



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

Región de Atacama

# 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 Atacama

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

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

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

Publicación N° 143

Registro de propiedad intelectual: 200590

### **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	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 III Región de Atacama es de 7,57 millones de hectáreas.

Para la III Región existe una superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de 4 millones de hectáreas, lo que representa el 53% de la superficie regional. Sin embargo, gran parte de esta superficie, en especial hacia la Cordillera de los Andes, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión de tipo geológica. Las comunas con mayores problemas de erosión actual son Vallenar (87,5%) y Freirina (74,4%). Las comunas con mayor superficie clasificada bajo las categorías de erosión "severa" y "muy severa" son Copiapó y Tierra Amarilla, las que juntas suman más de 1 millón de hectáreas bajo esta condición. La cantidad de las precipitaciones son casi nulas y la intensidad (agresividad climática) es baja en gran parte de la región, por consiguiente, el riesgo actual y potencial de erosión hídrica es bajo.

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).



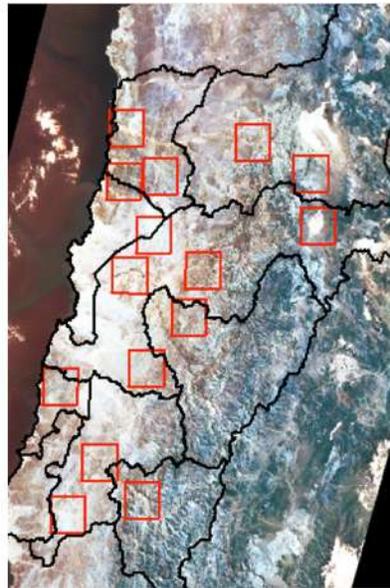
**Figura 1.** Erosión de los suelos de Chile, III Región de Atacama.

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 seco 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 Atacama, 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 Atacama de 7,57 millones de hectáreas se ubica entre los 25°17' y 29°11' de latitud Sur, entre los 68° 17' de longitud Oeste y el Océano Pacífico, posee un clima transicional entre desértico y semi-árido, y las condiciones hidrográficas que permiten una vegetación más abundante que las regiones al norte de ésta (BCN, 2010). En esta región es posible distinguir las siguientes formas de relieve: Planicies Litorales, Cordillera de la Costa, Pampa Ondulada o Austral, Pampa Transicional y Cordillera de los Andes (1). De acuerdo con Ulloa y Ortiz de Zárate (1989), en esta región es factible distinguir cuatro tipos de clima en sentido longitudinal, vale decir de Oeste a Este, según clasificación taxonómica por Köppen, el cual se sustenta en las características de precipitación y temperaturas (Allaby 2002): Desértico Costero con Nubosidad Abundante, Desértico Transicional, Desértico Frío de Montaña y Tundra de Alta Montaña. Sobre la base de las unidades cartográficas identificadas por Luzio y Alcayaga (1992), pueden distinguirse, los suelos de los órdenes Aridisoles (suelos poco evolucionados debido a la aridez, en regiones interiores), Entisoles (suelos recientes con poca evolución, preferentemente situados en la costa) e Histosoles (suelos derivados de tejidos vegetales en sectores andinos y altiplánicos).

La Región de Atacama presenta una alta variabilidad espacial de su vegetación, asociada tanto a sus condiciones climáticas como a sus características topográficas (Ulloa y Ortiz de Zárate 1989, Gajardo 1994 (Gajardo, 1994; Luebert y Plissock, 2006; Squeo, 2008). En la costa norte se caracteriza por la existencia de especies adaptadas a condiciones semidesérticas, como algunas cactáceas, arbustos y abundantes hierbas. Hacia el sur las características vegetacionales corresponden al paisaje de matorral costero de arbustos (BCN, 2010). Según la clasificación planteada por Gajardo (1994), 12 formaciones vegetales se encuentran en la Región de Atacama, de las cuales 9 corresponden a desierto (2 desiertos costeros, 1 desierto montañoso, 2 desiertos floridos, 1 desierto interior, 1 desierto alto andino y 2 desiertos esteparios), 2 son estepas (desértica y alto andina) y, finalmente un área muy restringida sin vegetación en la alta cordillera. A continuación, se muestra (cuadro 1) el tipo de uso del suelo, para la Región de Atacama.

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

USO	Superficie	
	(ha)	%
Áreas urbanas e industriales	1.440,4	0,0
Terrenos agrícolas	45.908,0	0,6
Praderas y matorrales	3.113.810,8	40,9
Bosques	0,0	0,0
Humedales	7.303,3	0,1
Áreas desprovistas de vegetación	4.438.795,2	58,3
Nieves y glaciares	0,0	0,0
Aguas continentales	7.666,6	0,1
Áreas no reconocidas	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>7.614.924,3</b>	<b>100,0</b>

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

En la Región de Atacama el grado de desertificación es muy grave. Según, Soto (1997), de las 9 comunas analizadas un 22,2% y 77,8% tienen una categoría grave y moderada, respectivamente. Sin embargo, al igual que las regiones nortinas, la desertificación es causada principalmente por agentes geológicos. El estudio de erosión 1979 revela que existe una superficie de 2,57 millones de hectáreas considerada de alta fragilidad, que corresponde a un 97% del área de estudio.

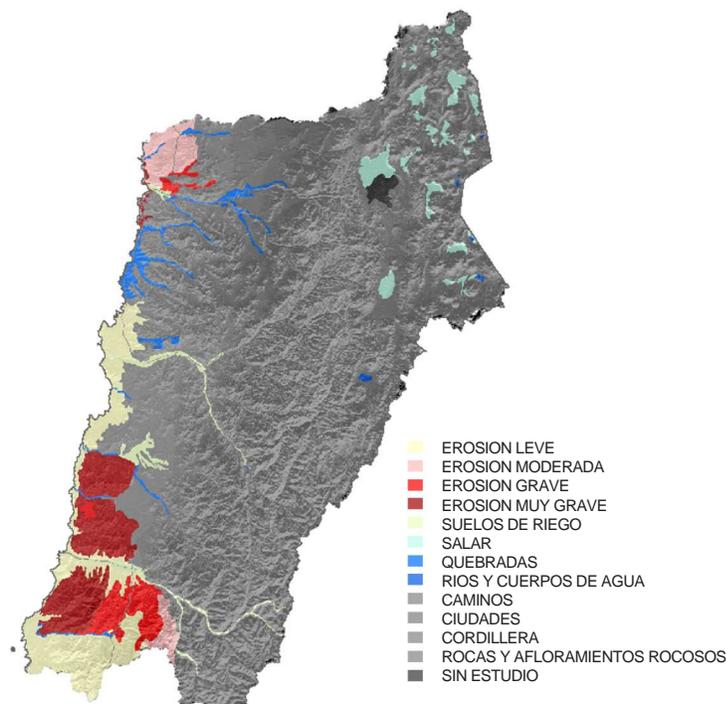


El cuadro 2 y figura 3 muestra los niveles de erosión para la Región de Atacama.

**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	
III	(mill.)	1.06	0.15	0.81	0.63	2.65
	%	39.9	5.7	30.6	23.8	
TOTAL	(mill.)	<b>2.38</b>	<b>9.13</b>	<b>15.57</b>	<b>7.41</b>	<b>34.49</b>
	%	<b>6.9</b>	<b>26.5</b>	<b>45.1</b>	<b>21.5</b>	

Niveles de Erosión: 0 Muy Grave; 1 Grave; 2 Moderada; 3 Leve



**Figura 3.** Mapa de nivel de erosión para la Región de Atacama, 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).

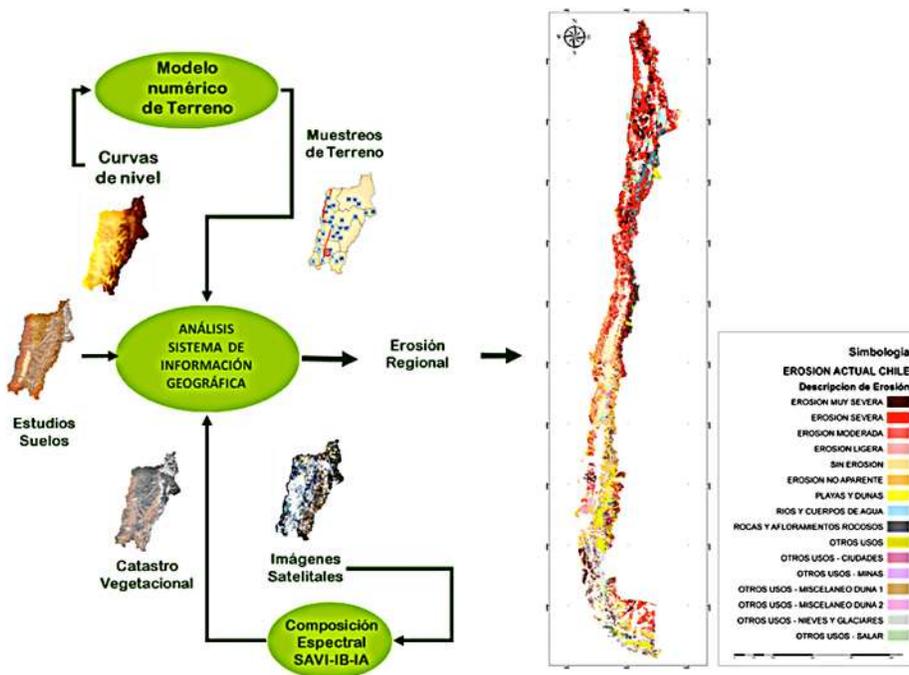


Figura 4. Diagrama metodológico del modelo de erosión actual.

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).

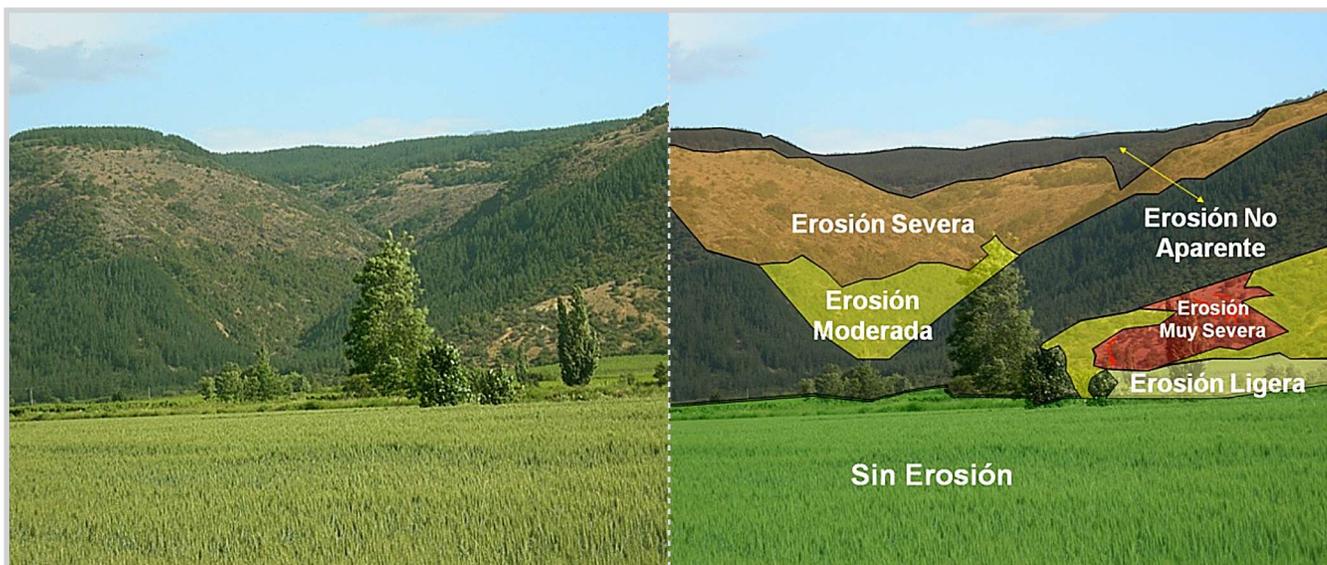


Fotografía 5. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión muy severa.

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).



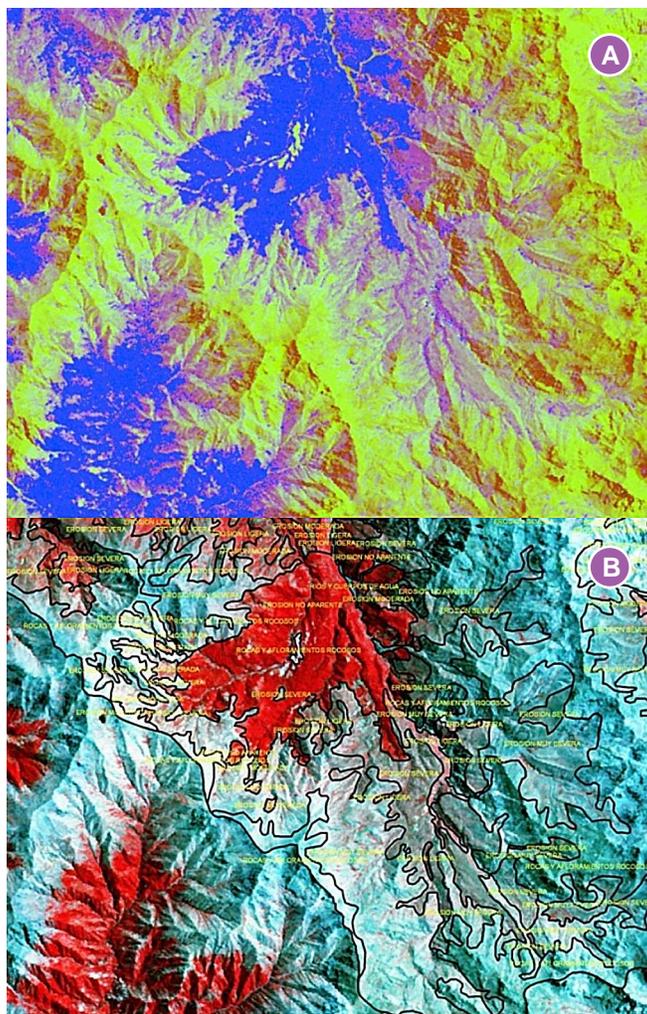
Fotografía 9. Clasificación de erosión de suelo, caso dunas litorales.

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 30 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).

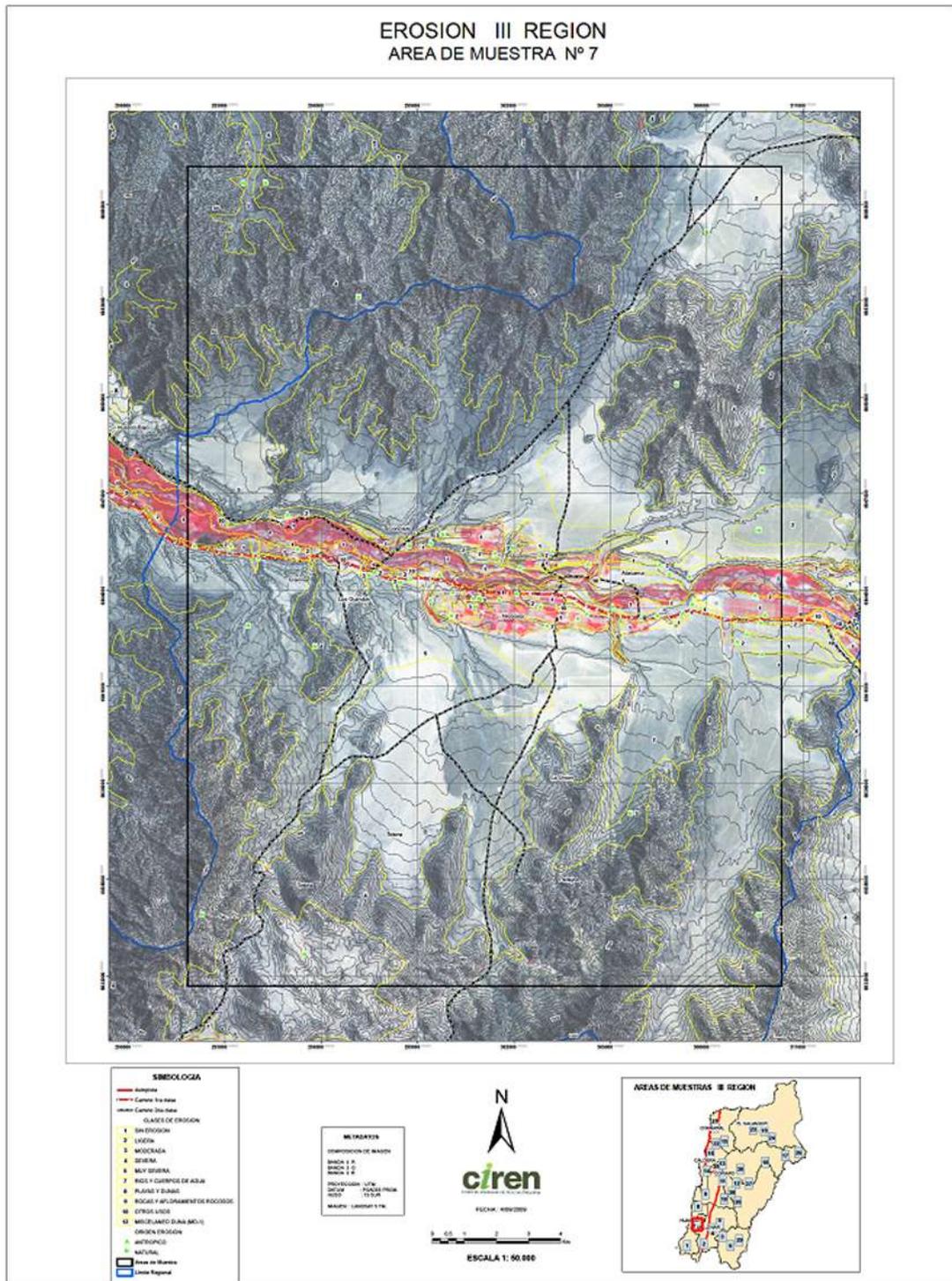
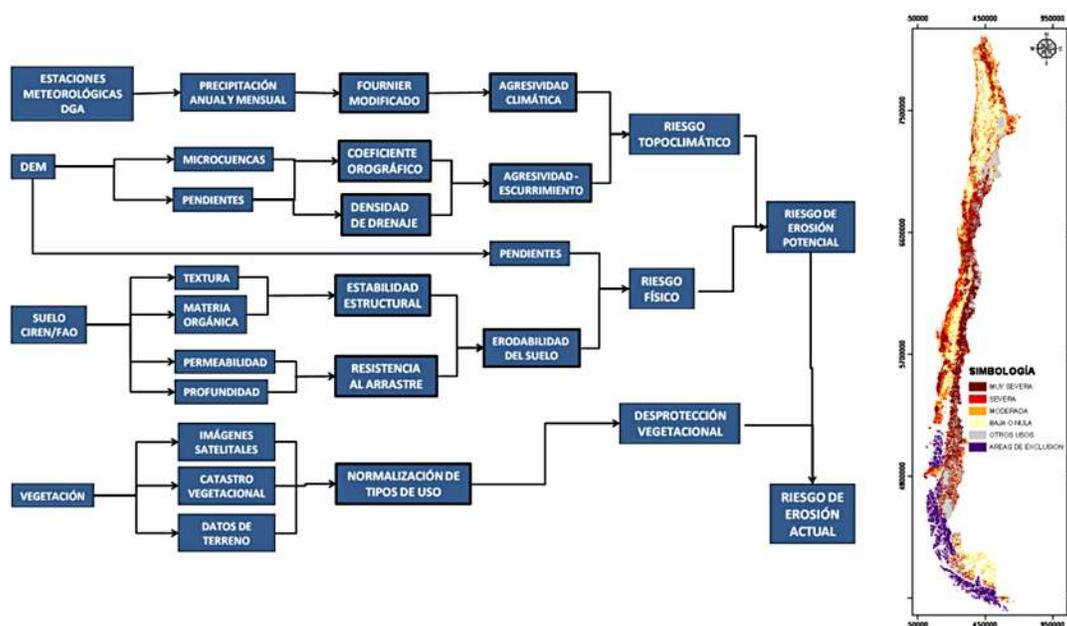


Figura 6. Áreas de muestreo y validación de la cartografía de erosión para la III Región de Atacama.

*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.

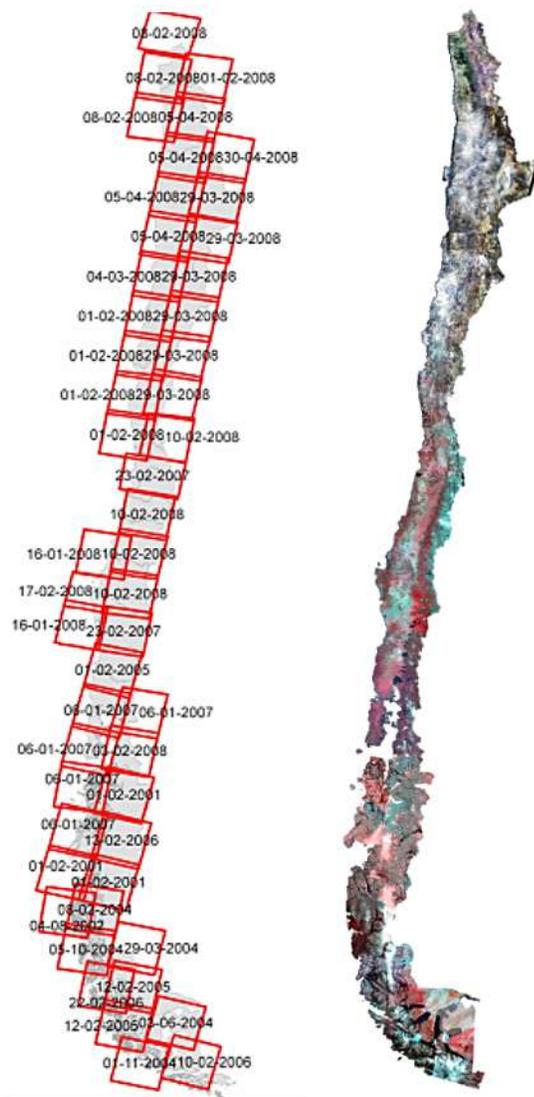
La agresividad climática es un índice que da cuenta de la erosividad de la lluvia, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación. La construcción de este índice se basó en la espacialización de registros pluviométricos proporcionados por 459 estaciones meteorológicas de la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

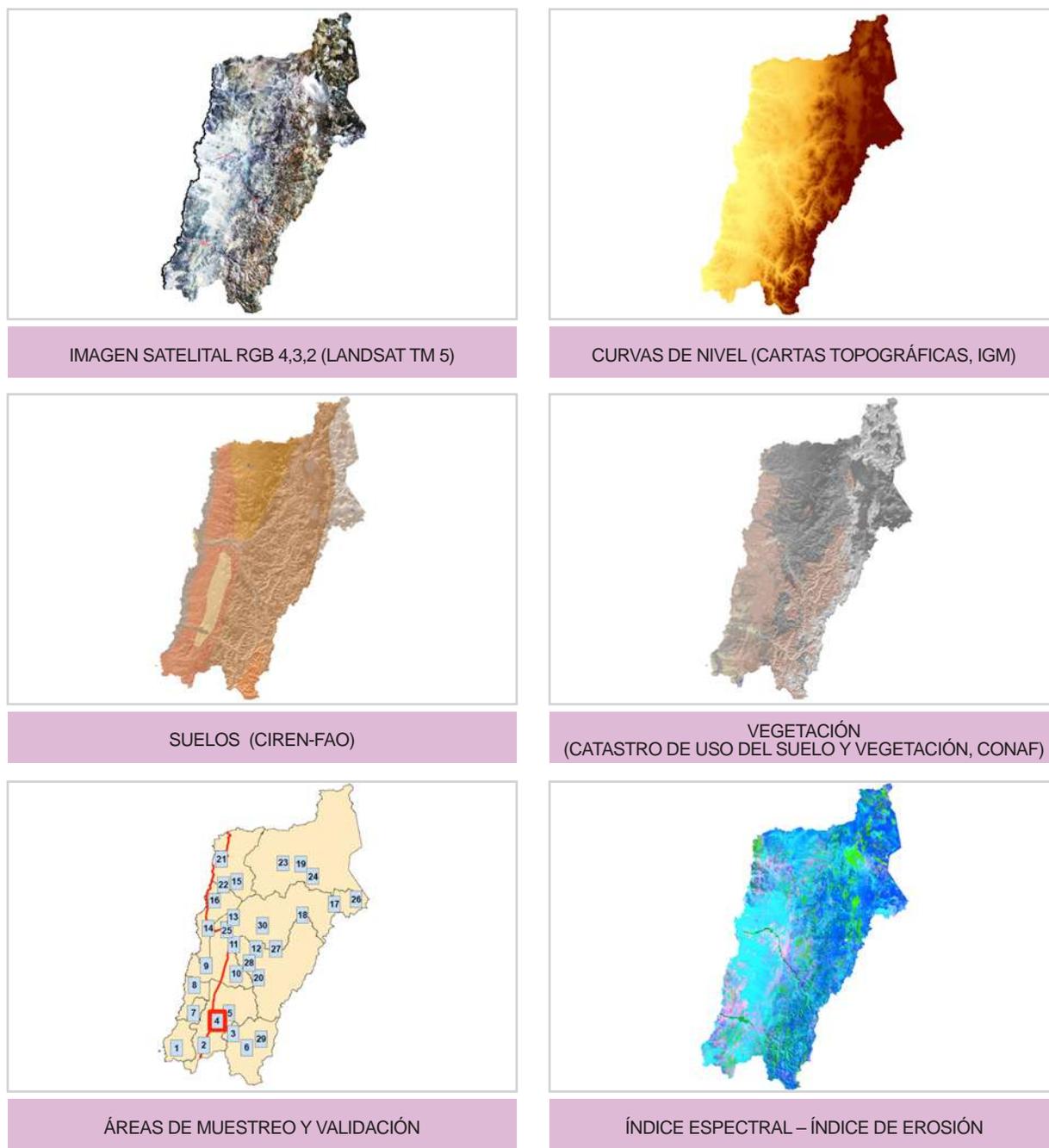
Patricio Grez Marchant, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - ODEPA

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 Atacama – modelo de erosión actual.



## CARTOGRAFÍA EROSIÓN ACTUAL REGION III DEL ATACAMA

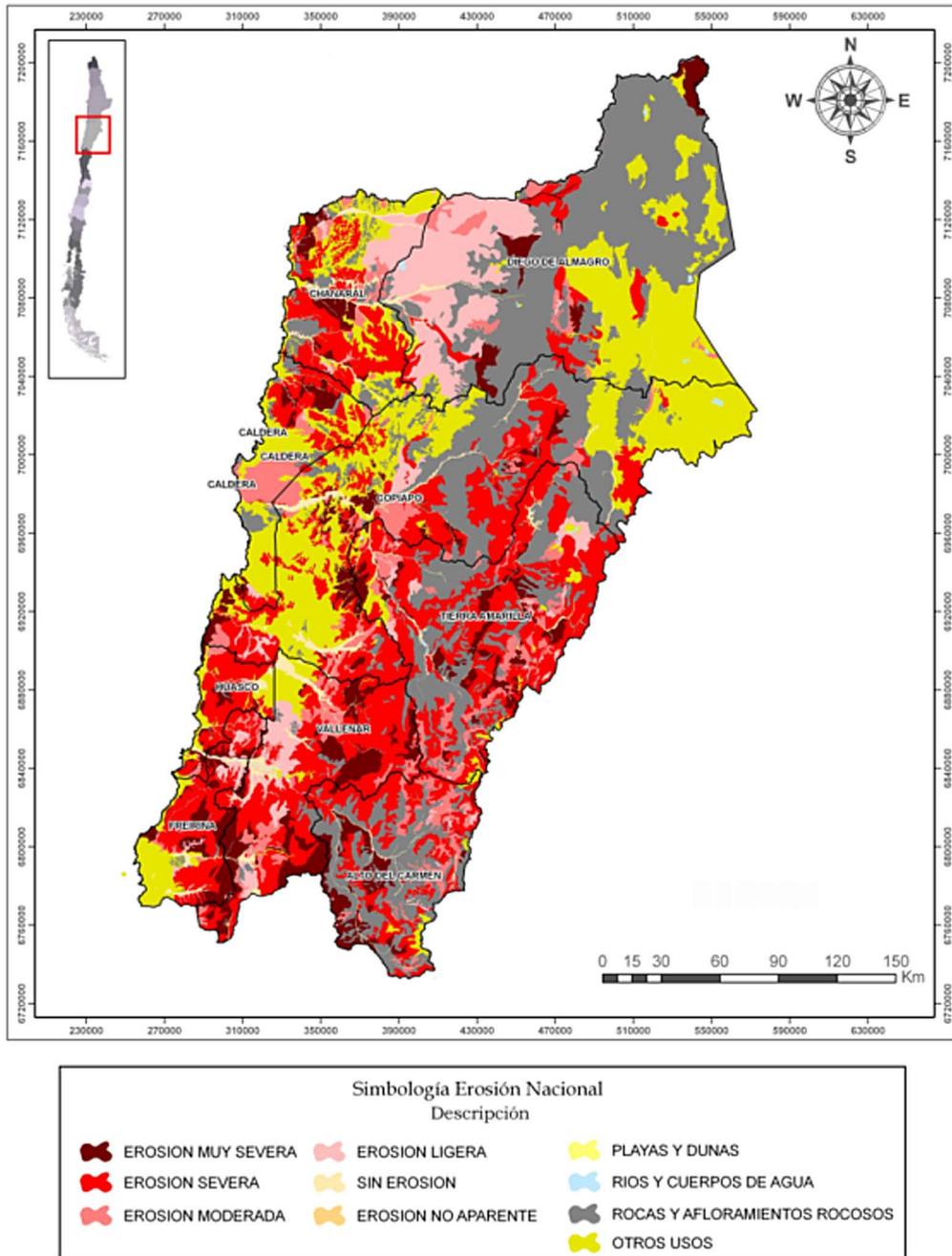


Figura 10. Mapa de erosión actual para la III Región de Atacama.

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

**Cuadro 3.** Superficie de erosión actual en la Región de Atacama (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>ATACAMA</b>	<b>178.452</b>	<b>825.215</b>	<b>536.641</b>	<b>2.029.944</b>	<b>629.080</b>		<b>3.367.180</b>	<b>4.020.880</b>	<b>7.566.511</b>
<b>CHANARAL</b>	<b>45.201</b>	<b>374.541</b>	<b>90.349</b>	<b>271.732</b>	<b>117.130</b>		<b>1.576.529</b>	<b>853.752</b>	<b>2.475.482</b>
CHANARAL	34.349	58.909	35.586	182.514	42.141		223.480	319.149	576.978
DIEGO DE ALMAGRO	10.852	315.633	54.763	89.218	74.989		1.353.050	534.603	1.898.505
<b>COPIAPO</b>	<b>70.857</b>	<b>337.574</b>	<b>280.729</b>	<b>1.033.291</b>	<b>203.776</b>		<b>1.345.471</b>	<b>1.855.371</b>	<b>3.271.699</b>
CALDERA	2.805	56.651	62.723	90.580	25.748		129.371	235.701	367.877
COPIAPO	47.352	234.239	101.346	448.585	84.064		863.408	868.234	1.778.993
TIERRA AMARILLA	20.701	46.684	116.660	494.127	93.965		352.693	751.436	1.124.829
<b>HUASCO</b>	<b>62.393</b>	<b>113.099</b>	<b>165.563</b>	<b>724.921</b>	<b>308.174</b>		<b>445.179</b>	<b>1.311.757</b>	<b>1.819.329</b>
ALTO DEL CARMEN	9.597	8.098	63.136	188.194	73.035		273.091	332.463	615.150
FREIRINA	10.614	22.512	15.075	136.437	64.861		71.777	238.885	321.276
HUASCO	8.569	533	9.616	79.780	18.258		43.313	108.188	160.070
VALLENAR	33.613	81.956	77.736	320.510	152.020		56.998	632.222	722.833

\* 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 III Región es de 4 millones de hectáreas lo que representa el 53% de la superficie regional (figura 11). Sin embargo, gran parte de esta superficie, en especial hacia la Cordillera de los Andes, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión natural (agua, hielo, viento), sin mayor intervención del ser humano.

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.



## ATACAMA

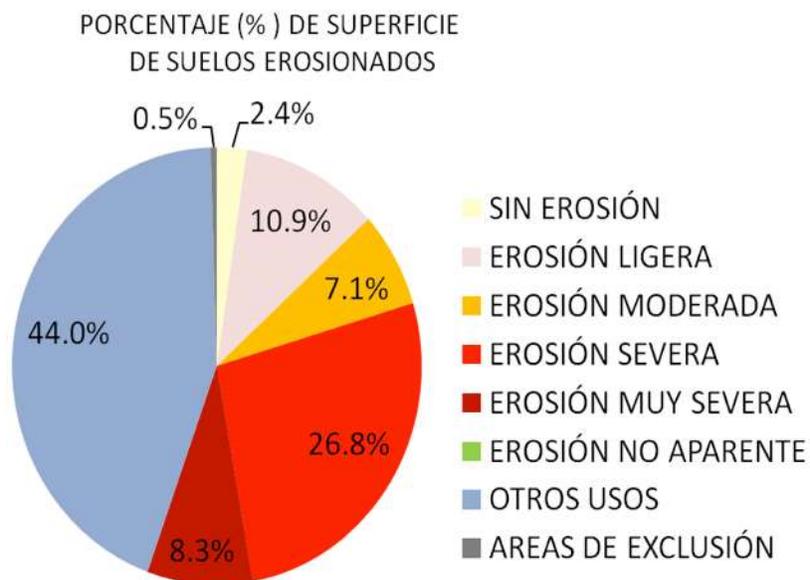
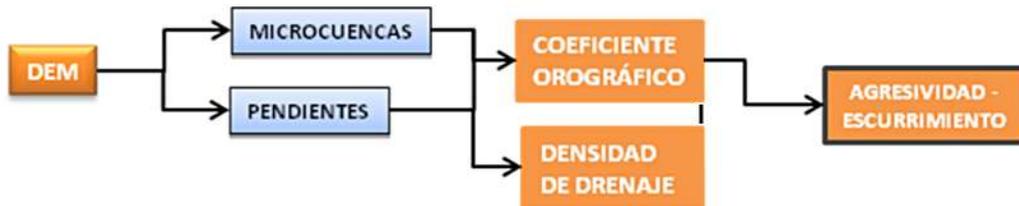


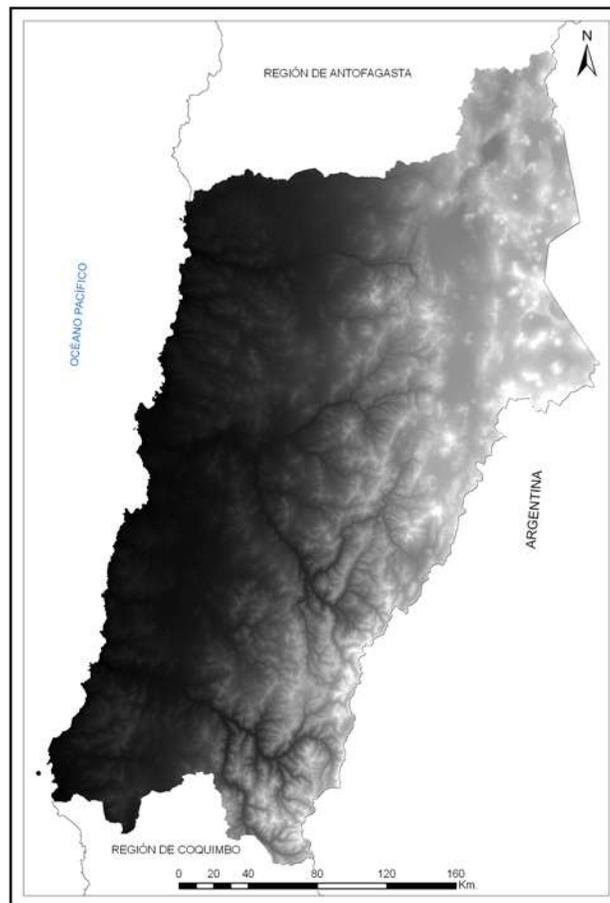
Figura 11. Porcentaje regional (%) de superficie de suelos erosionados.

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).

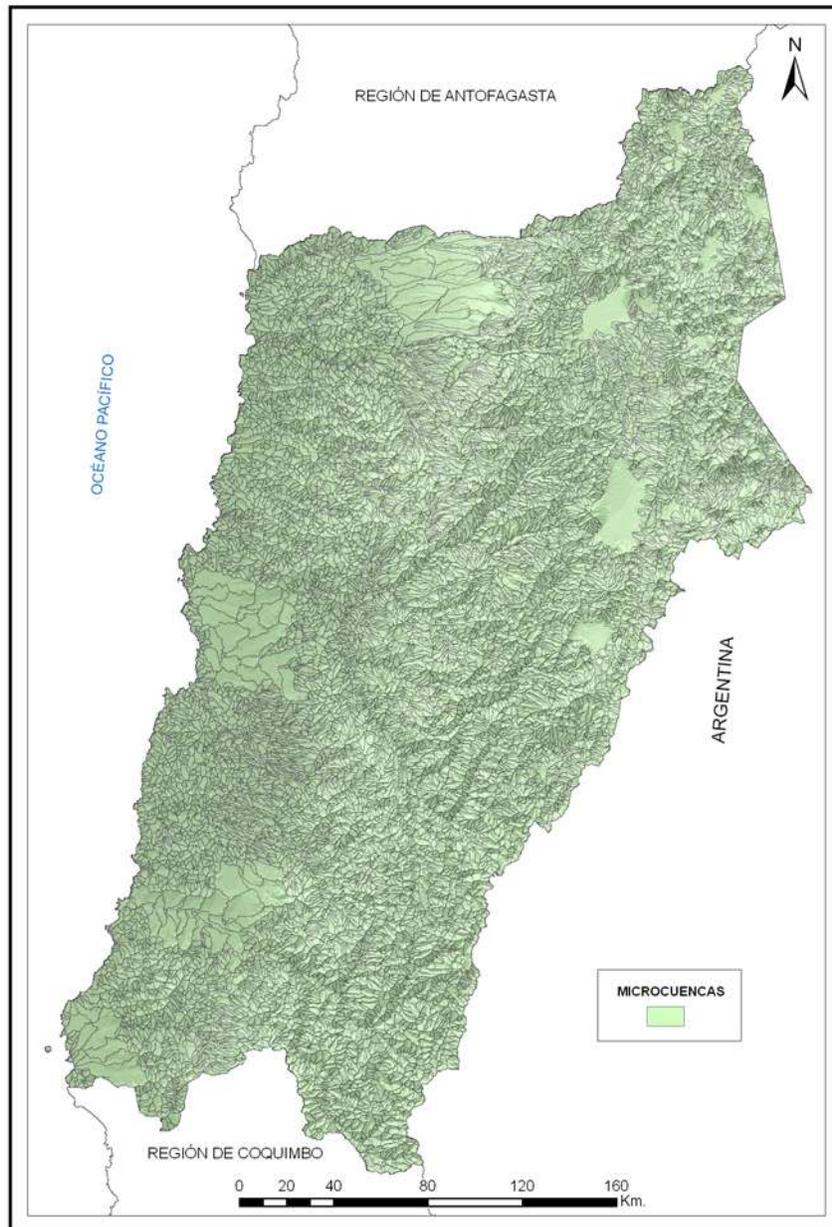


Figura 13. Microcuencas para la III Región de Atacama.

### 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).

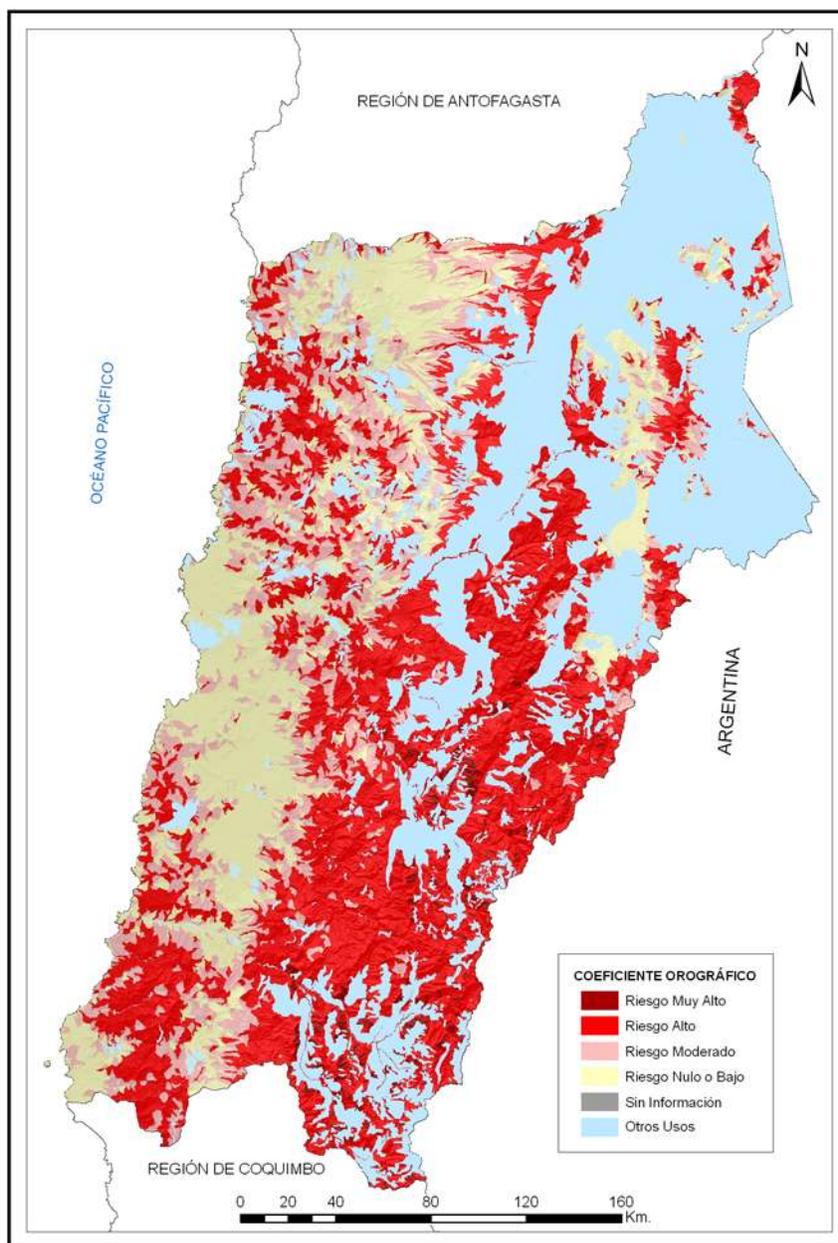


Figura 14. Índice de coeficiente orográfico.



### Cartografía de pendientes.

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

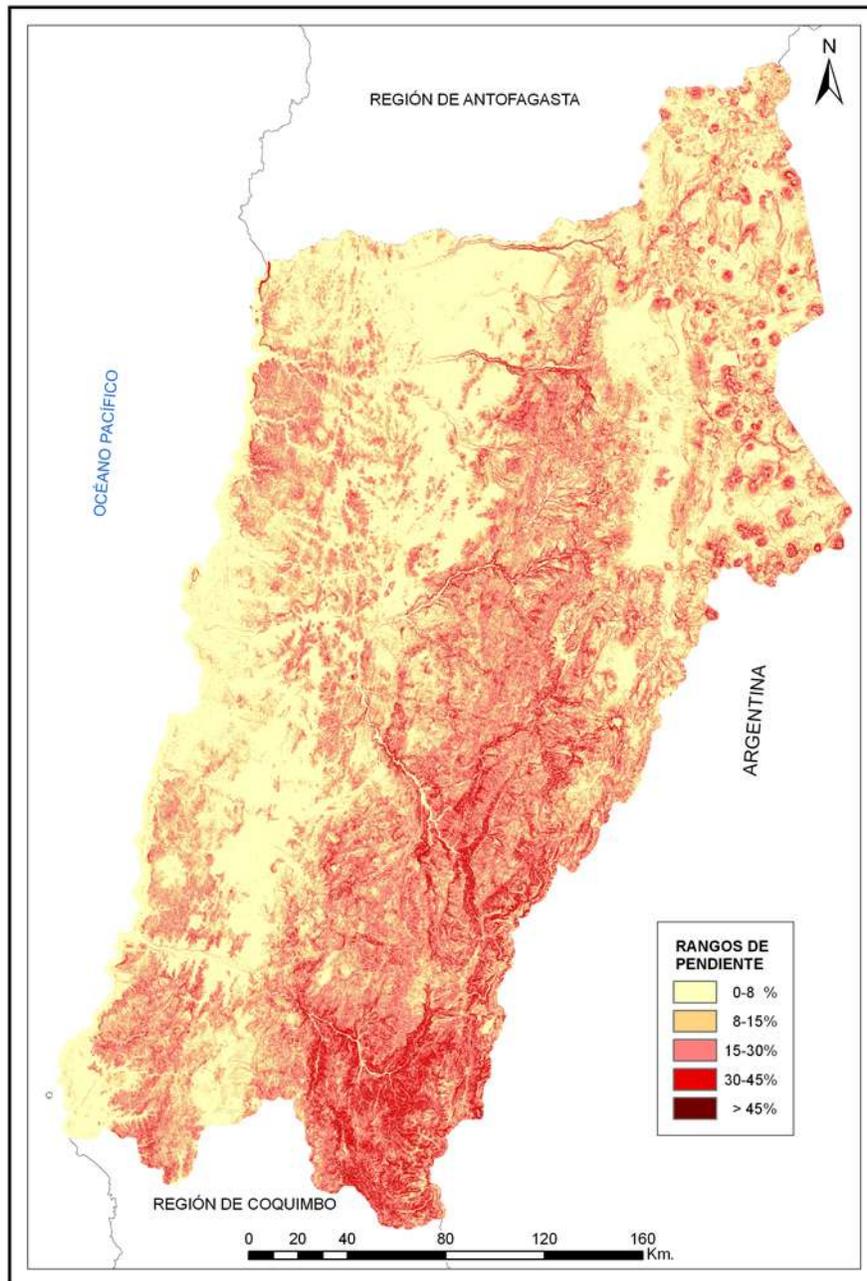
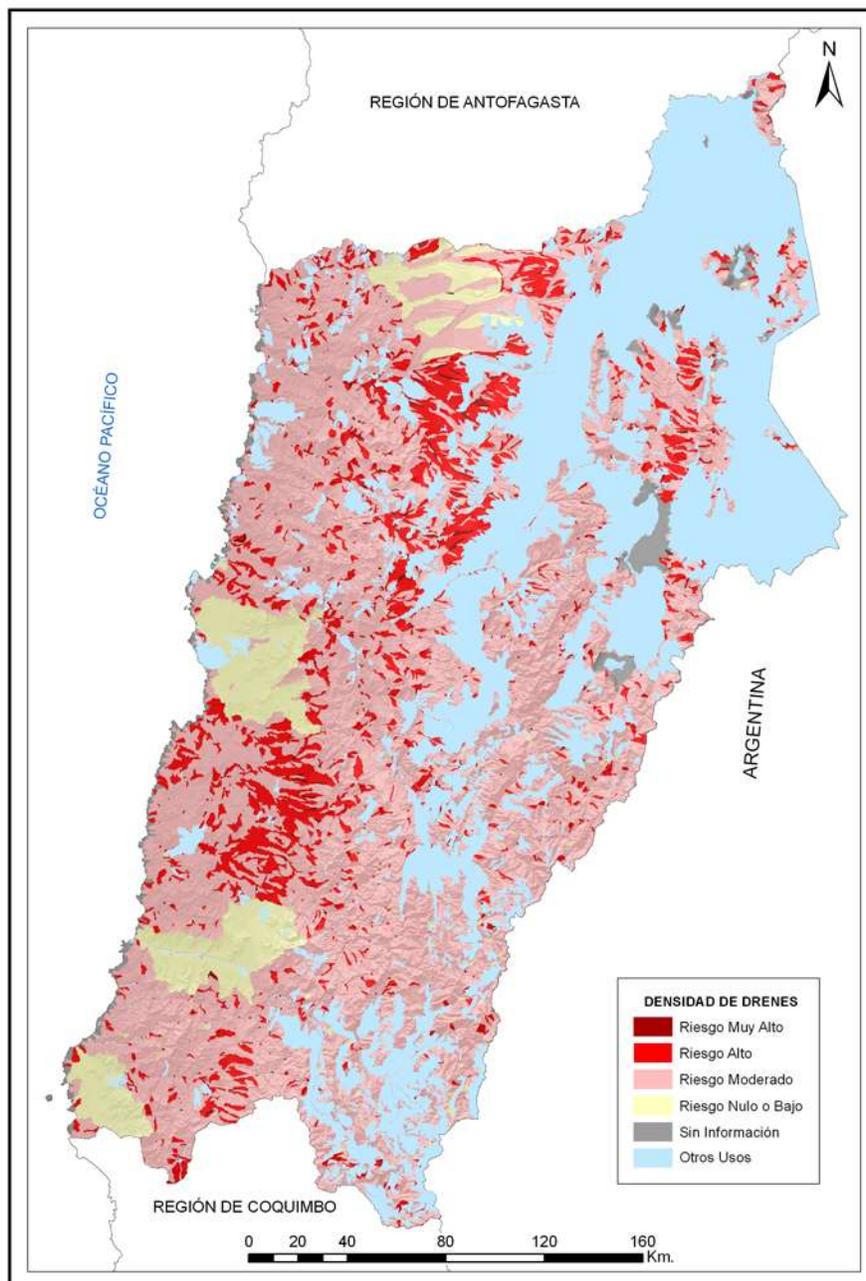


Figura 15. Índice de riesgo por pendientes.

### 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 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.

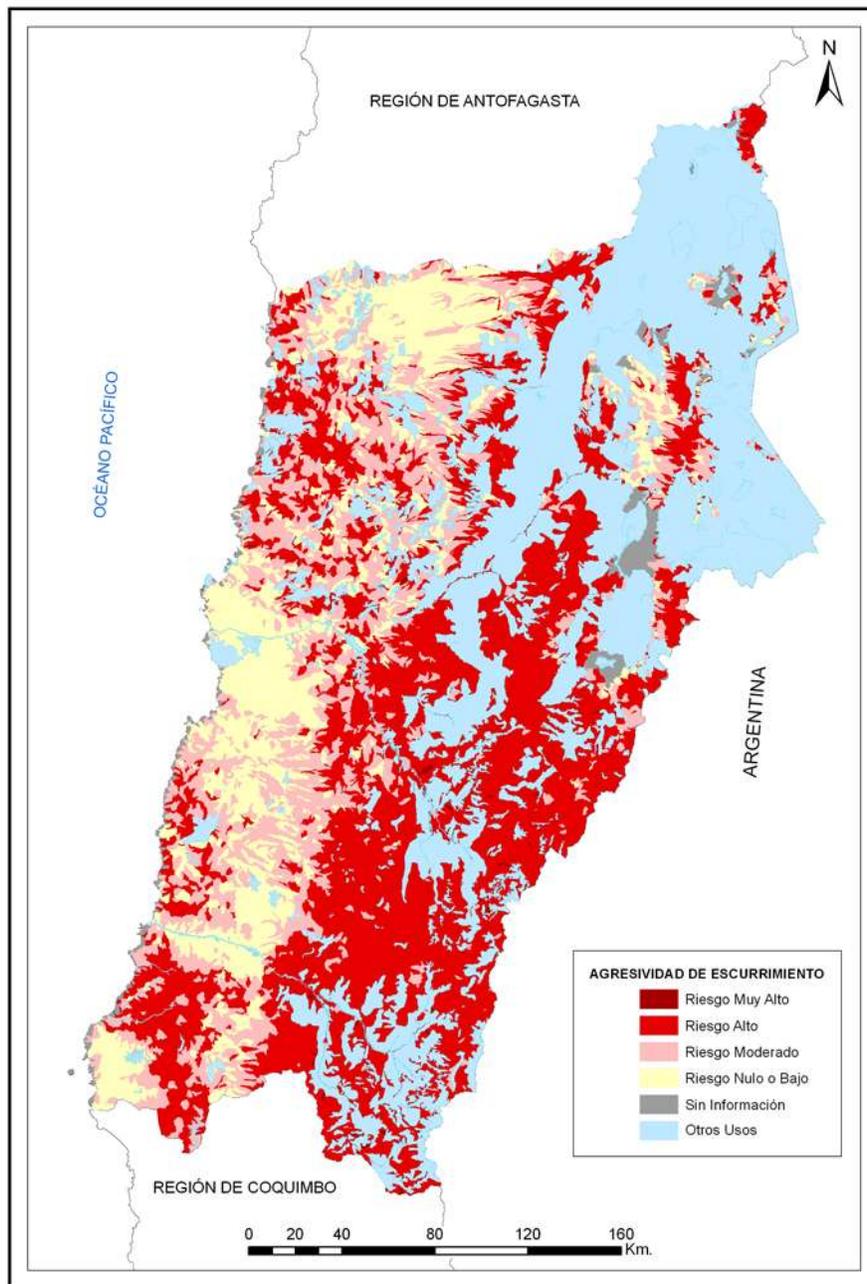
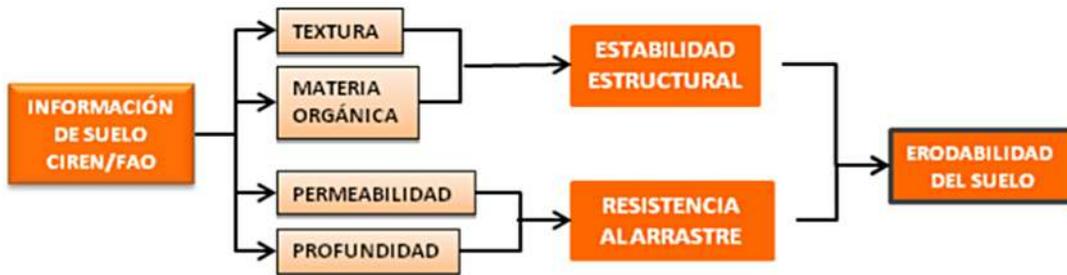
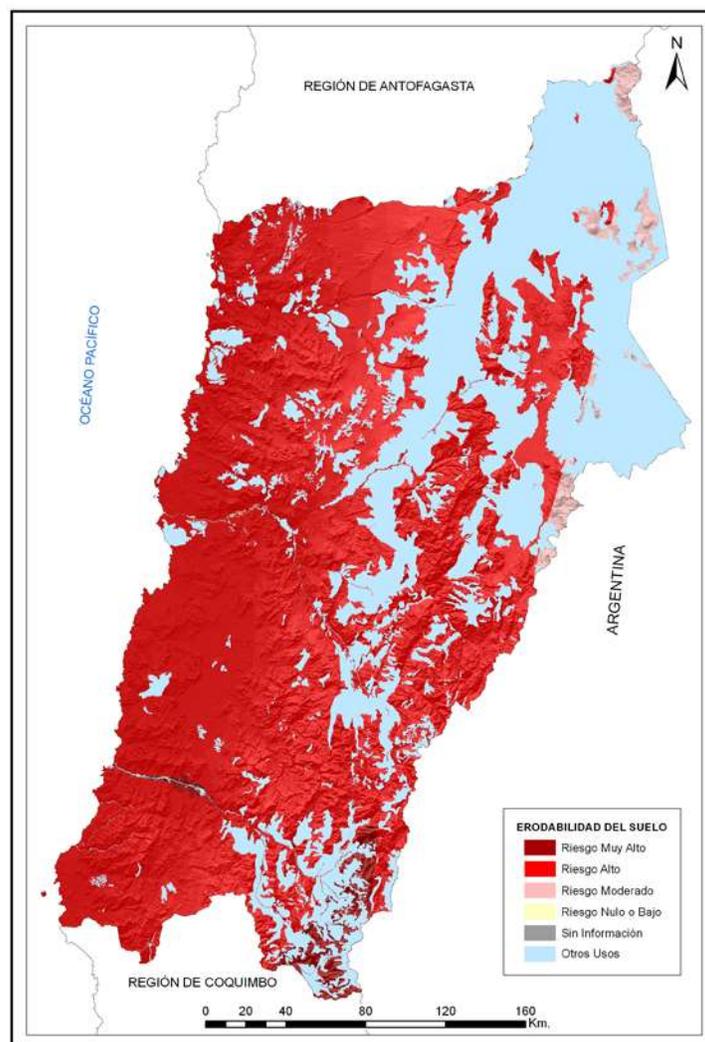


Figura 17. Índice de agresividad escurrimiento.

**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.

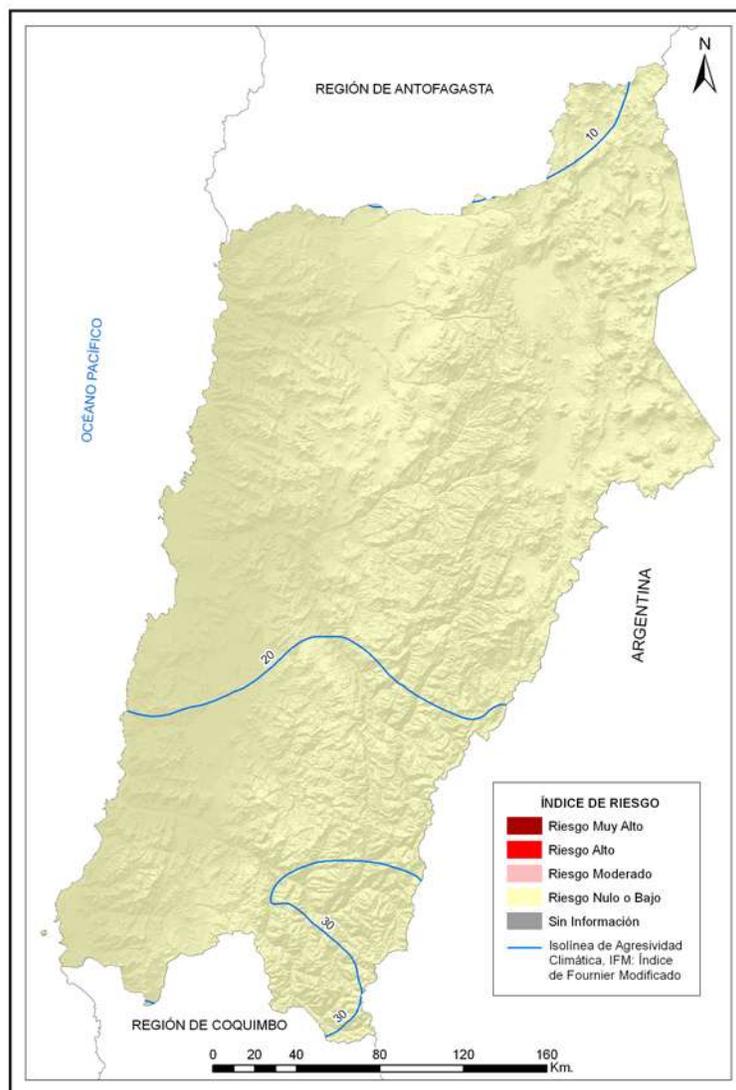
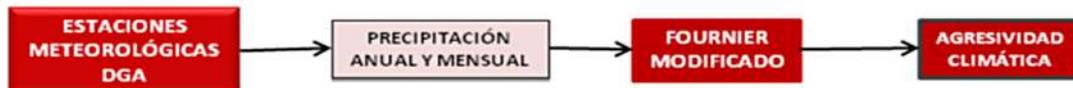


Figura 19. Índice de agresividad climática.

Índice de riesgo topoclimático.

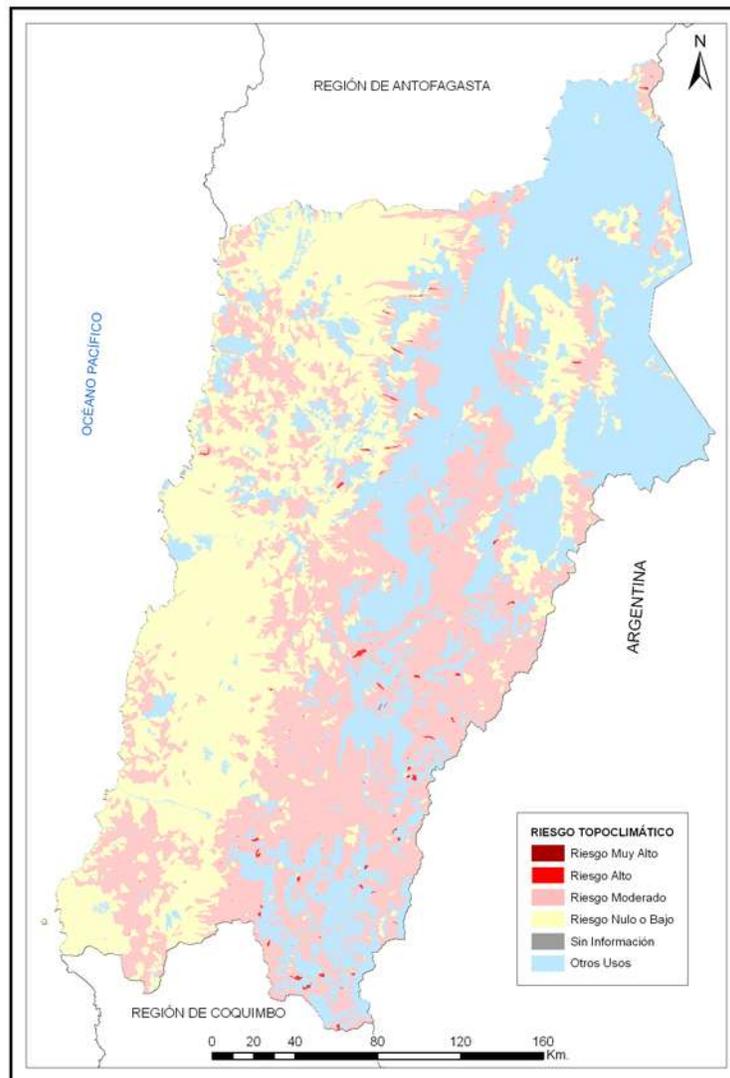
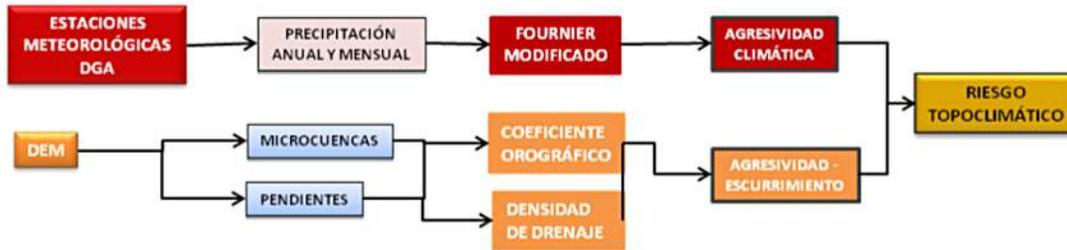


Figura 20. Índice de riesgo topoclimático.



Índice de riesgo físico.

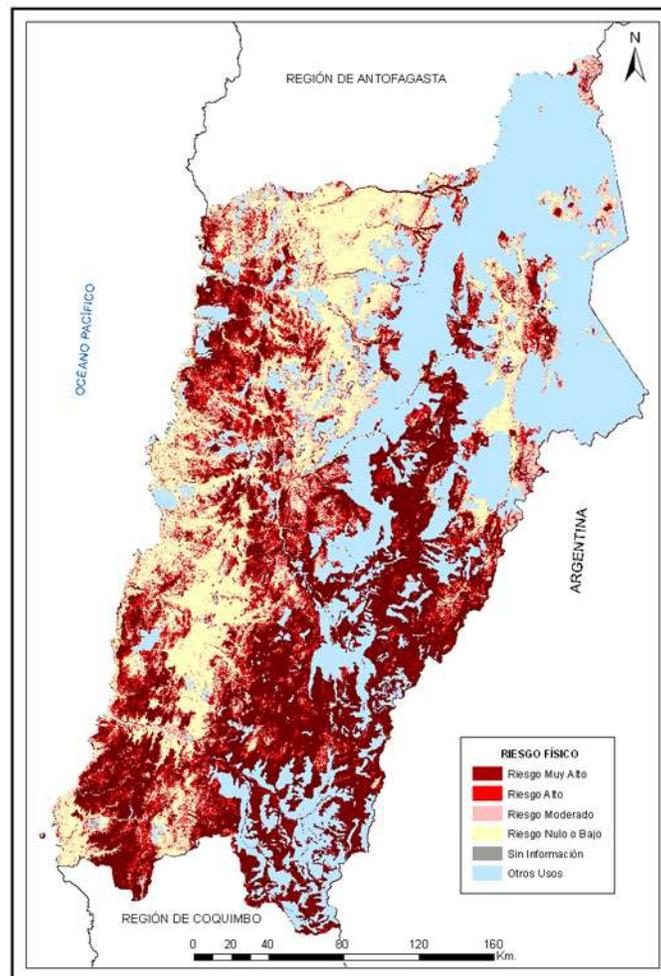
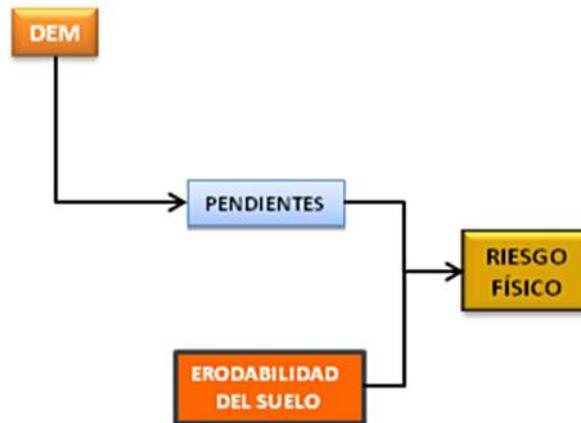
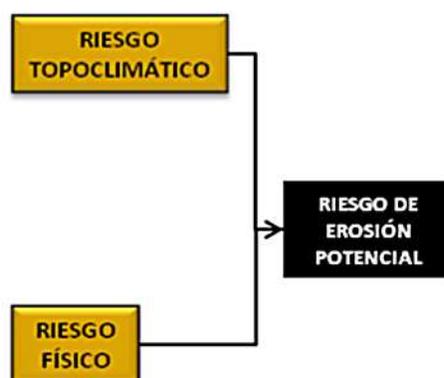


Figura 21. Índice de riesgo físico.

### Índice de riesgo de erosión potencial.

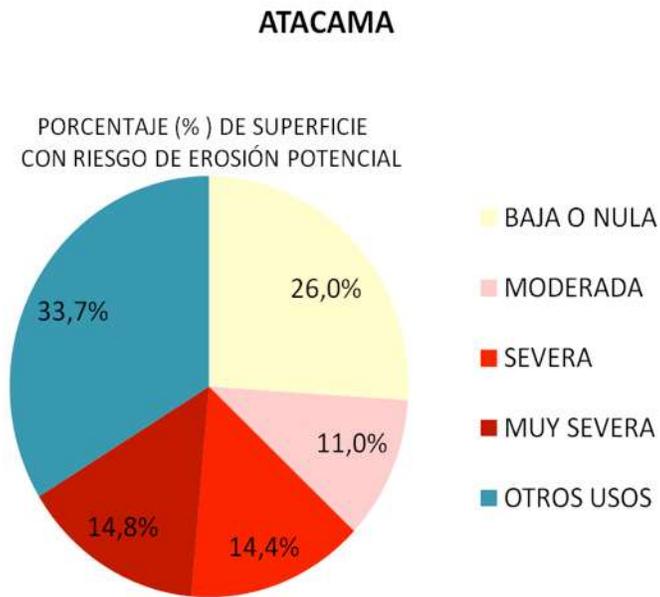
El modelo es el resultado de la combinación de tres grupos de variables básicas: topográficas-hidrológicas, agresividad de la lluvia y suelo. A partir de estas variables se generaron distintos índices, que tratados con criterios mecanicistas y empíricos y utilizando herramientas de combinación espacial, 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
<b>ATACAMA</b>	<b>1.970.657</b>	<b>832.108</b>	<b>1.089.263</b>	<b>1.123.317</b>	<b>2.553.371</b>	<b>7.568.716</b>
<b>CHANARAL</b>	<b>768.051</b>	<b>239.332</b>	<b>175.197</b>	<b>85.304</b>	<b>1.208.104</b>	<b>2.475.987</b>
CHANARAL	266.232	103.846	83.794	45.400	77.920	577.191
DIEGO DE ALMAGRO	501.819	135.486	91.403	39.904	1.130.184	1.898.796
<b>COPIAPO</b>	<b>808.019</b>	<b>370.873</b>	<b>520.146</b>	<b>547.933</b>	<b>1.025.824</b>	<b>3.272.796</b>
CALDERA	204.563	67.312	43.411	18.500	34.513	368.298
COPIAPO	529.673	212.237	220.313	178.329	638.823	1.779.375
TIERRA AMARILLA	73.784	91.324	256.422	351.104	352.488	1.125.122
<b>HUASCO</b>	<b>394.587</b>	<b>221.903</b>	<b>393.920</b>	<b>490.080</b>	<b>319.443</b>	<b>1.819.933</b>
ALTO DEL CARMEN	5.621	18.398	83.265	233.657	274.443	615.383
FREIRINA	107.023	58.439	91.259	58.603	6.158	321.483
HUASCO	61.340	38.401	35.780	14.413	10.340	160.275
VALLENAR	220.602	106.665	183.615	183.408	28.502	722.792



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



**Figura 23.** Transecto: Vallenar – Alto del Carmen  
Coordenadas: E 361192 – N 6816062  
Clase de erosión: Severa

## CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION POTENCIAL REGIÓN DE ATACAMA

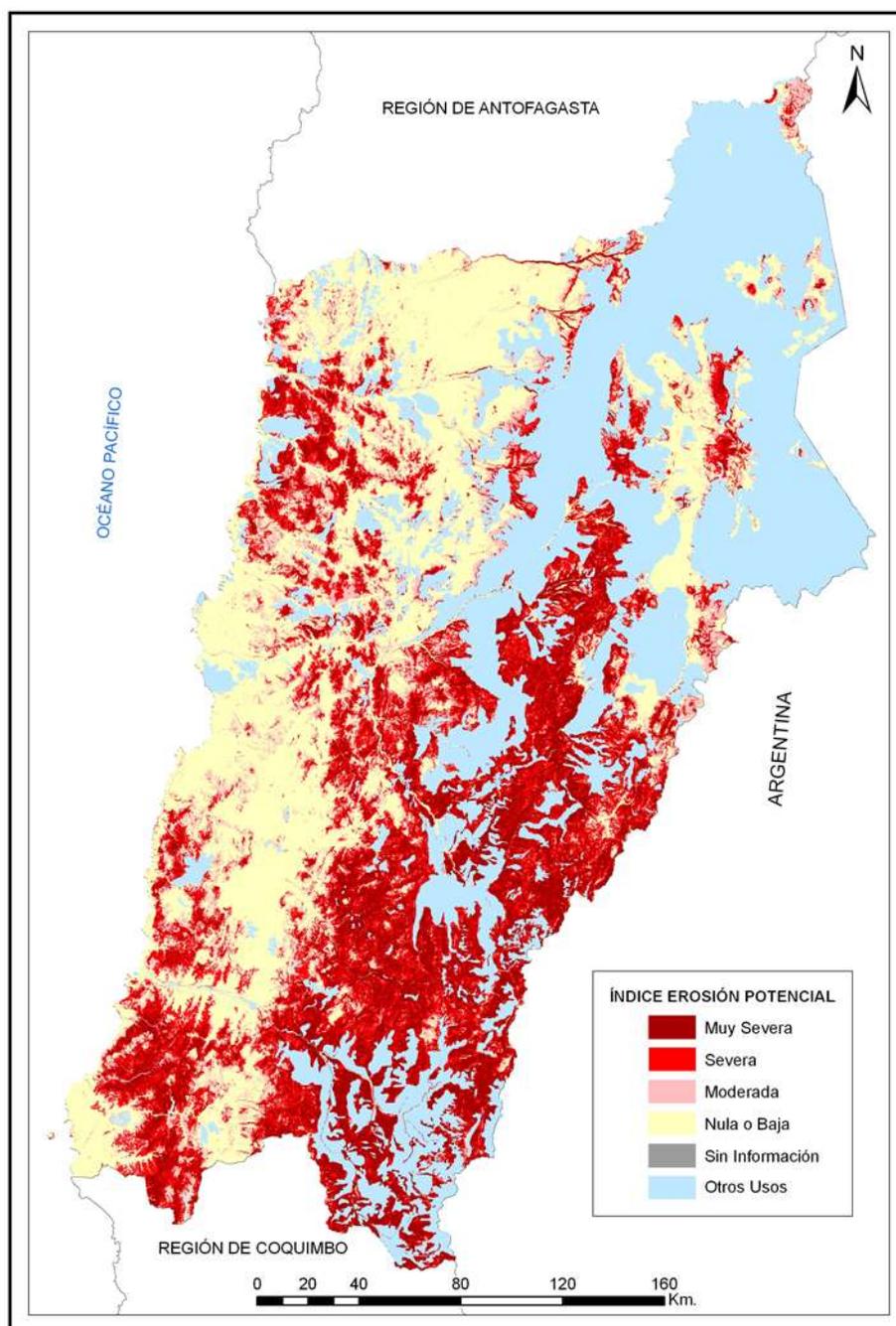


Figura 24. Riesgo de erosión potencial para la III Región de Atacama.



### 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.

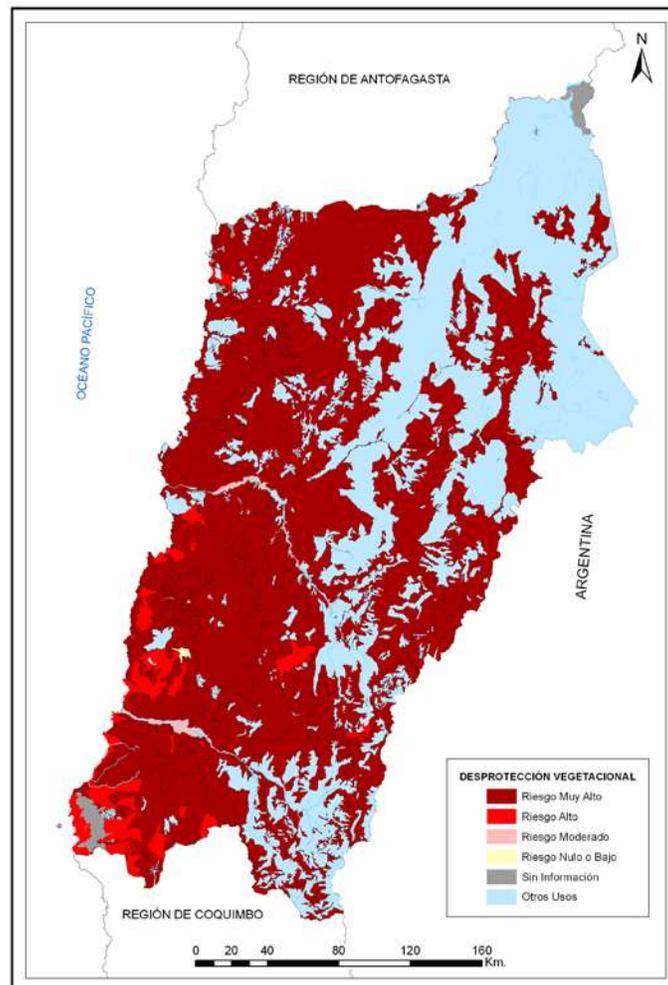
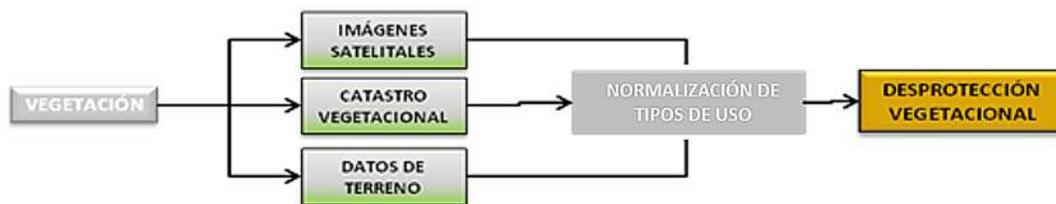


Figura 25. Índice de desprotección vegetal.

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

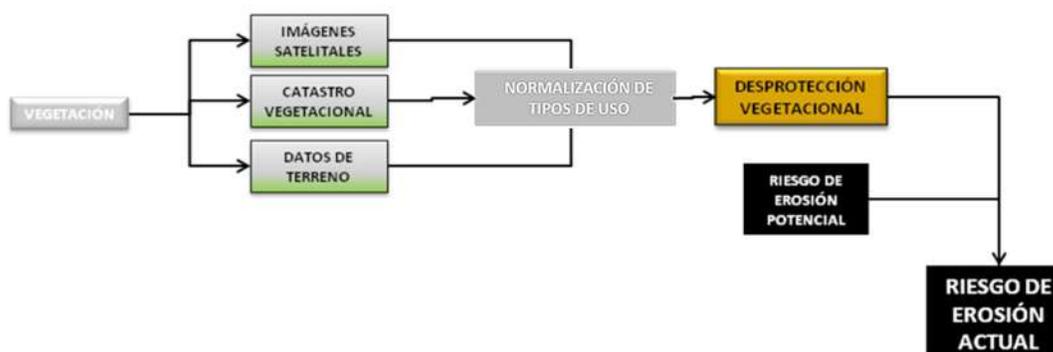
CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO	CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO
Áreas sobre límite vegetacional	0	Matorral abierto	3
Bosque nativo-exóticas asilvestrado muy abierto	3	Matorral arborescente abierto	3
Bofedales	1	Matorral arborescente denso	1
Bosque exóticas asilvestradas abierto	2	Matorral arborescente muy abierto	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 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 (por comunas).

Región/Provincia/Comuna	BAJO O NULA	MODERADA	SEVERA	MUY SEVERA	OTRAS CATEGORIAS	Total general
<b>ATACAMA</b>	<b>1,972,119</b>	<b>836,194</b>	<b>1,188,516</b>	<b>1,018,193</b>	<b>2,553,639</b>	<b>7,568,661</b>
<b>CHANARAL</b>	<b>768,042</b>	<b>239,214</b>	<b>175,217</b>	<b>85,246</b>	<b>1,208,213</b>	<b>2,475,932</b>
CHANARAL	266,239	103,802	83,820	45,352	77,924	577,136
DIEGO DE ALMAGRO	501,804	135,412	91,397	39,894	1,130,289	1,898,796
<b>COPIAPO</b>	<b>809,441</b>	<b>371,265</b>	<b>523,059</b>	<b>543,127</b>	<b>1,025,903</b>	<b>3,272,796</b>
CALDERA	204,596	67,292	43,391	18,503	34,516	368,298
COPIAPO	530,035	212,034	224,124	174,294	638,889	1,779,375
TIERRA AMARILLA	74,810	91,940	255,544	350,330	352,498	1,125,122
<b>HUASCO</b>	<b>394,635</b>	<b>225,714</b>	<b>490,239</b>	<b>389,821</b>	<b>319,523</b>	<b>1,819,933</b>
ALTO DEL CARMEN	5,592	21,970	101,343	211,939	274,540	615,383
FREIRINA	107,031	58,487	106,542	43,275	6,147	321,483
HUASCO	61,381	38,358	40,970	9,225	10,340	160,275
VALLENDAR	220,632	106,899	241,384	125,381	28,496	722,792

A partir de los resultados (figura 22 y 27), el riesgo actual y potencial de erosión hídrica severa y muy severa es moderadamente bajo, por cuanto las precipitaciones son casi nulas en gran parte de la región.

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

## CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION ACTUAL REGIÓN DE ATACAMA

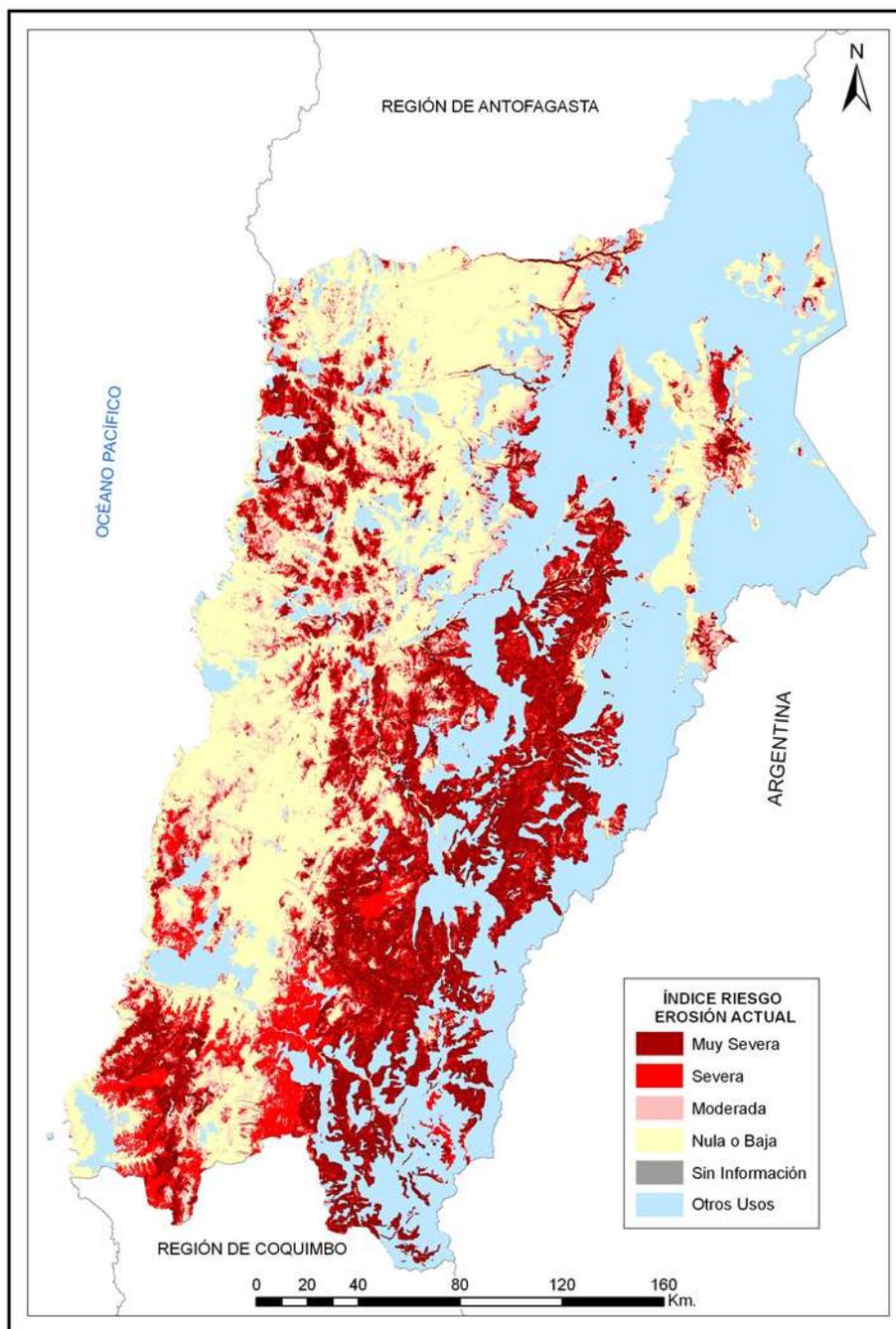
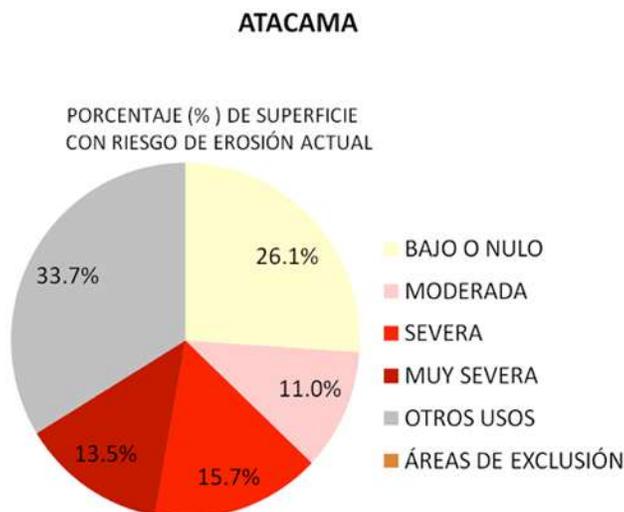


Figura 26. Riesgo de erosión actual para la III Región de Atacama.



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

## CONCLUSIONES

El presente estudio aborda el análisis de la erosión actual y potencial de los suelos de la Región de Atacama en una escala de trabajo de mucho mayor detalle (1:50:000 y 1:250.000), además de un área de estudio ostensiblemente mayor al estudio de 1979. Estas diferencias metodológicas dificultan el análisis comparativo entre ambos estudios, aunque cabe destacar que la radiografía actual es un avance importante en términos de actualización, precisión y confiabilidad de la información de los suelos de la III Región de Atacama.

La Región de Atacama representa la zona de transición del desierto a las regiones con mayor potencial agroproductivo. Sin embargo, predomina los procesos de erosión geológica o natural (sobre el 85% de la superficie regional), situación que no reviste efectos apreciables en la agricultura, ya que son escasas las superficies silvoagropecuarias, clasificadas principalmente bajo la categoría de erosión "ligera". Existe evidencia de erosión hídrica en los sectores altiplánicos y valles interiores, y erosión eólica en zonas de topografía plana y de lomajes de la tercera región. Se destaca la presencia de superficie dedicadas a clasificadas como "otros usos" (zonas mineras, salares, dunas y rocas y afloramientos rocosos), que representan un 44% de la superficie regional.

Las comunas con mayores problemas de erosión actual son Vallenar (87,5%) y Freirina (74,4%). La superficie regional con suelos erosionados alcanza los 4 millones de hectáreas, lo que representa un 53% de la superficie regional. Las comunas con mayor superficie clasificada bajo las categorías de erosión "severa" y "muy severa" son Copiapó y Tierra Amarilla, las que juntas suman más de un millón de hectáreas bajo esta condición.

El riesgo actual y potencial de erosión hídrica es baja (43% aprox.), por cuanto la cantidad de las precipitaciones son casi nulas y la intensidad (agresividad climática) es baja en gran parte de la región. En la Región de Atacama la aplicación del modelo de erosión potencial indica que a nivel regional, aproximadamente 3 millones de hectáreas (60,7% de los suelos de la región) presentan un índice riesgo de erosión potencial en cualquiera de sus clases, con predominancia de la clase muy severa. Al incorporar la cobertura vegetal de acuerdo al modelo de riesgo de erosión actual, no hay un cambio significativo en el porcentaje regional de suelos frágiles, sin embargo hay una ligera disminución de los suelos clasificados en la clase muy severa y un aumento en la clase severa.

En este marco, el presente estudio permitió cuantificar la superficie regional de erosión actual y potencial mediante técnicas de geomática, teledetección y SIG. Los resultados fueron validados en dos campañas de terreno, con el apoyo de los profesionales del Ministerio de Agricultura de Chile. Se recomienda mejorar la cartografía de suelos, en áreas sin estudio. Se esperaría incorporar en el futuro, nuevas fuentes de información regional más actualizada y de mayor precisión que permitan acercarse a la realidad de los procesos biológicos y físicos, que ocurren en ambientes desérticos y semiáridos.

### 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

---

Allaby, M. 2002. Enciclopedia of Weather and Climate. Facts on File, New York.

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 Atacama. Disponible en:  
<http://www.bcn.cl/siit/regiones/region3/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

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.

Gajardo, R. 1994. La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria, Santiago. 165 pp.

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

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

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

Luebert, F y P Pliscoff. 2006. Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago. 316 pp.

Luzio, W. y Alcayaga, S. 1992. Mapa de Asociaciones de Grandes Grupos de Suelos de Chile. En. Agricultura Técnica. 52 (4). pp. 347 – 353.

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.

Squeo, F., G. Arancio y J. Gutiérrez. 2008. Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama. Ediciones Universidad de La Serena. 466 p. Disponible en: [http://www.biouls.cl/Irojo/Irojo03/public\\_html/libro.html](http://www.biouls.cl/Irojo/Irojo03/public_html/libro.html). Consultado el 23.11.2010.

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

Ulloa y P Ortiz de Zárate. 1989 Geografía III Región de Atacama. Colección Geografía de Chile, Ediciones Instituto Geográfico Militar, Santiago, 206 pp.

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 Atacama**

---

**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