



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

Región del
Lib. Gral. Bernardo O`Higgins.

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
del Lib. Gral. Bernardo O`Higgins.**

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile
Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins.

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Publicación N° 146

Registro de propiedad intelectual: 200594

Autores:

Juan Pablo Flores V.
Eduardo Martínez H.
Marión Espinosa T.
Gabriel Henríquez A.
Pablo Avendaño V.
Patricio Torres F.
Isaac Ahumada F.

Cartografía:

Luz María Marín A.
Marcelo Retamal G.
Balfredo Toledo H.

Editado por:

Juan Pablo Flores V.

Diseño:

Simón Rodríguez Tachi

Centro de Información de Recursos Naturales

Director Ejecutivo: Eugenio González Aguiló
Manuel Montt 1164, Providencia.
Fono (56-2) 200 89 00
www.ciren.cl
Santiago de Chile - 2010

Dedicado a Patricio Lara Greene.

ÍNDICE

Resumen	7
Introducción	8
Antecedentes del área de estudio	10
Metodología	12
<i>Modelo de erosión actual</i>	12
<i>Modelo de riesgo de erosión potencial y actual</i>	18
Línea base de información biogeofísica	20
Equipo de Trabajo	21
Resultados y estadísticas	22
Conclusiones	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 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 VI Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins es de 1,64 millones de hectáreas.

Para la VI Región existe una superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de 861 mil hectáreas, lo que representa el 52,5% de la superficie regional. 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 comunas de Machalí y San Fernando presentan la mayor superficie de suelos con erosión "severa" y "muy severa" (sobre 130.000 hectáreas). Mientras que la mayor proporción porcentual en estas clases son las comunas de Navidad y Paredones (31% y 27,8% del total de superficie de la comuna, respectivamente).

Las comunas de Navidad y Paredones representan las comunas con mayores índices de riesgos de erosión actual y potencial, donde la alta agresividad climática que enfrentan las exposiciones norte, sumado a que históricamente han sido cultivadas, ahora exhiben los mayores riesgos de degradación por erosión.

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, VI Región del Lib. Gral. Bernardo O`Higgins.

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).

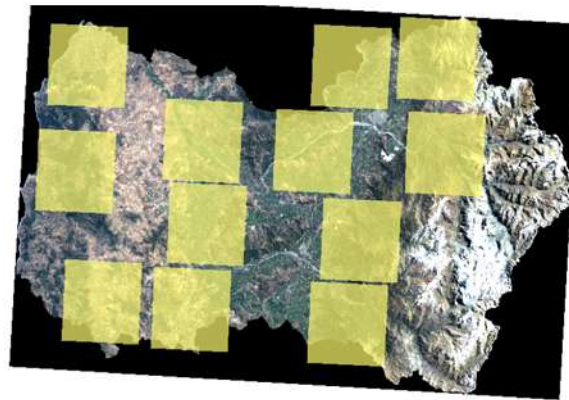


Figura 2. Estudio de la erosión con imagen Landsat 5 TM.

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 del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins, 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 del Lib. Gral Bernardo O`Higgins se localiza aproximadamente entre los 34° y los 35° de latitud sur y entre los 70°02´ de longitud Oeste y el Océano Pacífico. Posee una superficie de 1,68 millones de hectáreas. Se destaca el relieve de la Cordillera de los Andes, Depresión intermedia, Cordillera de la Costa y Planicies Litorales. El clima predominante corresponde al clima templado mediterráneo, el cual presenta variaciones de oeste a este por influencia de algunos factores tales como cercanía al mar, continentalidad y la altitud. En la costa se presenta nuboso, mientras que hacia el interior debido a la sequedad experimenta fuertes contrastes térmicos. Las precipitaciones son mayores en la costa y en la Cordillera de los Andes, debido al relieve que no deja entrada a los vientos húmedos oceánicos (BCN, 2010). En el litoral, que recibe la influencia oceánica predomina el clima templado nuboso, caracterizado por una mayor humedad y abundante nubosidad. En el sector de la depresión intermedia predomina un clima templado de tipo mediterráneo cálido con una estación seca de seis meses y un invierno lluvioso. A medida que se asciende por la cordillera, las temperaturas descienden bajo los cero grados en los meses de invierno. Sobre los 3.500 metros de altura se pasa al clima frío de altura con predominio de nieves eternas (INE, 2010). Las precipitaciones alcanzan cifras cercanas a los 823,5 mm., casi el doble de las registradas en Valparaíso. La temperatura media anual alcanza a los 12,6° C, y la amplitud térmica anual es de 4,8° C y la diaria de 6,4°C.

Las condiciones climáticas y morfológicas permiten en la depresión intermedia el desarrollo de una vegetación arbustiva de espinos, mientras que en los sectores de la Cordillera de la Costa y de los Andes debido a la mayor humedad, se desarrolla un bosque esclerófilo de boldos y peumos, dando paso sobre los 1.400 msnm a bosques de robles (Nothofagus obliqua). El matorral esclerófilo y la estepa de espino han sido intensamente explotados para la fabricación de carbón. El bosque nativo de robles, también ha sido intervenido por la mano humana, siendo reemplazado por especies exóticas tales como el pino, álamos y eucaliptos, para la producción forestal (BCN, 2010).

Los suelos de la Región del Lib. Gral. Bernardo O`Higgins predominan (CIREN-CORFO, 1996) un régimen de suelos xérico y el régimen de temperatura térmica y están conformados preferentemente, por alfisoles (minerales generalmente húmedos de alta saturación de bases. Tienen problemas de drenaje debido a su alto contenido arcilloso y poco material orgánico), mollisoles (excelentes suelos agrícolas. Tienen una buena estructura granular o migajosa con alto contenido de materia orgánica y buen drenaje), vertisoles (pesados y arcillosos de clima subhúmedo a árido pero siempre con un período húmedo que satura el suelo. Las temperaturas varían de cálidas a templadas y son capaces de provocar evapotranspiración), inceptisoles (húmedos, incipientes, poco evolucionados y con cierta acumulación de materia orgánica) y andisoles (desarrollados a partir de cenizas volcánicas).

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

Usos del suelo	Superficie 1995		Superficie 2000	
	(ha)	%	(ha)	%
Áreas urbanas e industriales	15.588,0	0,95	17.770,9	1,09
Terrenos agrícolas	422.853,4	25,88	423.782,7	25,94
Praderas y matorrales	631.426,5	38,65	627.355,6	38,4
Bosques	235.507,8	14,41	237.986,6	14,57
Humedales	4.510,5	0,28	4.342,1	0,27
Áreas desprovistas de vegetación	303.687,1	18,59	301.694,8	18,47
Nieves y glaciares	11.266,8	0,69	11.262,3	0,69
Cuerpos de agua o aguas continentales	8.971,2	0,55	9.636,3	0,59
TOTAL	1.633.811,3	100,0	1.633.811,3	100,0



El aumento de áreas urbanas (cuadro 1) ocurrió en la región a expensas de los terrenos de uso agrícola 87% del crecimiento de la clase de uso, seguida muy lejos de la categoría praderas y matorrales 11%, los otros usos que fueron destinados a áreas urbanas son significativamente menores (CONAF, 2002).

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	
VI	(mill.)	0.2	0.54	0.21	0.46	0.89
	%	20.4	55.9	21.6	51.9	
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

El estudio de erosión 1979 (cuadro 2 y figura 3) revela que existe una superficie de 0,89 millones de hectáreas con algún grado de erosión. Asimismo, indica que 289 mil hectáreas son consideradas de alta fragilidad, que corresponde a un 29,7% del área de estudio.

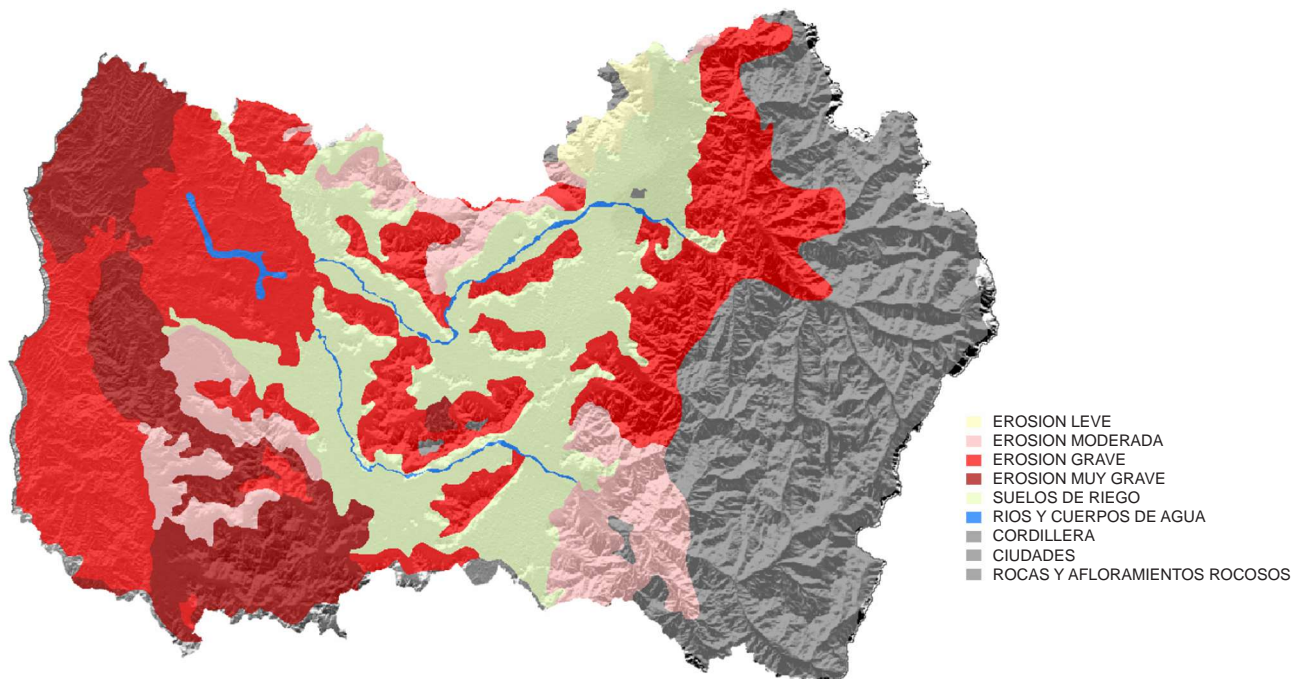


Figura 3. Mapa de nivel de erosión para la Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins., IREN-1979.

METODOLOGÍA

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

Modelo de erosión actual

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

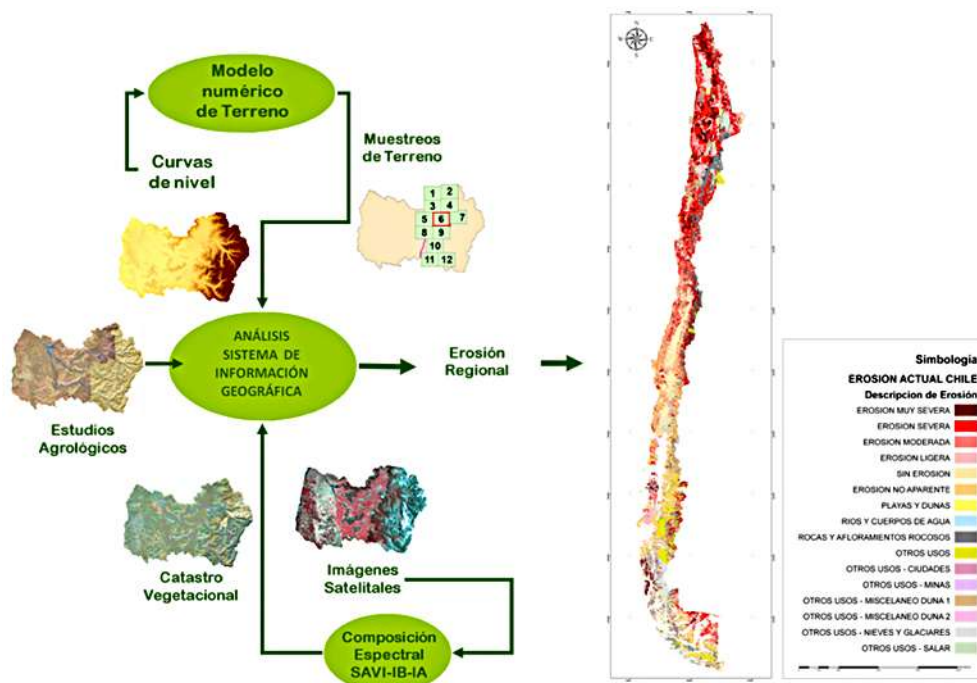


Figura 4. Diagrama metodológico del modelo de erosión actual.

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



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



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

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



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

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



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

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



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

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

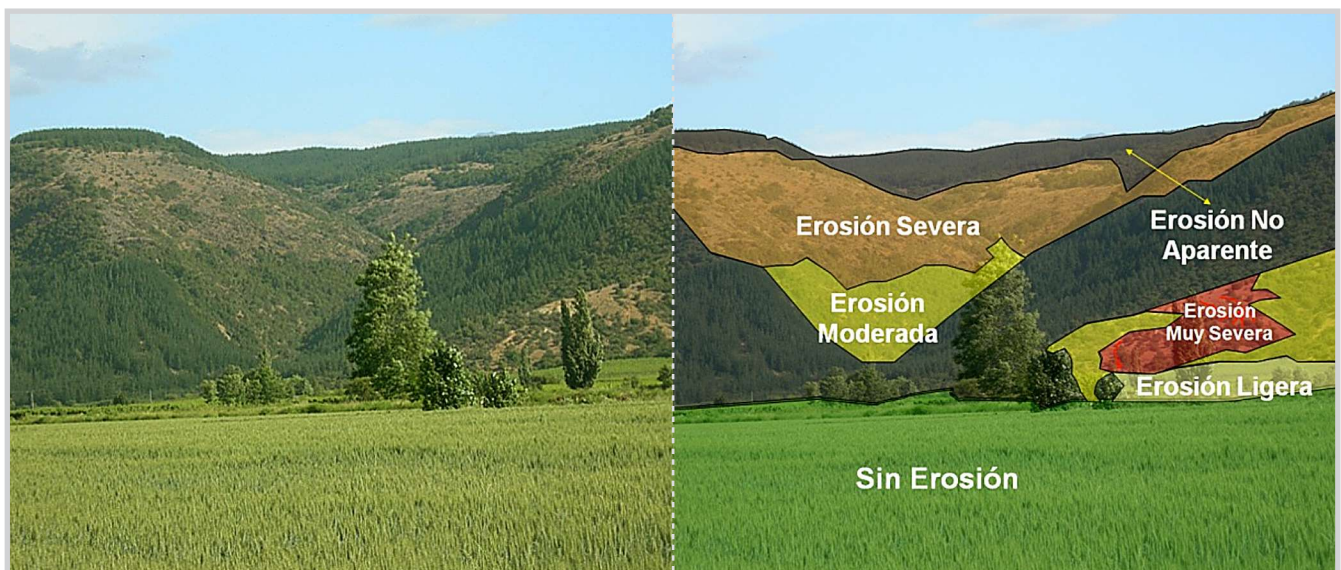


Fotografía 5. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión muy severa.

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



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



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



Adicionalmente, se considera las siguientes categorías;

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



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

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



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

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

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

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

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

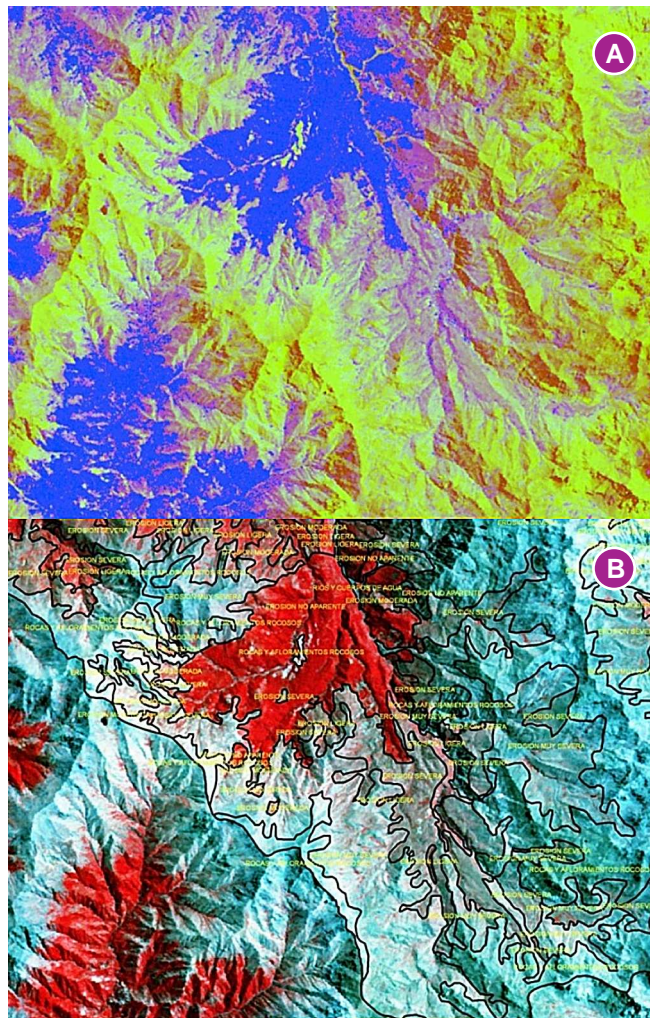


Figura 5. (a) Índice de erosión, composición falso color 2,1,3 para análisis visual de erosión actual.

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

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

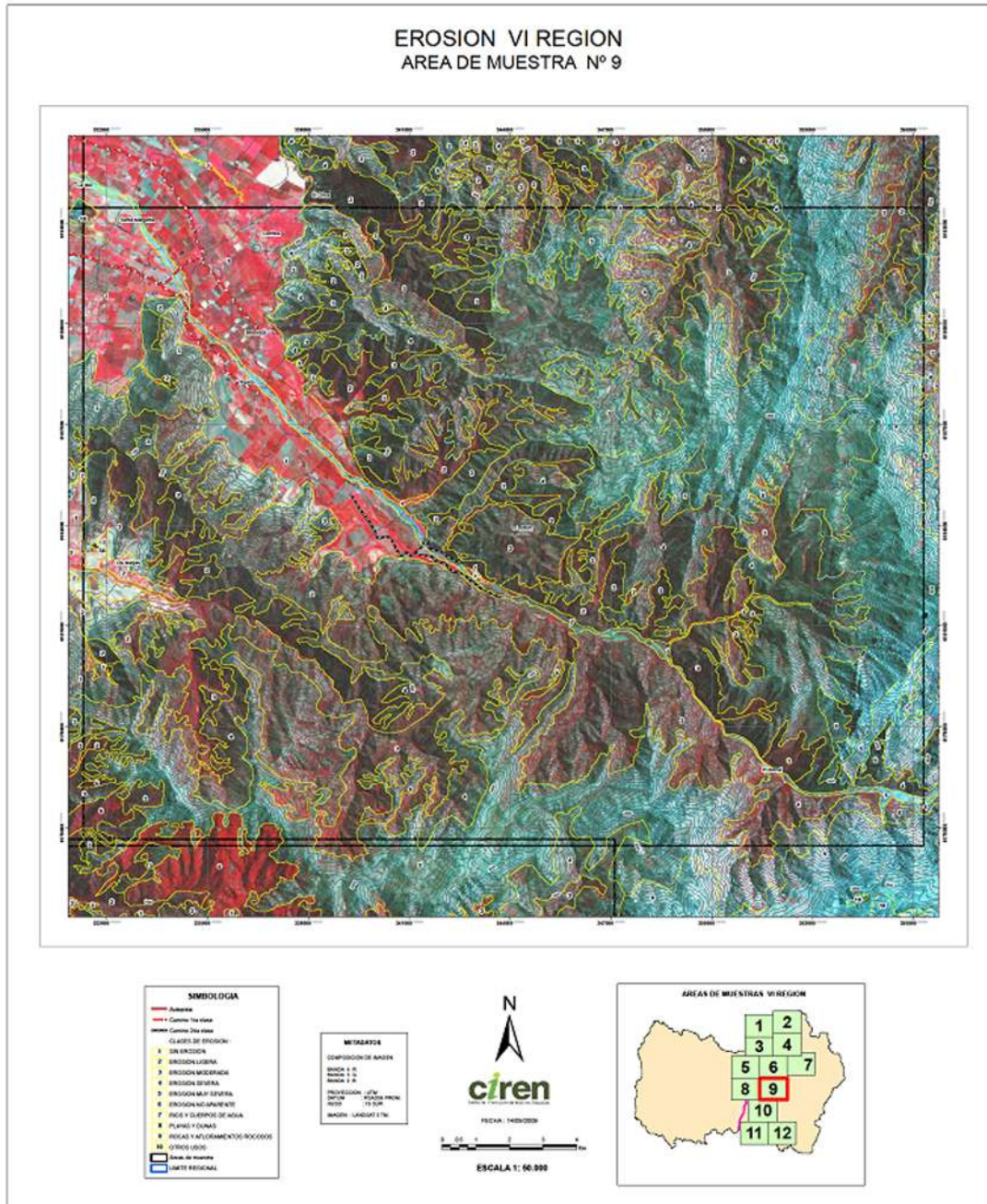


Figura 6. Áreas de muestreo y validación de la cartografía de erosión para la VI Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins.

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).

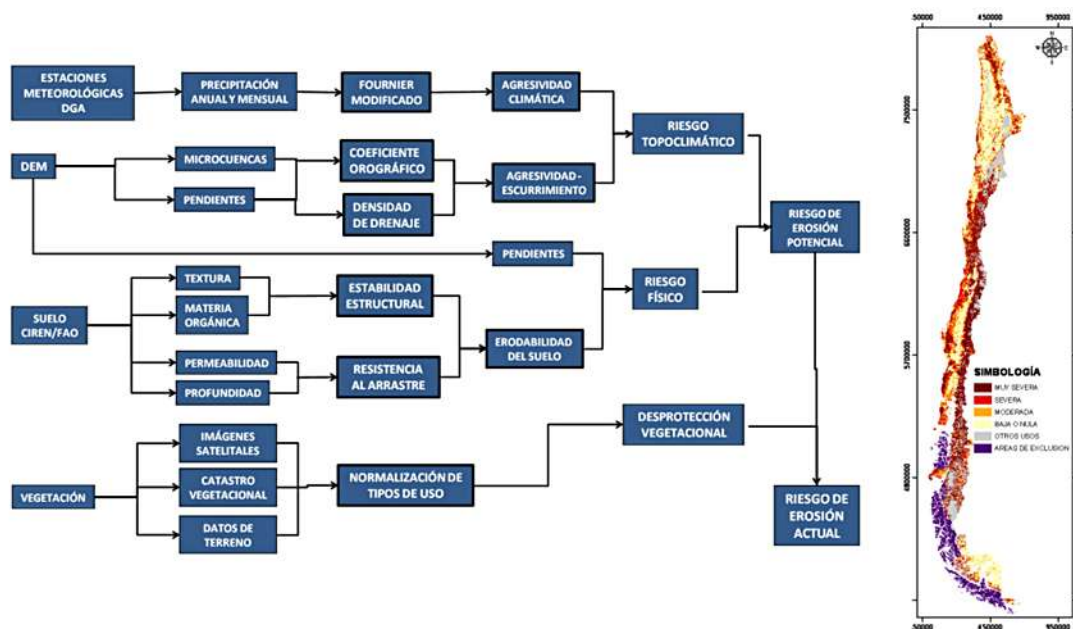


Figura 7. Diagrama metodológico del modelo de riesgo de erosión potencial y actual.

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.

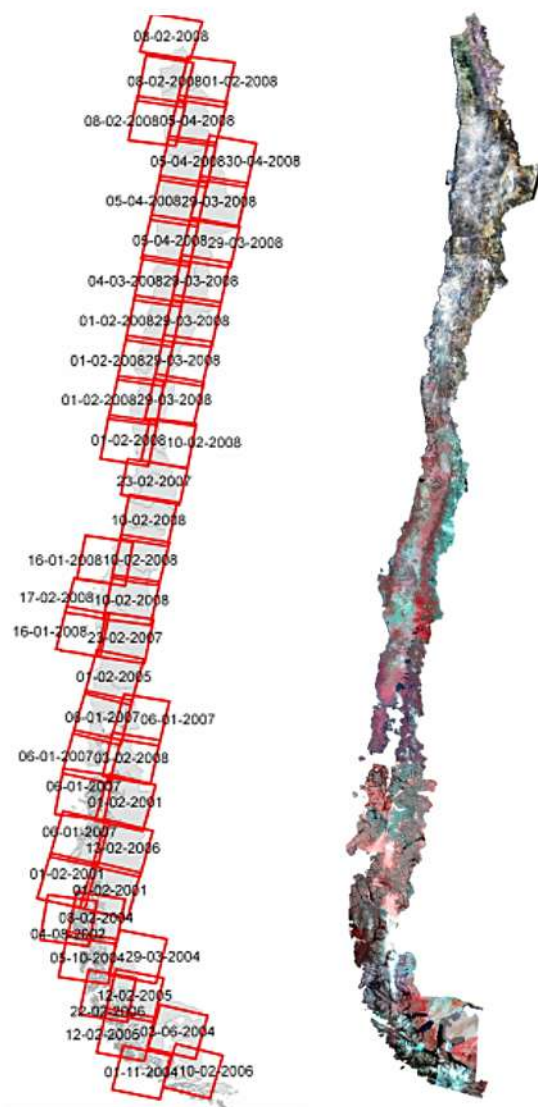
La agresividad climática es un índice que da cuenta de la erosividad de la lluvia, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación. La construcción de este índice se basó en la espacialización de registros pluviométricos proporcionados por 459 estaciones meteorológicas de la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

Zonificación de la erosión y fragilidad de los suelos del secano costero de las regiones VI y VII. (2003-2006). Informe de proyecto, información digitalizada.

SAG – UNICYT. 2002. Cartografía de la vegetación de veranadas entre la VI y IX regiones de Chile y determinación de la capacidad de carga. Proyecto Fondo SAG - 2002.

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).

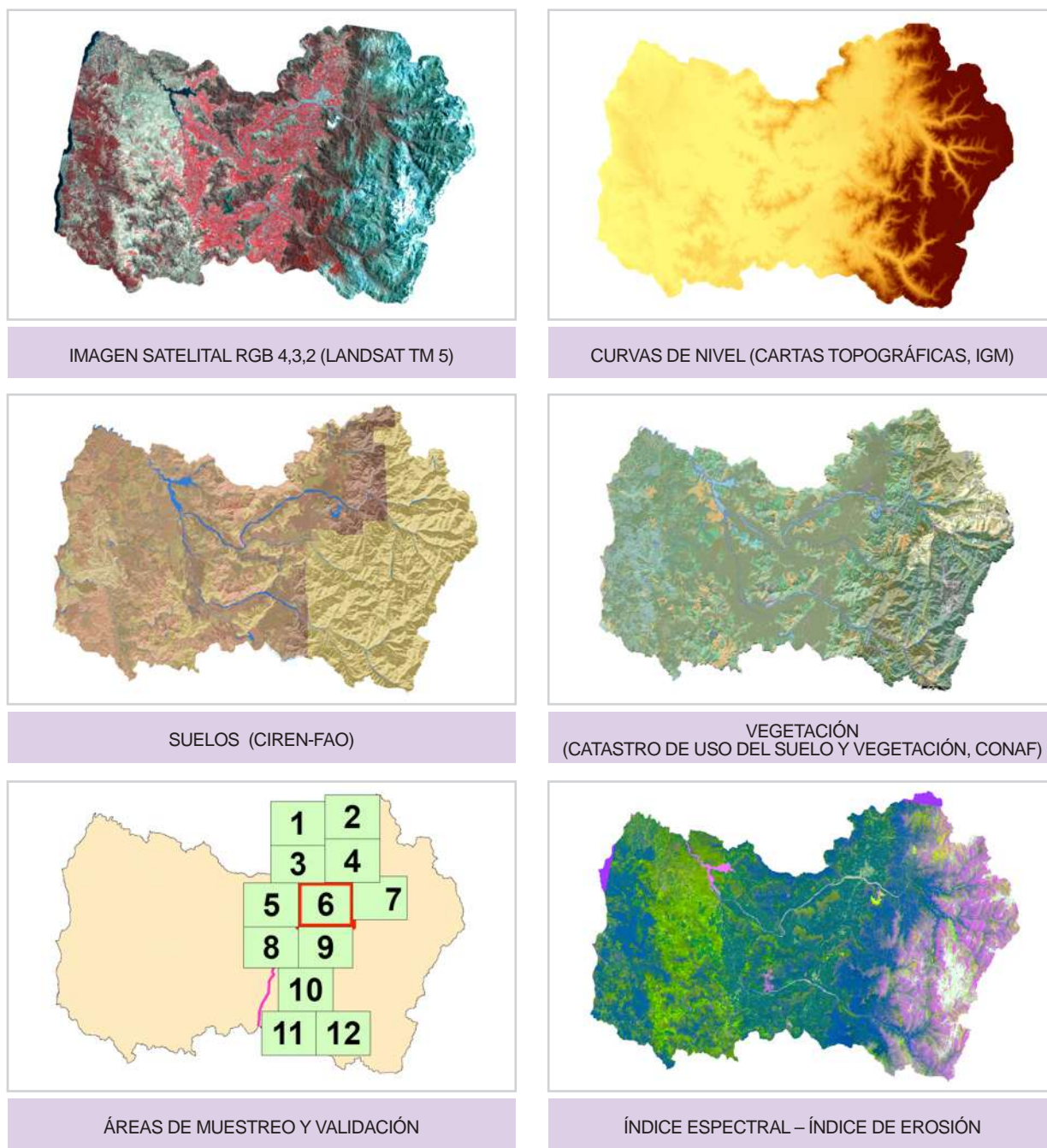


Figura 9. Cobertura de información biogeofísica para la determinación de la erosión actual en la Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins – modelo satelital.



CARTOGRAFÍA EROSIÓN ACTUAL

REGION VI DE LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O'HIGGINS

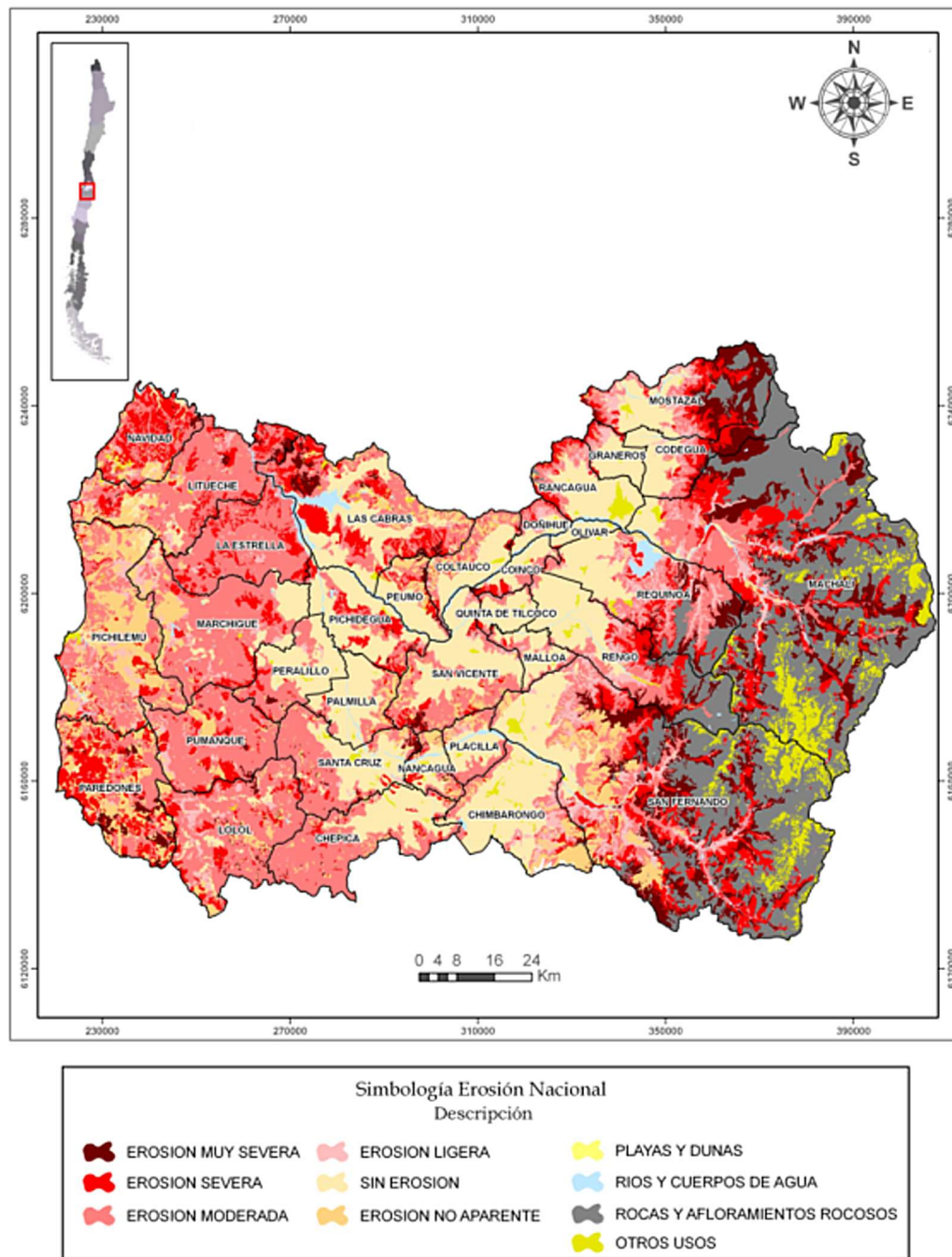


Figura 10. Mapa de erosión actual para la VI Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins..

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

Cuadro 3. Superficie de erosión actual en la Región del Lib. Gral. Bernardo O`Higgins (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
O`HIGGINS	330.874	96.293	453.593	196.769	114.529	126.032	320.246	861.183	1.638.336
CACHAPOAL	188.027	37.321	128.267	86.125	71.071	18.268	210.129	322.784	739.208
CODEGUA	9.327	1.954	3.555	3.864	3.688	8	6.218	13.061	28.614
COINCO	5.211	173	2.506	1.205	168		682	4.052	9.944
COLTAUCO	9.805	820	5.517	959	147	3.594	1.118	7.443	21.959
DONIHUE	3.211	1.124	1.867	1.060	54		573	4.105	7.890
GRANEROS	7.826	924	1.299	851	98	32	273	3.172	11.304
LAS CABRAS	21.329	1.341	23.209	14.630	4.147	5.846	4.442	43.327	74.944
MACHALI	5.069	7.654	22.243	29.042	38.708	1.099	155.577	97.647	259.393
MALLOA	7.430	602	2.894	268			191	3.764	11.385
MOSTAZAL	10.594	5.311	6.771	8.808	12.462	224	8.362	33.351	52.532
OLIVAR	3.495		49	61			790	111	4.395
PEUMO	7.512	158	2.732	1.367	477	2.608	808	4.733	15.662
PICHIDEGUA	17.495	501	6.550	5.154	327	487	1.529	12.532	32.043
QUINTA DE TILCOCO	7.328	224	1.366	249	10	11	243	1.849	9.431
RANCAGUA	14.534	1.373	3.900	2.685		490	3.163	7.958	26.146
RENGO	19.700	4.462	10.127	7.578	3.446		13.630	25.613	58.943
REQUINOA	15.274	9.140	18.148	5.865	6.453	381	11.717	39.606	66.979
SAN VICENTE	22.885	1.560	15.536	2.477	886	3.487	812	20.459	47.643
CARDENAL CARO	16.511	27.512	152.959	57.862	6.281	64.941	4.706	244.613	330.770
LA ESTRELLA	535	5.169	28.096	8.065	18	233	1.368	41.348	43.485
LITUECHE	2.986	6.980	32.032	9.363	1.588	8.144	709	49.962	61.802
MARCHIGUE	8.980	4.635	39.770	5.227	10	7.037	485	49.642	66.145
NAVIDAD	1.272	1.397	9.943	13.037	548	3.324	632	24.925	30.153
PAREDONES	636	1.593	15.575	16.755	4.117	15.121	184	38.040	53.981
PICHILEMU	2.101	7.737	27.543	5.415		31.083	1.327	40.695	75.206
COLCHAGUA	126.337	31.460	172.367	52.782	37.177	42.823	105.412	293.786	568.358
CHEPICA	15.613	690	28.241	2.285	205	1.818	393	31.422	49.246
CHIMBARONGO	29.292	4.672	6.678	1.226	292	6.635	1.973	12.868	50.768
LOLOL	3.628	4.649	37.849	7.165	1.214	5.006	154	50.877	59.665
NANCAGUA	5.018	66	2.530	775	286	1.836	643	3.656	11.153
PALMILLA	15.762	224	4.673	549	96	1.886	606	5.542	23.796
PERALILLO	15.533	520	9.677	1.333	326	325	489	11.856	28.203
PLACILLA	6.701	537	4.888	184	6	1.304	1.006	5.614	14.625
PUMANQUE	204	2.607	30.498	6.027	631	4.152	39	39.763	44.158
SAN FERNANDO	18.997	16.427	27.239	31.989	33.157	18.279	98.830	108.813	244.918
SANTA CRUZ	15.590	1.068	20.093	1.249	965	1.582	1.278	23.375	41.825

* 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 VI Región es de 861.183 hectáreas, lo que representa el 52,5% de la superficie regional y el 65,3% de la superficie de suelos de la VI Región (figura 11). Sin embargo, 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.

O'HIGGINS

PORCENTAJE (%) DE SUPERFICIE
DE SUELOS EROSIONADOS

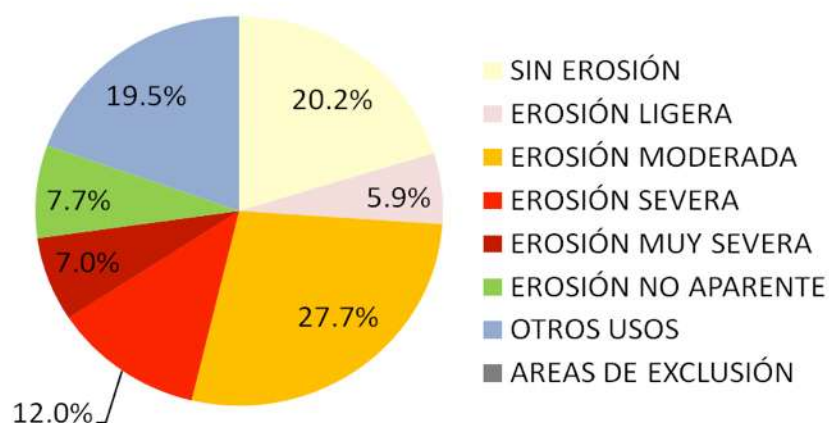
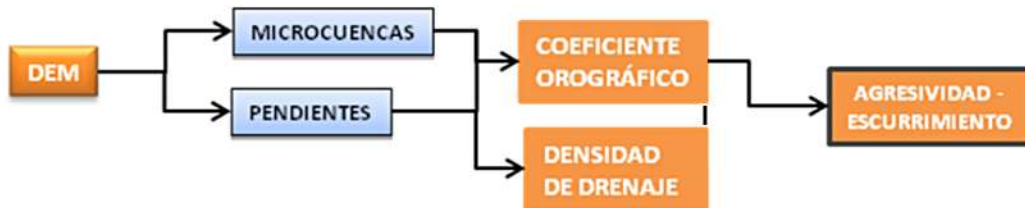


Figura 11. Porcentaje regional (%) de superficie de suelos erosionados.

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

Índice de agresividad - escurrimiento.



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

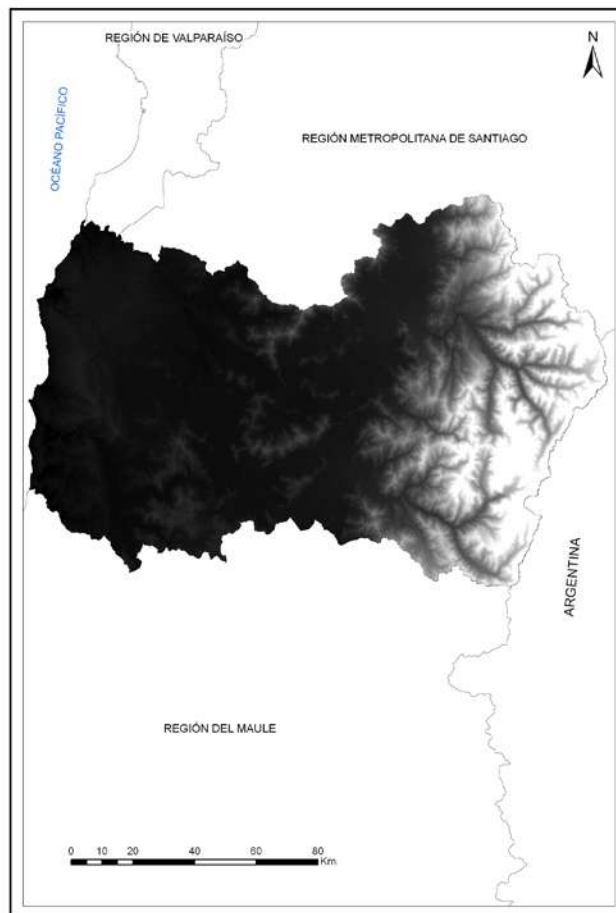


Figura 12. Modelo Global de elevación digital ASTER-GDEM.



Cartografía de cuencas.

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

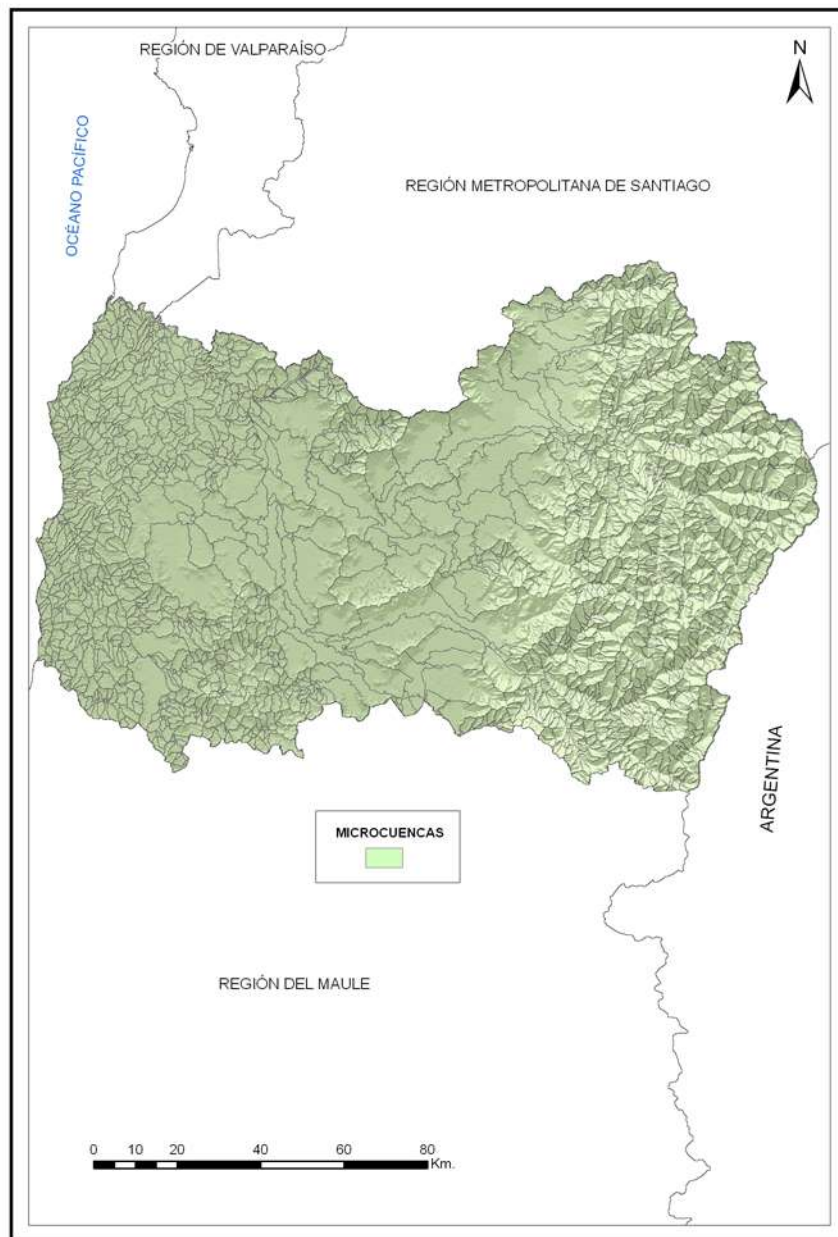


Figura 13. Microcuencas para la VI Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins.

Coeficiente orográfico.

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

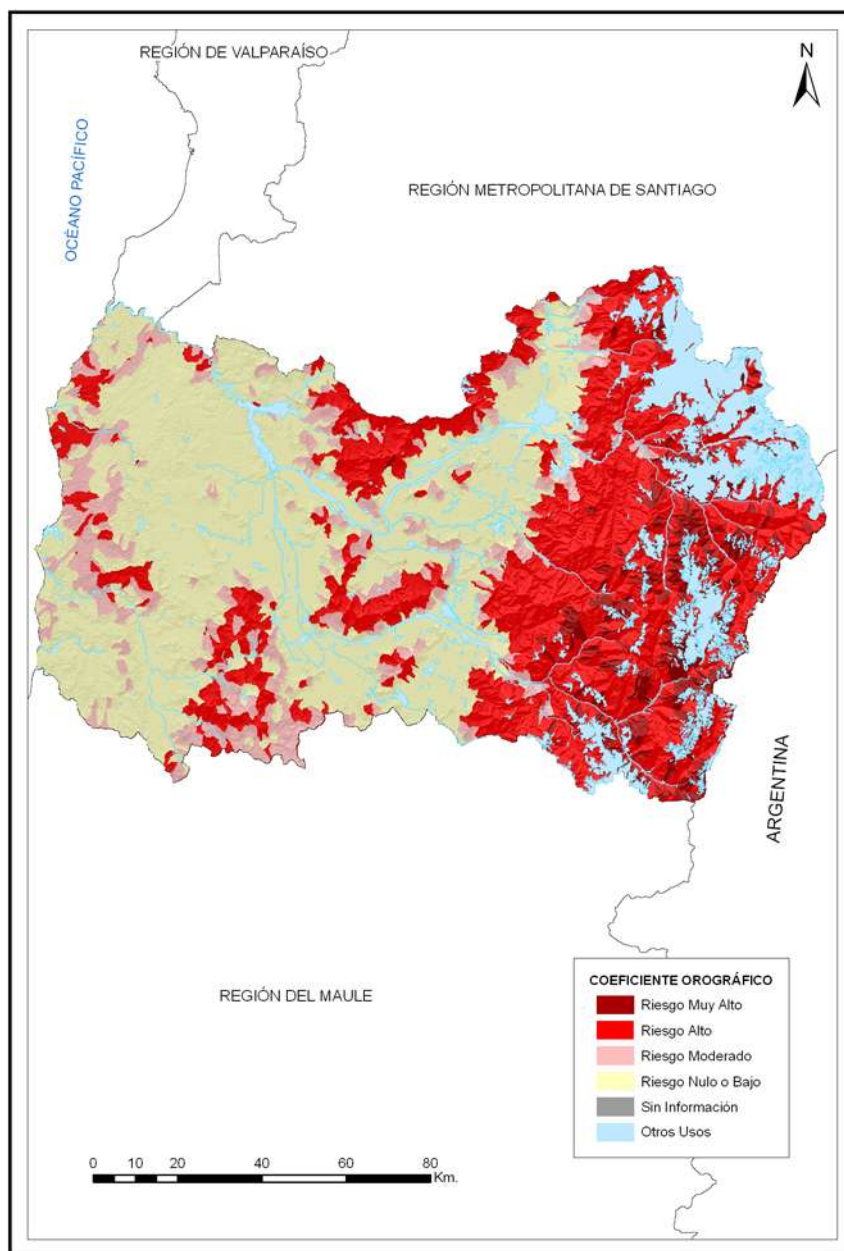


Figura 14. Índice de coeficiente orográfico.



Cartografía de pendientes.

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

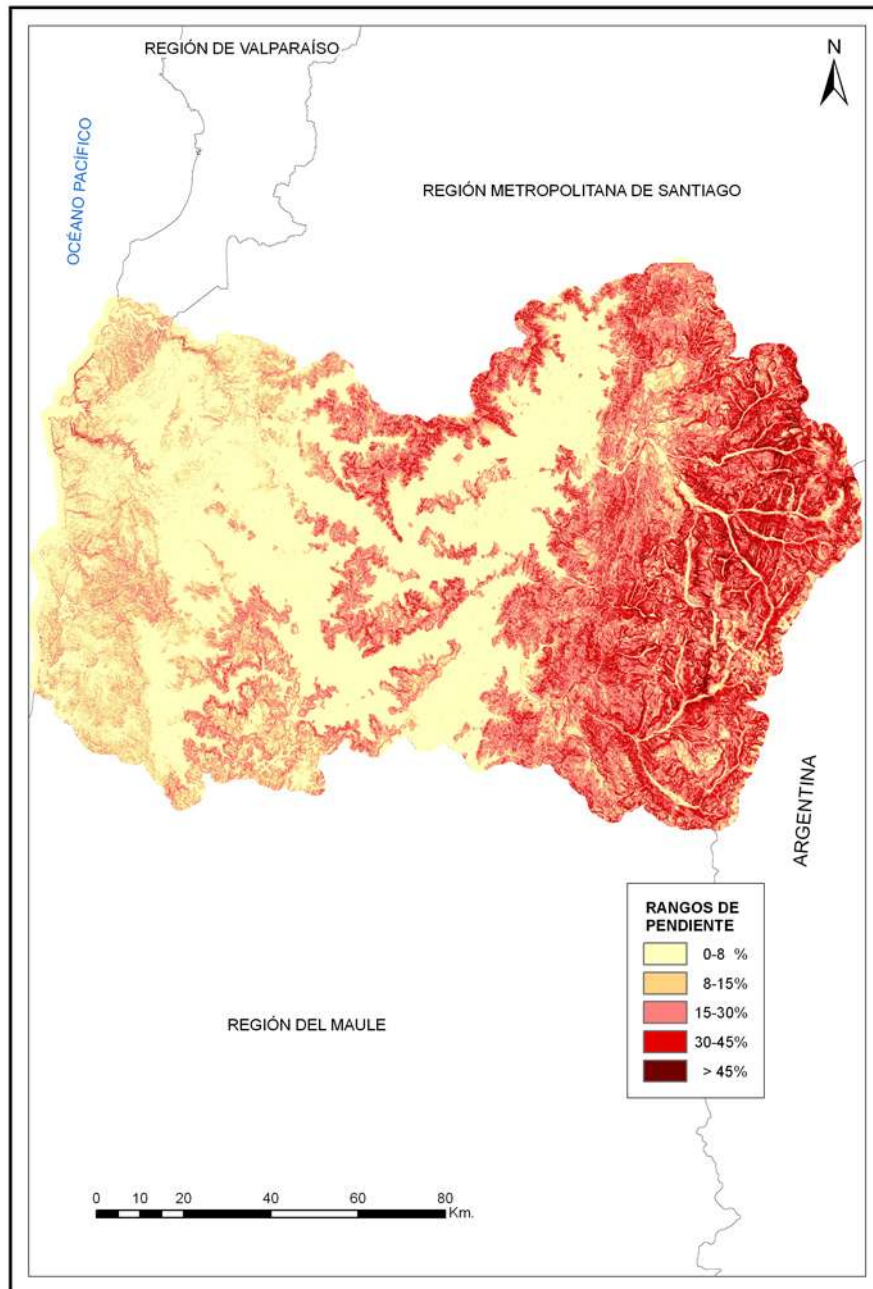


Figura 15. Índice de riesgo por pendientes.

Densidad de drenes.

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

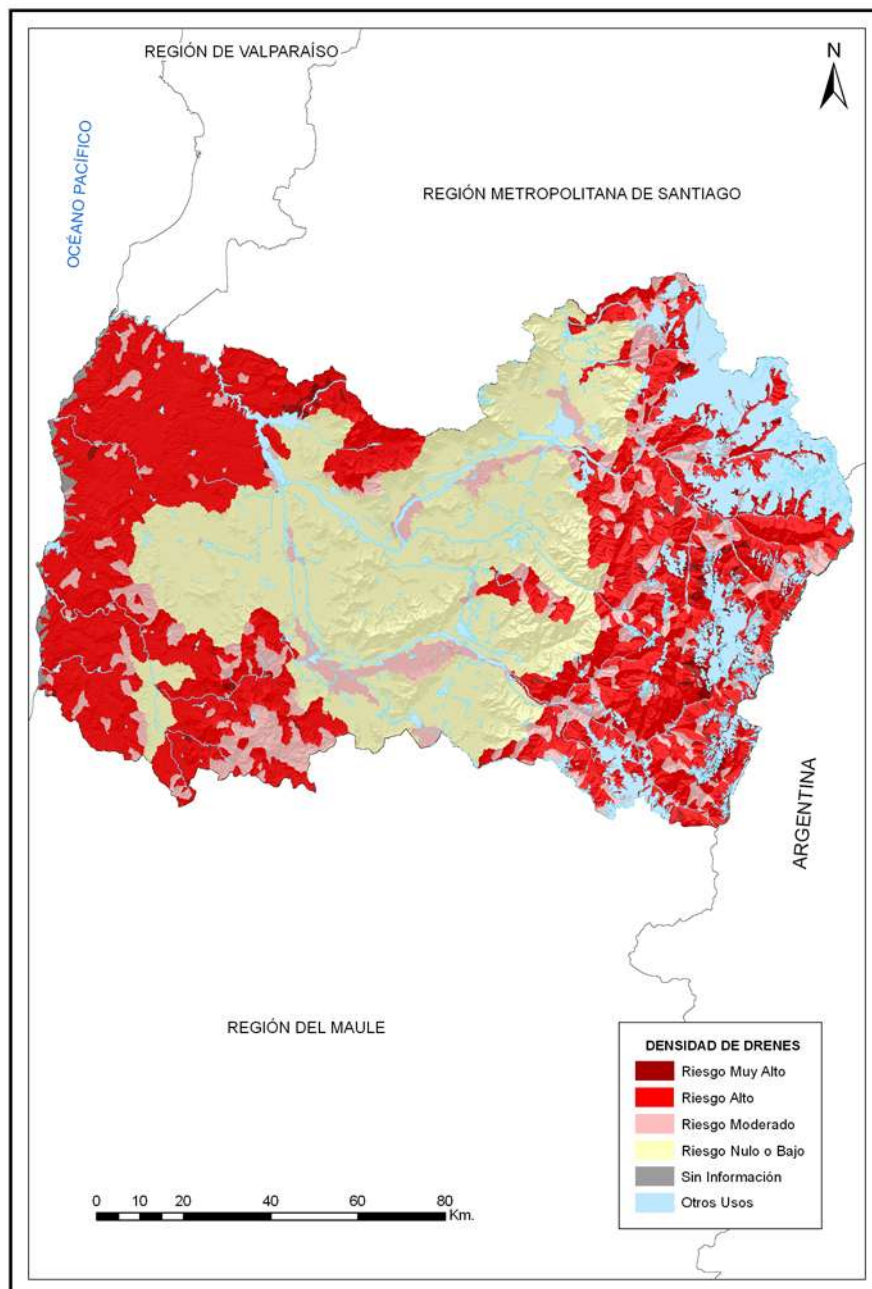


Figura 16. Índice densidad de drenes.



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

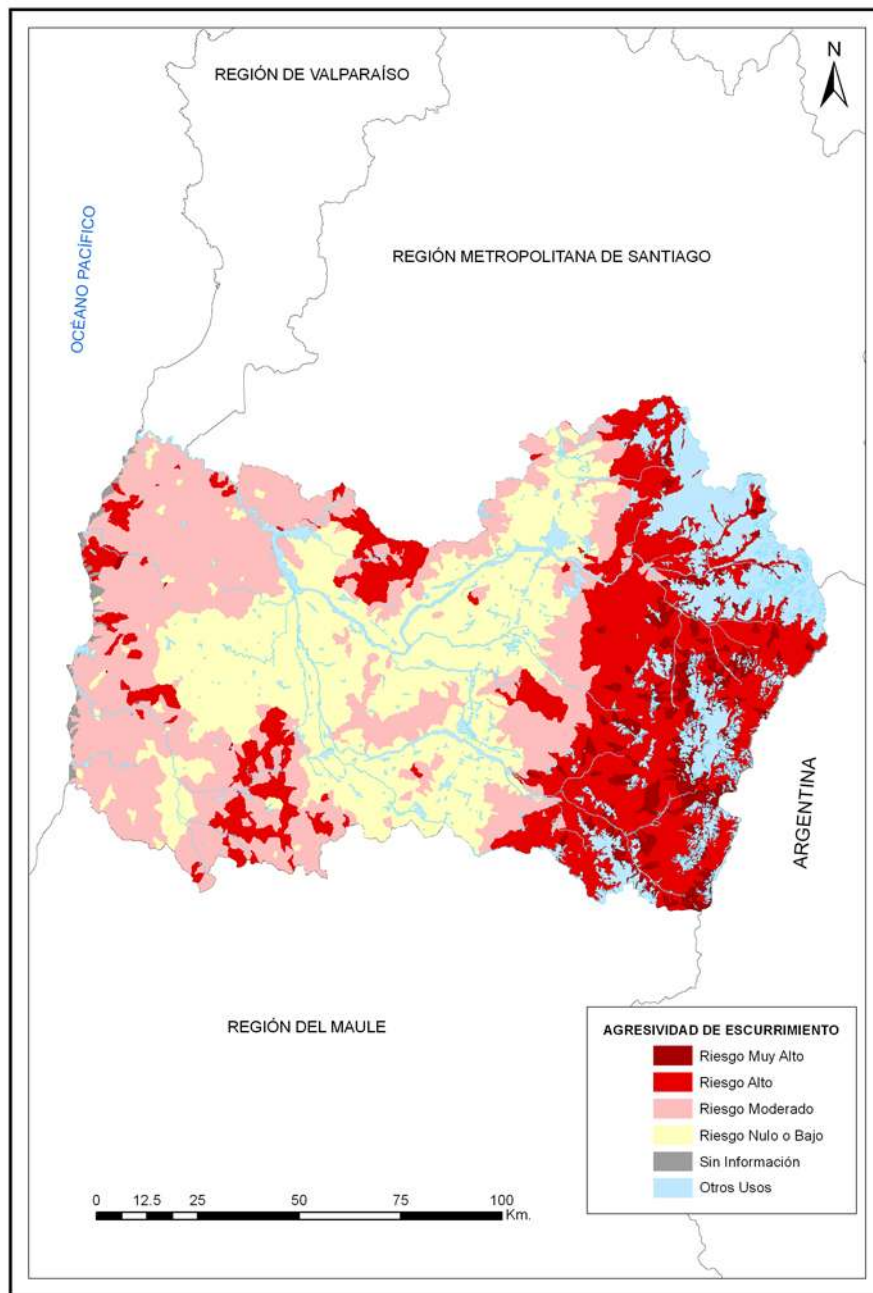
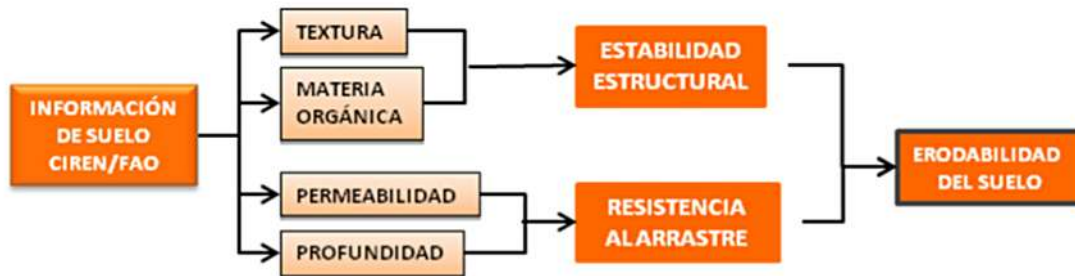


Figura 17. Índice de agresividad escurrimiento.

Índice de erodabilidad del suelo.



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

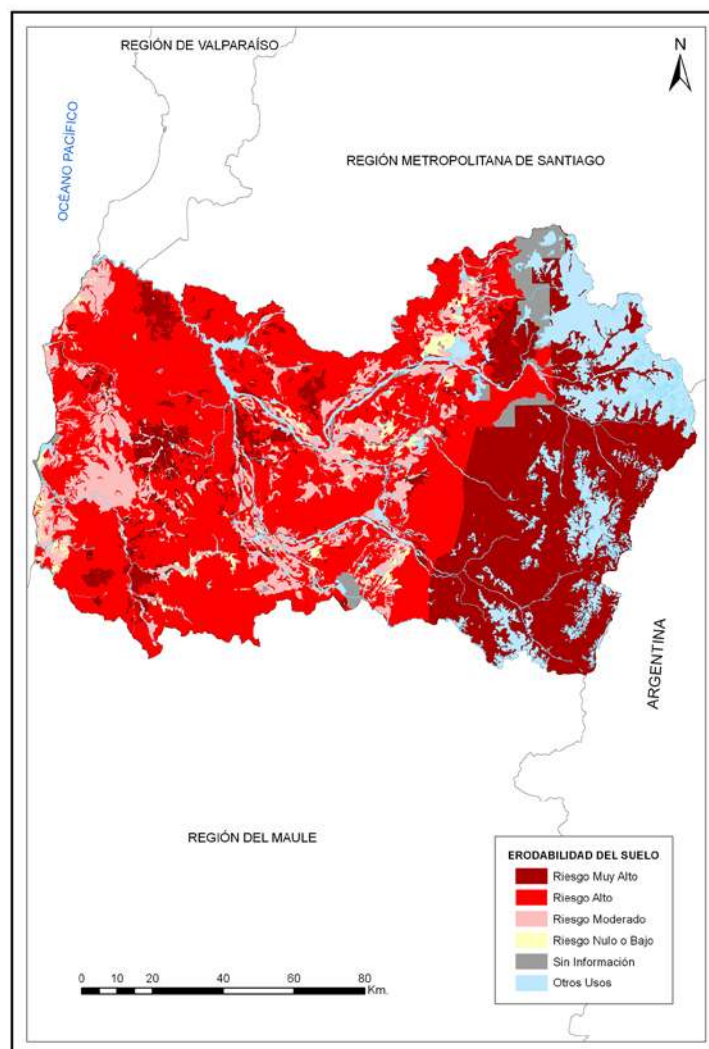


Figura 18. Índice de erodabilidad de suelo.



Índice de agresividad climática.

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

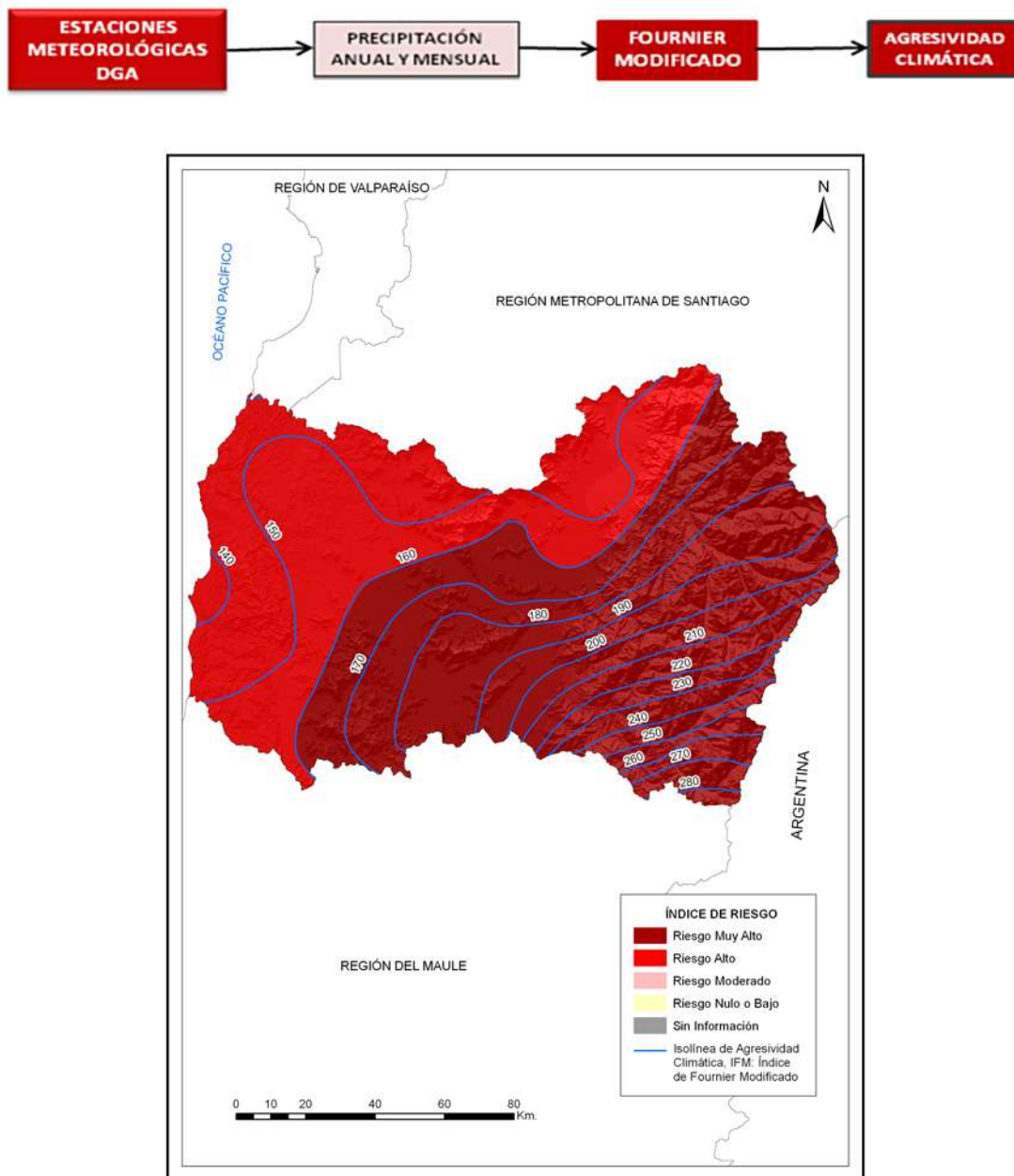


Figura 19. Índice de agresividad climática.

Índice de riesgo topoclimático.

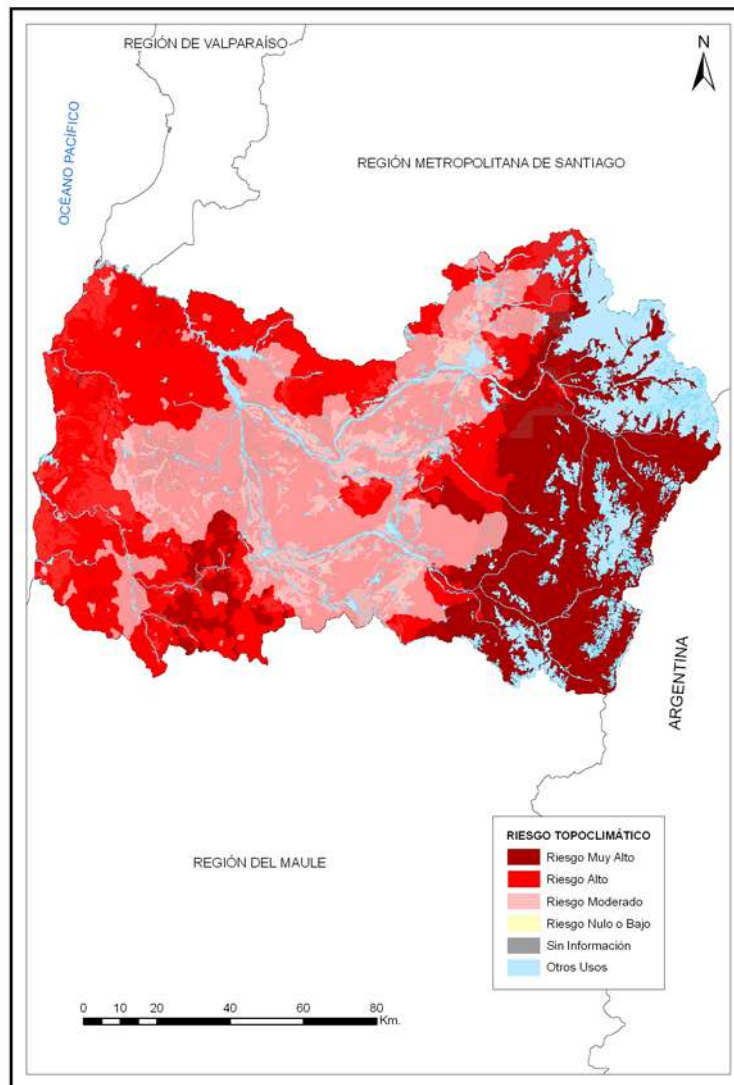
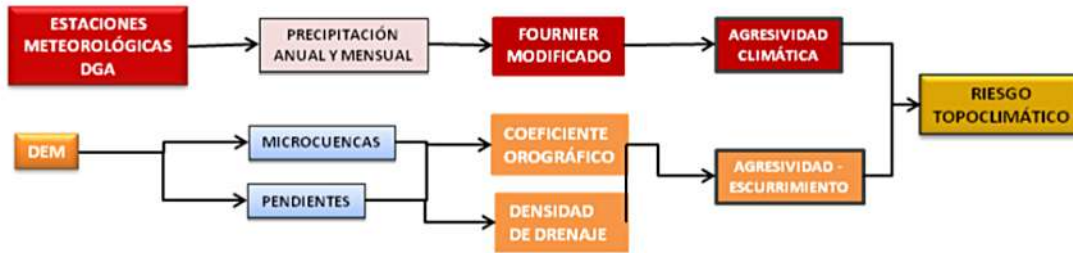


Figura 20. Índice de riesgo topoclimático.



Índice de riesgo físico.

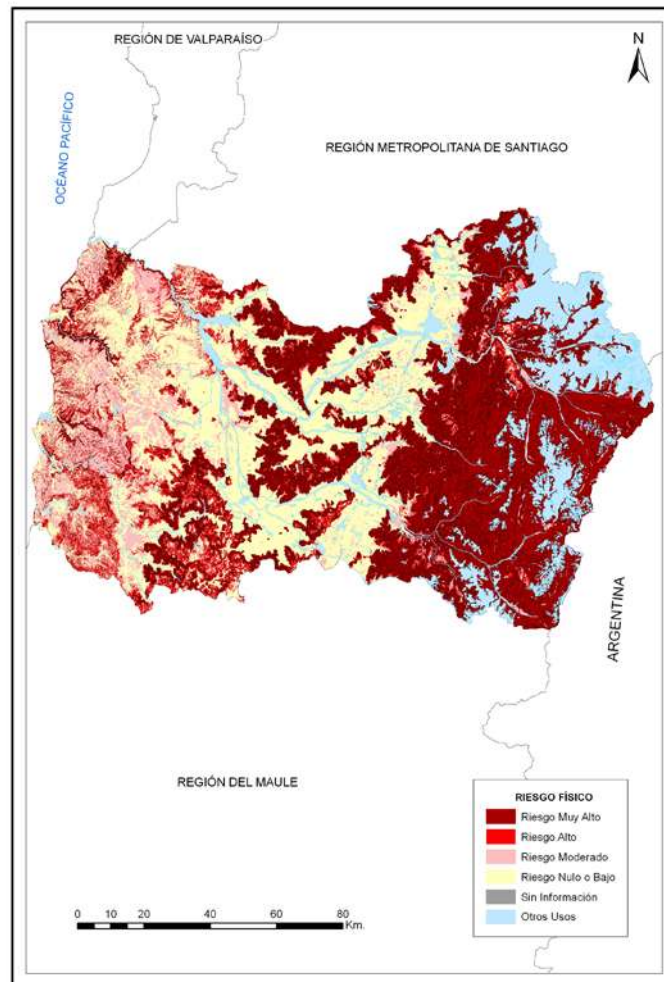
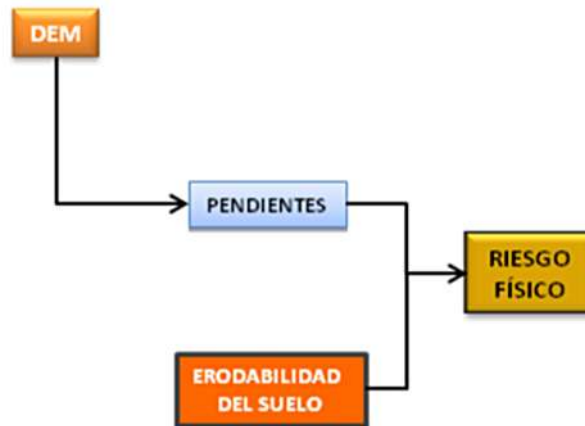
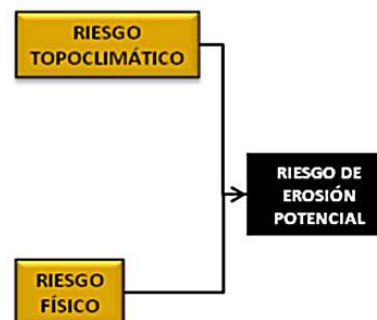


Figura 21. Índice de riesgo físico.

Índice de riesgo de erosión potencial.

El modelo es el resultado de la combinación de tres grupos de variables básicas: topográficas-hidroclimáticas, 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
O'HIGGINS	289.540	207.546	338.880	609.847	192.824	1.638.638
CACHAPOAL	140.054	44.829	80.115	331.893	142.394	739.286
CODEGUA	6.399	1.949	3.429	10.229	6.605	28.612
COINCO	4.208	988	2.220	1.644	885	9.945
COLTAUCO	7.541	2.080	2.777	8.139	1.422	21.959
DONIHUE	2.212	602	1.631	2.571	872	7.889
GRANEROS	6.248	1.355	847	2.401	453	11.303
LAS CABRAS	9.987	14.468	25.055	19.727	5.698	74.935
MACHALI	2.477	1.508	5.512	148.772	101.241	259.510
MALLOA	6.097	837	1.125	2.724	605	11.387
MOSTAZAL	5.938	4.071	8.567	25.113	8.840	52.528
OLIVAR	3.278	63	6	99	946	4.391
PEUMO	6.212	797	1.958	5.660	1.034	15.661
PICHIDEGUA	12.857	6.188	4.612	6.230	2.154	32.041
QUINTA DE TILCOCO	6.742	459	791	1.050	388	9.430
RANCAGUA	11.388	1.317	2.503	7.015	3.922	26.145
RENGO	16.006	2.482	5.413	32.482	2.555	58.938
REQUINOA	11.741	3.032	5.105	44.039	3.057	66.974
SAN VICENTE	20.723	2.631	8.565	13.999	1.719	47.637
CARDENAL CARO	30.295	109.682	172.752	11.990	6.230	330.949
LA ESTRELLA	964	24.507	15.667	741	1.605	43.484
LITUECHE	4.835	28.531	25.274	2.352	859	61.851
MARCHIGUE	22.959	26.769	14.133	1.249	1.033	66.143
NAVIDAD	367	4.989	20.053	4.065	695	30.169
PAREDONES	555	10.161	42.275	476	533	54.001
PICHILEMU	614	14.724	55.350	3.108	1.505	75.301
COLCHAGUA	119.191	53.035	86.013	265.964	44.200	568.403
CHEPICA	12.282	6.799	14.718	14.886	553	49.239
CHIMBARONGO	25.756	2.915	6.350	12.894	2.848	50.764
LOLOL	4.170	15.678	19.515	19.345	956	59.665
NANCAGUA	5.289	302	1.814	3.115	632	11.153
PALMILLA	14.610	1.383	2.514	4.394	893	23.794
PERALILLO	18.378	3.651	2.951	2.225	996	28.201
PLACILLA	5.586	1.044	2.728	4.201	1.065	14.624
PUMANQUE	8.005	12.108	18.646	4.992	406	44.157
SAN FERNANDO	11.576	4.663	13.250	181.588	33.909	244.986
SANTA CRUZ	13.540	4.491	3.527	18.322	1.941	41.822



O'HIGGINS

PORCENTAJE (%) DE SUPERFICIE
CON RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL

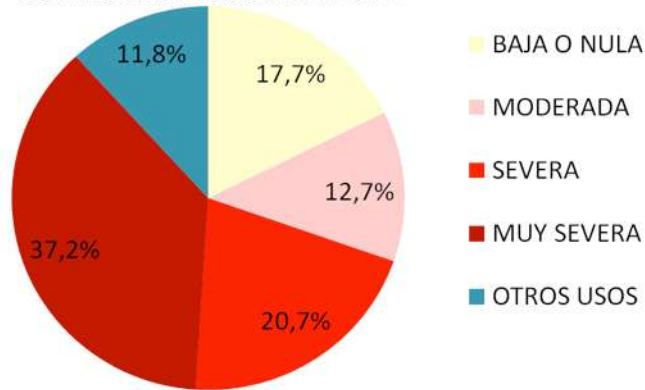


Figura 22. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión potencial, a nivel regional.



Figura 23. Localidad de Coinco
Coordenadas E 315240 – N 6202958
Clase de erosión: muy severa

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION POTENCIAL REGIÓN DEL LIB. GRAL. BERNARDO O`HIGGINS

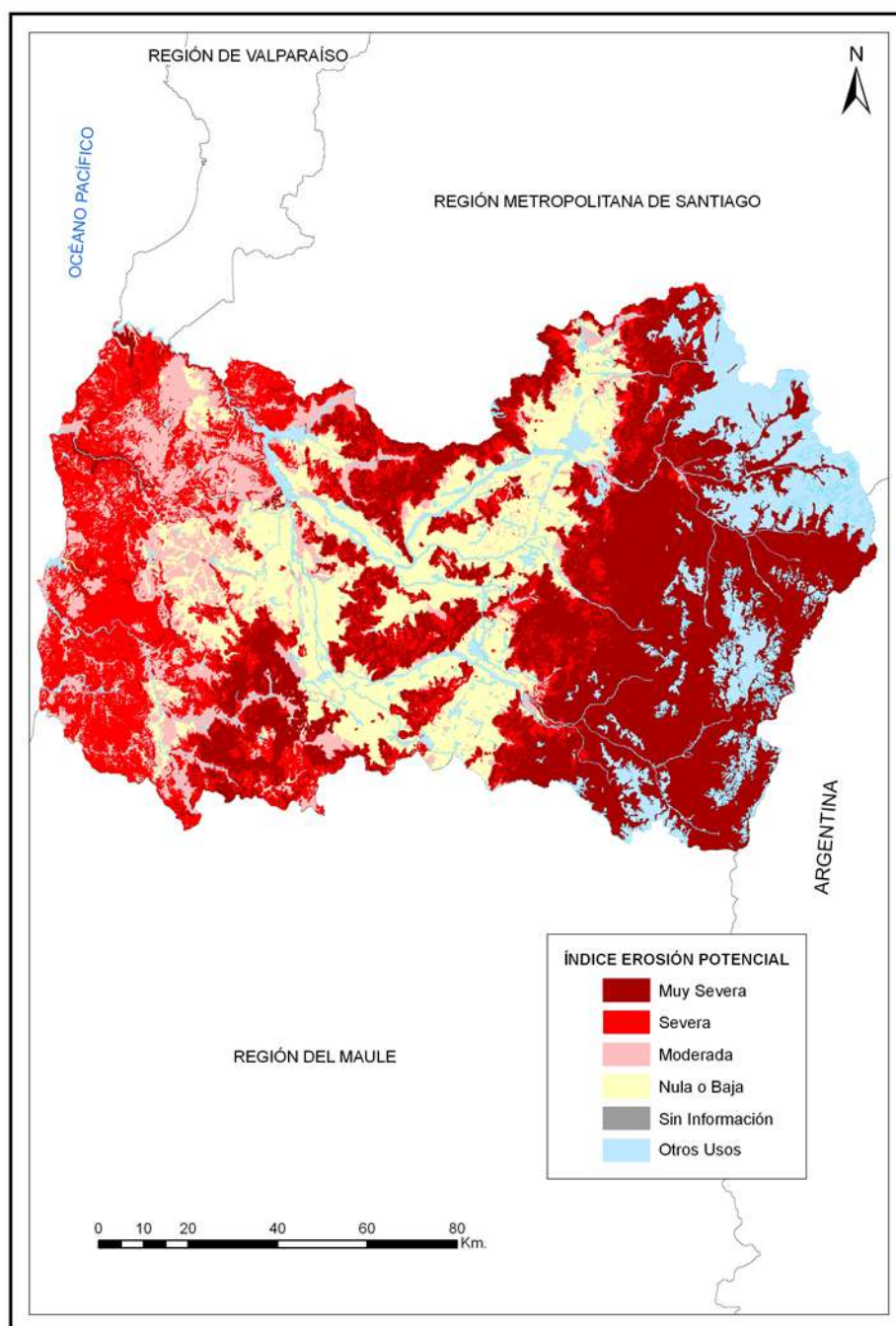


Figura 24. Riesgo de erosión potencial para la Región del Lib. Gral. Bernardo O`Higgins.



Índice de desprotección vegetacional.

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.

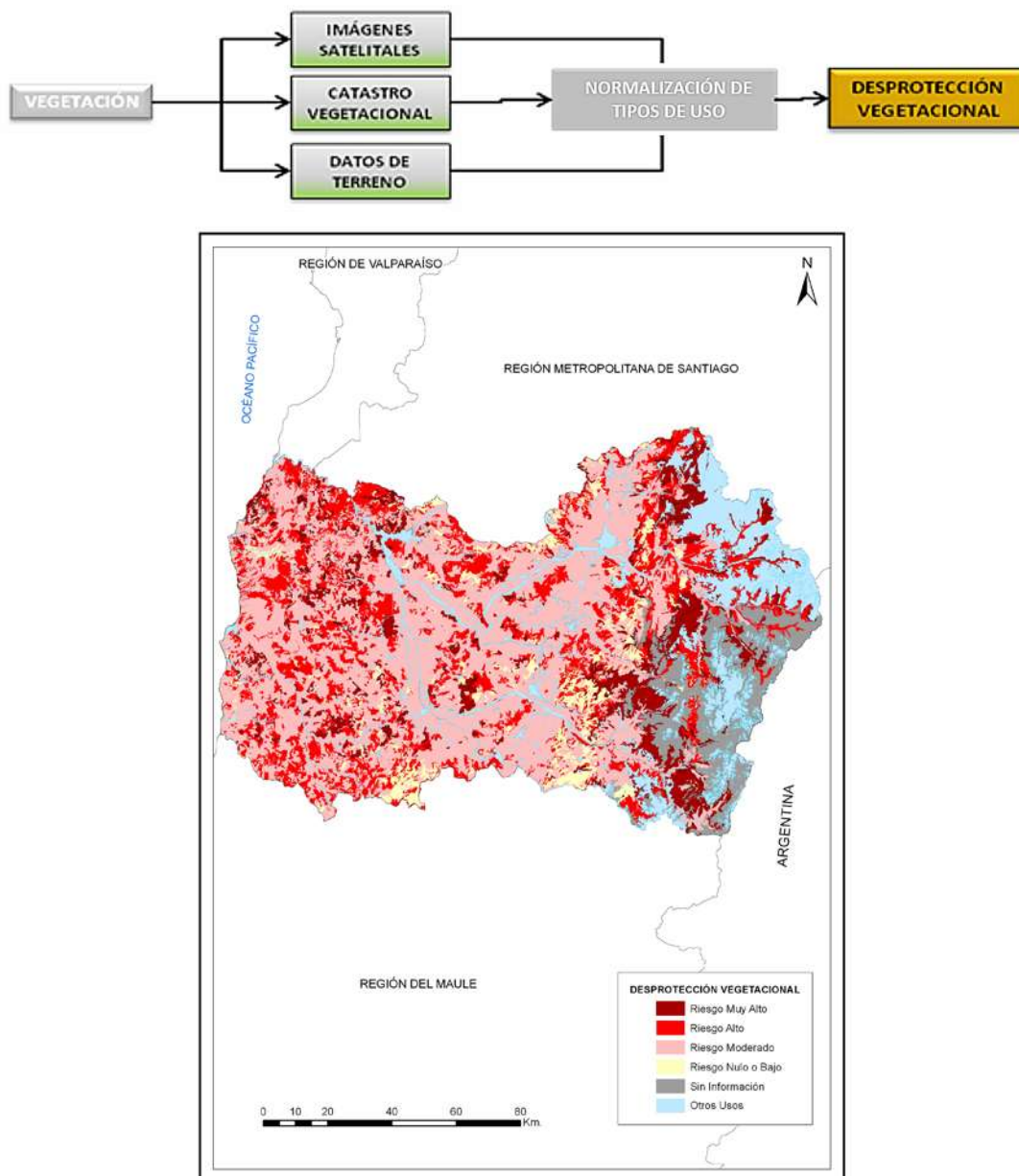


Figura 25. Índice de desprotección vegetacional.

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

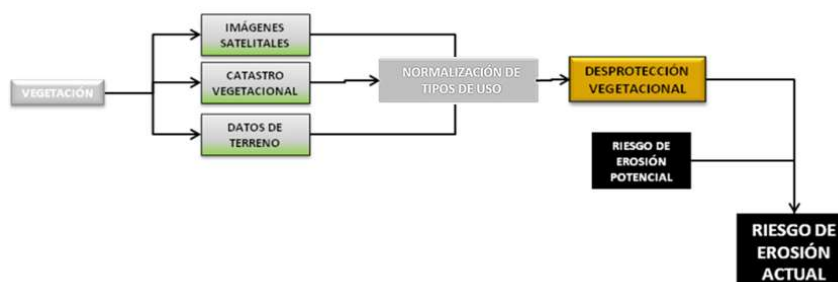
CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO	CATEGORÍA	CLASE DE RIESGO
Áreas sobre límite vegetacional	0	Matorral abierto	3
Bosque nativo-exóticas asilvestrado muy abierto	3	Matorral arborescente abierto	3
Bofedales	1	Matorral arborescente denso	1
Bosque exóticas asilvestradas abierto	2	Matorral arborescente muy abierto	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
O'HIGGINS	363,665	657,993	192,459	232,314	192,208	1,638,638
CACHAPOAL	170,364	217,353	84,247	125,190	142,132	739,286
CODEGUA	8,085	7,677	3,125	3,151	6,573	28,612
COINCO	4,258	2,317	2,100	399	871	9,945
COLTAUCO	8,872	9,206	1,656	797	1,428	21,959
DONIHUE	3,976	2,641	336	70	866	7,889
GRANEROS	7,574	2,676	532	83	438	11,303
LAS CABRAS	14,215	44,085	10,123	808	5,704	74,935
MACHALI	6,374	33,403	36,258	82,387	101,088	259,510
MALLOA	6,325	2,523	1,838	130	571	11,387
MOSTAZAL	7,813	18,734	9,062	8,056	8,863	52,528
OLIVAR	3,278	149	18		946	4,391
PEUMO	7,224	6,296	928	182	1,031	15,661
PICHIDEGUA	12,999	14,466	1,939	491	2,146	32,041
QUINTA DE TILCOCO	6,767	1,471	777	28	387	9,430
RANCAGUA	13,018	7,108	1,995	117	3,907	26,145
RENGO	19,674	17,831	4,058	14,864	2,511	58,938
REQUINOA	16,355	29,870	5,639	12,034	3,076	66,974
SAN VICENTE	23,557	16,899	3,865	1,592	1,724	47,637
CARDENAL CARO	35,241	229,513	58,856	1,242	6,096	330,949
LA ESTRELLA	1,158	36,017	4,703	23	1,584	43,484
LITUECHE	6,481	46,208	8,273	99	790	61,851
MARCHIGUE	23,110	36,487	5,416	124	1,005	66,143
NAVIDAD	744	13,784	14,065	889	687	30,169
PAREDONES	1,180	38,479	13,802	20	521	54,001
PICHILEMU	2,568	58,539	12,599	86	1,509	75,301
COLCHAGUA	158,059	211,126	49,355	105,882	43,980	568,403
CHEPICA	17,015	27,776	3,747	170	530	49,239
CHIMBARONGO	33,372	12,788	1,541	227	2,835	50,764
LOLOL	6,274	41,352	10,146	971	922	59,665
NANCAGUA	6,110	3,153	636	627	627	11,153
PALMILLA	15,027	5,590	2,078	212	887	23,794
PERALILLO	19,034	7,624	469	75	998	28,201
PLACILLA	6,194	6,865	491	3	1,071	14,624
PUMANQUE	9,032	27,798	6,722	226	378	44,157
SAN FERNANDO	30,807	59,979	19,548	100,838	33,815	244,986
SANTA CRUZ	15,194	18,201	3,978	2,533	1,916	41,822

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION ACTUAL REGIÓN DEL LIB. GRAL. BERNARDO O`HIGGINS

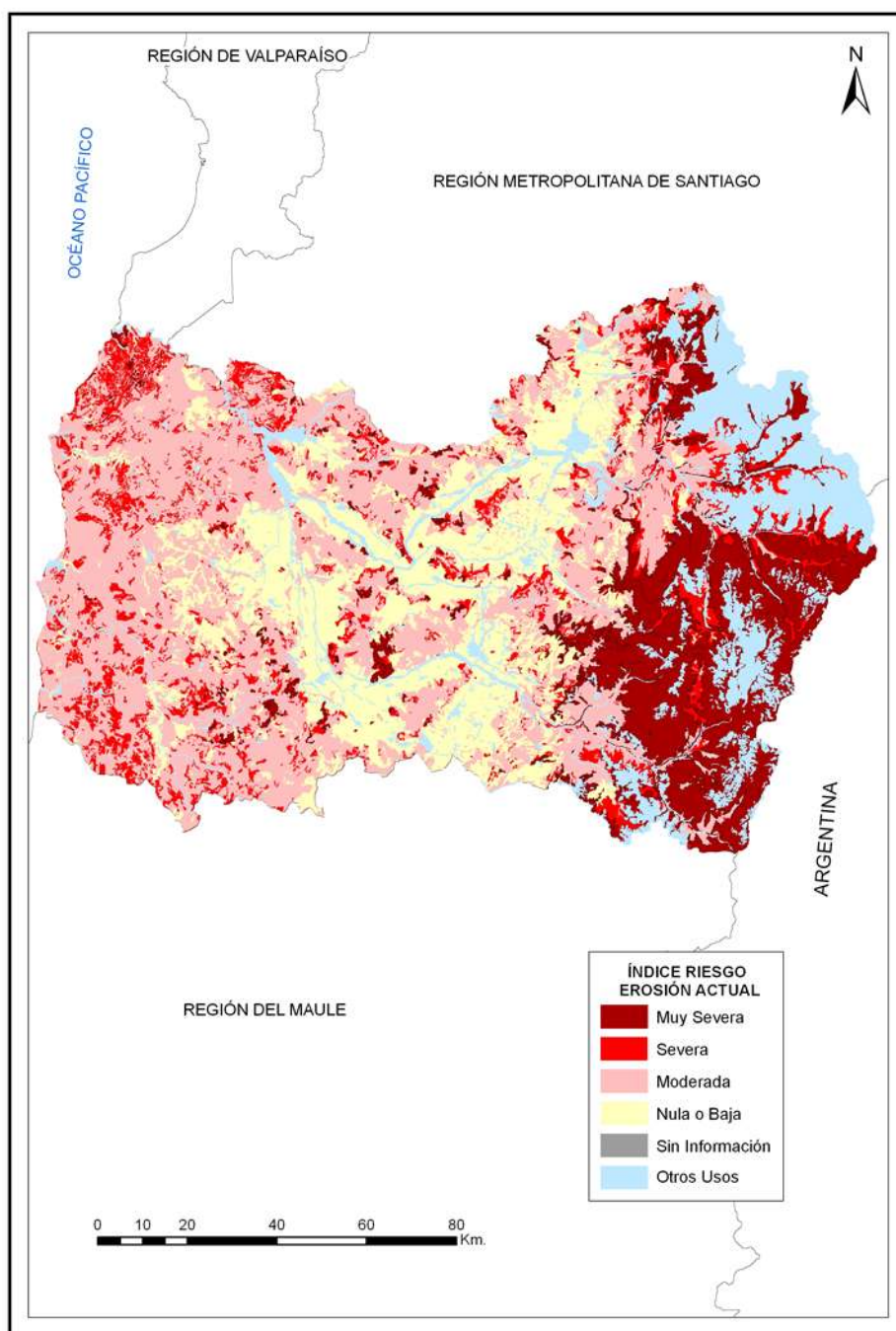


Figura 26. Riesgo de erosión actual para la Región del Lib. Gral. Bernardo O`Higgins.

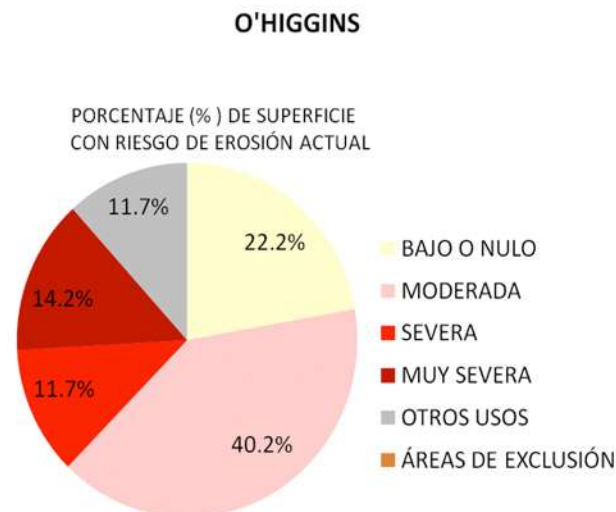


Figura 27. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión actual. A nivel regional.

A partir de los resultados (22 y 27), en la Región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins predomina un riesgo de erosión potencial severo y muy severo (ambos representan el 57,9% de la región). Sin embargo, este riesgo disminuye al considerar la vegetación actual a un 25,9%. En el sector de secano costero e interior, la situación no presenta el promedio regional sino que las comunas de Navidad y Paredones representan las comunas con mayores índices de riegos de erosión actual y potencial. En el sector cordillerano andino, las comunas de San Fernando y Machalí son las que poseen mayores índices de riesgo de erosión, causado principalmente por su topografía abrupta y precipitaciones con altas intensidades.

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

CONCLUSIONES

La presente cartografía para cuantificar la superficie de erosión actual y potencial de la Región del Lib. Gral. Bernardo O`Higgins ha podido ser desarrollada mediante el uso de tecnología de geomática, teledetección y SIG.

En esta región, el porcentaje de erosión severa y muy severa es de un 19,0%. Mientras en la zona norte del país predomina la erosión natural, a partir de la V Región lo hace la erosión antrópica o acelerada. Los agentes más significativo es el hídrico, y en menor medida el factor eólico presente hacia el sector costero. En la precordillera andina se manifiesta la erosión hídrica con una fuerte influencia de las precipitaciones estacionales de alta intensidad (agresividad climática alta y muy alta), mientras que en la cordillera andina hay un efecto combinado de erosión hídrica y geológica.

La superficie de suelos erosionados de la Región del Lib. Gral. Bernardo O`Higgins es de 861.183 hectáreas, lo que representa un 52,5% de la superficie regional. Estos altos niveles de erosión hídrica reflejan una situación preocupante, debido a las crecientes tasas de deforestación y cambio de uso del suelo, por lo que requiere de la ejecución de planes de conservación de aguas y suelos. La distribución porcentual por categoría de erosión es la siguiente: 5,9 ligera; 27,6% moderada; 12% severa; 7% muy severa. Las comunas más afectadas son La Estrella (95,1%), Pumanque (90%) y Lolol (85,3%). En tanto, las comunas de Machalí y San Fernando presentan la mayor superficie de suelos categorizados bajo las clases de erosión "severa" y "muy severa", sumando entre ambas una cantidad superior a 130.000 hectáreas. La mayor proporción porcentual de suelos categorizados bajo la clase "severa" y "muy severa" con respecto al total comunal, se presenta en las comunas de Navidad y Paredones (31% y 27,8% del total de superficie de la comuna, respectivamente). Los programas estatales de recuperación y/o conservación de suelos en esta región debiese concentrarse en zonas ligadas a la actividad forestal, principalmente en el secano costero, donde el efecto de la deforestación se hace evidente, a luz de estas cifras.

La cartografía de riesgos de erosión, obtenida mediante el análisis integrados de base datos de suelos, vegetación topografía y clima, indica que las comunas de Navidad y Paredones representan las comunas con altos índices de riesgos de erosión actual y potencial, donde la alta agresividad climática que enfrentan las exposiciones norte, sumado a que históricamente han sido cultivadas, ahora exhiben los mayores riesgos de degradación por erosión.

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, debido a 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 O'Higgins. Disponible en:
<http://www.bcn.cl/siit/regiones/region6/region.htm>. Consultado el 23.11.2010.

CONAF-CONAMA. 2002. Monitoreo y actualización catastro de uso del suelo y vegetación, Región de O'Higgins. Disponible en:
http://www.conaf.cl/cms/editorweb/catastro/actualizacion_OHiggins.pdf. 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.

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. 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 trumao de lomajes. p. 528-547. *In* Tosso, J. (ed.) *Suelos volcánicos de Chile*. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Santiago, Chile.

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

Pizarro, R., J. Flores., C. Sangüesa., E. 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.

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 del Lib. Gral. Bernardo O`Higgins.

CIREN

Centro de Información de Recursos Naturales

Manuel Montt 1164, Providencia.

Fono (56-2) 200 89 00

www.ciren.cl

Santiago de Chile - 2010