



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

Región de Magallanes
y Antártica Chilena

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 Magallanes y Antártica Chilena

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile
Región de Magallanes y Antártica Chilena

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Publicación N° 153

Registro de propiedad intelectual: 200598

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	43
Referencias	44



RESUMEN

Este 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 escala 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 XII de Magallanes y Antártica Chilena es de 12,8 millones de hectáreas (no incluye comuna de Antártica).

Para la XII Región existe una superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de 3,76 millones de hectáreas, lo que representa el 28,5% de la superficie regional, y el 43,9% de los suelos de la superficie de estudio. Sin embargo, parte de esta superficie, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión de tipo geológica. La regiones de Magallanes, tienen niveles de erosión severa y muy severa en torno al 10% de su superficie, así como suelos con erosión no aparente (48 y 36%, respectivamente), y alrededor de un 30% de superficies calificadas como otros usos (arenas, glaciares, rocas). Las comunas con mayores problemas de erosión son Primavera, Laguna Blanca y San Gregorio (sobre el 80% de superficie comunal). Puerto Natales, Porvenir y San Gregorio abarcan, en conjunto, el 76% de la superficie regional categorizada con clases de erosión "severa" o "muy severa". Los resultados del modelo IREPOT reveló que ambos riesgos de erosión hídrica en la parte continental es preferentemente bajo a moderado.

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 para clasificación de clases de erosión hídrica 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 de los suelos de Chile, XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.

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 con 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 Magallanes y Antártica Chilena, 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 Magallanes se ubica en el extremo sur del territorio nacional. Abarca los territorios sudamericano y antártico. Su sector sudamericano se localiza en la parte sudoccidental del continente desde los 48°36' a los 56°30' de latitud sur y entre los meridianos 66°25' y 75°40' de longitud oeste. Posee una superficie continental de 13,2 millones de hectáreas. A su vez el área sudamericana representa el 6,57% de la superficie nacional. Conformar una situación topográfica irregular por el gran número de islas, archipiélagos, penínsulas, canales y fiordos, que corre en torno a un eje en dirección norte-sureste con un ancho variable, que alcanza su máxima expresión entre Punta Dungenes en el extremo oriental del estrecho de Magallanes y grupo Evangelistas en el Pacífico. Las dos fajas longitudinales características del resto del país, la Cordillera de la Costa y la depresión intermedia, desaparecen en la Península de Taitao y en las profundidades del Golfo de Penas, respectivamente. Las unidades de relieve de la Región de Magallanes son, de oriente a poniente: Patagonia Oriental o Transandina, Cordillera de los Andes Patagónicos; Cordillera Occidental Archipiélica (BCN, 2010). Su diversidad climática se refleja en las bajas temperaturas y fuertes vientos durante todo el año. En el sector insular predomina el clima templado frío, mientras que las planicies patagónicas orientales presentan un clima estepario frío; en los Campos de Hielo y las cordilleras Sarmiento de Gamboa y Darwin predomina el clima polar. En rigor, se pueden diferenciar 5 tipos climáticos; clima templado frío de costa occidental con un máximo invernal de lluvias, clima trasandino con degeneración esteparia, clima de hielo por efecto de altura, clima de estepa fría, clima de tundra (DMC, 2010).

La región tiene varios tipos de suelos dependiendo de la formación geológica, tiempo cronológico, pluviometría, topografía y temperatura. Aún cuando, no han sido bien estudiados, hay presencia de suelos de orden Histosoles asociados a suelos Spodosoles, derivados de cenizas. En la Patagonia, con un régimen de humedad árido, se originarían suelos Aridisoles con inclusiones de Mollisoles (Universidad de Chile, 2008). A continuación, se detalla el tipo de uso (CONAF, 2006) del uso para la Región de Magallanes (cuadro 1).

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

USO	Superficie 1996		Superficie 2005	
	(ha)	%	(ha)	%
Áreas urbanas e industriales	2.711,3	0,0	4.669,3	0,0
Terrenos agrícolas	11,6	0,0	11,6	0,0
Praderas y matorrales	3.064.489,0	23,2	3.060.016,9	23,2
Bosques	2.673.796,8	20,3	2.671.780,2	20,3
Humedales	3.236.730,4	24,5	3.236.724,0	24,5
Áreas desprovistas de vegetación	1.786.169,4	13,5	1.791.020,6	13,6
Nieves y glaciares	1.795.365,1	13,6	1.795.265,1	13,6
Cuerpos de agua o aguas continentales	354.953,1	2,7	354.949,0	2,7
Áreas no reconocidas	274.126,0	2,1	273.816,0	2,1
TOTAL	13.188.352,7	100,0	13.188.352,7	100,0

La vegetación está influenciada por las extremas condiciones edafoclimáticas de la zona austral del país, destacando el Bosque perennifolio en el sector occidental, de clima frío y lluvioso, el Bosque perennifolio y turbales hacia el sector sur, con fuertes limitantes para el desarrollo de la vegetación, el Bosque caducifolio, que se extiende de las mesetas andinas hasta el límite de la estepa oriental y una zona esteparia de clima semiárido y frío.



La Región de Magallanes presenta una situación de desertificación preocupante en la producto de bajas precipitaciones anuales y deforestación masiva originada en los grandes incendios que afectaron amplios territorios de Aysén y de Magallanes (Universidad de Chile, 2008). En Magallanes, el 91,4% de la superficie estudiada presenta desertificación grave a moderada. El estudio de erosión 1979 (cuadro 2 y figura 3) revela que existe una superficie de 4,89 millones de hectáreas con algún grado de erosión, que representa el 37% de la región. Asimismo, indica que 422 mil hectáreas son consideradas de alta fragilidad, que corresponde a un 9% del área de estudio.

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	
XII	(mill.)		0.9	3.46	0.52	4.89
	%		18.4	70.9	10.7	
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

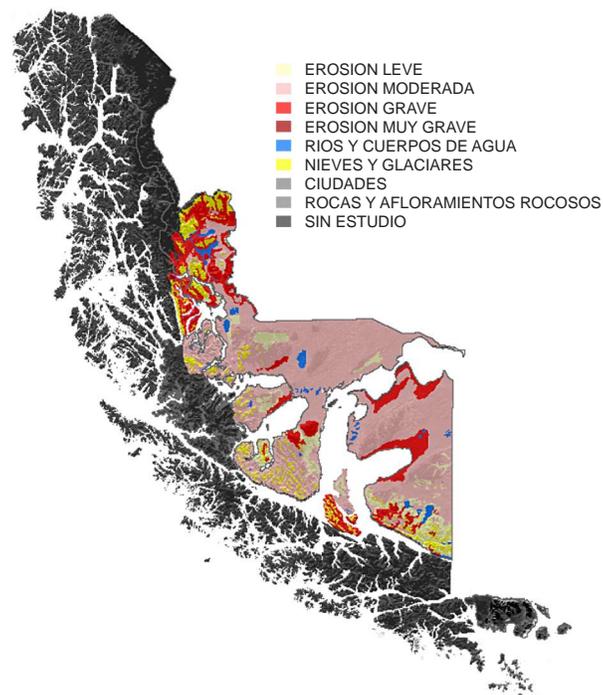


Figura 3. Mapa de nivel de erosión para la Región de Magallanes y Antártica Chilena, IREN-1979.

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).

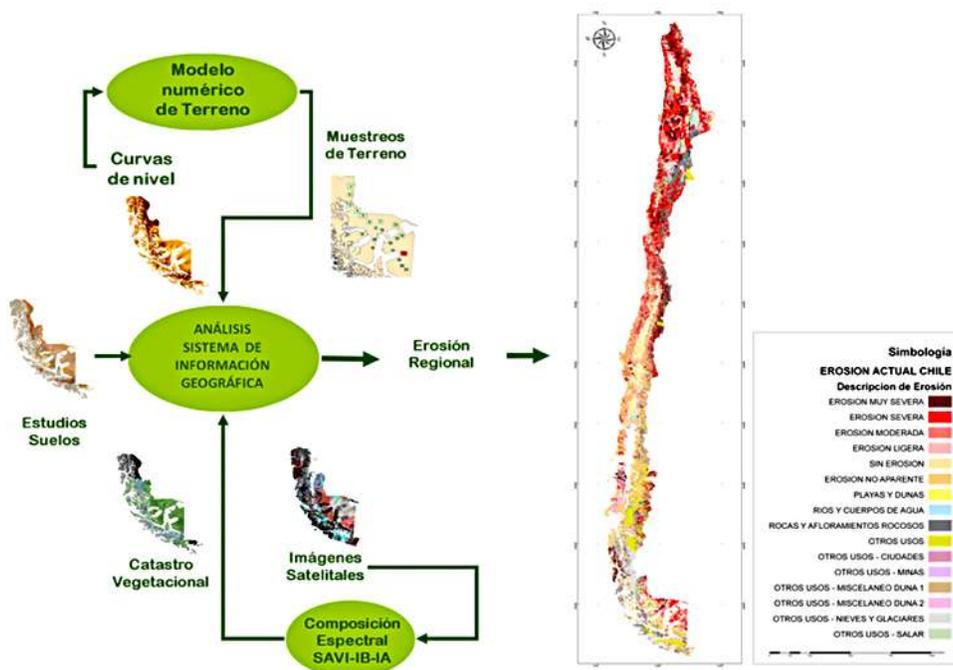


Figura 4. Diagrama metodológico del modelo de erosión actual.

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).

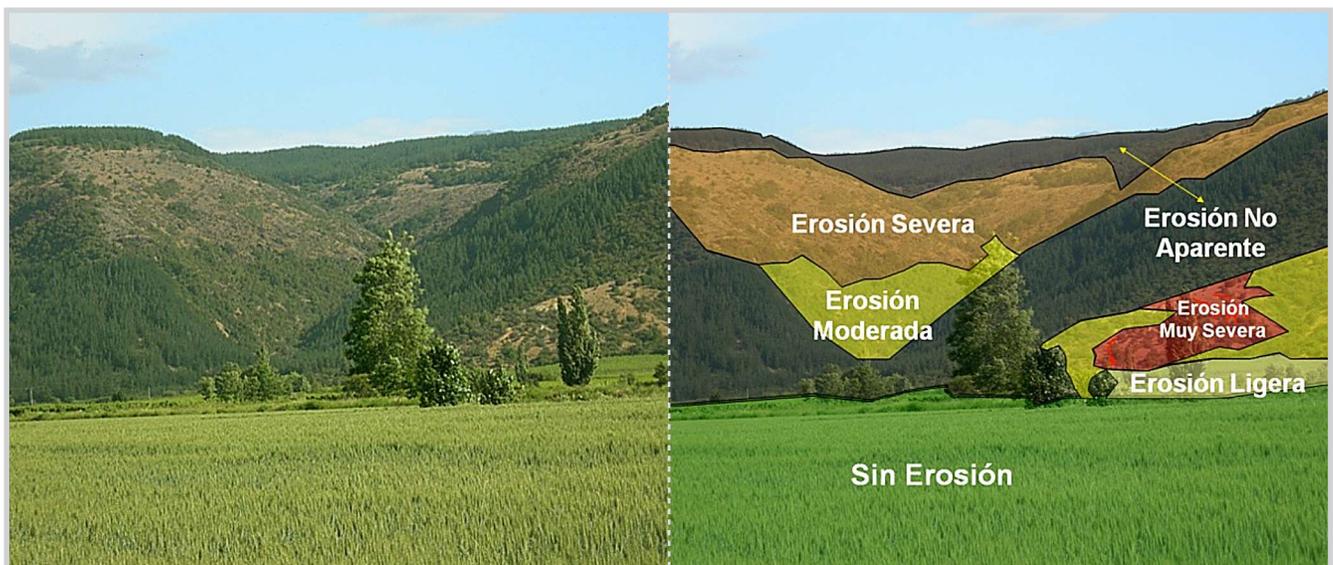


Fotografía 5. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión muy severa.

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 21 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%.

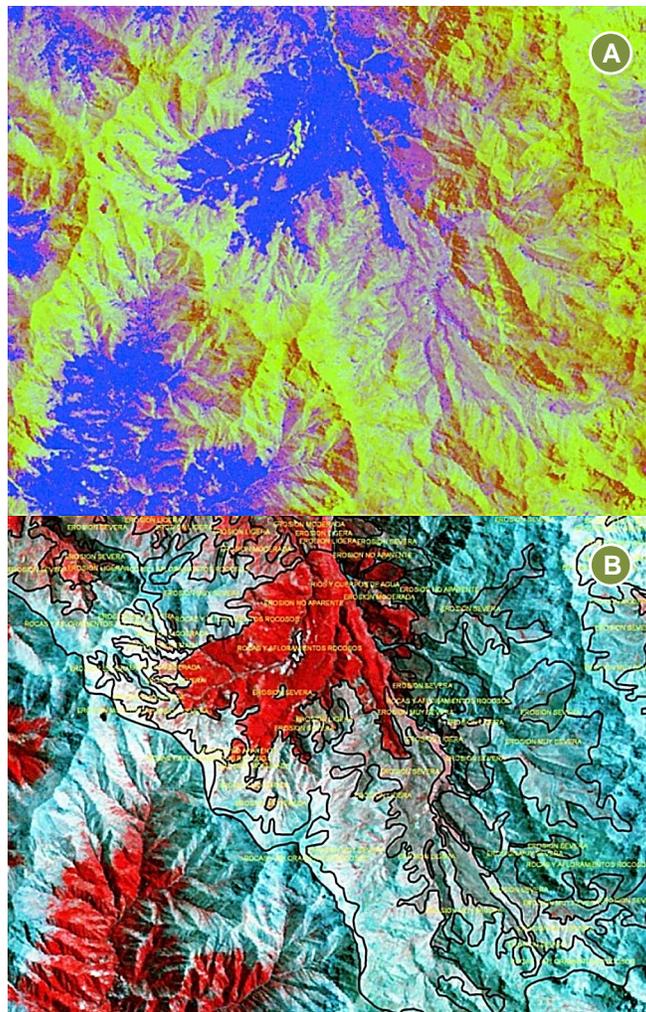


Figura 5. (a) Índice de erosión, composición falso color 2,1,3 para análisis visual de erosión actual.

(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).

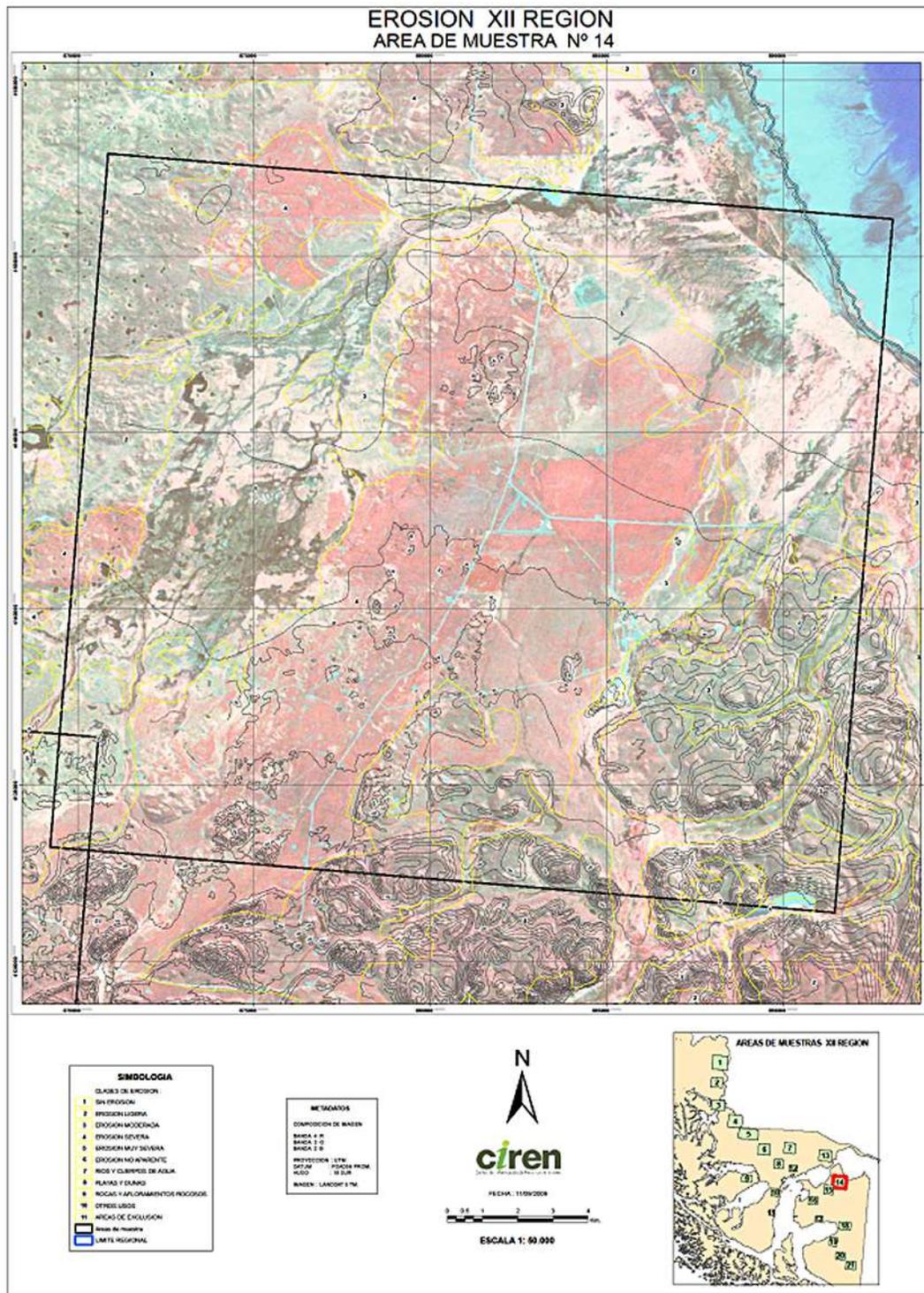


Figura 6. Áreas de muestreo y validación de la cartografía de erosión para la XII Región.

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).

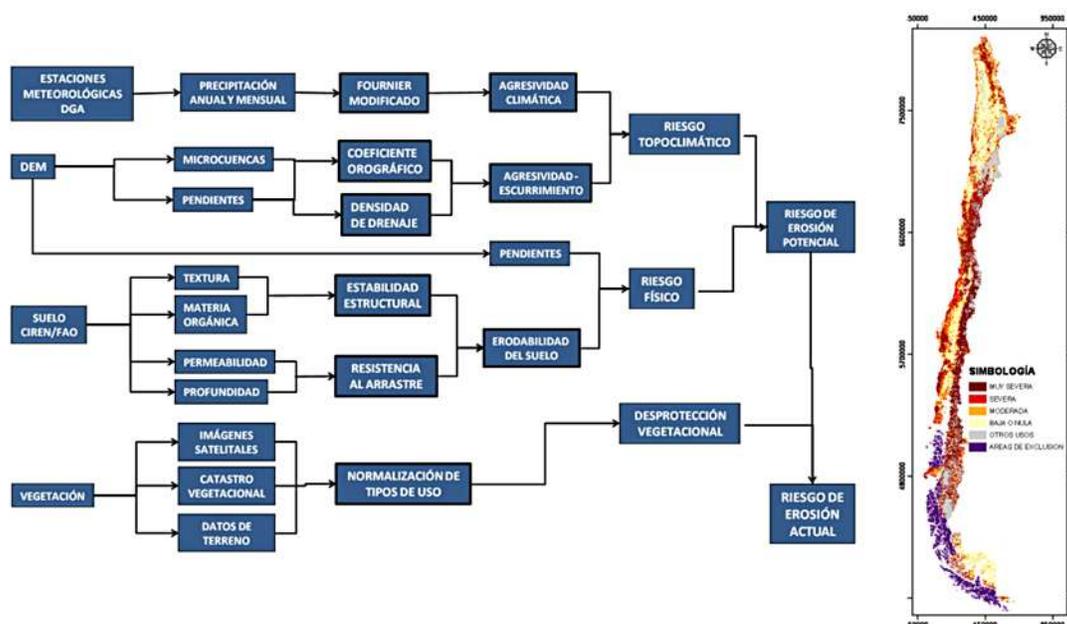


Figura 7. Diagrama metodológico del modelo de riesgo de erosión potencial y actual.

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.

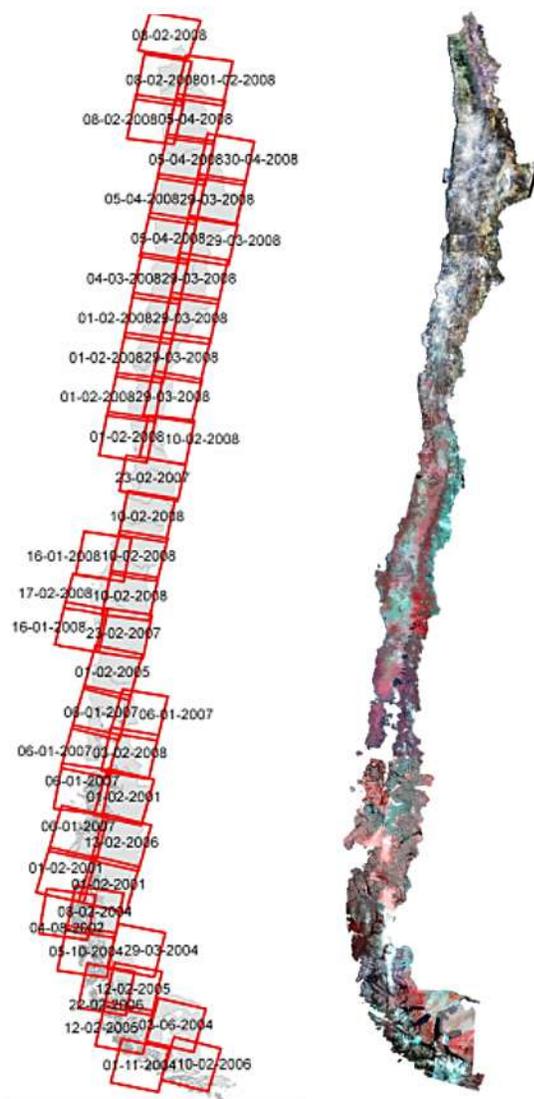
La agresividad climática es un índice que da cuenta de la erosividad de la lluvia, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación. La construcción de este índice se basó en la espacialización de registros pluviométricos proporcionados por 459 estaciones meteorológicas de la 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.

“El pastizal de Tierra del Fuego”. Guía de uso, condición actual y propuesta de seguimiento para la determinación de tendencia”. Proyecto FNDR – SAG XII Región de Magallanes y Antártica Chilena: “Protección y recuperación de pastizales XII Región” BIP N° 20105466-0. Junio 2003.

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 Martínez 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 Solís, 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).

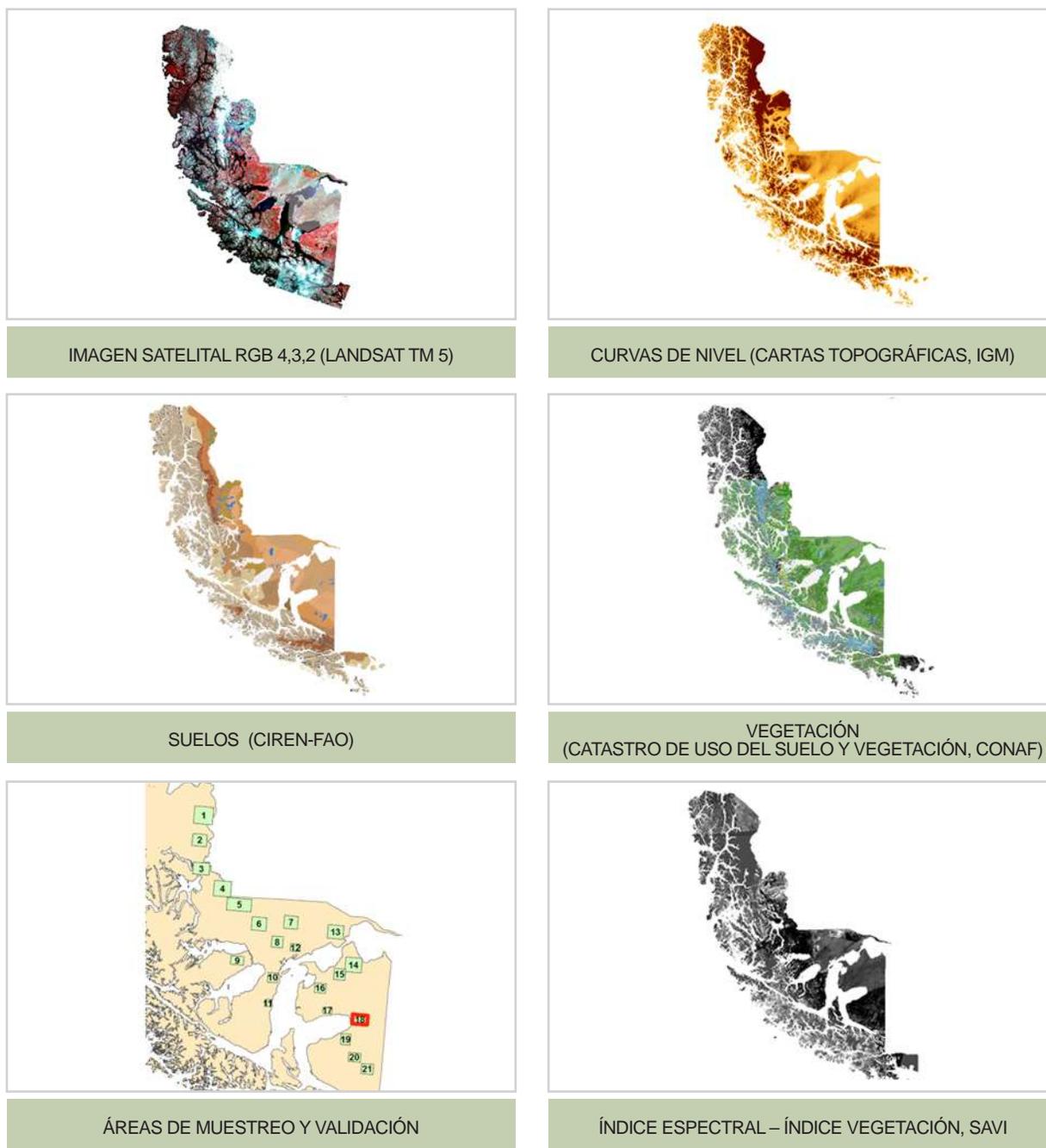
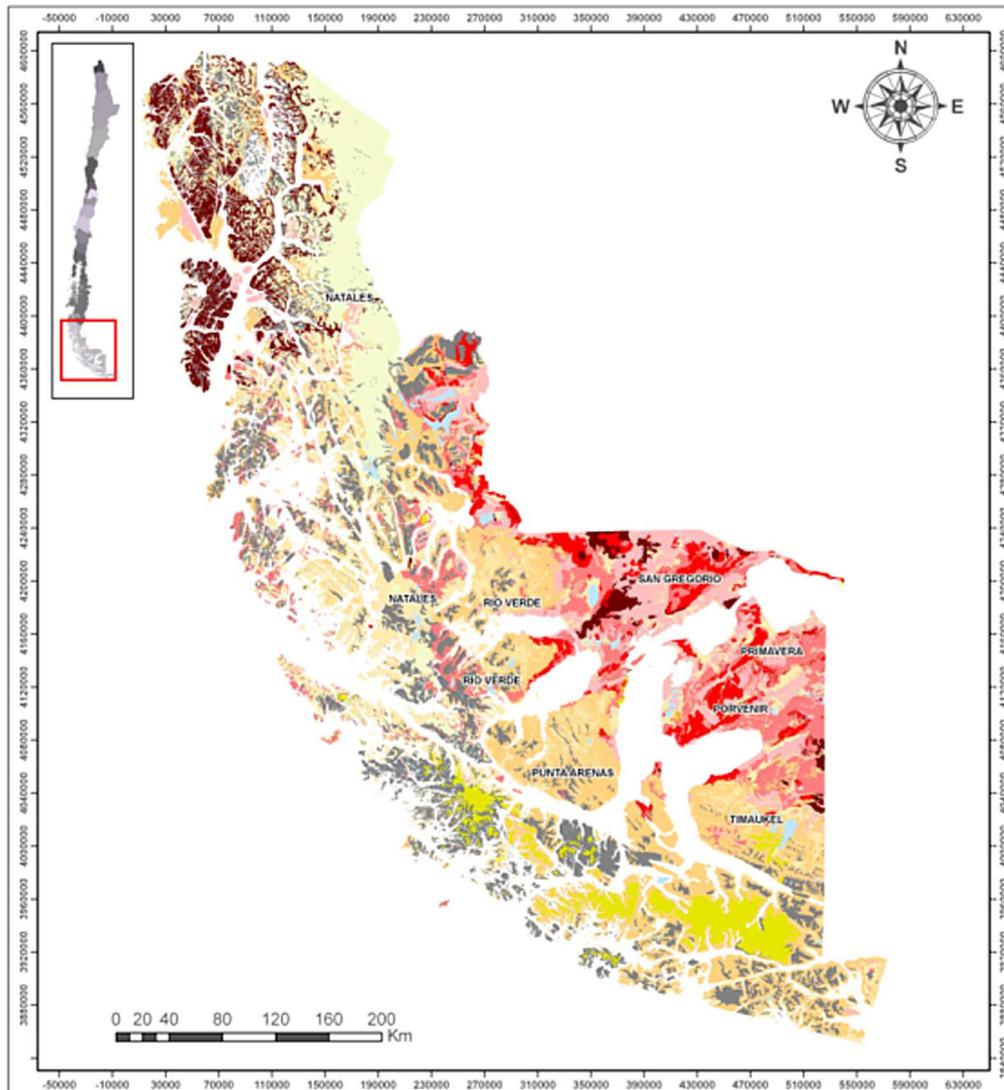


Figura 9. Cobertura de información biogeofísica para la determinación de la erosión actual en la Región de Magallanes y Antártica Chilena – modelo de erosión actual.



CARTOGRAFÍA EROSIÓN ACTUAL

REGION XII DE MAGALLANES Y LA ANTARTICA CHILENA



Simbología Erosión Nacional		
Descripción		
	EROSION MUY SEVERA	
	EROSION SEVERA	
	EROSION MODERADA	
	EROSION LIGERA	
	SIN EROSION	
	EROSION NO APARENTE	

Figura 10. Mapa de erosión actual para la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.

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

Cuadro 3. Superficie de erosión actual en la Región de Magallanes y Antártica Chilena (por comunas)

Región/Provincia/Comuna	SIN EROSIÓN	EROSIÓN LIGERA	EROSIÓN MODERADA	EROSIÓN SEVERA	EROSIÓN MUY SEVERA	EROSIÓN NO APARENTE	OTRAS CATEGORIAS	SUELOS EROSIONADOS	Total general
MAGALLANES Y									
LA ANTARTICA CHILENA	1.721.163	1.122.852	1.288.585	589.986	761.474	3.090.437	4.632.606	3.762.898	13.207.107
ANTARTICA CHILENA	53.814	7.358	1.153			620.900	934.598	8.511	1.617.823
CABO DE HORNO	53.814	7.358	1.153			620.900	934.598	8.511	1.617.823
MAGALLANES	608.728	485.764	443.346	241.326	124.119	864.171	983.047	1.294.556	3.750.504
LAGUNA BLANCA	39.293	54.227	110.598	62.631	57.759	17.792	12.294	285.215	354.594
PUNTA ARENAS	334.502	48.720	108.279	26.723	940	624.236	669.492	184.662	1.812.892
RIO VERDE	190.113	50.207	117.892	26.715	1.186	222.143	298.334	196.001	906.590
SAN GREGORIO	44.820	332.610	106.577	125.257	64.234		2.927	628.678	676.425
TIERRA DEL FUEGO	296.488	335.923	491.641	221.694	27.130	498.168	220.226	1.076.389	2.091.270
PORVENIR	122.652	176.172	308.971	135.153	16.609	15.433	19.044	636.905	794.034
PRIMAVERA	59.196	109.444	114.998	67.190	699		111	292.331	351.638
TIMAUKEL	114.640	50.307	67.672	19.351	9.822	482.735	201.071	147.153	945.598
ULTIMA ESPERANZA	762.133	293.807	352.445	126.966	610.225	1.107.198	2.494.735	1.383.442	5.747.509
NATALES	743.885	213.852	308.447	86.671	608.141	1.010.506	2.240.902	1.217.110	5.212.404
TORRES DEL PAINE	18.248	79.955	43.998	40.295	2.084	96.692	253.833	166.332	535.105

* 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 XII Región es de 3,76 millones de hectáreas, lo que representa el 28,5% de la superficie regional, y el 43,9% de los suelos de la superficie de estudio (figura 11). Sin embargo, parte de esta superficie, en especial hacia los sectores cordilleranos, islas y archipiélagos, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión natural (agua, hielo, viento), sin mayor intervención del ser humano.

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.



MAGALLANES Y LA ANTÁRTICA CHILENA

PORCENTAJE (%) DE SUPERFICIE
DE SUELOS EROSIONADOS

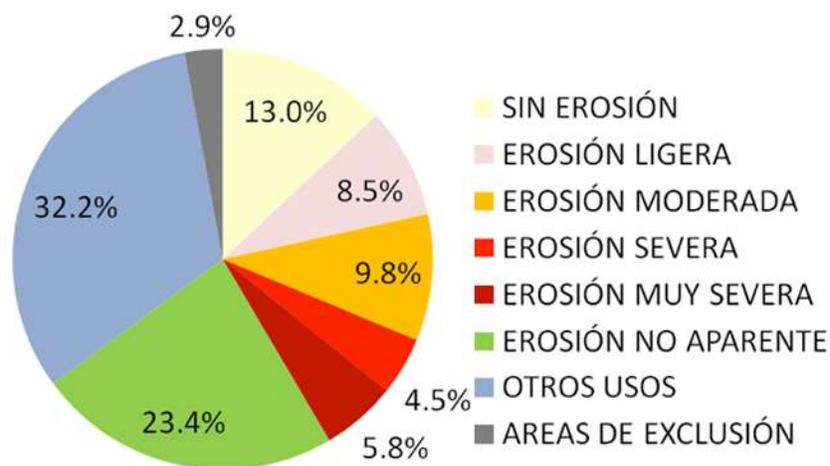
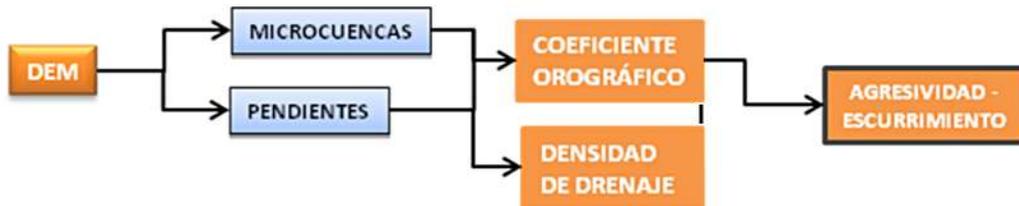


Figura 11. Porcentaje regional (%) de superficie de suelos erosionados.

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.



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.

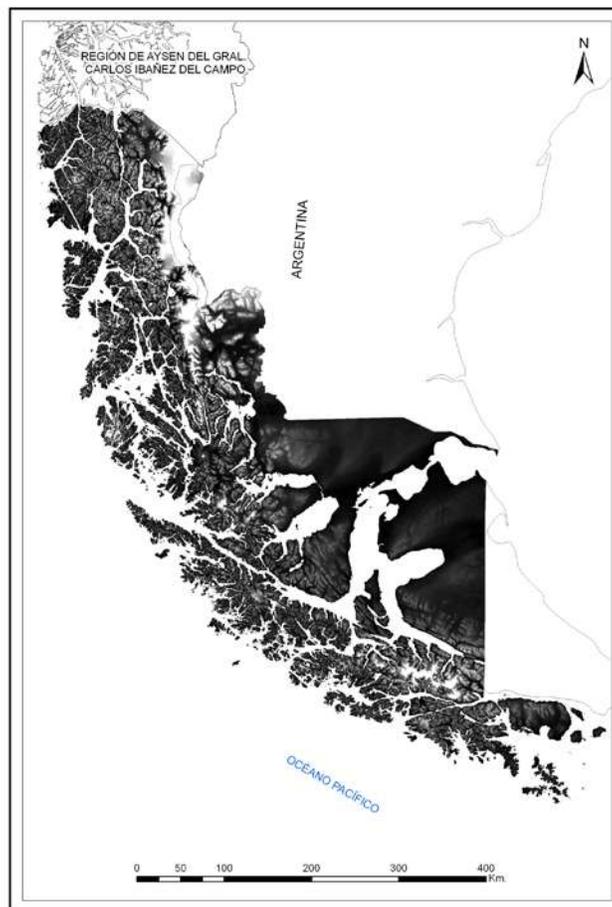


Figura 12. Modelo Global de elevación digital ASTER-GDEM.



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).

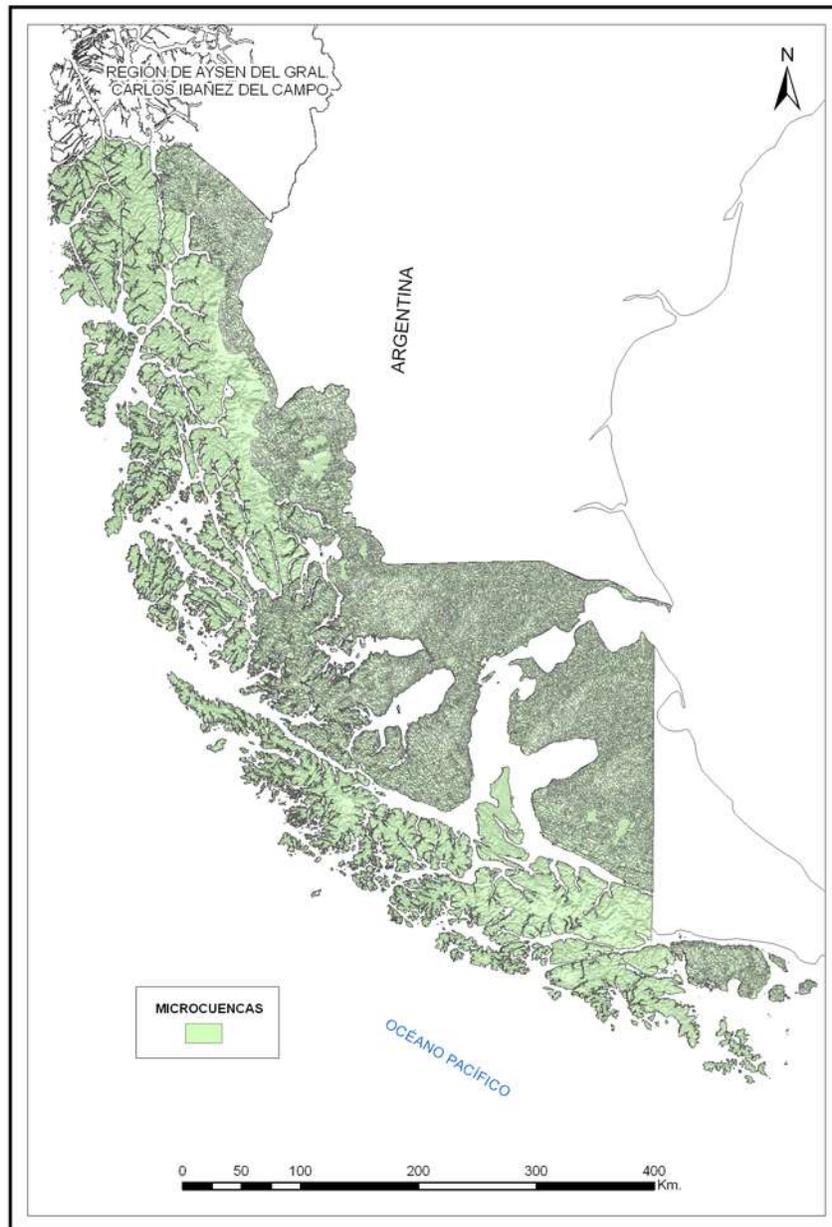


Figura 13. Microcuencas para la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.

Coeficiente 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).

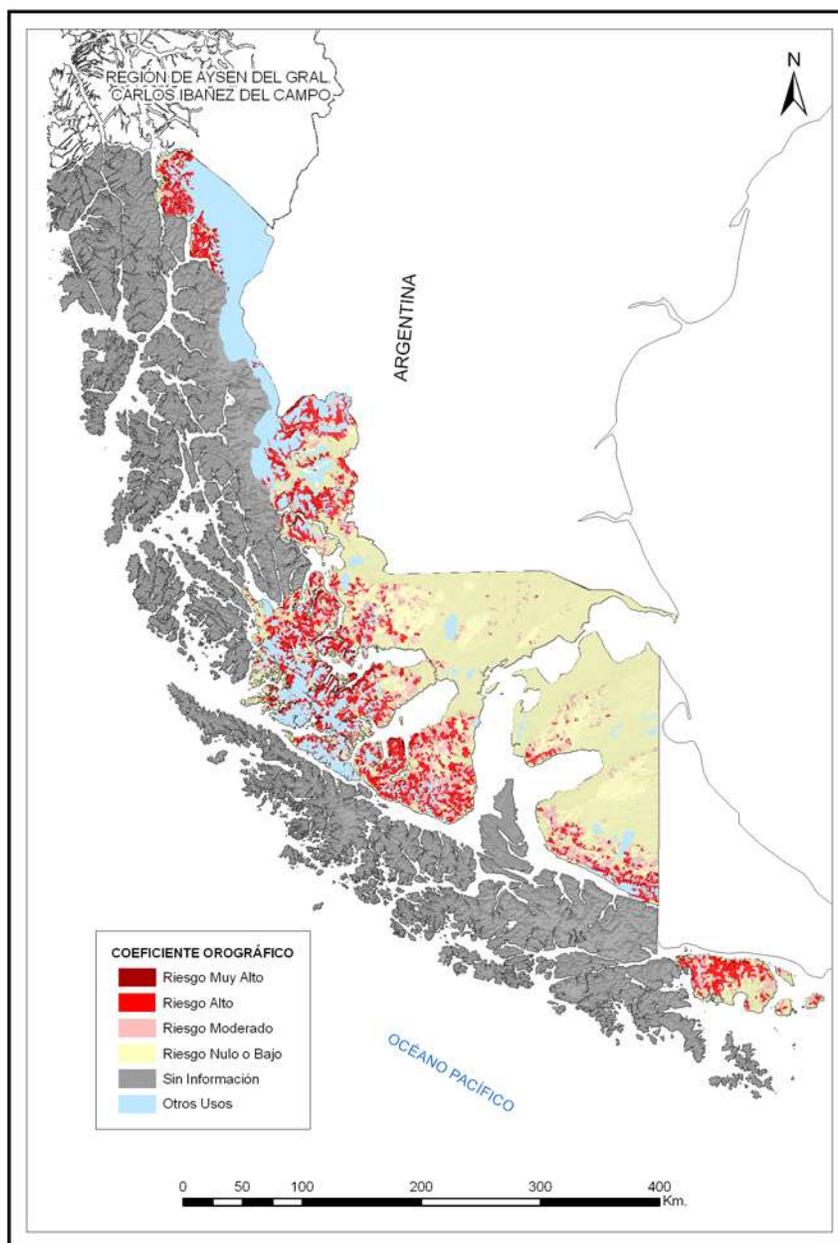


Figura 14. Índice de coeficiente orográfico.



Cartografía de pendientes.

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

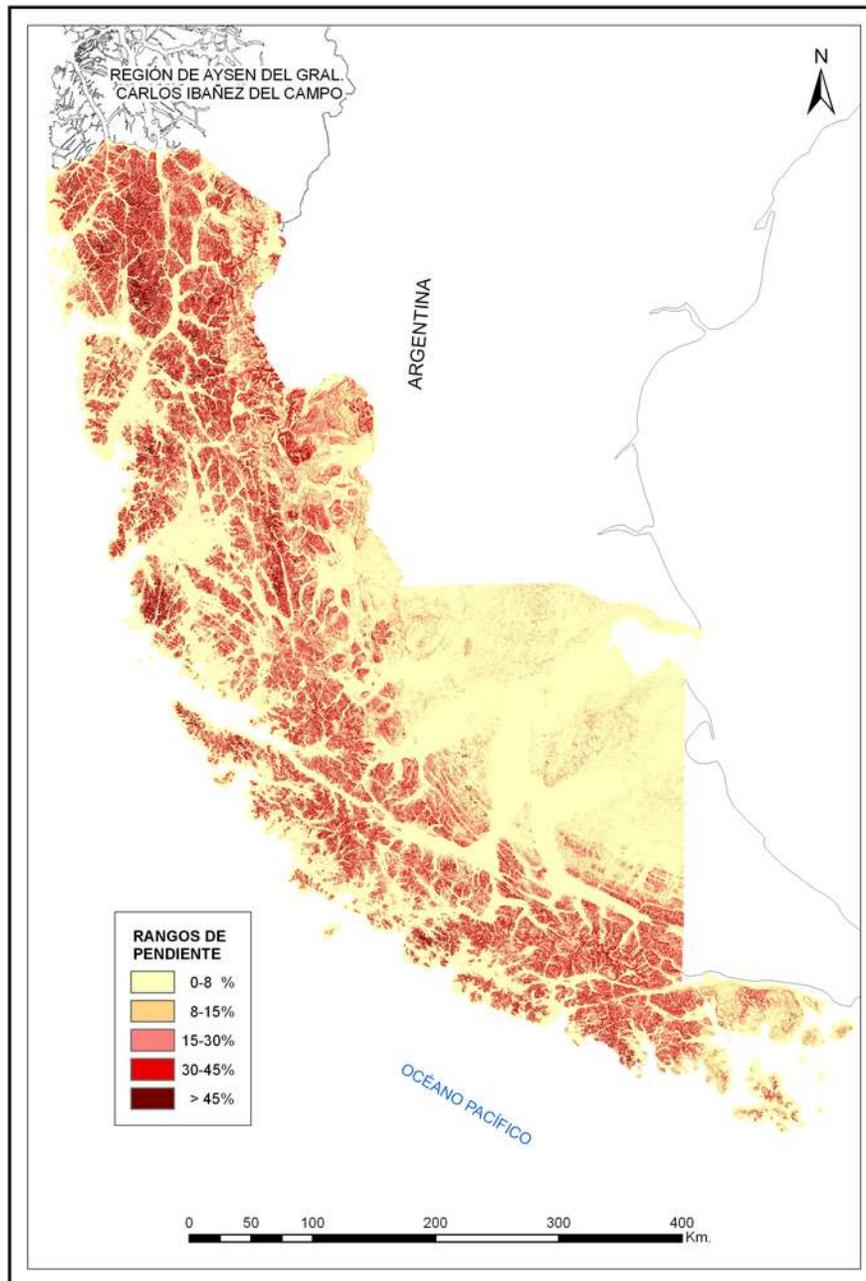


Figura 15. Índice de riesgo por pendientes.

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).

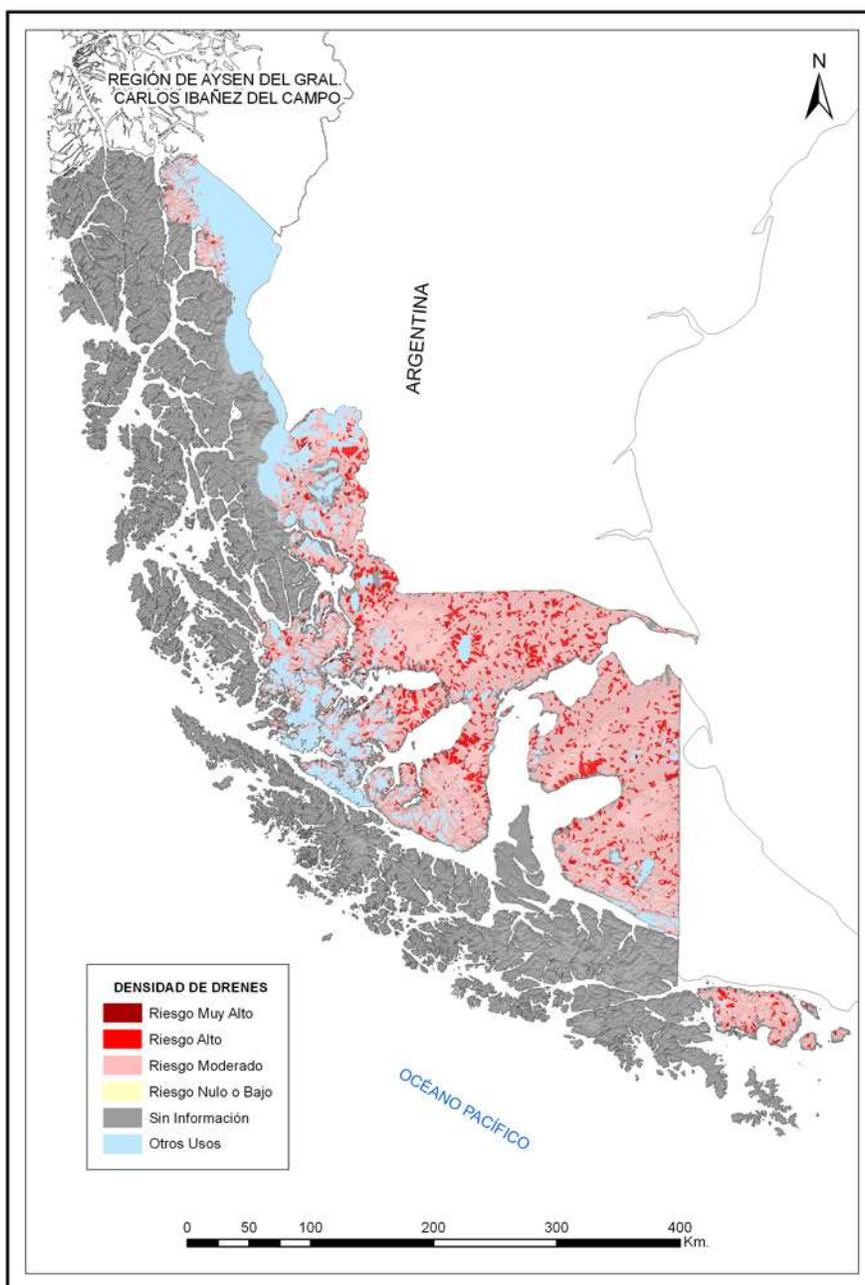


Figura 16. Índice densidad de drenes.



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

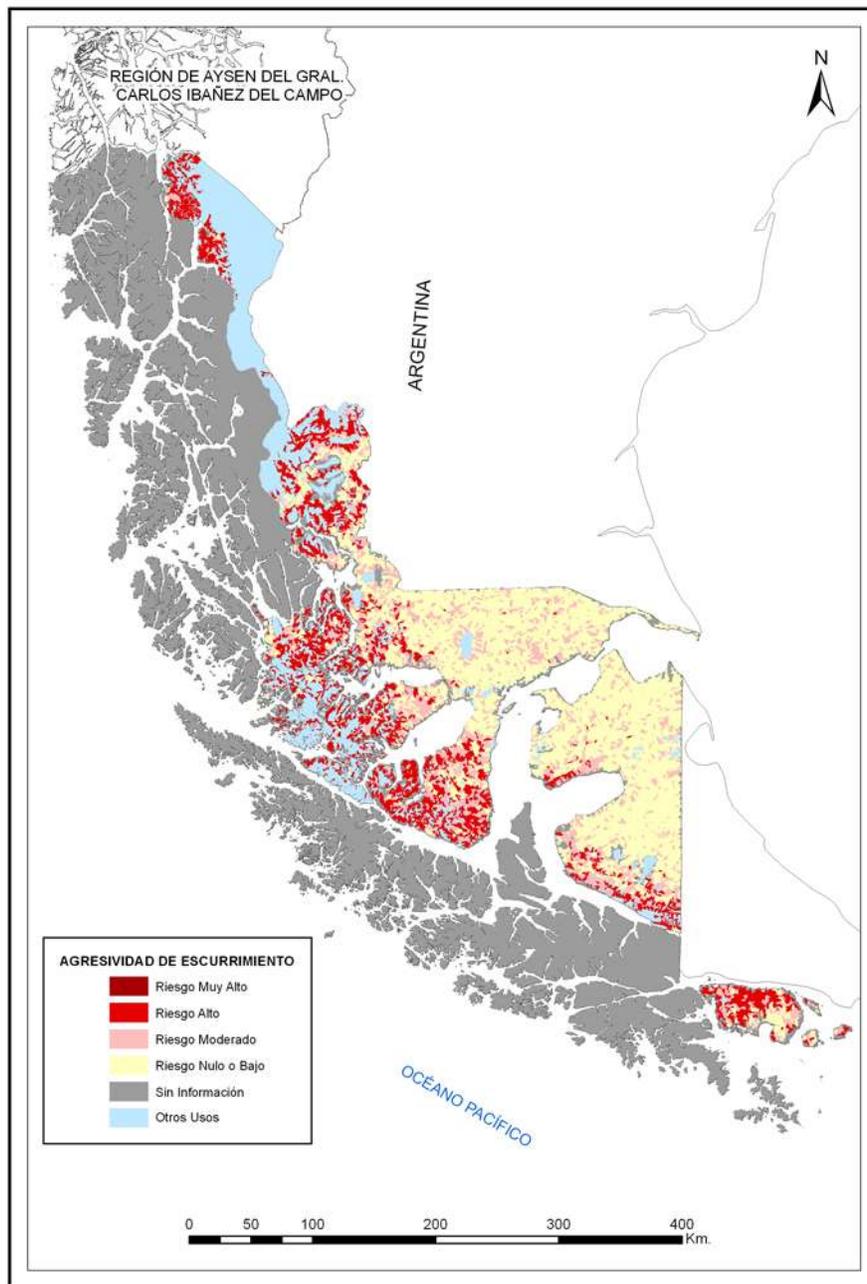
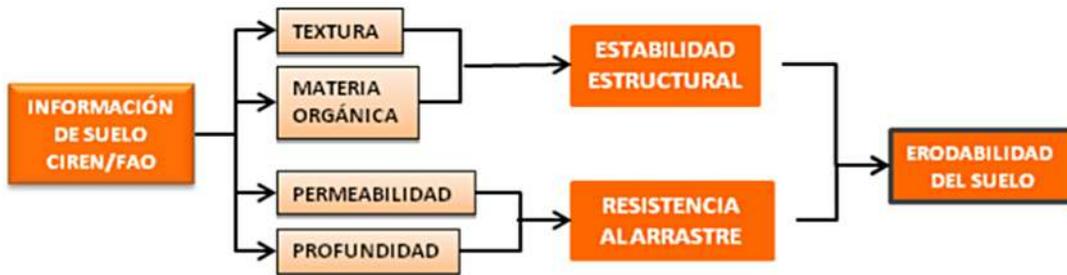


Figura 17. Índice de agresividad escurrimiento.

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).

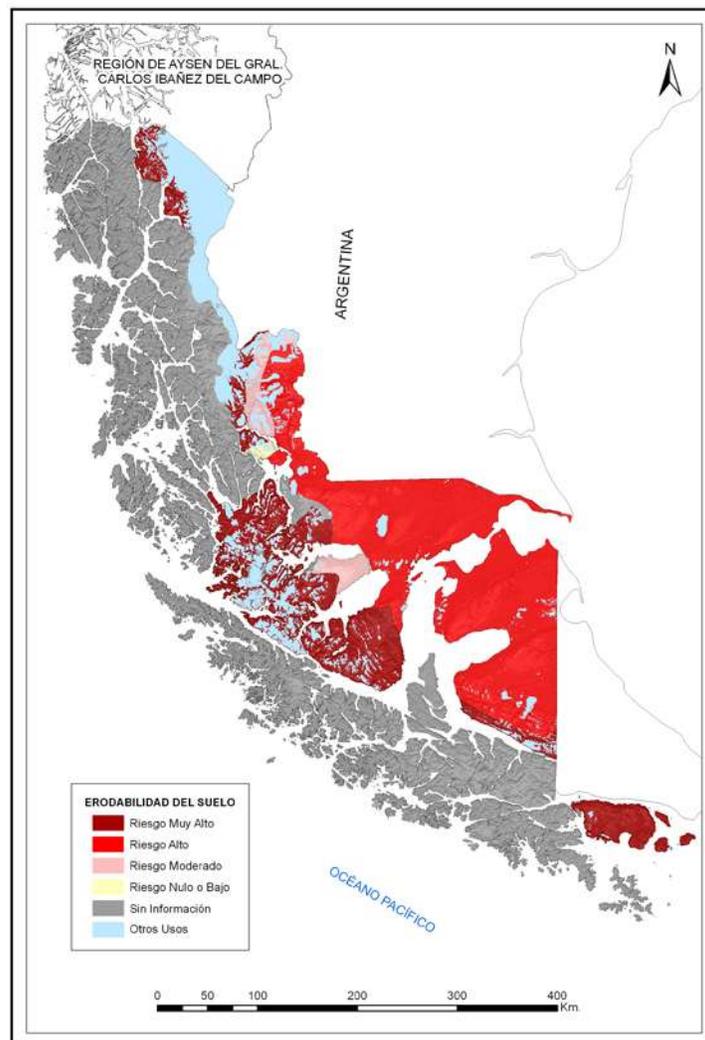


Figura 18. Índice de erodabilidad de suelo.



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.

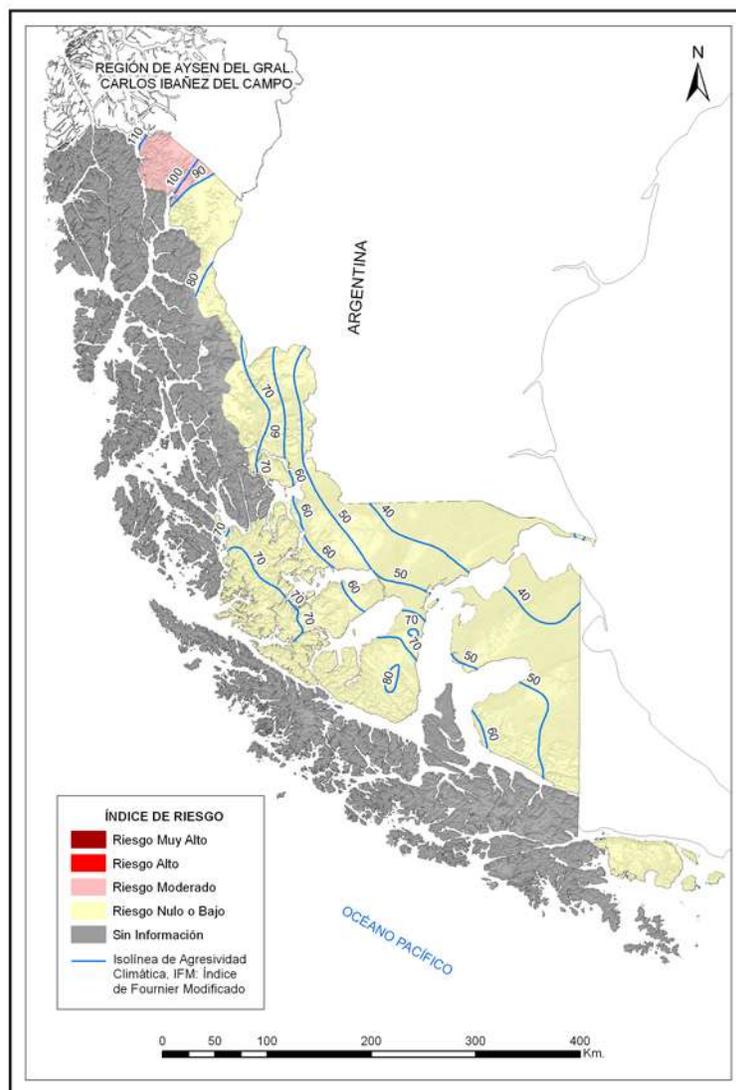
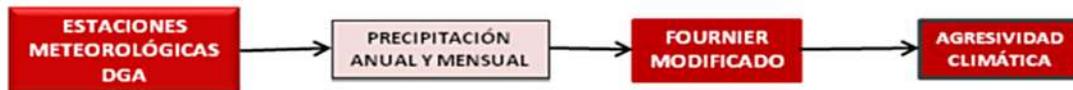


Figura 19. Índice de agresividad climática.

Índice de riesgo topoclimático.

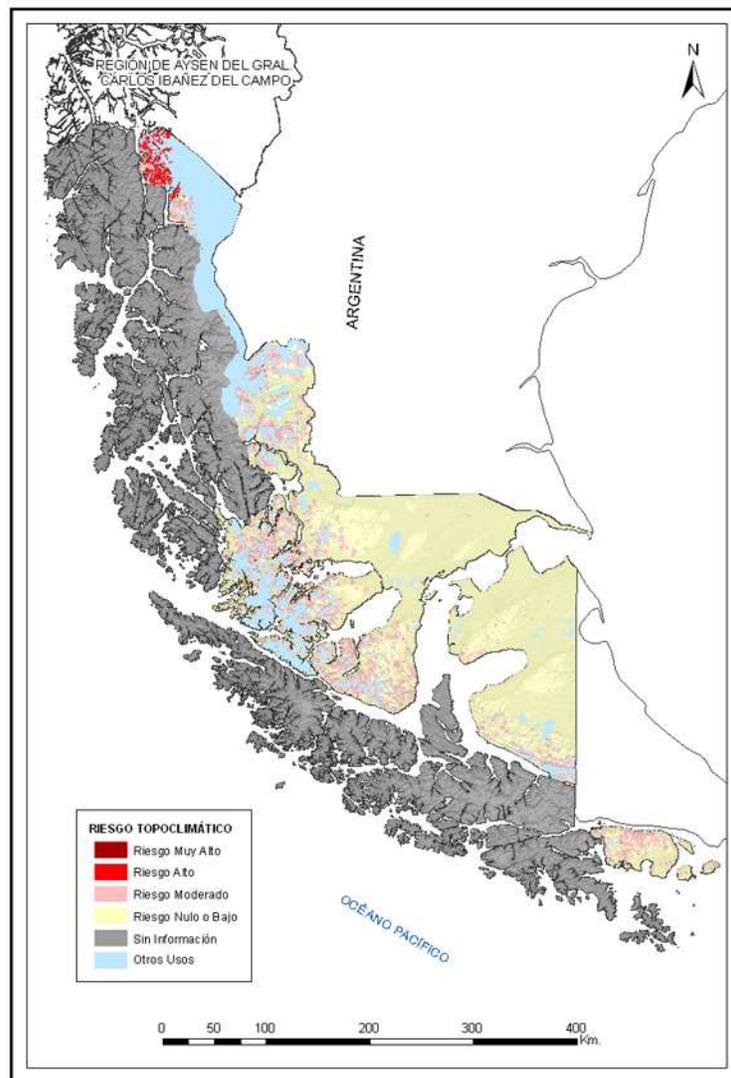
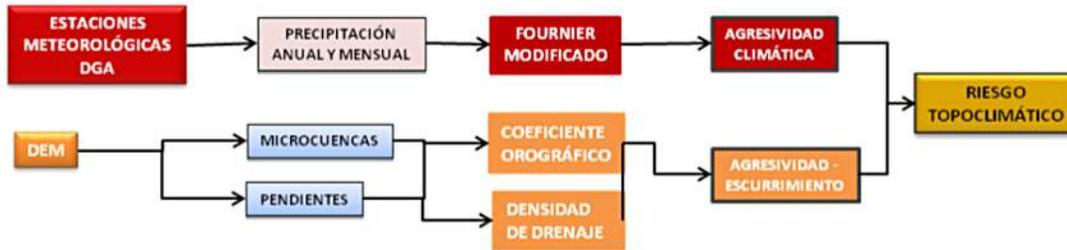


Figura 20. Índice de riesgo topoclimático.



Índice de riesgo físico.

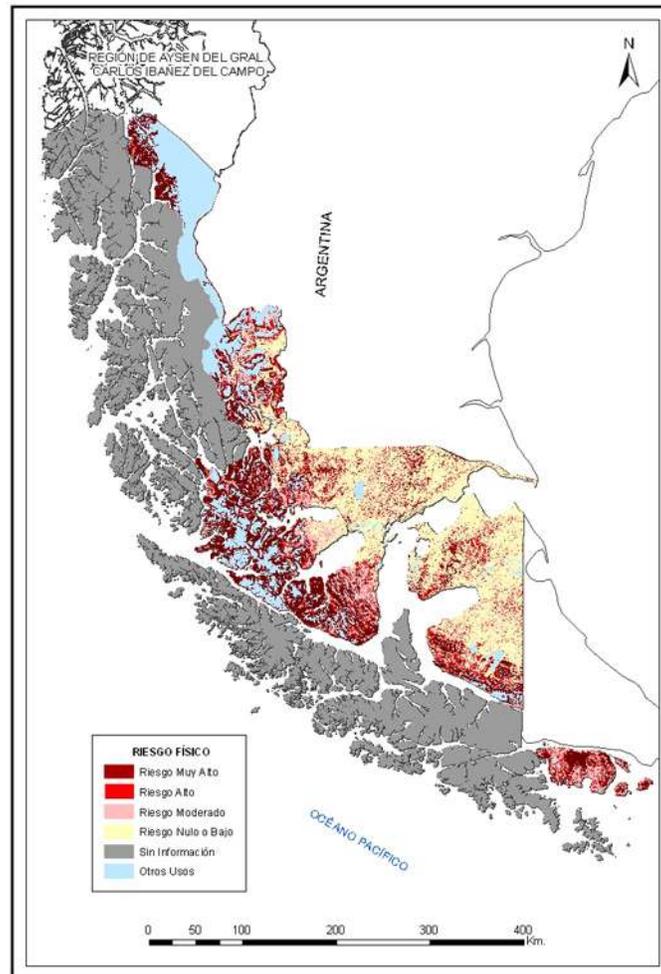
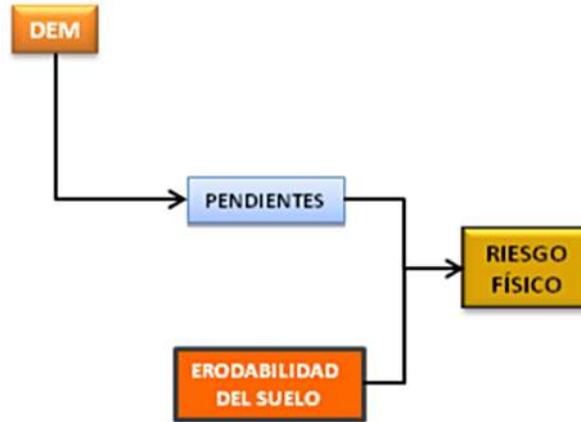
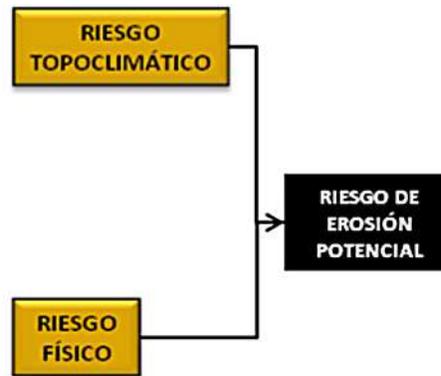


Figura 21. Índice de riesgo físico.

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
MAGALLANES Y						
LA ANTARTICA CHILENA	3.548.296	813.711	686.891	465.904	7.774.039	13.288.841
ANTARTICA CHILENA	109.660	84.483	55.904	25.527	1.356.932	1.632.505
CABO DE HORNOS	109.660	84.483	55.904	25.527	1.356.932	1.632.505
MAGALLANES	1.450.959	317.006	289.461	179.401	1.539.889	3.776.716
LAGUNA BLANCA	316.608	15.607	1.799	12	20.639	354.665
PUNTA ARENAS	236.497	155.867	129.691	94.123	1.216.929	1.833.107
RIO VERDE	266.132	110.741	149.961	85.124	299.776	911.733
SAN GREGORIO	631.721	34.792	8.010	141	2.546	677.210
TIERRA DEL FUEGO	1.421.610	175.753	80.649	34.088	381.627	2.093.727
PORVENIR	701.591	54.900	14.448	908	22.717	794.565
PRIMAVERA	326.269	22.806	1.971	104	996	352.145
TIMAUKEL	393.750	98.047	64.230	33.076	357.914	947.017
ULTIMA ESPERANZA	566.067	236.468	260.878	226.889	4.495.591	5.785.893
NATALES	437.204	170.157	210.114	195.749	4.245.332	5.258.557
TORRES DEL PAINE	128.863	66.311	50.763	31.140	250.259	527.337



MAGALLANES Y LA ANTÁRTICA CHILENA

PORCENTAJE (%) DE SUPERFICIE
CON RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL

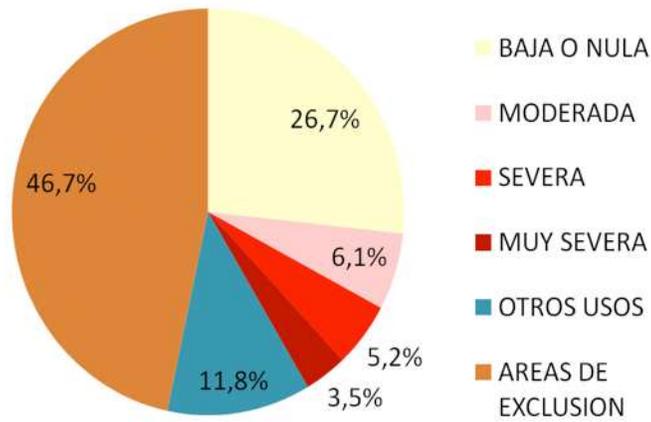


Figura 22. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión potencial, a nivel regional.



Figura 23. Localidad: Isla Riesco
Coordenadas: H19 331906E; 4163960N
Tipo cobertura: pradera.
Clase erosión: sin erosión

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION POTENCIAL REGIÓN DE MAGALLANES Y ANTÁRTICA CHILENA

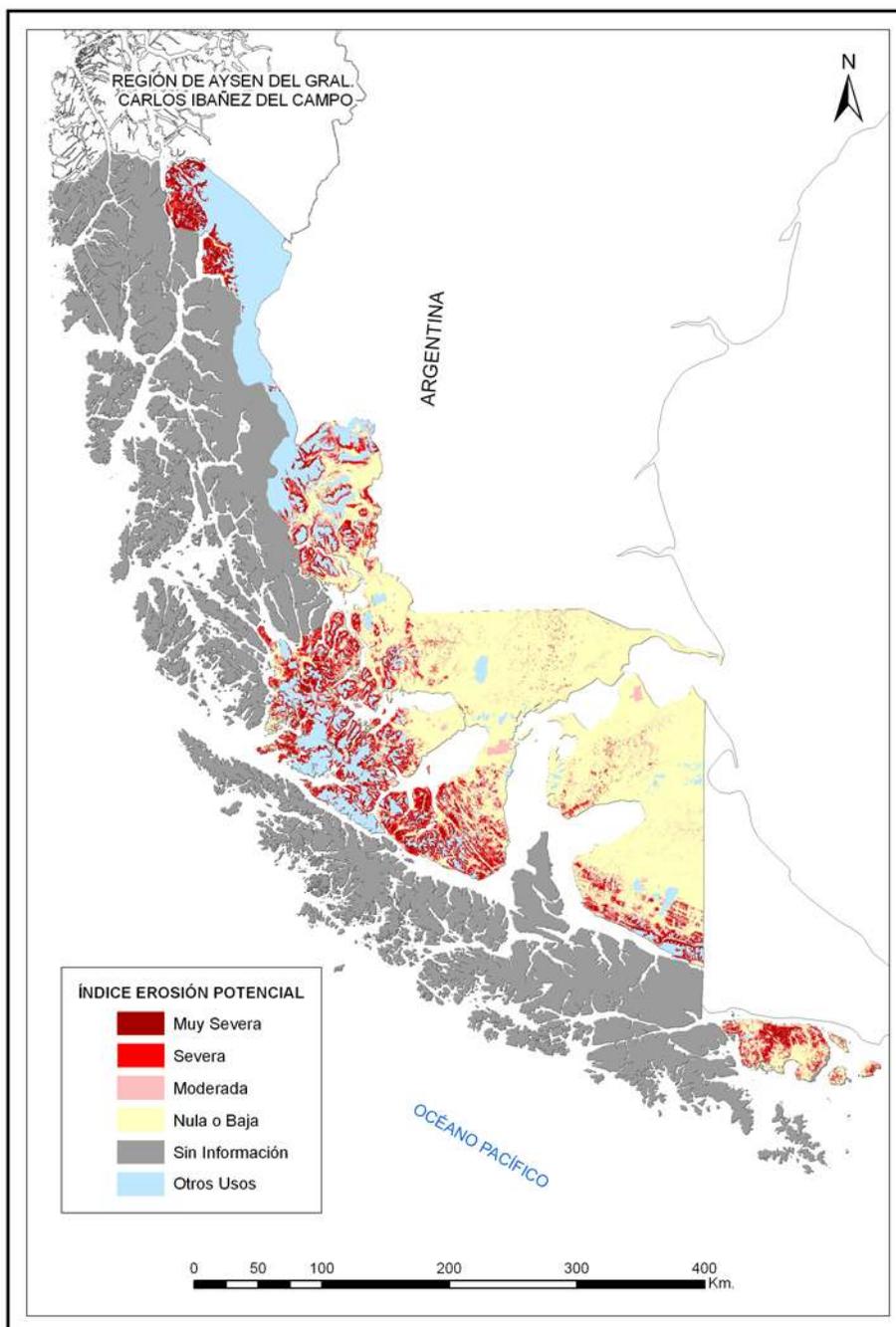


Figura 24. Riesgo de erosión potencial para la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.



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.

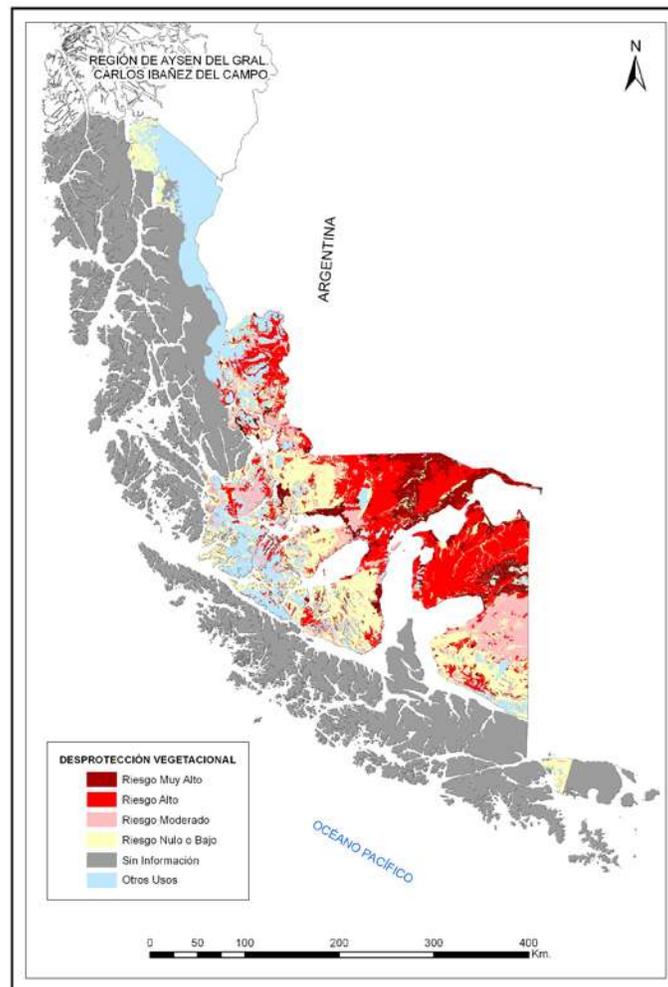
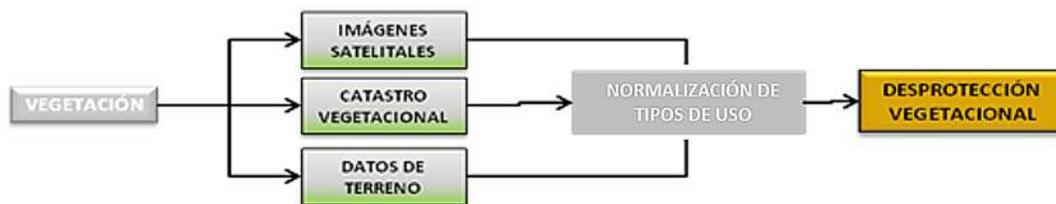


Figura 25. Índice de desprotección vegetal.

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

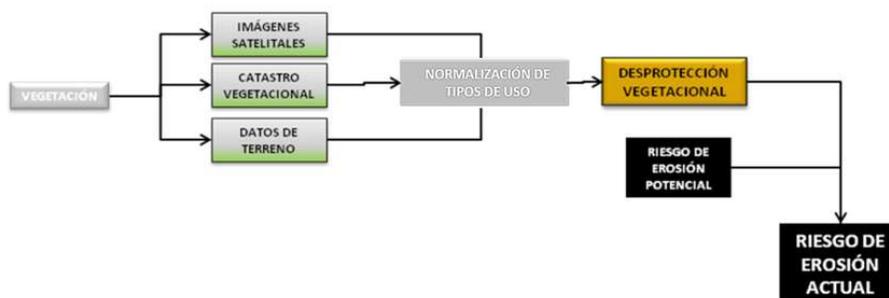
CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO	CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO
Áreas sobre límite vegetacional	0	Matorral abierto	3
Bosque nativo-exóticas asilvestrado muy abierto	3	Matorral arborescente abierto	3
Bofedales	1	Matorral arborescente denso	1
Bosque exóticas asilvestradas abierto	2	Matorral arborescente muy abierto	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 renoval abierto	3	Matorral pradera muy abierto	4
Bosque nativo adulto renoval denso	1	Matorral pradera semidenso	2
Bosque nativo adulto renoval muy abierto	3	Matorral semidenso	2
Bosque nativo adulto renoval semidenso	2	Matorral-estepa patagónica	3
Bosque nativo adulto semidenso	1	Murtilla	3
Bosque nativo renoval abierto	3	Murtilla coirón	3
Bosque nativo renoval denso	1	Murtilla mata	3
Bosque nativo renoval muy abierto	3	Ñadis herbáceos arbustivos	1
Bosque nativo renoval 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 altioplánica	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, por agentes hídricos, si se mantienen las condiciones actuales de vegetación (figura 26).



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.

Región/Provincia/Comuna	BAJO O NULA	MODERADA	SEVERA	MUY SEVERA	OTRAS CATEGORIAS	Total general
MAGALLANES Y						
LA ANTARTICA CHILENA	4,163,895	756,745	389,934	203,720	7,774,435	13,288,729
ANTARTICA CHILENA	130,245	74,488	47,124	23,701	1,356,946	1,632,505
CABO DE HORNNOS	130,245	74,488	47,124	23,701	1,356,946	1,632,505
MAGALLANES	1,744,495	278,899	158,405	54,853	1,539,952	3,776,604
LAGUNA BLANCA	321,936	11,200	896		20,633	354,665
PUNTA ARENAS	439,065	102,610	56,079	18,386	1,216,856	1,832,995
RIO VERDE	347,648	133,726	93,997	36,441	299,922	911,733
SAN GREGORIO	635,847	31,363	7,432	27	2,541	677,210
TIERRA DEL FUEGO	1,552,285	119,530	32,985	7,350	381,577	2,093,727
PORVENIR	706,460	51,599	13,825	17	22,664	794,565
PRIMAVERA	328,198	21,169	1,784		995	352,145
TIMAUKEL	517,627	46,762	17,376	7,333	357,918	947,017
ULTIMA ESPERANZA	736,870	283,828	151,420	117,815	4,495,960	5,785,893
NATALES	558,987	219,703	120,059	114,250	4,245,558	5,258,557
TORRES DEL PAINE	177,884	64,125	31,361	3,565	250,402	527,337

De acuerdo a los resultados del modelo IREPOT (figura 22 y 27) revelaron que ambos riesgos (26,7 y de erosión hídrica en la parte continental es preferentemente bajo a moderado.

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.

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION ACTUAL REGIÓN DE MAGALLANES Y ANTÁRTICA DE CHILE

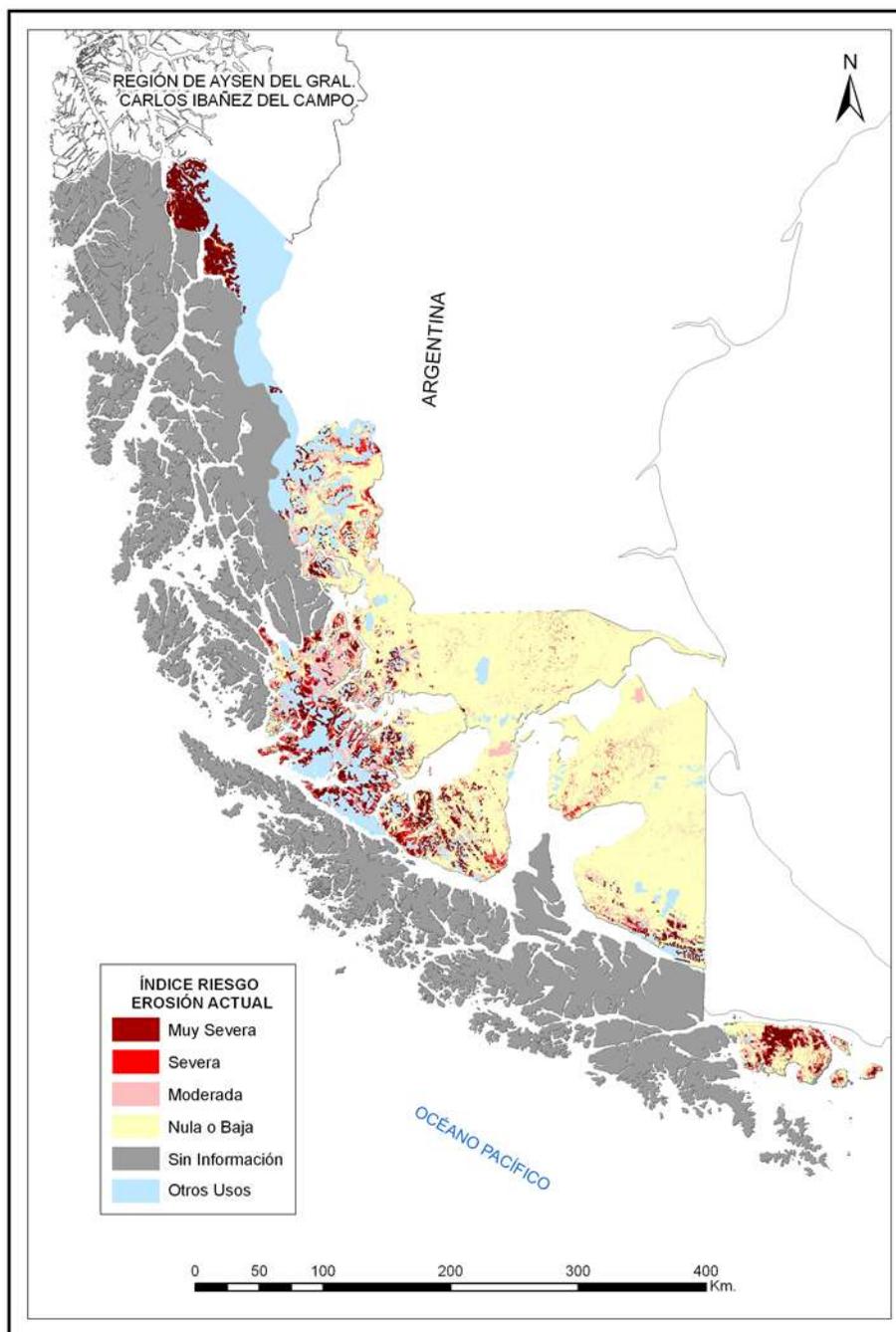


Figura 26. Riesgo de erosión actual para la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.



MAGALLANES Y LA ANTÁRTICA CHILENA

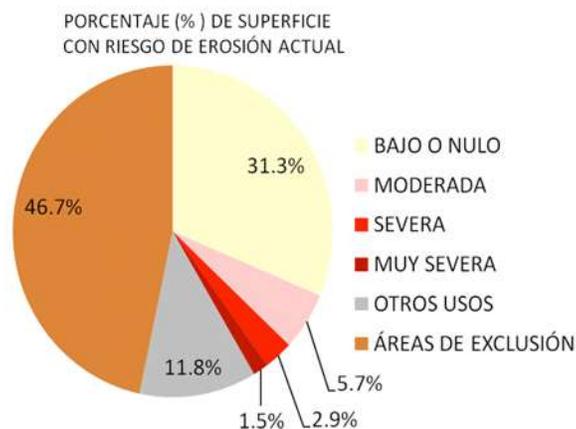


Figura 27. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión actual, a nivel regional.

CONCLUSIONES

Mediante el uso y análisis de imágenes Landsat 5 TM y de coberturas biogeofísicas de suelos, vegetación, topografía y clima, la superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de la XII Región es de 3,76 millones de hectáreas, lo que representa el 28,5% de la superficie regional, y el 43,9% de los suelos de la superficie de estudio. Sin embargo, parte de esta superficie, en especial hacia la Cordillera de los Andes, que se transforma en islas y archipiélagos ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión natural (agua, hielo, viento), sin mayor intervención del ser humano.

Las regiones del extremo sur, como Aysén y Magallanes, tienen niveles de erosión severa y muy severa en torno al 10% de su superficie, así como suelos con erosión no aparente (48 y 36%, respectivamente), y alrededor de un 30% de superficies calificadas como otros usos (arenas, glaciares, rocas). Cabe mencionar, que debe diferenciarse de cada macrozona de la Región de Magallanes tiene un comportamiento ecosistémico disímil entre ellas, pero los principales agentes erosivos están dados por el factor hídrico y eólico. Como elemento antropogénico de la erosión de la región, se encontró al sobrepastoreo y tala de bosque para habilitación agro-ganadera.

Las comunas con mayores problemas de erosión son Primavera, Laguna Blanca y San Gregorio (sobre el 80% de superficie comunal). Puerto Natales, Porvenir y San Gregorio abarcan, en conjunto, el 76% de la superficie regional categorizada bajo clases de erosión "severa" o "muy severa", sumando una superficie superior al millón de ha en esta condición.

Por otra parte, los resultados del modelo de riesgo de erosión actual y potencial (IREPOT) validados en 21 áreas muestrales revelan que ambos riesgos de erosión en la parte continental es preferentemente bajo a moderado, no obstante, el modelo es intrínsecamente hídrico, por lo que, los resultados en la zona patagónica pueden resultar menores a lo esperado, en relación a los agentes erosivos totales presentes en la región. Se recomienda mejorar la escala de información base de suelos, vegetación y clima, para incrementar la certidumbre de la clasificación de los niveles de erosión y riesgos actuales y potenciales de degradación por erosión.

La metodología planteada con el uso y correlación de patrones espectrales de imágenes satelitales permite realizar una cualificación del paisaje de forma eficaz y a menores costos que metodologías tradicionales de campo, en una región excesivamente extensa.

Finalmente, se esperaría en el futuro, una 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 Magallanes. Disponible en: <http://www.bcn.cl/siit/regiones/region12/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



CONAF. 2006. Catastro de Uso del Suelo y Vegetación, Región de Magallanes y la Antártica Chilena. Monitoreo y Actualización. 2006. Disponible en:
http://www.conaf.cl/cms/editorweb/catastro/actualizacion_Magallanes.pdf. Consultado el 23.11.2010.

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.

DMC. 2010. Dirección Meteorológica de Chile. Descripción meteorológica para la Región de Magallanes
http://www.meteochile.cl/climas/climas_duodecima_region.html. Consultado el 23.11.2010

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.

INE. 2010. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). División Político Administrativa y Censal 2007. Disponible en:
http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/territorio/division_politico_administrativa/pdf/DPA_COMPLETA.pdf. Consultado el 23.11.2010.

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 Precoyuntura de la VII Región. *Agric. Téc. (Chile)* 43:151-158.

Peña, L. 1985. Erosión hídrica en trumacos 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 Quilmapu, Chillan. 196 p.

Pizarro, R., J. Flores., C. Sangüesa., E. Martínez, y L. León. 2008. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el seco 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.

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 Magallanes y Antártica Chilena

CIREN

Centro de Información de Recursos Naturales

Manuel Montt 1164, Providencia.

Fono (56-2) 200 89 00

www.ciren.cl

Santiago de Chile - 2010