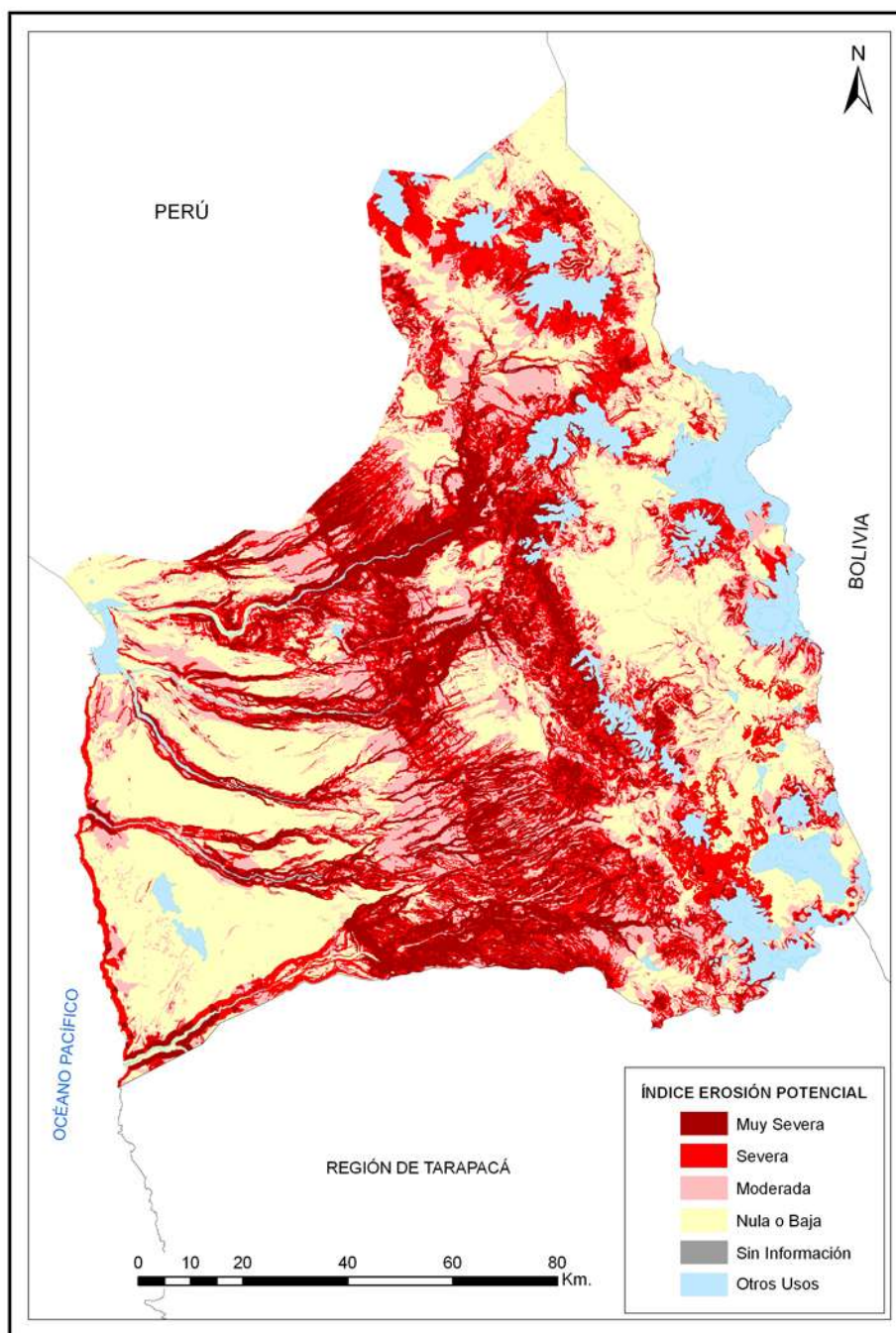


Figura 24. Riesgo de erosión potencial para la XV Región de Arica y Parinacota.

Índice de desprotección vegetal.

Este indicador corresponde al grado de descubertura que otorgan al suelo las clases de cobertura vegetal y uso del suelo, así como la facilidad que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial (figura 25). Este índice se obtuvo a partir de la actualización del catastro de vegetación nativa de CONAF, mediante técnicas de segmentación de clases y procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat 5 TM con resolución de pixel de 30 metros.

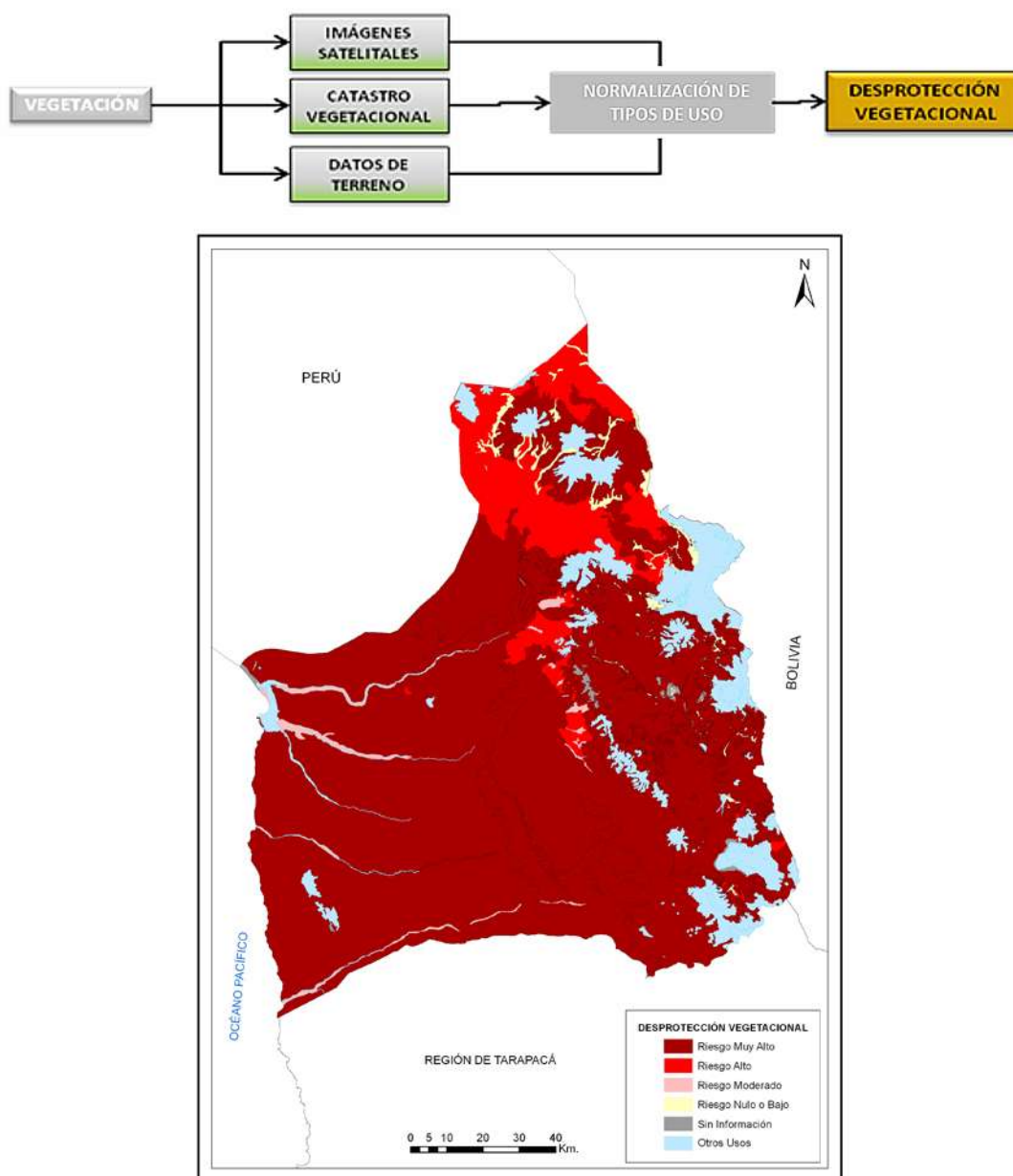


Figura 25. Índice de desprotección vegetal.



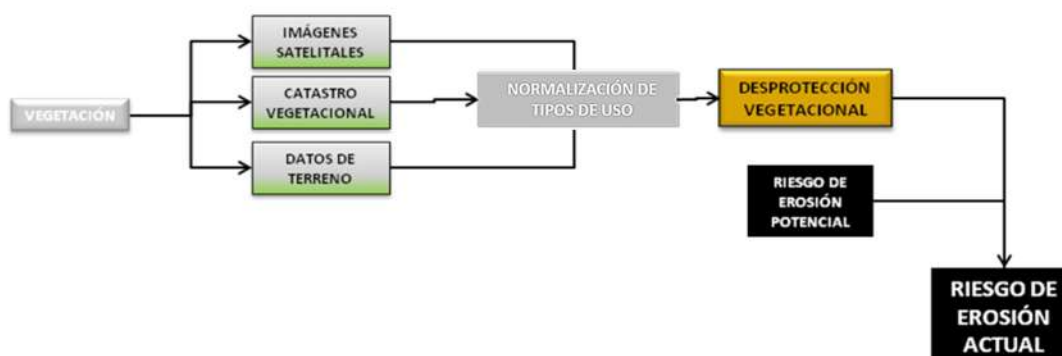
Cuadro 5. Clasificación de riesgo de erosión según tipología de uso del suelo.

CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO	CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO
Áreas sobre límite vegetacional	0	Matorral abierto	3
Bosque nativo-exóticas asilvestrado muy abierto	3	Matorral arborescente abierto	3
Bofedales	1	Matorral arborescente denso	1
Bosque exóticas asilvestradas abierto	2	Matorral arborescente muy abierto	3
Bosque exóticas asilvestradas denso	2	Matorral arborescente semidenso	2
Bosque exóticas asilvestradas semidenso	2	Matorral con suculentas abierto	3
Bosque nativo achaparrado abierto	3	Matorral con suculentas denso	2
Bosque nativo achaparrado denso	1	Matorral con suculentas muy abierto	4
Bosque nativo achaparrado muy abierto	3	Matorral con suculentas semidenso	3
Bosque nativo achaparrado semidenso	2	Matorral denso	2
Bosque nativo adulto abierto	2	Matorral muy abierto	4
Bosque nativo adulto denso	1	Matorral pradera abierto	3
Bosque nativo adulto muy abierto	3	Matorral pradera denso	2
Bosque nativo adulto renova abierto	3	Matorral pradera muy abierto	4
Bosque nativo adulto renova denso	1	Matorral pradera semidenso	2
Bosque nativo adulto renova muy abierto	3	Matorral semidenso	2
Bosque nativo adulto renova semidenso	2	Matorral-estepa patagónica	3
Bosque nativo adulto semidenso	1	Murtilla	3
Bosque nativo renova abierto	3	Murtilla coirón	3
Bosque nativo renova denso	1	Murtilla mata	3
Bosque nativo renova muy abierto	3	Ñadis herbáceos arbustivos	1
Bosque nativo renova semidenso	2	Otros terrenos húmedos	1
Bosque nativo-plantación abierto	3	Otros terrenos sin vegetación	4
Bosque nativo-plantación denso	1	Otros usos	0
Bosque nativo-plantación muy abierto	3	Plantación	2
Bosque nativo-plantación semidenso	2	Plantación (incendio forestal)	4
Coirón mata	3	Plantación de arbustos	3
Coirón murtilla	3	Plantación joven o recién cosechada	3
Coironal	4	Playas y dunas	0
Derrumbes sin vegetación	4	Pradera perenne	1
Estepa altiplánica	4	Praderas anuales	2
Estepa andina central	4	Ríos y cuerpos de agua	0
Estepa andina norte	4	Rocas y afloramientos rocosos	0
Estepa patagónica	3	Rotación cultivo-pradera	2
Mallín	1	Suculentas	3
Marismas herbáceas	1	Suelos desnudos	4
Mata	3	Terrenos de uso agrícola	2
Mata coirón	3	Turbales	1
Mata murtilla	3	Vegas	1
Mata pradera	3	Vegetación herbácea en orilla	3
Matorral	3		

Los criterios considerados en la generación del índice de desprotección fueron la cobertura vegetal (%), el uso de la tierra, la estructura vertical y horizontal de las formaciones vegetacionales, la composición de especies de la formación y la edad modal de las especies. Estos factores se relacionan con la protección contra el efecto de la gota de lluvia sobre el suelo, la infiltración y la facilidad u obstrucción que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial (cuadro 5).

Índice de riesgo de erosión actual

Refleja la potencialidad que tiene el suelo a ser erosionado si se mantienen las condiciones actuales de vegetación (figura 27).



A continuación se detalla los resultados a nivel comunal (cuadro 6) y a nivel regional (figura 26 y 27).

Cuadro 6. Estadística del índice de riesgo de erosión actual (por comunas).

Región/Provincia/Comuna	BAJO O NULO	MODERADA	SEVERA	MUY SEVERA	OTRAS CATEGORIAS	Total general
ARICA Y PARINACOTA	554,149	347,166	364,260	260,612	160,248	1,686,435
ARICA	276,386	186,379	181,951	204,208	23,550	872,473
ARICA	163,876	113,916	87,359	107,822	8,697	481,670
CAMARONES	112,510	72,463	94,592	96,386	14,853	390,803
PARINACOTA	277,763	160,788	182,309	56,405	136,698	813,962
GENERAL LAGOS	88,172	44,864	62,068	5,117	24,996	225,218
PUTRE	189,591	115,923	120,241	51,288	111,702	588,745

ARICA Y PARINACOTA

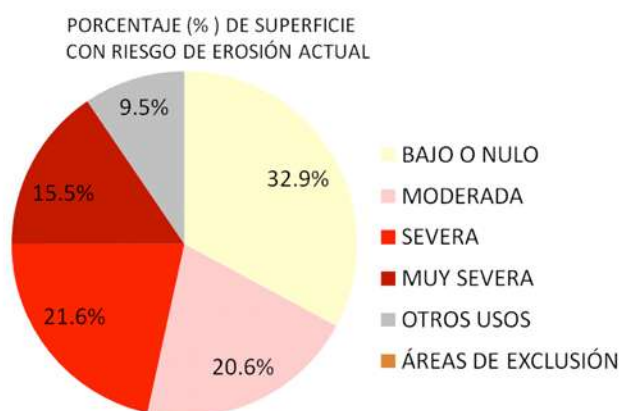


Figura 26. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión actual, a nivel regional.

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION ACTUAL REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA

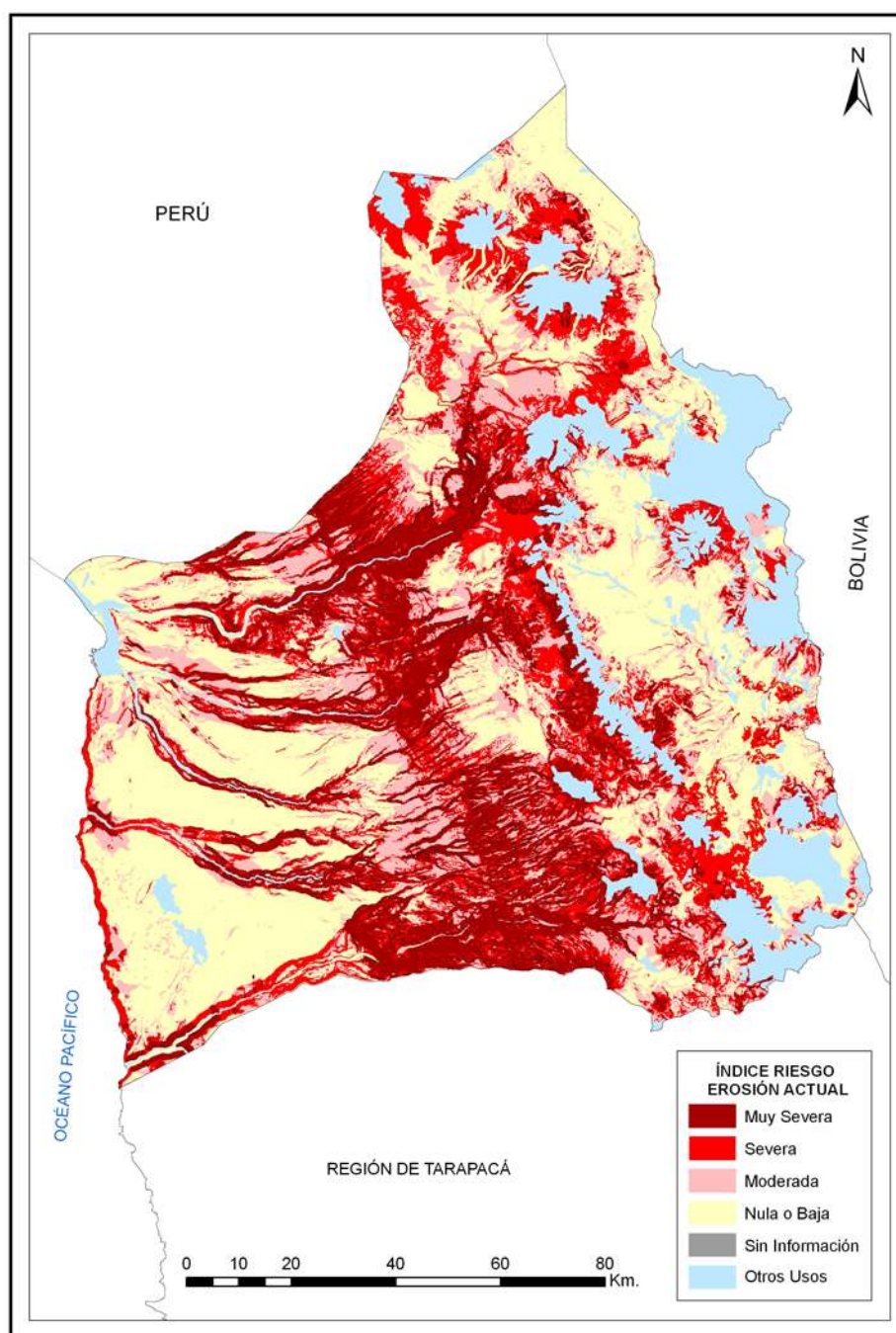


Figura 27. Riesgo de erosión actual para la XV Región de Arica y Parinacota.

A partir de los resultados (figura 22 y 26), el riesgo actual y potencial de erosión hídrica severa y muy severa es moderadamente bajo, por cuanto las precipitaciones son casi nulas en gran parte de la región.

A nivel nacional, los resultados del modelo IREPOT, estima una superficie con un riesgo de erosión potencial de suelos entre moderada y muy severa de 34,1 millones de hectáreas, que corresponde al 62,7% de los suelos de Chile. Mientras que, en el actual escenario de uso del suelo, la superficie con riesgo de erosión (en esas categorías) alcanza los 27,1 millones de hectáreas. El mayor índice de riesgo de erosión potencial severo y muy severo se encuentra en las regiones de Valparaíso (75,8%), Aysén (73,9%) y Coquimbo (72,1%), respecto de la superficie de suelos de cada región. La Región de Aysén (4,97 millones de hectáreas) posee la mayor superficie de riesgo de erosión potencial, debido principalmente, a la acción humana y los indicadores de agresividad climática, y la geomorfología de cuencas. Los resultados de riesgo de erosión actual severo y muy severo, indican que las regiones con mayores índices son Coquimbo (65,3%), Valparaíso (38,1%) y O'Higgins (37,6%), respecto de la superficie de suelos de cada región. La Región de Coquimbo tiene la mayor superficie de riesgo de erosión (2,4 millones de hectáreas), en estas categorías.

CONCLUSIONES

La presente cartografía cuantifica la erosión actual y potencial de los suelos de la Región de Arica y Parinacota, en una escala de trabajo de mucho mayor detalle (1:50:000 y 1:250.000), además de un área de estudio más extensa que el año 1979, donde no registra información. Estas diferencias metodológicas dificultan el análisis comparativo entre ambos estudios, aunque cabe destacar que la radiografía actual es un avance importante en términos de actualización, precisión y confiabilidad de la información de los suelos de la XV Región de Arica y Parinacota.

A nivel local predominan los procesos de erosión geológica o natural (sobre el 90% de la superficie regional), situación que no reviste efecto apreciable en la agricultura, ya que son escasas las superficies silvoagropecuarias. Existe evidencia de erosión hídrica en los sectores altiplánicos y valles interiores. Se destaca que los mayores problemas para la agricultura están representados por las crecidas aluvionales esporádicas en su frecuencia pero intensas. La superficie con algún grado de erosión sobrepasa los 1,47 millones de hectáreas, lo que representa 87,8% de la superficie regional. Las comunas con mayores problemas de erosión actual son Arica y Putre (sobre el 90%). Sin embargo, el riesgo actual y potencial de erosión hídrica es moderadamente bajo, por cuanto las precipitaciones son casi nulas en gran parte de la región.

El uso de información de línea base generalizada de suelos, vegetación y clima reduce la precisión de la clasificación de erosión y los niveles de riesgo. La metodología planteada permite realizar una cualificación del paisaje de forma eficaz y a menores costos que metodologías tradicionales de campo.

En este marco, el presente estudio juega un rol importante en la región, no sólo por la cuantificación actual de la erosión, sino porque esta cartografía permite la realización de otros análisis multicriterios sectoriales, por ejemplo, erosión-índice de desarrollo humano, erosión-biodiversidad, zonificación y protección de humedales altoandinos de la Región de Arica y Parinacota, entre otros. Finalmente, se esperaría en el futuro, una sincronización y concordancia con el programa satelital Chileno SSOT (Sistema Satelital de Observación Terrestre), que permita actualizar dicha información a un menor costo, mayor precisión y continua en el tiempo.



Agradecimientos

Agradecer a todas las personas que facilitaron y trabajaron en el desarrollo de este estudio, en especial, a los profesionales del MINAGRI de cada región del país. Al equipo de profesionales temáticos y cartógrafos de CIREN que aportaron su experiencia y detalle al trabajo presentado. A los Coordinadores Nacionales de CONAF, SAG, ODEPA e INDAP.

REFERENCIAS

Araneda, A., M. Cisternas, y R. Urrutia. 1999. USLE y análisis isotópicos en la reconstrucción de la historia erosional en una cuenca lacustre. *Bosque (Valdivia)*, vol.20, no.2, p.95-105. ISSN 0717-9200.

BCN. 2010. Biblioteca del Congreso Nacional: Sistema integrado de información Territorial (SIIT); Región de Arica y Parinacota. Disponible en:
<http://www.bcn.cl/siit/regiones/region15/region.htm>. Consultado el 23.11.2010.

Bonilla C., J. Reyes, y A. Magri. 2009. Water erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70, 1, 159-169

Castro, C., y C. Aliaga. 2010. Evaluación de la pérdida de suelo, asociada al proceso de expansión urbana y reconversión productiva: Caso: comunas de Los Andes, Quillota y Concón, valle del Aconcagua. *Rev. geogr. Norte Gd.*, n.45, pp. 41-49.

CIREN. 2004. Zonificación de erosión y fragilidad de suelos del secano costero de las regiones VI y VII. Proyecto INNOVA-CORFO. Centro de Información de Recursos Naturales

CIREN. 2009. Determinación de erosión actual y fragilidad de suelos en la V Región utilizando datos satelitales Y SIG. Proyecto INNOVA-CORFO. Código: 05CR11IXM-21. Centro de Información de Recursos Naturales

CORFO. 1982. Análisis de los Ecosistemas de la I Región de Chile. Sociedad Agrícola Corfo Ltda. – Universidad de Chile. Santiago. Chile.

Datta, P., y H. Schack-Kirchner. 2010. Erosion Relevant Topographical Parameters Derived from Different DEMs—A Comparative Study from the Indian Lesser Himalayas. *Remote Sens.* 2, 1941-1961.

Honorato, R., L. Barrales., I. Peña y F. Barrera. 2001. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión hídrica en seis localidades entre la IV y IX región de Chile. *Cien. Inv. Agr.* 28(1): 7-14.

INFORME PAIS. 2008. Estado del medio ambiente en Chile. Capítulo 5, Suelos. Universidad de Chile. Instituto de Asuntos Públicos. Santiago, Chile. 236 – 293 p.

IREN. 1979. Fragilidad de los ecosistemas naturales de Chile. Informe 40. Instituto Nacional de Recursos Naturales-CORFO, s.p.

Märker, M., S. Moretti, y G. Rodolfi. 2001. Assessment of water erosion processes and dynamics in semi-arid regions of southern Africa (kwazulu/Natal, RSA, and Swaziland) using the Erosion Response Units concept (ERU). *Revista Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, vol. 24, issue 1, p. 71-84.

Merrit, W., R. Letcher y A. Akeman. 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18: 761-799.

Peña, L. 1983. Determinación de los factores R, K y C de la Ecuación Universal de Estimación de la Erosión para la Precordillera de la VII Región. *Agric. Téc. (Chile)* 43:151-158.

Peña, L. 1985. Erosión hídrica en trumaos de lomajes. p. 528-547. *In* Tosso, J. (ed.) Suelos volcánicos de Chile. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Santiago, Chile,

Pérez, C, y J. González. 2001. Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Quilamapu, Chillan. 196 p.

Pizarro, R., J. Flores., C. Sangüesa., E. Martinez, y L. León. 2008. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. *Bosque (Valdivia)*, vol.29, n.2, pp. 136-145

Saavedra, C., y C. Mannaerts. 2005. Estimating spatial patterns of soil erosion and deposition in the Andean region using geo-information techniques. Wageningen University, The Netherlands.

Soto G. 1997. Mapa preliminar de la desertificación en Chile – por comunas. Santiago, Chile. Corporación Nacional Forestal CONAF, Ministerio de Agricultura. 88 p.

SUBDERE. 2010. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. Gobierno Regional de Arica y Parinacota. Disponible en: <http://www.subdere.gov.cl/1510/propertyvalue-28998.html>. Consultado el 23.11.2010.

USDA. 1951. Soil survey manual. Soil Conservation Service, Soil Survey Staff, U.S. Dept. of Agric. Handbook. 18. U.S. Govt. Print. Off. Washington, D.C., USA. 503 p.

Yoma, R. 2003. Evaluación física de la erosión en plantaciones de *Pinus radiata* D.Don en la Reserva Nacional Lago Peñuelas, V región. Período 1998-2001. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. Universidad Mayor. Santiago. Chile. 110 p.

Determinación de la erosión actual
y potencial de los suelos de Chile
Síntesis de Resultados - Diciembre 2010
Región de Arica y Parinacota

CIREN

Centro de Información de Recursos Naturales

Manuel Montt 1164, Providencia.

Fono (56-2) 200 89 00

www.ciren.cl

Santiago de Chile - 2010