



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

Región de Los Lagos

# 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 Los Lagos

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile  
**Región de Los Lagos**

## **Síntesis de Resultados - Diciembre 2010**

Publicación N° 151

Registro de propiedad intelectual: 200597

### **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](http://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	44
Referencias	45





## 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 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 X Región de Los Lagos es de 4,83 millones de hectáreas.

Para la X Región existe una superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de 1,17 millones de hectáreas, lo que representa el 24,3% del área de estudio de la región. Sin embargo, 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 zonas con mayores índices de erosión son Fresia, Río Negro, Purranque y Los Muermos. Mientras que las comunas de la Isla de Chiloé como Castro y Quellón superan en conjunto las 500.000 ha erosionadas. Fresia, Chaitén y Quellón se constituyen como las comunas que presentan la mayor superficie con clases de erosión “severa” y “muy severa”. Aún cuando, la Región de Los Lagos (junto a Los Ríos) tienen los menores niveles de erosión severa y muy severa (<5%). La cartografía de erosión actual presenta una extensa superficie (2,1 millones de hectáreas) clasificada como “erosión no aparente”, producto que en sectores con vegetación densa, el sensor remoto no puede registrar información bajo la cubierta vegetal. El riesgo de erosión actual regional es bajo. Mientras que el riesgo de erosión potencial que predomina es la categoría muy severa (38,1% de la superficie regional), si las coberturas de vegetación disminuyeran drásticamente en 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).



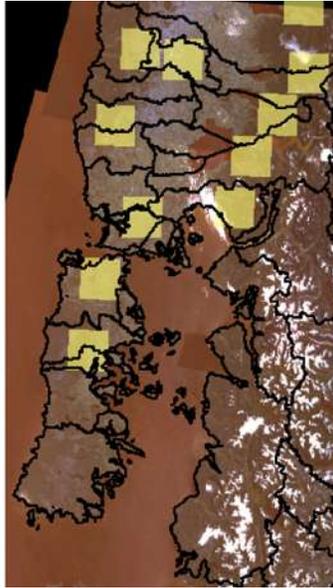
**Figura 1.** Erosión de los suelos de Chile, X Región de Los Lagos.

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 Los Lagos, 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 se ubica entre los 40°15' y los 44°14' de latitud sur, y desde el límite con la República Argentina hasta el Océano Pacífico. Posee una superficie de 4,83 millones de hectáreas. Las características del relieve de la X Región presentan una gran cantidad de procesos y formas orográficas (INE, 2010). Es posible distinguir dos grandes sectores, separados por el Canal de Chacao. El sector norte, que corresponde a las provincias de Osorno y Llanquihue, se caracteriza por el predominio de la depresión intermedia, ubicada entre la Cordillera de la Costa y Cordillera de los Andes. En el sector sur, dicha depresión se encuentra sumergida en el mar, dando origen a gran cantidad de islas, fiordos y canales que conforman el Archipiélago de Chiloé, donde la Cordillera de la Costa se presenta bajo la forma de lomajes suaves que caracterizan el paisaje de esta provincia. Palena, la más austral de las provincias de la región, está conformada básicamente por la Cordillera de los Andes. El clima es templado lluvioso, las temperaturas varían en rangos moderados, suavizadas por la presencia de grandes masas de agua; los índices de pluviometría aumentan de mar a cordillera, con valores que oscilan, según la zona, entre los 1.600 mm/año a 2.500 mm/año, con precipitaciones durante casi todo el año (SUBDERE, 2010).

Los suelos de la Región de Los Lagos mantienen en el sector norte, las mismas características que en la Novena Región, es decir, en el litoral y Cordillera de la Costa predominan los suelos de praderas costeras y los suelos pardos rojizos que, debido a la mayor humedad y precipitaciones existentes en esta zona presenta una tonalidad más oscura. En el Valle Longitudinal y Precordillera se desarrollan los suelos trumaos, de color pardo oscuro. Estos suelos poseen gran fertilidad y constituyen el principal recurso agropecuario de la región. En la sección intermedia y sur de la región (Osorno, Llanquihue y Chiloé) se desarrollan los suelos pardo-podzólicos o ultisoles, que son suelos formados bajo condiciones de clima templado lluvioso, con abundante vegetación; son de color oscuro debido a la gran cantidad de materia orgánica que posee su horizonte superficial. Son suelos que han evolucionado sobre sedimentos glacio-fluvio-volcánicos. Su fertilidad y rendimiento agrícola es menor que el de los suelos de la zona central del país, debido a que el exceso de humedad y precipitaciones altera sus propiedades; son suelos muy lavados.

El cuadro 1, presenta la tipología del uso del suelo (CONAF, 2008) de la Región de Los Lagos:

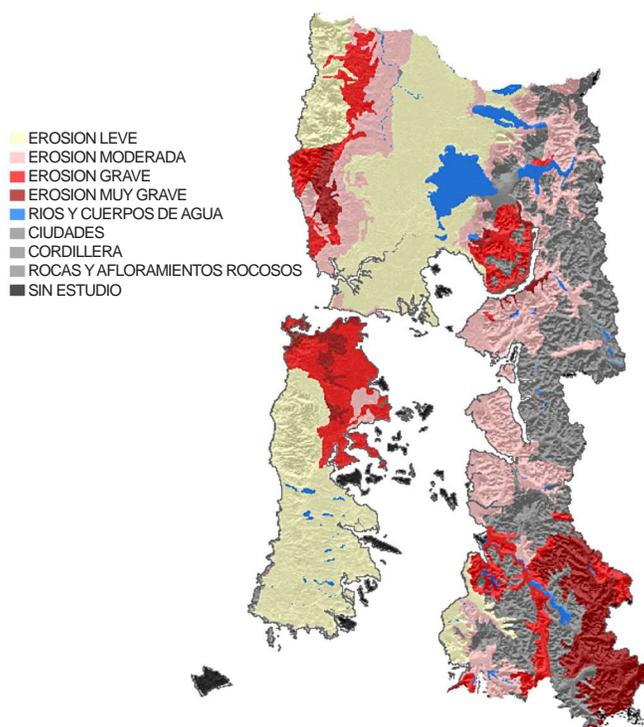
**Cuadro 1.** Superficie regional por tipo de uso del suelo (hectáreas y porcentaje), X Región.

Usos del suelo	Superficie	
	(ha)	%
Áreas urbanas e industriales	13.159,7	0,2
Terrenos agrícolas	17.763,2	0,3
Praderas y matorrales	1.783.155,5	26,7
Bosques	3.820.502,1	57,2
Humedales	74.541,9	1,1
Áreas desprovistas de vegetación	234.081,3	3,5
Nieves y glaciares	372.020,5	5,6
Cuerpos de agua o aguas Continentales	329.498,0	4,9
Áreas no reconocidas	36.171,2	0,5
<b>TOTAL</b>	<b>6.680.893,4</b>	<b>100,0</b>

Considera Región de Los Ríos, superficie: 1.840.313,2 ha



Dadas las condiciones climáticas en la región, la vegetación dominante es el bosque templado lluvioso y la selva valdiviana. El bosque templado lluvioso se distribuye hacia la Cordillera de los Andes y cuenta con especies, principalmente, roble, raulí, coigüe, ciprés, lenga y alerce (BCN, 2010). Se presenta una cubierta vegetal de bosques higromórfica, de gran variedad de especies, agrupadas en formaciones puras o mixtas. Existen áreas discontinuas aledañas a la frontera, con formaciones semidesérticas andinas de gramíneas hasta la latitud del Golfo de Ancud y una estepa herbácea trasandina en Futaleufú y Palena. Estas formaciones han sido, en parte, intervenidas por el hombre para la extracción de productos forestales y habilitación de terrenos para el uso agropecuario. (INE, 2010).



**Figura 3.** Mapa de nivel de erosión para la Región de Los Lagos, IREN-1979.

La desertificación es menos aguda que las regiones del norte debido a una menor presión medioambiental, clima más lluvioso, menores riesgos de incendios forestales, entre otras razones. El estudio de erosión del año 1979 (cuadro 2 y figura 3) muestra los resultados conjuntamente de las regiones de Los Ríos y Los Lagos.

**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	
XIV - X	(mill.)	0.4	0.59	1.66	2.19	4.85
	%	8.3	12.2	34.2	45.3	
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

## 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).

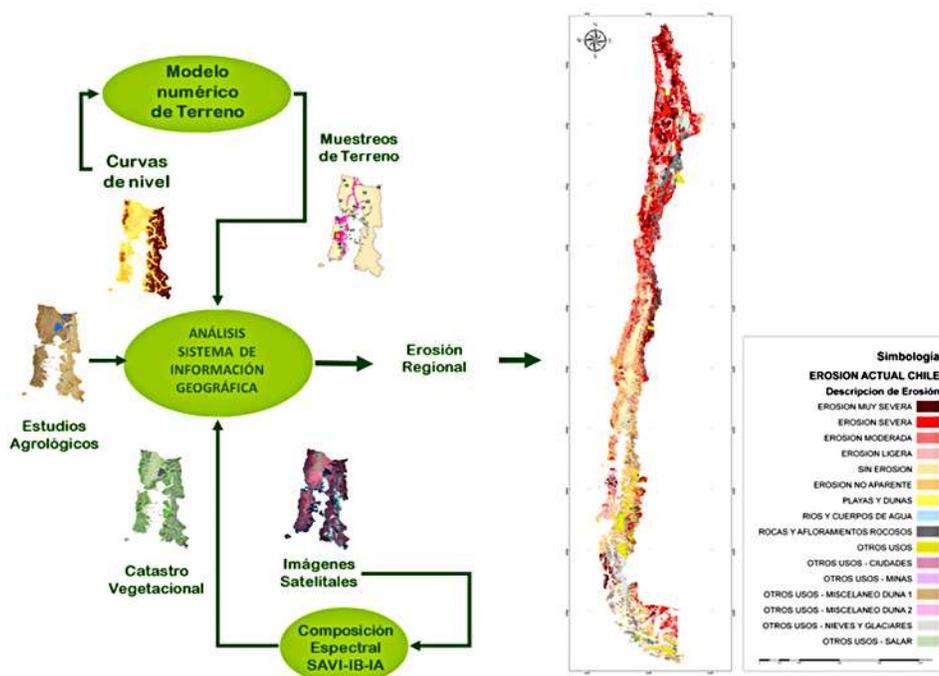


Figura 4. Diagrama metodológico del modelo de erosión actual.

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).

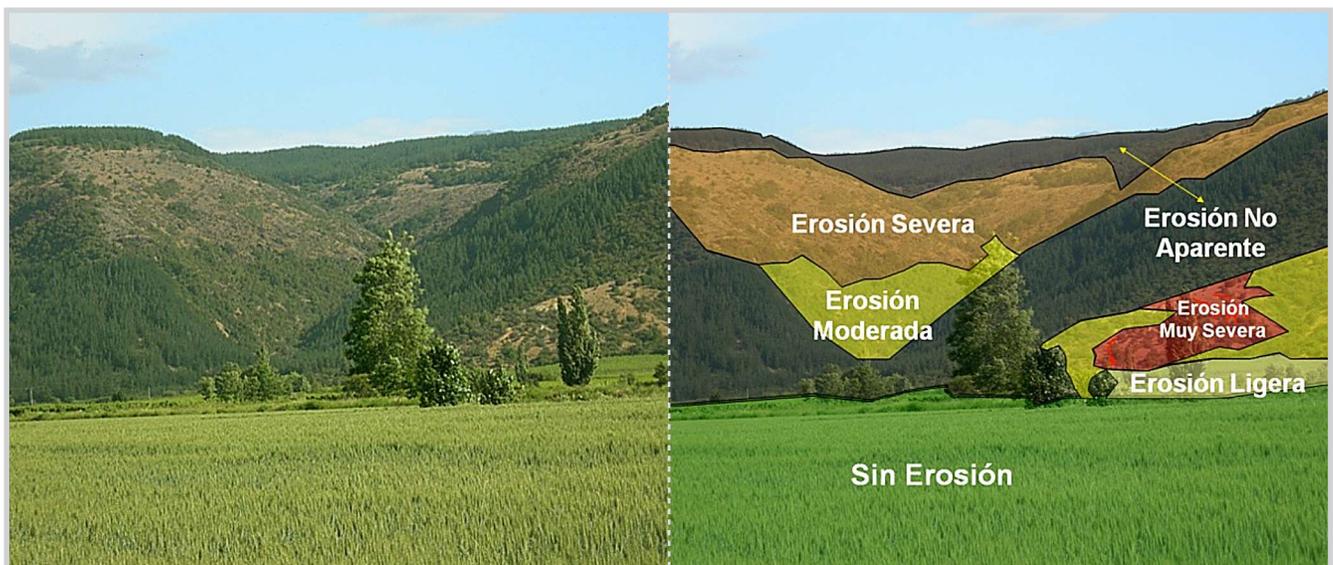


Fotografía 5. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión muy severa.

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).



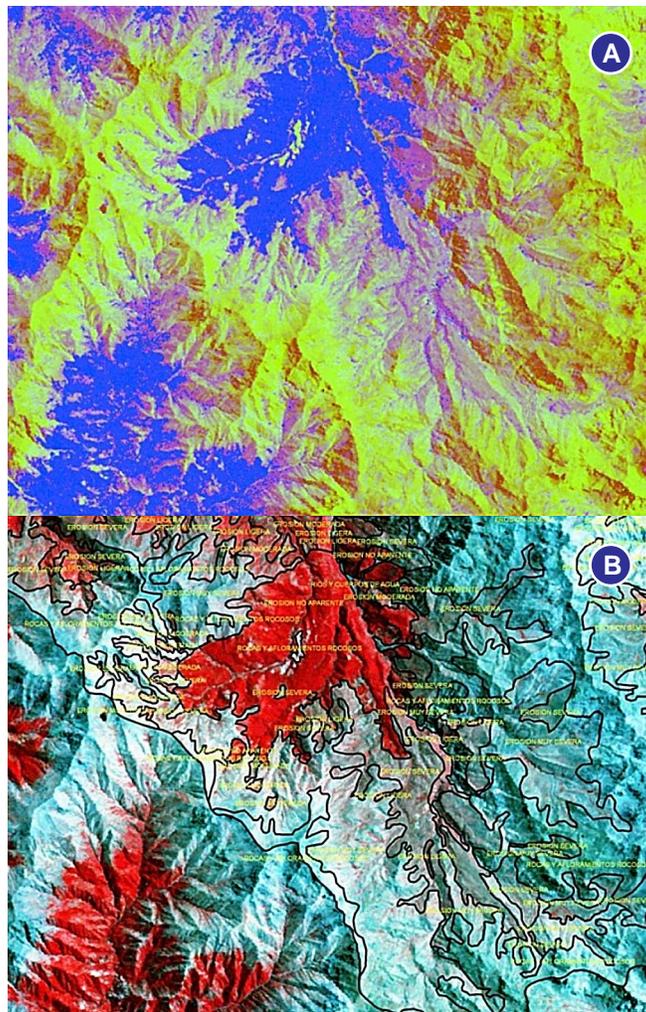
Fotografía 9. Clasificación de erosión de suelo, caso dunas litorales.

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 14 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).

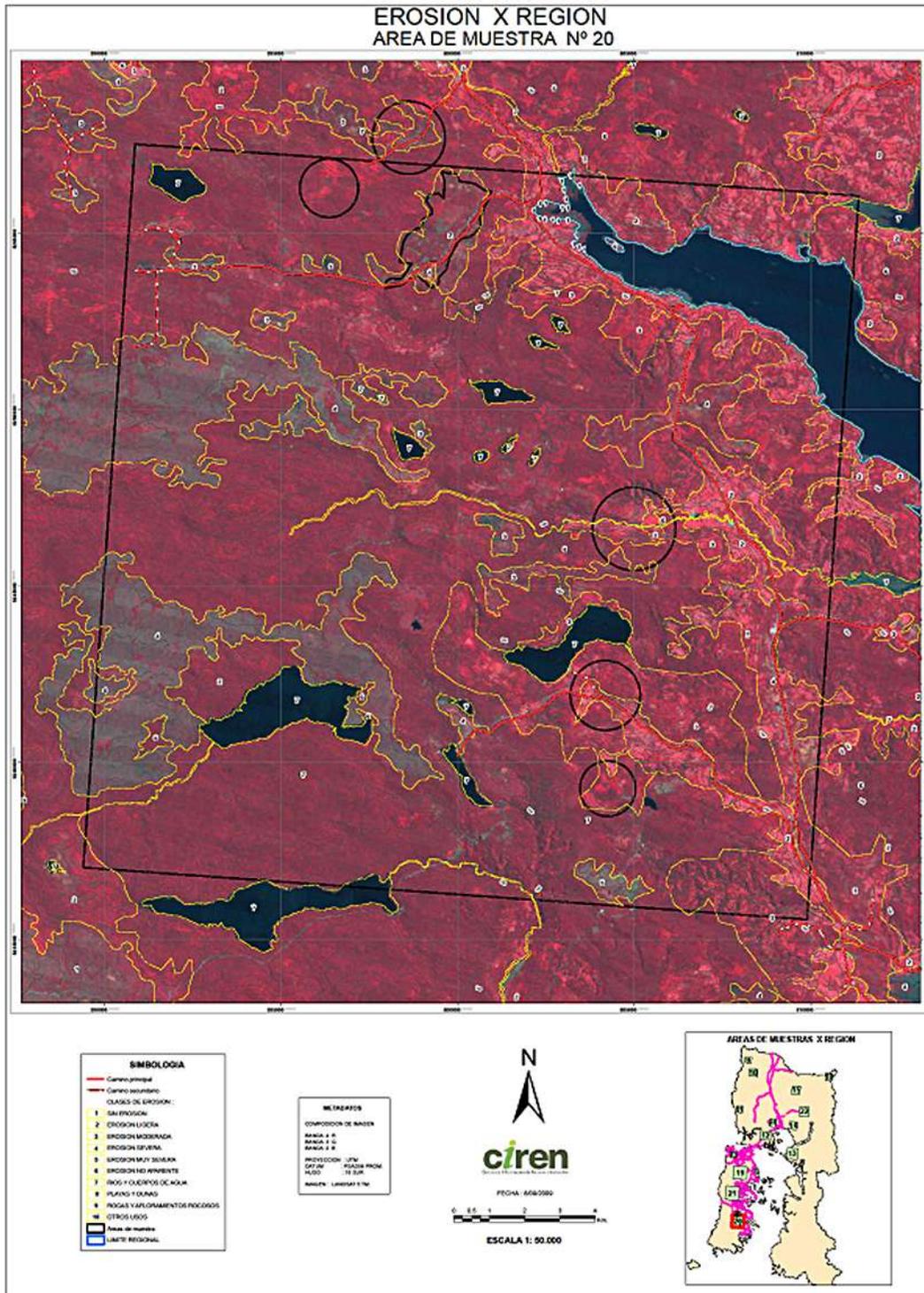
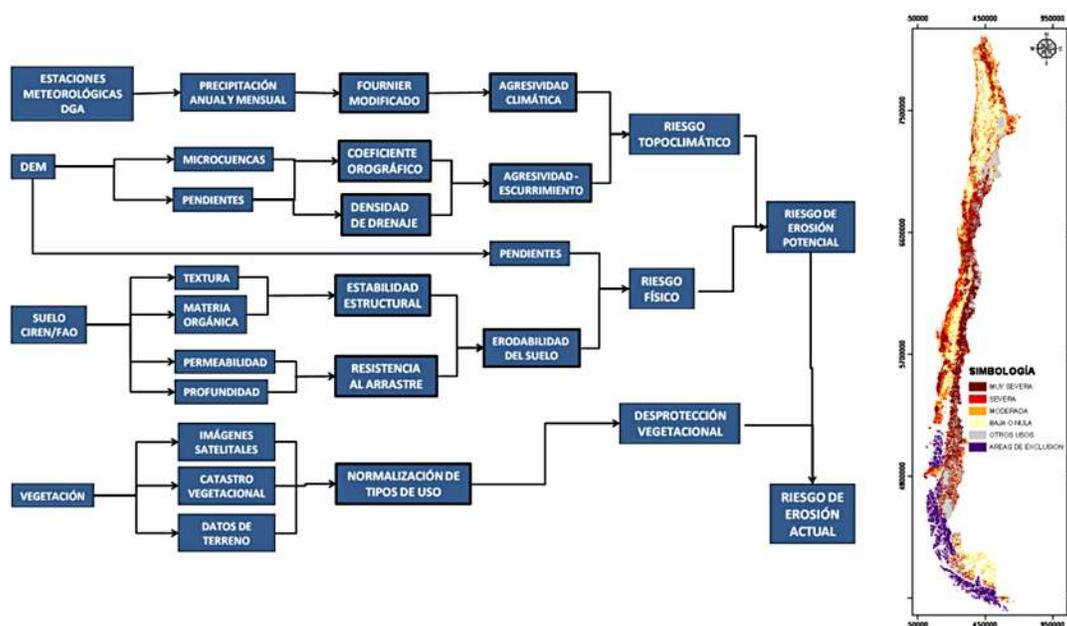


Figura 6. Áreas de muestreo y validación de la cartografía de erosión para la X Región de Los Lagos.

*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.

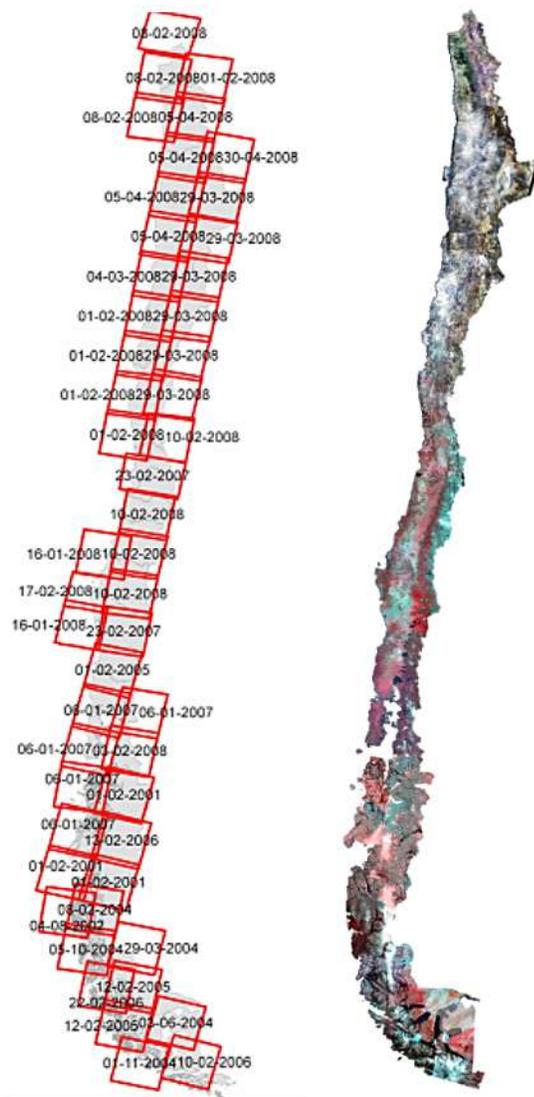
La agresividad climática es un índice que da cuenta de la erosividad de la lluvia, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación. La construcción de este índice se basó en la espacialización de registros pluviométricos proporcionados por 459 estaciones meteorológicas de la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

**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

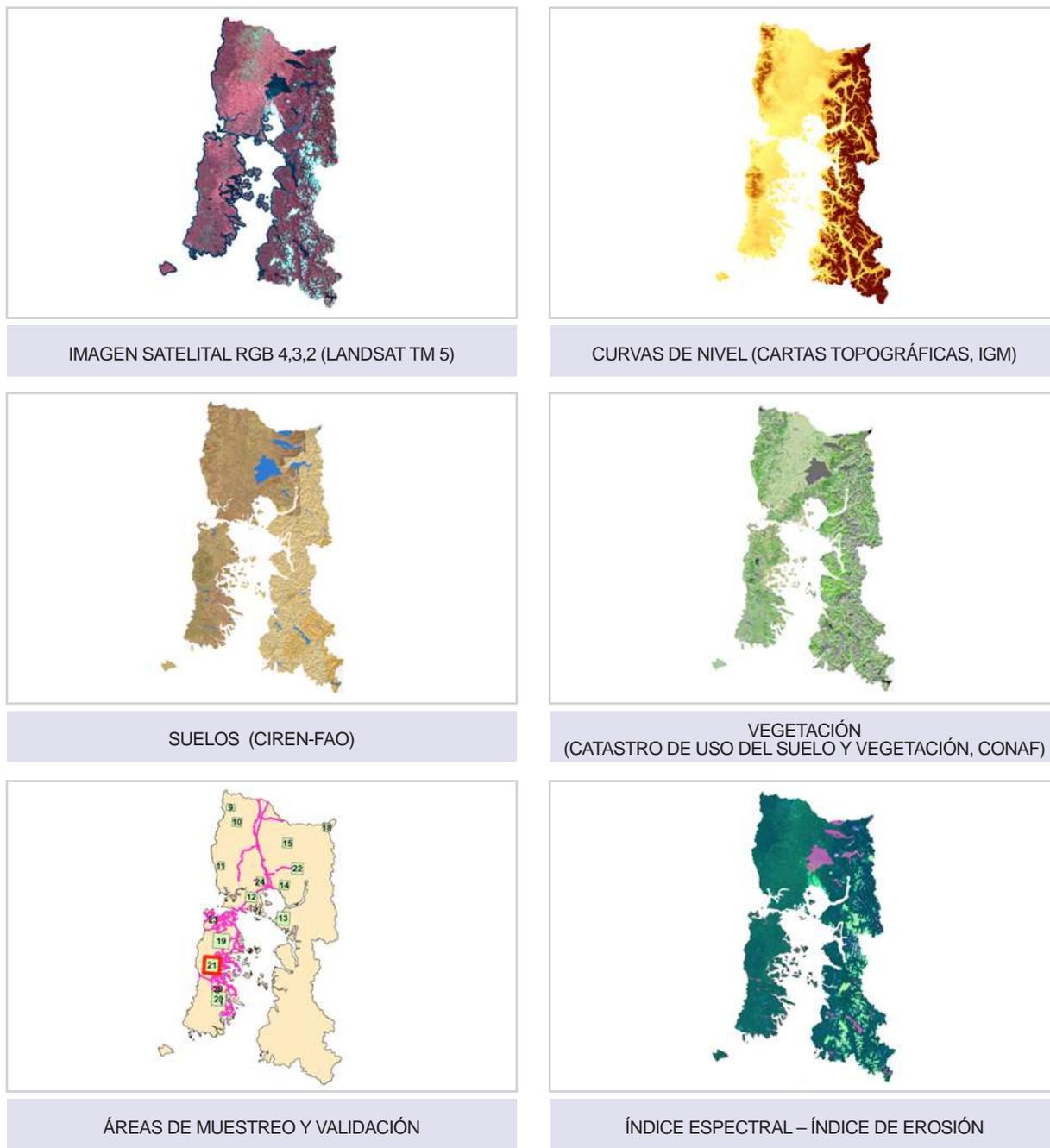
Patricio Grez Marchant, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - ODEPA

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

Roberto Lisboa Valle, Corporación Nacional Forestal - CONAF

## RESULTADOS Y ESTADÍSTICAS DE LA REGIÓN

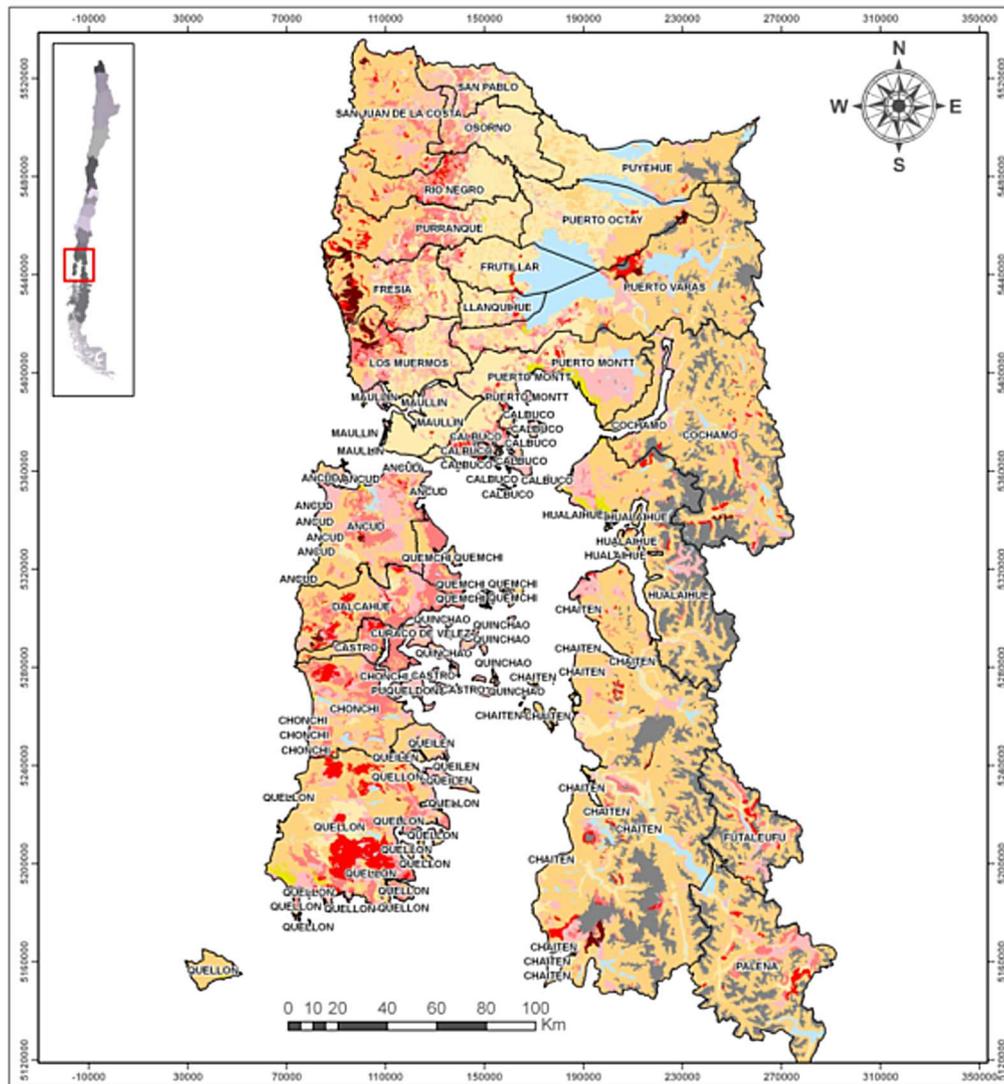
Se presentan los resultados de erosión actual, y las coberturas de información utilizadas (figuras 9 y 10).



**Figura 9.** Cobertura de información biogeofísica para la determinación de la erosión actual en la Región de Los Lagos – modelo de erosión actual.



## CARTOGRAFÍA EROSIÓN ACTUAL REGION X DE LOS LAGOS



Simbología Erosión Nacional					
Descripción					
	EROSION MUY SEVERA		EROSION LIGERA		PLAYAS Y DUNAS
	EROSION SEVERA		SIN EROSION		RIOS Y CUERPOS DE AGUA
	EROSION MODERADA		EROSION NO APARENTE		ROCAS Y AFLORAMIENTOS ROCOSOS
					OTROS USOS

Figura 10. Mapa de erosión actual para la X Región de Los Lagos.

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

**Cuadro 3.** Superficie de erosión actual en la Región de Los Lagos (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
<b>LOS LAGOS</b>	<b>750.762</b>	<b>574.689</b>	<b>423.464</b>	<b>138.923</b>	<b>33.268</b>	<b>2.142.577</b>	<b>770.059</b>	<b>1.170.344</b>	<b>4.833.742</b>
<b>CHILOE</b>	<b>40.276</b>	<b>205.920</b>	<b>193.167</b>	<b>68.543</b>	<b>2.407</b>	<b>389.887</b>	<b>30.194</b>	<b>470.038</b>	<b>930.395</b>
ANCUD	7.119	52.868	33.907	1.269	638	75.563	4.982	88.682	176.346
CASTRO	778	8.536	21.744	2.206		12.867	777	32.486	46.909
CHONCHI	3.198	25.399	36.408	6.901		56.953	7.756	68.709	136.616
CURACO DE VELEZ		5.784	906			1.177	23	6.690	7.890
DALCAHUE	4.687	17.521	33.751	10.153	1.365	56.105	433	62.790	124.015
PUQUELDON	225	8.503				884	56	8.503	9.667
QUEILEN		14.086	2.364	361		15.776	1.201	16.811	33.788
QUELLON	24.248	50.464	43.603	47.653	136	155.854	14.662	141.856	336.621
QUEMCHI	14	9.215	19.883		269	13.665	240	29.367	43.285
QUINCHAO	7	13.544	601			1.042	64	14.145	15.259
<b>LLANQUIHUE</b>	<b>333.955</b>	<b>167.238</b>	<b>86.327</b>	<b>26.776</b>	<b>21.839</b>	<b>569.753</b>	<b>264.011</b>	<b>302.180</b>	<b>1.469.899</b>
CALBUCO	24.428	19.729	5.934	5.534		1.412	1.044	31.196	58.080
COCHAMO	6.677	23.392	14.404	5.440	1.472	255.340	103.525	44.708	410.250
FRESIA	34.191	17.567	13.712	5.598	11.588	45.827	563	48.465	129.046
FRUTILLAR	46.489	3.400	3.732	1.598		8.925	32.934	8.730	97.077
LLANQUIHUE	22.934	4.509	2.903	605		5.316	8.581	8.017	44.848
LOS MUERMOS	38.619	23.988	16.417	2.342	5.579	34.270	450	48.326	121.665
MAULLIN	62.322	12.348	1.173	372		994	1.384	13.894	78.595
PUERTO MONTT	53.786	38.135	10.968	2.759		33.154	26.986	51.862	165.788
PUERTO VARAS	44.510	24.170	17.085	2.528	3.199	184.515	88.543	46.983	364.550
<b>OSORNO</b>	<b>303.600</b>	<b>86.861</b>	<b>80.635</b>	<b>17.025</b>	<b>3.803</b>	<b>358.072</b>	<b>78.023</b>	<b>188.325</b>	<b>928.020</b>
OSORNO	60.855	13.662	8.838	173		8.722	3.477	22.673	95.727
PUERTO OCTAY	67.925	8.067	1.591	1.606	822	66.434	36.214	12.086	182.659
PURRANQUE	44.988	10.136	27.196	5.446	2.197	54.483	770	44.975	145.217
PUYEHUE	50.026	5.821	1.921	399	74	67.961	35.194	8.216	161.397
RIO NEGRO	40.611	9.946	20.522	6.723	14	47.621	1.250	37.205	126.687
SN. JUAN DE LA COSTA	5.440	25.792	13.169	2.494	696	105.091	524	42.151	153.206
SAN PABLO	33.753	13.437	7.398	183		7.761	595	21.018	63.127
<b>PALENA</b>	<b>72.931</b>	<b>114.670</b>	<b>63.335</b>	<b>26.578</b>	<b>5.218</b>	<b>824.864</b>	<b>397.831</b>	<b>209.801</b>	<b>1.505.428</b>
CHAITEN	50.530	58.184	32.169	11.992	4.759	485.326	183.639	107.104	826.599
FUTALEUFU	3.502	11.422	9.142	3.666	152	56.847	39.326	24.383	124.057
HUALAIHUE	6.815	30.677	9.778	2.581	173	145.925	93.165	43.209	289.114
PALENA	12.085	14.387	12.245	8.339	134	136.766	81.702	35.104	265.657

\* 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 X Región es de 1,17 millones de hectáreas, lo que representa el 24,3% de la superficie regional y el 28,8 de la superficie de los suelos de la región (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.

## LOS LAGOS

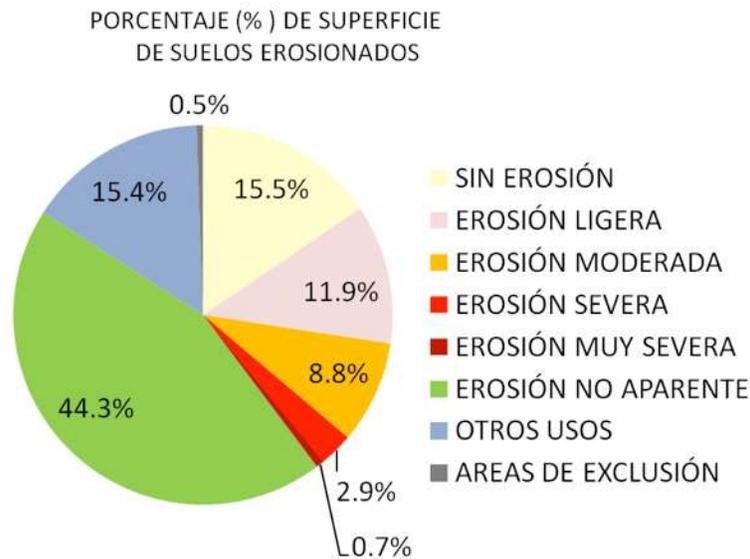
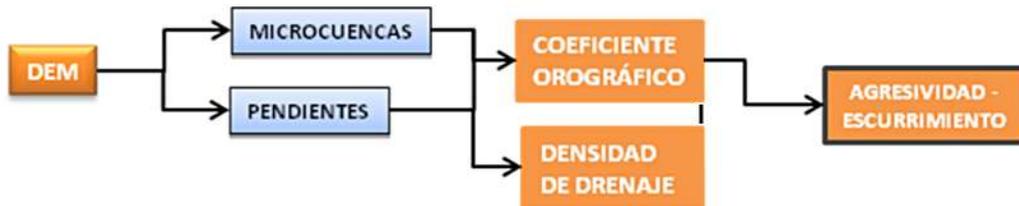


Figura 11. Porcentaje regional (%) de superficie de suelos erosionados.

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).

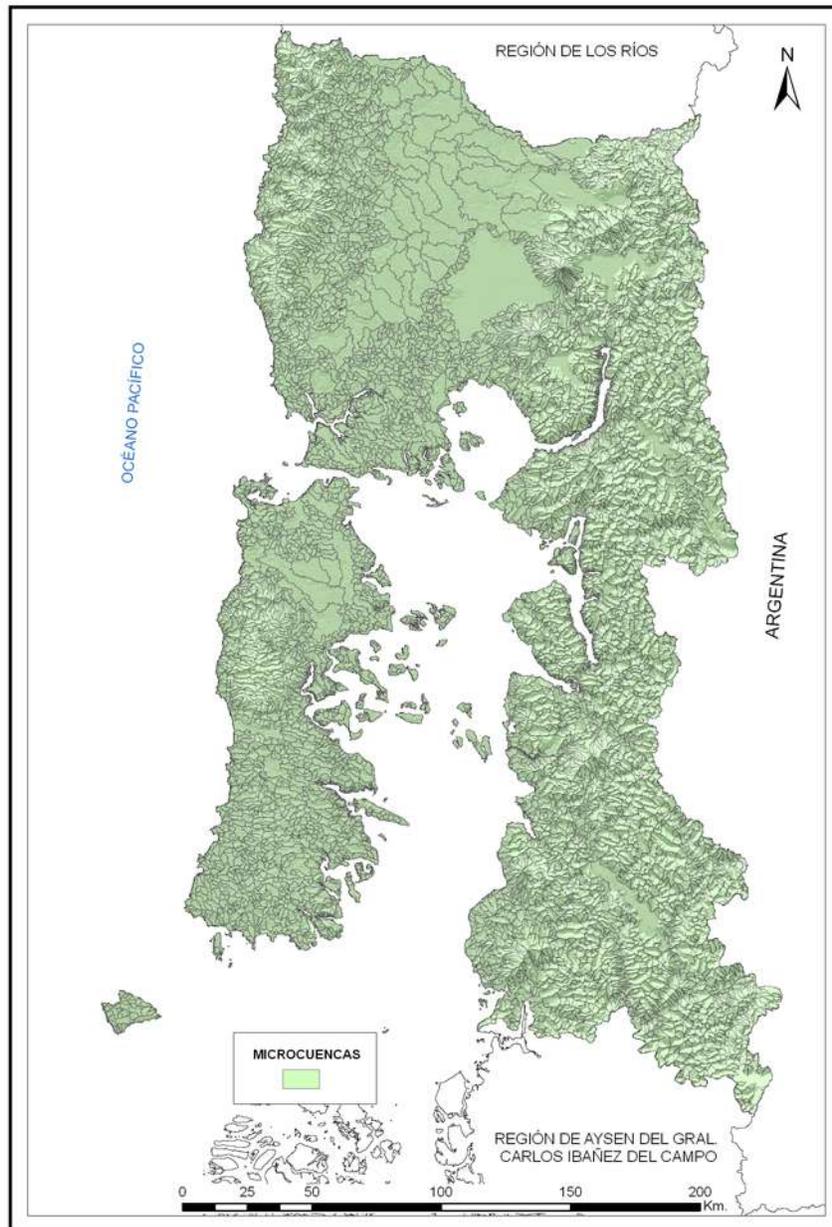


Figura 13. Microcuencas para la X de Los Lagos

### 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).

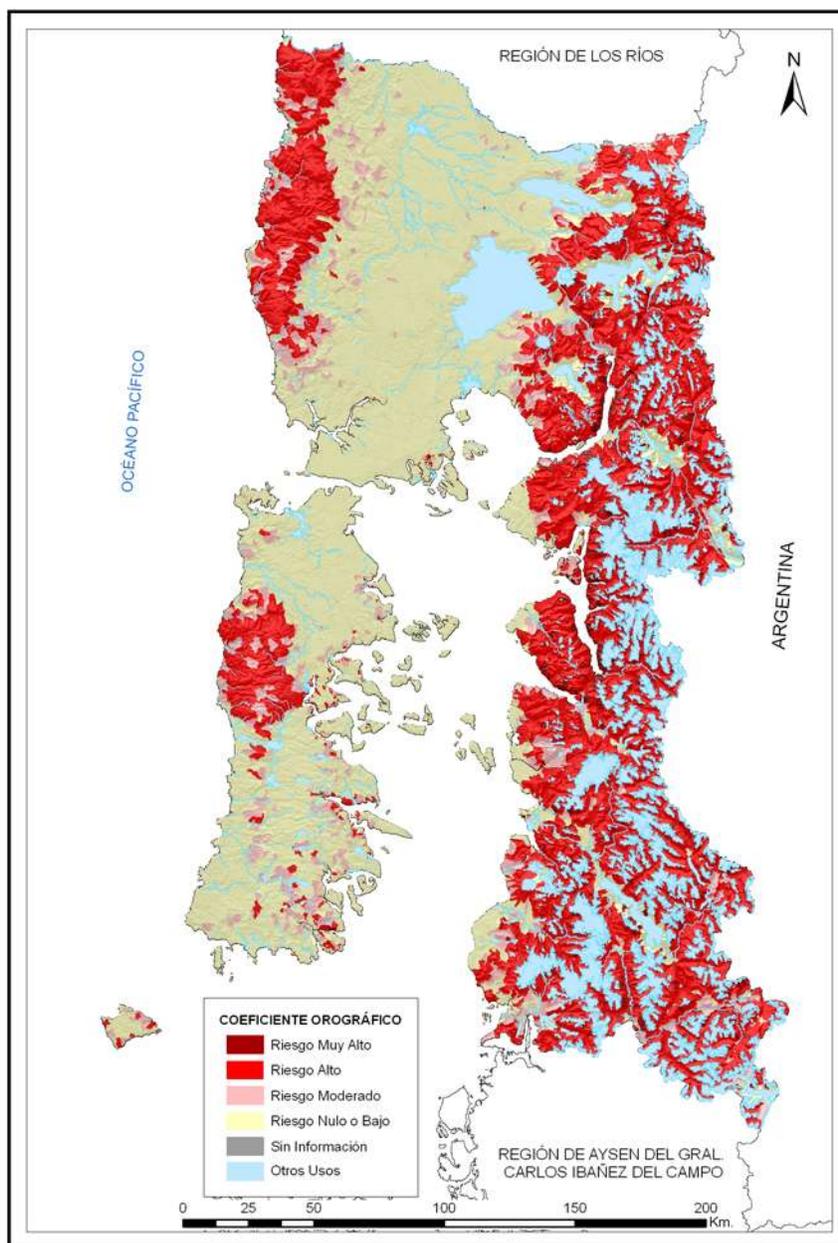


Figura 14. Índice de coeficiente orográfico.



### Cartografía de pendientes.

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

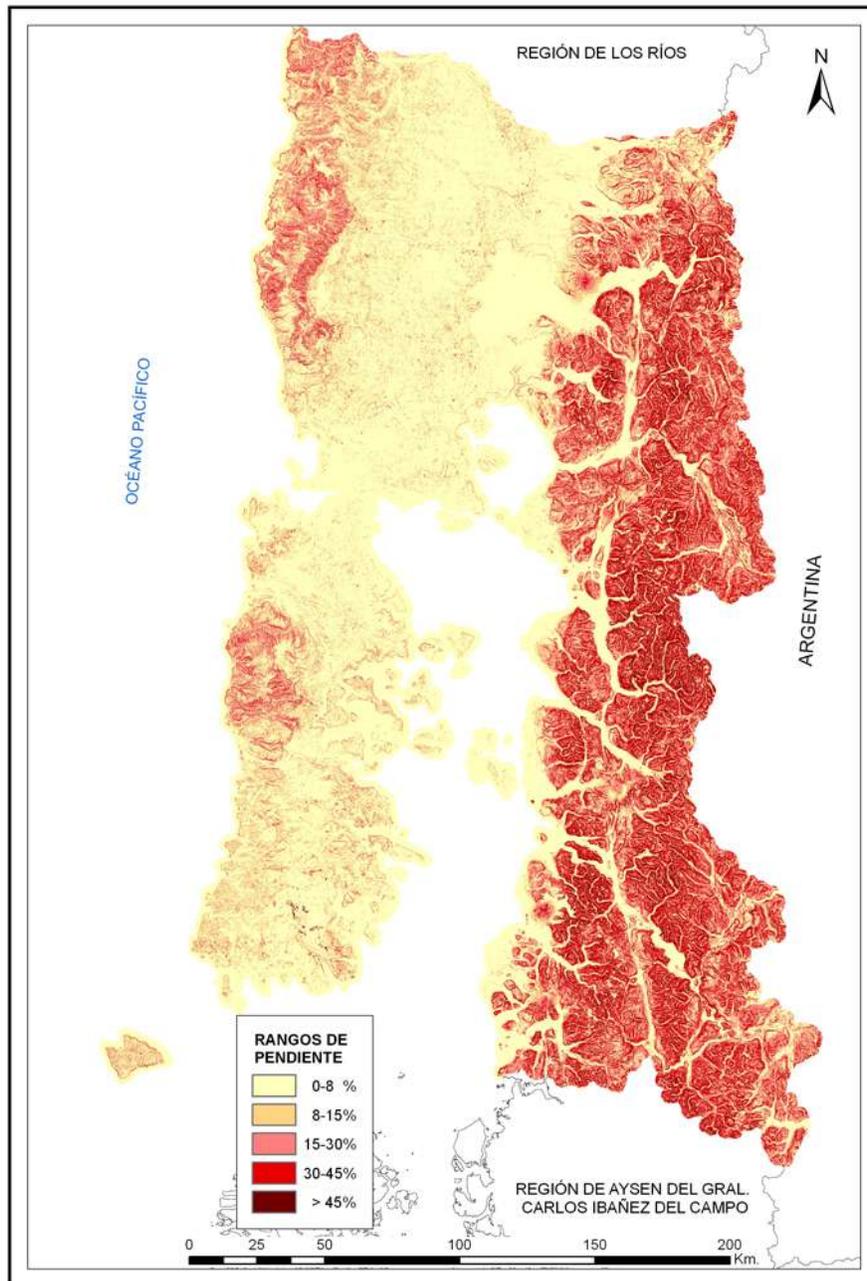
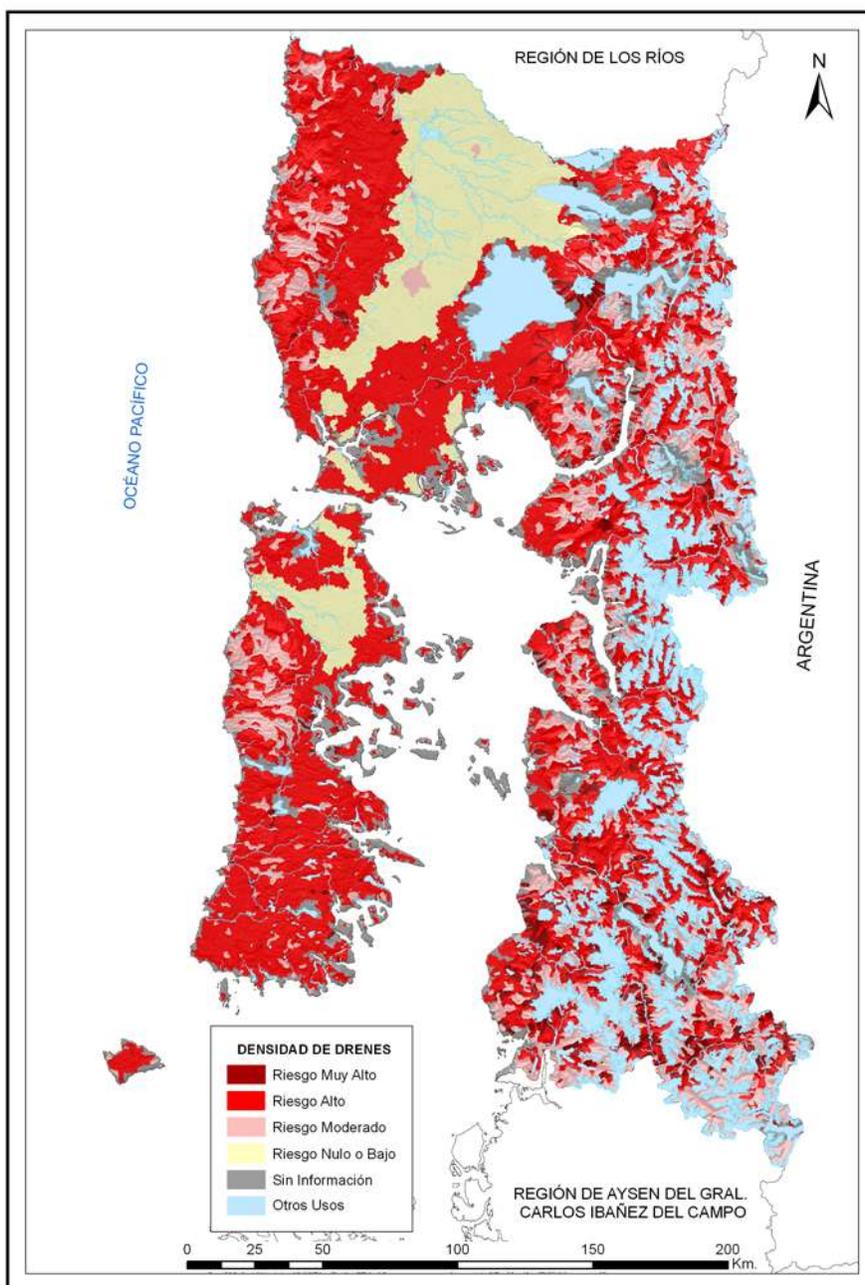


Figura 15. Índice de riesgo por pendientes.

### Densidad de drenes.

Definida como el cociente entre el largo (m) de los drenes de una cuenca y la superficie (m<sup>2</sup>) de la misma. 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-escorrimento se muestra en la figura 17.

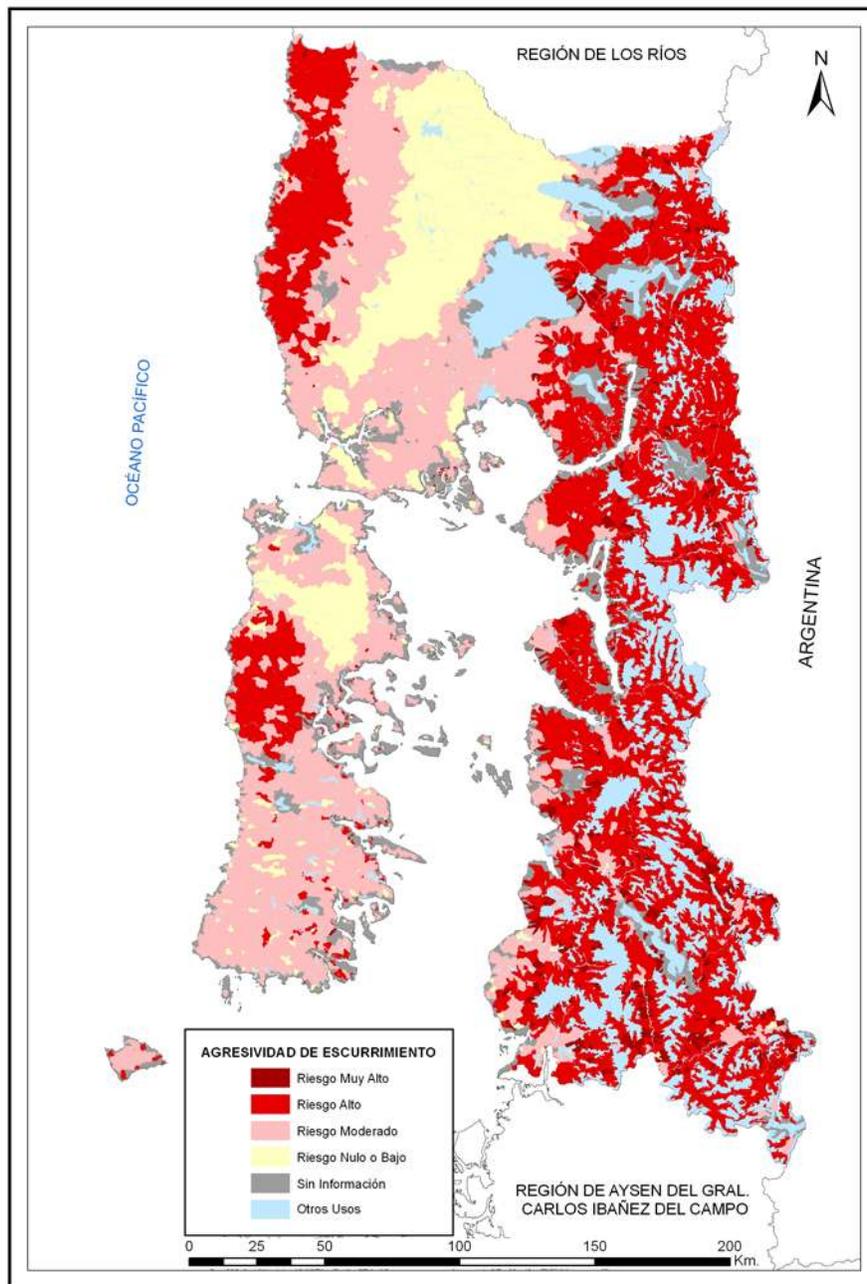
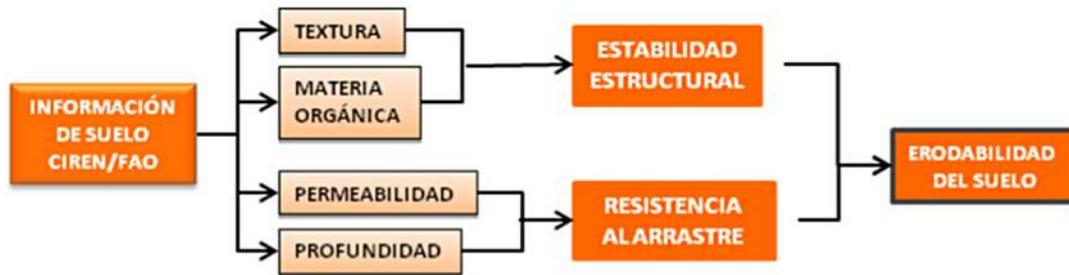
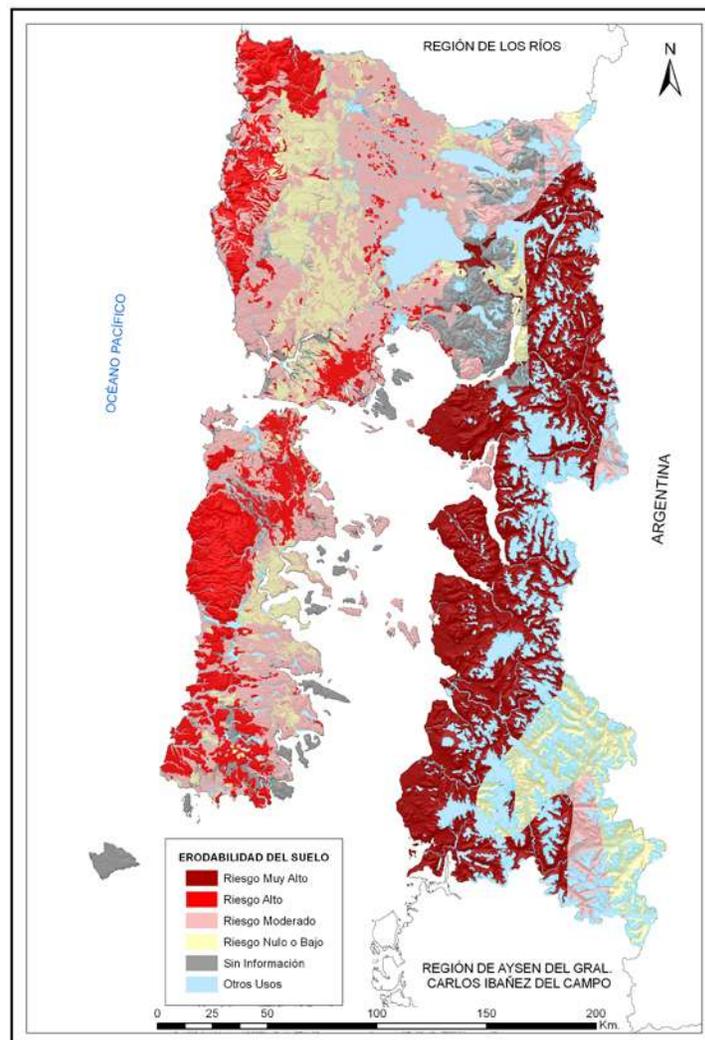


Figura 17. Índice de agresividad escurrimiento.

**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.

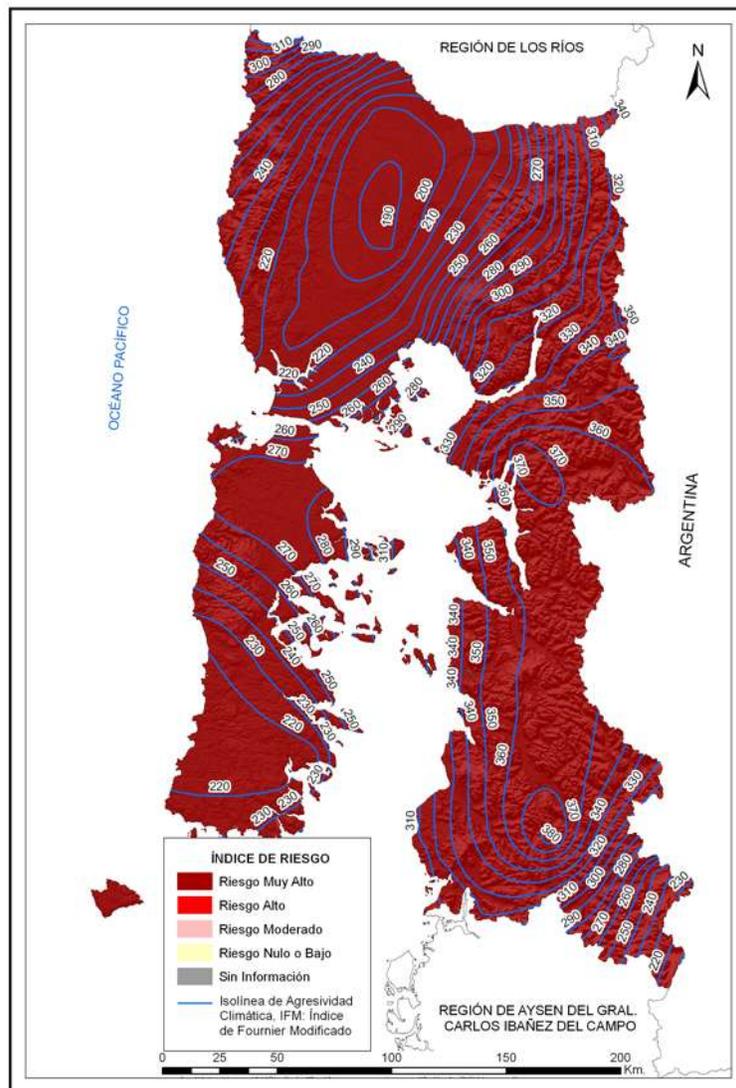
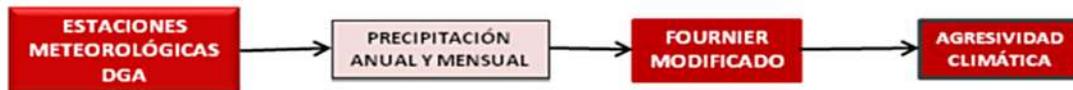


Figura 19. Índice de agresividad climática.

Índice de riesgo topoclimático.

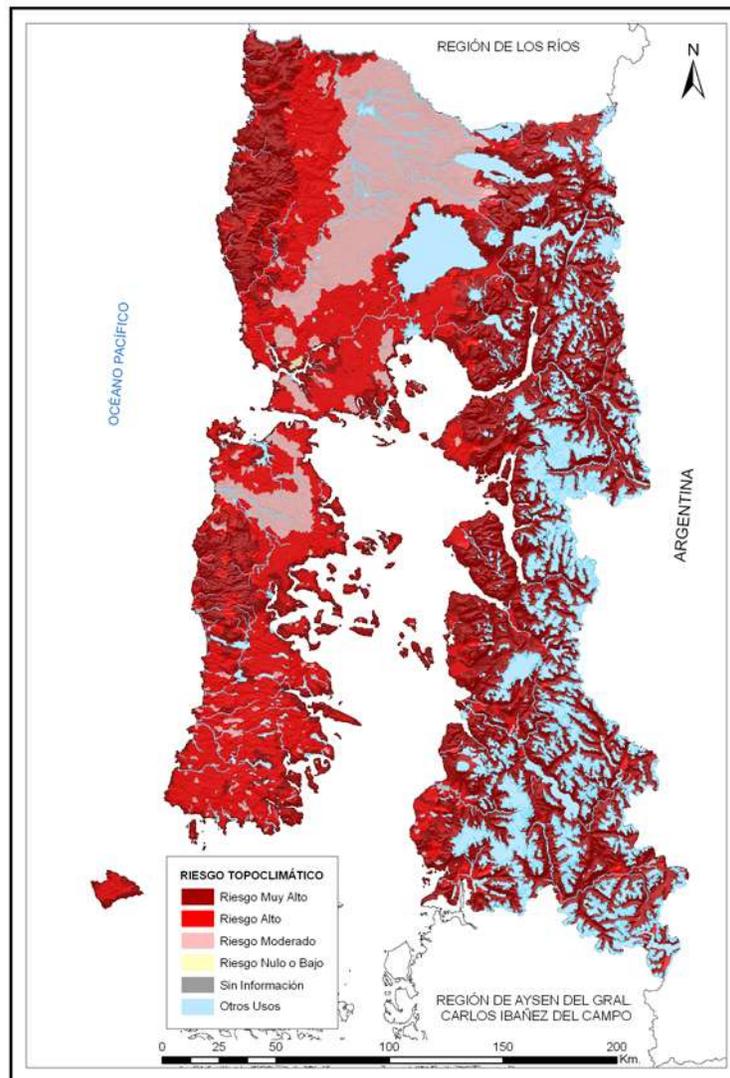
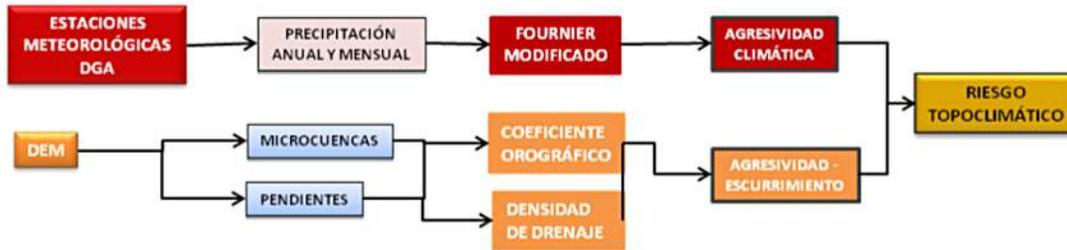


Figura 20. Índice de riesgo topoclimático.



Índice de riesgo físico.

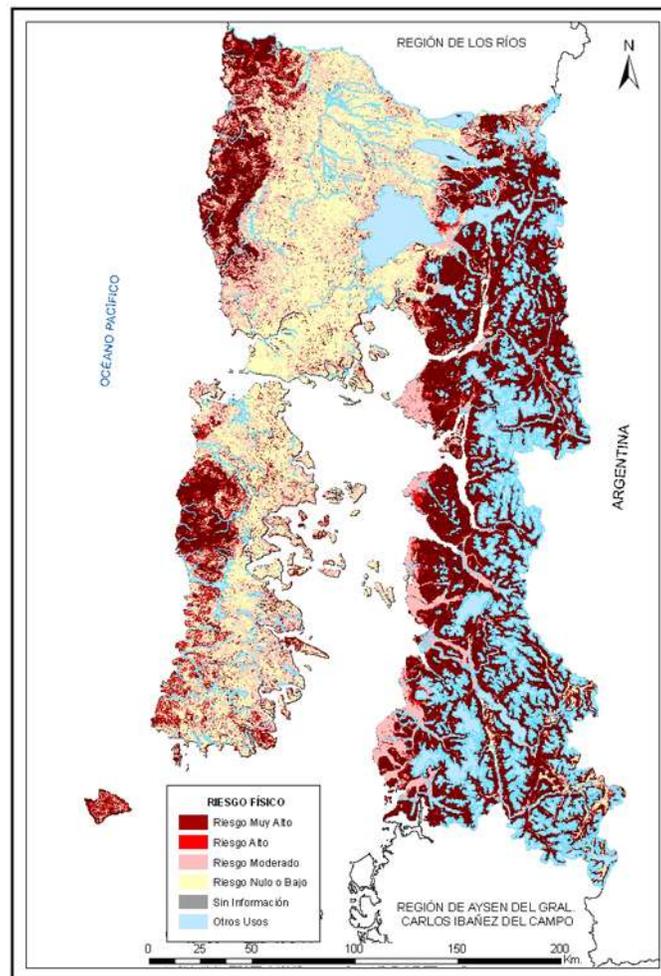
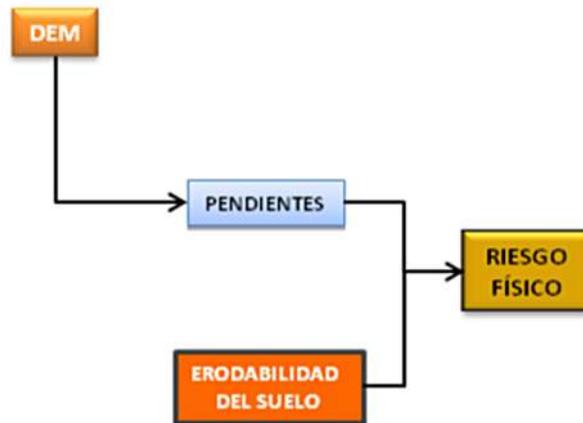
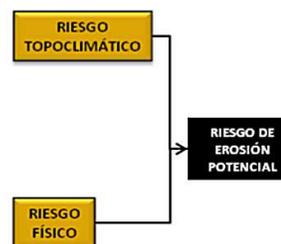


Figura 21. Índice de riesgo físico.

**Índice de riesgo de erosión potencial.**

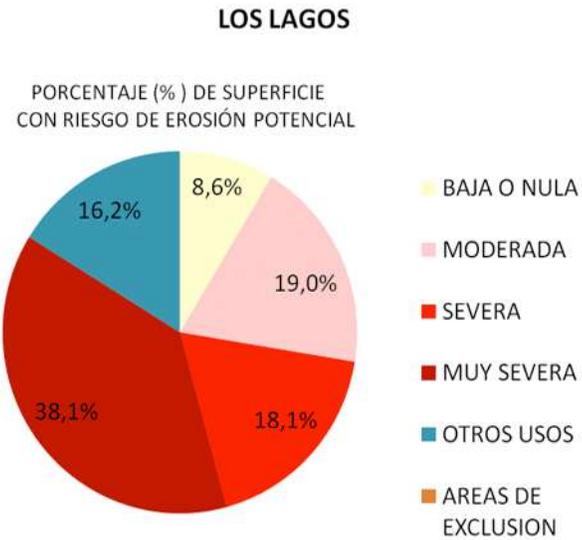
El modelo es el resultado de la combinación de tres grupos de variables básicas: topográficas-hidrológicas, agresividad de la lluvia y suelo. A partir de estas variables se generaron distintos índices, que tratados con criterios mecanicistas y empíricos y utilizando herramientas de combinación espacial, 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 (IREPOT) por comunas.

Región/Provincia/Comuna	BAJA O NULA	MODERADA	SEVERA	MUY SEVERA	OTRAS CATEGORIAS	Total general
<b>LOS LAGOS</b>	<b>417.449</b>	<b>919.317</b>	<b>878.151</b>	<b>1.843.067</b>	<b>783.932</b>	<b>4.841.916</b>
<b>CHILOE</b>	<b>68.294</b>	<b>301.358</b>	<b>358.308</b>	<b>179.848</b>	<b>25.613</b>	<b>933.421</b>
ANCUD	40.457	66.749	45.534	18.938	4.644	176.322
CASTRO	156	11.216	15.237	19.652	938	47.199
CHONCHI	1.006	45.300	53.218	29.932	7.347	136.803
CURACO DE VELEZ		2.434	3.522	1.974	49	7.980
DALCAHUE	15.073	21.882	35.008	51.540	653	124.157
PUQUELDON	127	4.819	2.571	1.932	94	9.543
QUEILEN	284	9.448	15.336	7.638	1.338	34.044
QUELLON	5.015	117.733	167.347	37.704	10.089	337.887
QUEMCHI	6.154	18.895	13.380	5.021	387	43.838
QUINCHAO	22	2.882	7.156	5.516	75	15.650
<b>LLANQUIHUE</b>	<b>123.925</b>	<b>320.415</b>	<b>198.665</b>	<b>571.624</b>	<b>257.532</b>	<b>1.472.161</b>
CALBUCO	3.940	33.853	14.347	6.003	617	58.760
COCHAMO	4	3.032	27.191	273.419	107.232	410.878
FRESIA	25.011	36.287	30.464	36.303	1.044	129.109
FRUTILLAR	39.698	15.456	7.158	1.850	32.909	97.071
LLANQUIHUE	11.156	16.140	8.176	666	8.707	44.845
LOS MUERMOS	15.544	53.641	39.359	12.729	561	121.833
MAULLIN	14.469	53.039	8.963	2.066	425	78.962
PUERTO MONTT	13.548	52.555	26.666	60.163	13.078	166.010
PUERTO VARAS	554	56.411	36.342	178.426	92.959	364.692
<b>OSORNO</b>	<b>224.237</b>	<b>206.385</b>	<b>156.311</b>	<b>257.129</b>	<b>84.224</b>	<b>928.286</b>
OSORNO	58.190	24.131	7.884	457	5.054	95.716
PUERTO OCTAY	40.533	36.461	20.814	46.813	38.022	182.644
PURRANQUE	32.283	43.963	23.867	43.231	1.948	145.292
PUYEHUE	30.579	29.209	21.263	45.141	35.255	161.448
RIO NEGRO	37.331	29.838	18.611	39.461	1.511	126.752
SAN JUAN DE LA COSTA	1.053	21.040	51.739	78.320	1.157	153.310
SAN PABLO	24.267	21.743	12.134	3.704	1.276	63.124
<b>PALENA</b>	<b>993</b>	<b>91.160</b>	<b>164.867</b>	<b>834.466</b>	<b>416.563</b>	<b>1.508.049</b>
CHAITEN	377	62.400	109.610	463.836	191.807	828.031
FUTALEUFU	261	4.616	5.891	72.214	41.284	124.266
HUALAIHUE	31	13.442	30.126	152.461	93.815	289.876
PALENA	324	10.702	19.239	145.954	89.656	265.876



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



**Figura 23.** Transecto Castro - Chonchi  
Coordenadas E 594572 - N 5291631  
Clase de erosión: Erosión ligera

## CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION POTENCIAL REGIÓN DE LOS LAGOS

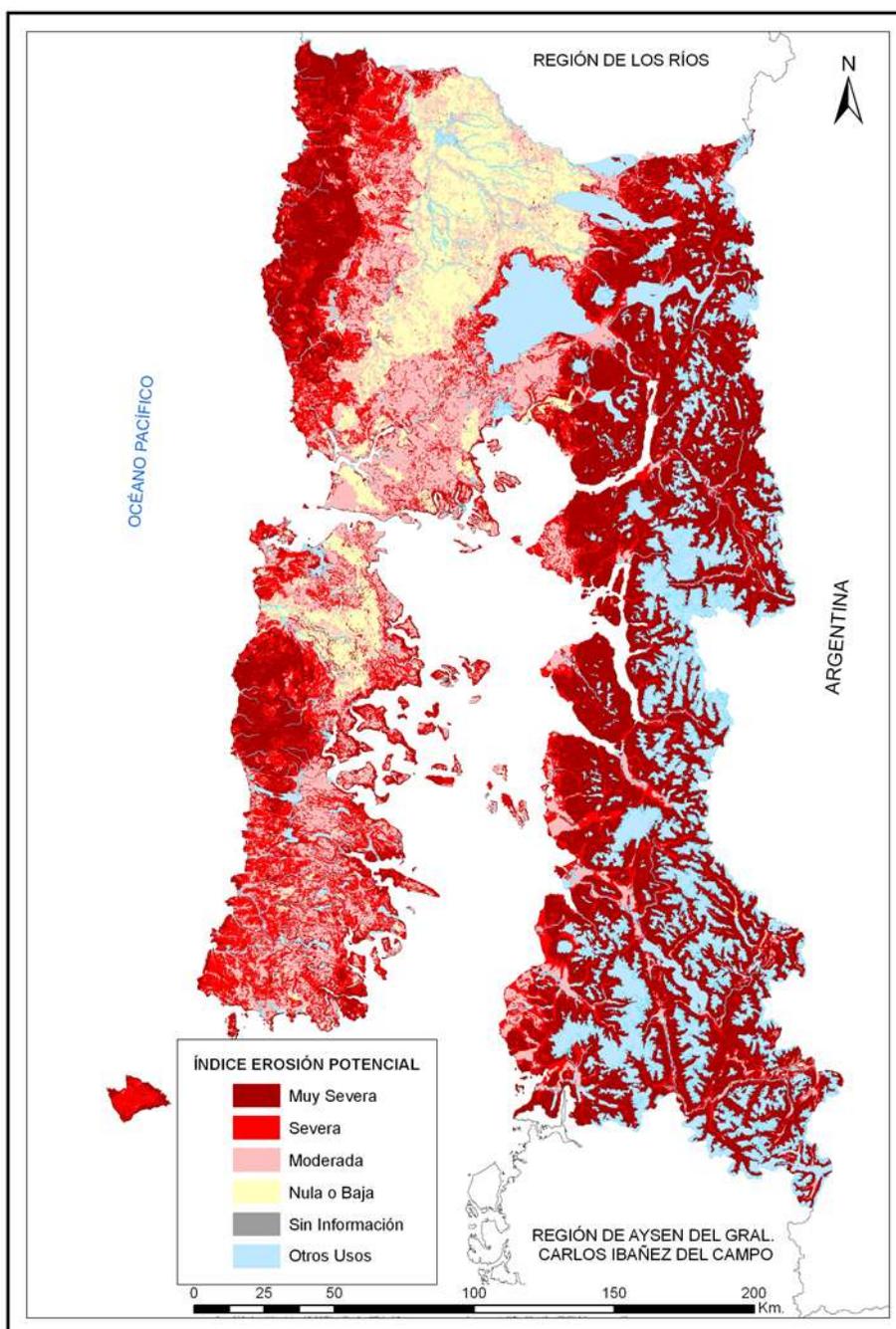


Figura 24. Riesgo de erosión potencial para la Región de Los Lagos.



### 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.

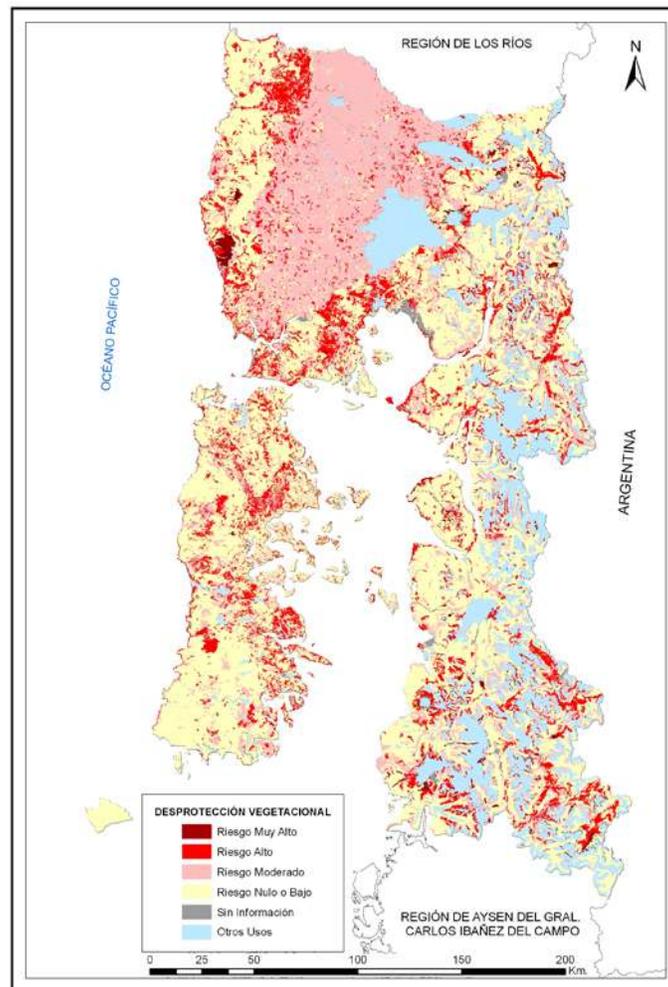
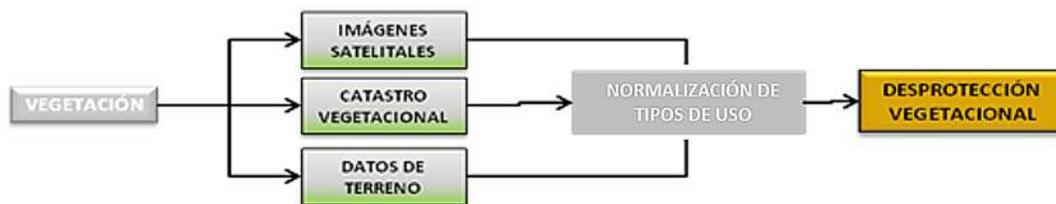


Figura 25. Índice de desprotección vegetal.

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

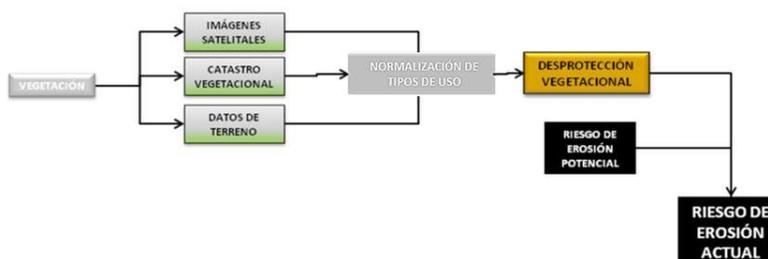
CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO	CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO
Áreas sobre límite vegetacional	0	Matorral abierto	3
Bosque nativo-exóticas asilvestrado muy abierto	3	Matorral arborescente abierto	3
Bofedales	1	Matorral arborescente denso	1
Bosque exóticas asilvestradas abierto	2	Matorral arborescente muy abierto	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 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 NULA	MODERADA	SEVERA	MUY SEVERA	OTRAS CATEGORIAS	Total general
<b>LOS LAGOS</b>	<b>2,525,503</b>	<b>1,203,476</b>	<b>283,461</b>	<b>49,860</b>	<b>779,624</b>	<b>4,841,924</b>
<b>CHILOE</b>	<b>651,201</b>	<b>216,286</b>	<b>40,706</b>	<b>1,541</b>	<b>23,687</b>	<b>933,422</b>
ANCUD	136,698	31,013	3,959	349	4,303	176,322
CASTRO	34,714	9,104	2,498	75	808	47,199
CHONCHI	74,546	45,214	9,671	337	7,035	136,803
CURACO DE VELEZ	5,014	2,806	110		50	7,980
DALCAHUE	82,576	33,127	8,118	44	292	124,157
PUQUELDON	5,993	3,431	21		98	9,543
QUEILEN	14,201	14,245	4,284	14	1,300	34,044
QUELLON	254,552	64,486	8,752	695	9,402	337,887
QUEMCHI	30,931	10,277	2,296	9	324	43,838
QUINCHAO	11,976	2,584	998	18	75	15,650
<b>LLANQUIHUE</b>	<b>668,131</b>	<b>445,567</b>	<b>84,113</b>	<b>17,837</b>	<b>256,514</b>	<b>1,472,161</b>
CALBUCO	33,568	22,411	2,023	143	615	58,760
COCHAMO	180,476	88,687	29,153	5,541	107,021	410,878
FRESIA	59,234	56,901	9,519	2,775	680	129,109
FRUTILLAR	41,433	22,323	297	152	32,867	97,071
LLANQUIHUE	12,874	22,955	288	15	8,712	44,845
LOS MUERMOS	44,857	68,676	7,681	153	466	121,833
MAULLIN	46,775	29,494	1,927	414	351	78,962
PUERTO MONTT	92,114	47,336	9,576	4,028	12,956	166,010
PUERTO VARAS	156,799	86,783	23,650	4,614	92,846	364,692
<b>OSORNO</b>	<b>494,962</b>	<b>303,603</b>	<b>40,776</b>	<b>5,177</b>	<b>83,772</b>	<b>928,289</b>
OSORNO	60,131	27,537	3,003		5,045	95,716
PUERTO OCTAY	83,130	52,846	6,886	1,776	38,006	182,644
PURRANQUE	71,038	67,301	4,847	303	1,802	145,292
PUYEHUE	82,219	34,797	6,341	2,913	35,177	161,448
RIO NEGRO	74,749	47,470	3,044	65	1,428	126,755
SAN JUAN DE LA COSTA	93,496	45,581	13,055	120	1,058	153,310
SAN PABLO	30,200	28,070	3,599		1,255	63,124
<b>PALENA</b>	<b>711,209</b>	<b>238,021</b>	<b>117,866</b>	<b>25,305</b>	<b>415,651</b>	<b>1,508,051</b>
CHAITEN	439,069	116,820	66,184	14,571	191,388	828,033
FUTALEUFU	36,507	31,195	12,033	3,410	41,122	124,266
HUALAIHUE	130,192	44,748	19,500	1,743	93,694	289,877
PALENA	105,440	45,258	20,149	5,581	89,447	265,876

## CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION ACTUAL REGIÓN DE LOS LAGOS

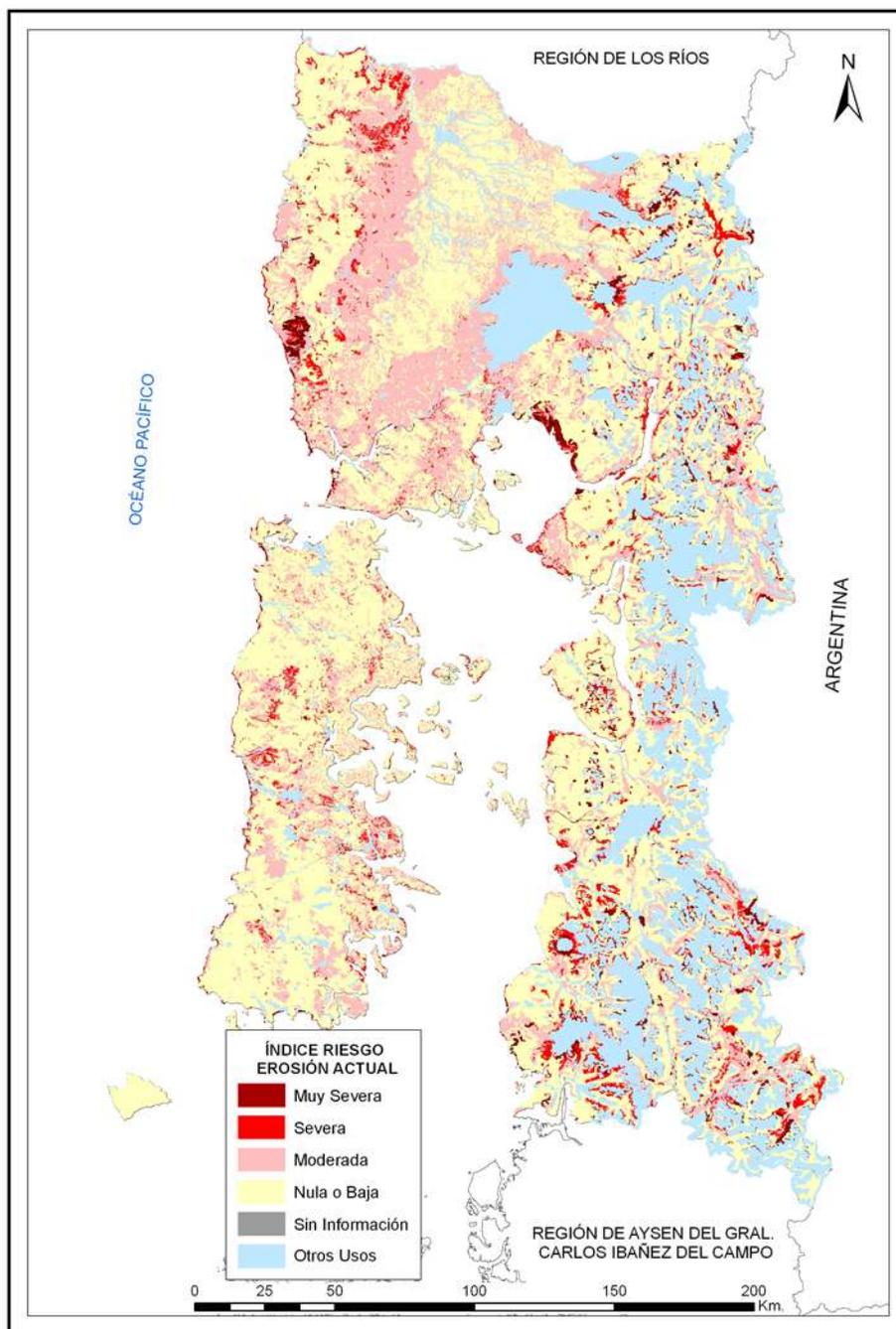
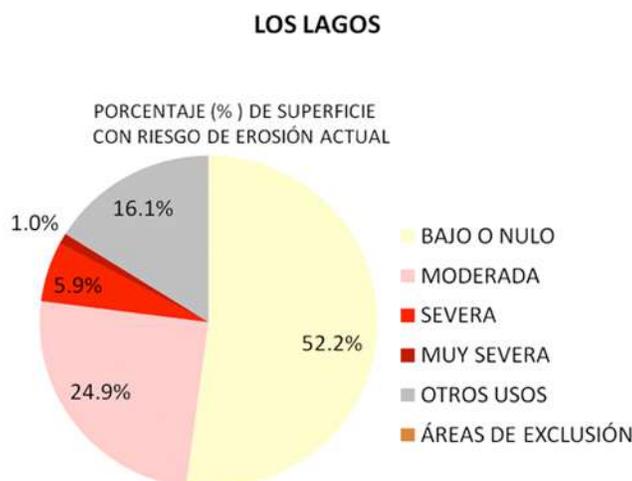


Figura 26. Riesgo de erosión actual



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

De acuerdo a los resultados (figura 22 y 27), el riesgo de erosión actual regional es bajo. Mientras que el riesgo de erosión potencial que predomina es la categoría muy severa (38,1% de la superficie regional), si las coberturas de vegetación disminuyeran drásticamente en 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 metodología planteada en el presente estudio de erosión actual y potencial de los suelos de la región de Los Lagos determinó de forma adecuada los distintos grados y niveles de riesgo de erosión. El uso de técnicas de geomática, el uso de imágenes satelitales LANDAT 5 TM y coberturas regionales de información del paisaje (suelo, vegetación, topografía y clima), resulta ser pertinente para el análisis de extensas zonas y entrega información confiable para la toma de decisiones. Sin embargo, se debe mejorar la base de datos de suelos en los sectores cordilleranos para incrementar la certidumbre y los niveles de acierto en la cualificación correcta de la clase de erosión y en la estimación de los niveles de riesgo de erosión actual y potencial. Se requiere actualización de cartografía temática de forma periódica, para evitar obsolescencia de la información, en áreas de producción silvoagropecuaria.

La superficie de suelos erosionados de la Región de los Lagos alcanza los 1,17 millones de hectáreas, lo que representa el 24,3% del área de estudio de la región. Las zonas con mayores problemas de erosión están en la comuna de Fresia, Río Negro, Purranque y Los Muermos. Mientras que las comunas de la Isla de Chiloé como Castro y Quellón superan en conjunto las 500.000 ha erosionadas. Fresia, Chaitén y Quellón se constituyen como las comunas que presentan la mayor superficie relativa categorizada bajo las clases de erosión “severa” y “muy severa” (17.186, 16.751 y 47.789 hectáreas, equivalentes al 47,1% de la superficie regional clasificada bajo esa condición).

Durante las campañas de terreno, se visualizaron distintos rasgos de desertificación de que se consideran moderados a bajos (exceptuando la Comuna de Juan de la Costa y Fresia). Asimismo, las condiciones climáticas recientes (holoceno y pleistoceno) muestran evidencia en el paisaje del tallado de la erosión geológica de tipo hídrica y glacial.

Sin embargo, la Región de Los Lagos (junto a Los Ríos) tienen los menores niveles de erosión severa y muy severa (<5%). Es en estas regiones donde ha actuado con mayor fuerza los programas de mejoramiento y conservación de suelos degradados. Además, en estas regiones se combinan favorablemente tres efectos que favorecen la protección del suelo a la erosión: alta cobertura vegetal (bosques naturales y praderas), suelos volcánicos o arcillosos ocupando fisiografías menos abruptas, y mayor homogeneidad en la distribución de las precipitaciones durante el año. Cabe mencionar, que producto de la vegetación existente en la región (bosques densos y alta biodiversidad) la cartografía de erosión actual presenta una superficie extensa (2,1 millones de hectáreas) categorizada como “erosión no aparente”, lo que representa un 44% de la superficie regional.

El riesgo de erosión actual promedio de la región es bajo. Sin embargo, este indicador se considera alto para las comunas de Fresia, Chaitén (post-erupción volcánica) y Futaleufú. Por otro lado, hay una importante superficie clasificada con erosión potencial (o fragilidad) severa, particularmente, en la provincia de Chiloé y en menor grado de severidad en las restantes provincias; Palena (66%), Llanquihue (52%) y Osorno (45%).



En este contexto, los resultados obtenidos en este estudio juegan un rol importante en la región ya que el agricultor necesita información real para tomar decisiones que le permitan proteger su suelo y así asegurar la actividad agrícola. La principal proyección de esta cartografía temática, es que sea utilizada para la asignación de recursos financieros, administrativos y humanos de los programas de fomento de recuperación de suelos degradados. 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 con una mayor frecuencia, como lo demanda la alta dinámica silvoagropecuaria de esta región.

### 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 Los Lagos. Disponible en:  
<http://www.bcn.cl/siit/regiones/region10/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. 2008. Catastro de Uso del Suelo y Vegetación. Monitoreo y Actualización Región de Los Lagos., período 1998-2006. Disponible en:  
[http://www.conaf.cl/cms/editorweb/catastro/actualizacion\\_Los-Lagos.pdf](http://www.conaf.cl/cms/editorweb/catastro/actualizacion_Los-Lagos.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.

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 Estadística: Compendio estadístico regional; Región de Antofagasta. Disponible en:  
[http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/territorio/division\\_politico\\_administrativa/pdf/DPA\\_COMPLETA.pdf](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 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. Antecedentes de la Región. Disponible en: [http://www.gorelосlagos.cl/region\\_lagos/antecedentes.php](http://www.gorelосlagos.cl/region_lagos/antecedentes.php). 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 Los Lagos**

---

**CIREN**

Centro de Información de Recursos Naturales

Manuel Montt 1164, Providencia.

Fono (56-2) 200 89 00

[www.ciren.cl](http://www.ciren.cl)

Santiago de Chile - 2010