



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

Región del Bío-Bío

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 Bío-Bío

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile
Región del Bío-Bío

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Publicación N° 148

Registro de propiedad intelectual: 200599

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 VIII Región del Bío-Bío es de 3,71 millones de hectáreas.

Para la VIII Región existe una superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de 1,18 millones de hectáreas, lo que representa el 31,9% 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 superficies categorizadas como erosión no aparente (cobertura vegetal sobre el 75%) no son despreciables (38,9%). Las comunas más afectadas son San Fabián (62,7%), Quirihue (53,3%), Pinto (52,3%) y Ninhue (51,7%). Pinto, San Fabián, Antuco y Alto Biobío se constituyen como las comunas con la mayor superficie de erosión “severa” y “muy severa” (180.000 hectáreas, en conjunto). Las superficies con riesgo regional de erosión actual y potencial severa y muy severa son de 11,2% y 47,2%, respectivamente, lo que revierte preocupación si no se considera una capa vegetal protectora de suelo. Pero, en sectores del secano de la región, estas cifras aumentan significativamente.

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, VIII Región del Bío-Bío.

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).

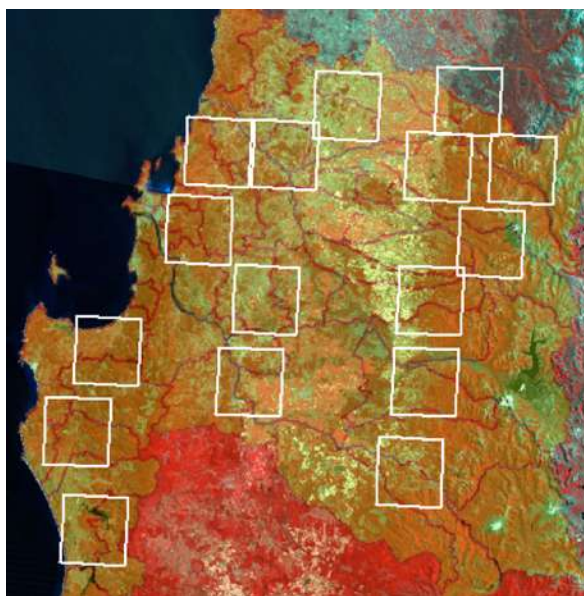


Figura 2. Estudio de la erosión con imagen Landsat 5 TM.

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 Bío-Bío, 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 Biobío se localiza en el límite sur de la zona central específicamente entre los 36°00' y 38°30' de latitud sur. Posee una superficie de 3,71 millones de hectáreas que corresponde al 4,2% del territorio nacional, excluido la Antártica Chilena. Desde el punto de vista morfológico se distinguen las unidades tradicionales del relieve chileno como lo son la Cordillera de los Andes, depresión intermedia, Cordillera de la Costa y planicies litorales. El clima de la región marca la transición entre los climas templados secos de la zona central de Chile y los climas templados lluviosos que se desarrollan inmediatamente al sur del río Bío-Bío (BCN, 2010). La presencia de tres climas templados varía según su posición en la región.

En la costa de la Octava Región se presentan suelos derivados de terrazas marinas y de relieve plano a ligeramente inclinado de colores pardo rojizos asociados a otros con menor evolución. En tanto, están los suelos del orden Ultisoles los que se encuentran en sus últimos estados de evolución y están en las serranías interiores entre Los Ángeles y Loncoche y en el sector costero frente a la isla Moche. En las partes altas de la Cordillera de la Costa son delgados y presentan problemas de drenaje. En la parte oriental son de colores rojos y pardos rojizos, moderadamente profundos y con elevado contenido de arcilla. En los valles interiores se presentan suelos aluviales que pertenecen a los órdenes Alfisoles, Mollisoles y Entisoles, con predominio de los primeros. En la zona que corresponde entre Los Ángeles y Malleco los Entisoles son aluviales de desarrollo moderado junto a suelos de texturas gruesas formados a partir de arenas gruesas basálticas. Presentan una rápida permeabilidad aun cuando hay sectores que muestran un nivel freático alto. También se encuentran los suelos de la Cordillera de los Andes centrales que se caracterizan porque han derivado de materiales volcánicos vítreos y de texturas gruesas y están ubicados en los sectores de más fuerte relieve de la Cordillera de los Andes. La presencia de suelos de origen volcánico (trumaos), los que son pertenecientes a los órdenes Andisoles e Histosoles, se encuentran en la precordillera frente a Los Ángeles y hasta Temuco (CIREN-CORFO, 1996).

A continuación, el cuadro 1, presenta el uso del suelo (CONAF-CONAMA-BIRF, 1999) de la Región del Bío-Bío:

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

Usos del suelo	Superficie	
	(ha)	%
Áreas urbanas e industriales	24.915,4	0,7
Terrenos agrícolas	1.009.974,5	27,2
Praderas y matorrales	605.252,6	16,3
Bosques	1.763.922,0	47,6
Humedales	10.631,9	0,3
Áreas desprovistas de vegetación	110.427,8	3,0
Nieves y glaciares	127.974,2	3,5
Aguas continentales	48.332,9	1,3
Áreas no reconocidas	7.234,1	0,2
TOTAL	3.708.665,4	100,0

Esta región de carácter transicional, en su extremo norte, permiten la existencia de árboles como el espino, asociado con boldo, peumo y quillay. Y hacia el sur se encuentra el bosque “esclerófilo”, donde es posible apreciar el cambio que se ha producido en la vegetación natural por las plantaciones forestales de pinos y por cultivos agrícolas. En el Sur del río “Bío-Bío” se encuentra el bosque templado “higromórfico”, principalmente en la Cordillera de la Costa y en la Precordillera andina, acompañado por un denso sotobosque y especies menores como el copihue, quila y ulmo (BCN, 2010). En la cordillera de Nahuelbuta se encuentra el bosque de Araucarias asociados con especies como coigüe, lenga y ñirre.

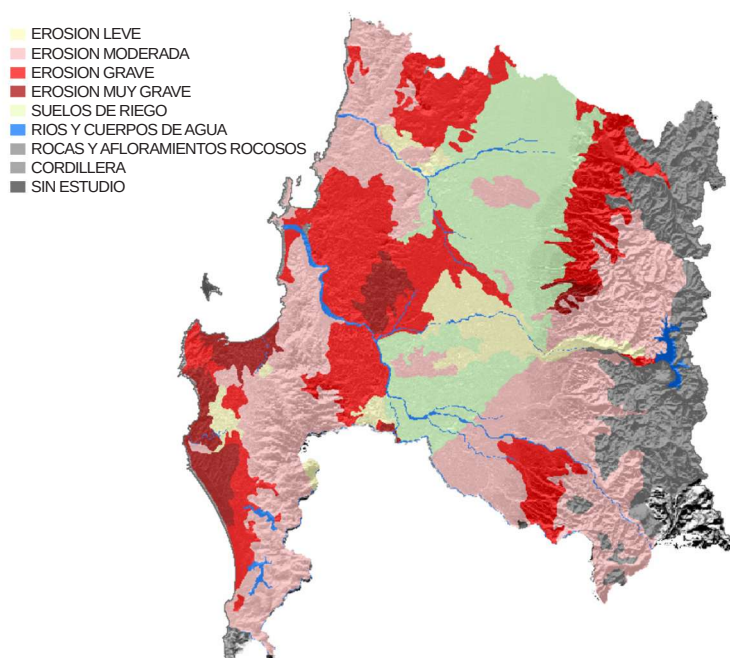


Figura 3. Mapa de nivel de erosión para la Región del Bío-Bío, IREN-1979.

El estudio de erosión 1979 (cuadro 2 y figura 3) revela que existe una superficie de 2,36 millones de hectáreas con algún grado de erosión que representa un 66% de la región. Asimismo, indica que 128 mil hectáreas son consideradas de alta fragilidad, que corresponde a un 5% del área de estudio.

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

REGIONES	Hectáreas	NIVEL DE EROSION				TOTAL
		0	1	2	3	
VIII	(mill.)	0.18	0.82	1.17	0.2	2.36
	%	7.4	34.7	49.4	8.5	
TOTAL	(mill.)	2.38	9.13	15.57	7.41	34.49
	%	6.9	26.5	45.1	21.5	

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

METODOLOGÍA

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

Modelo de erosión actual

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

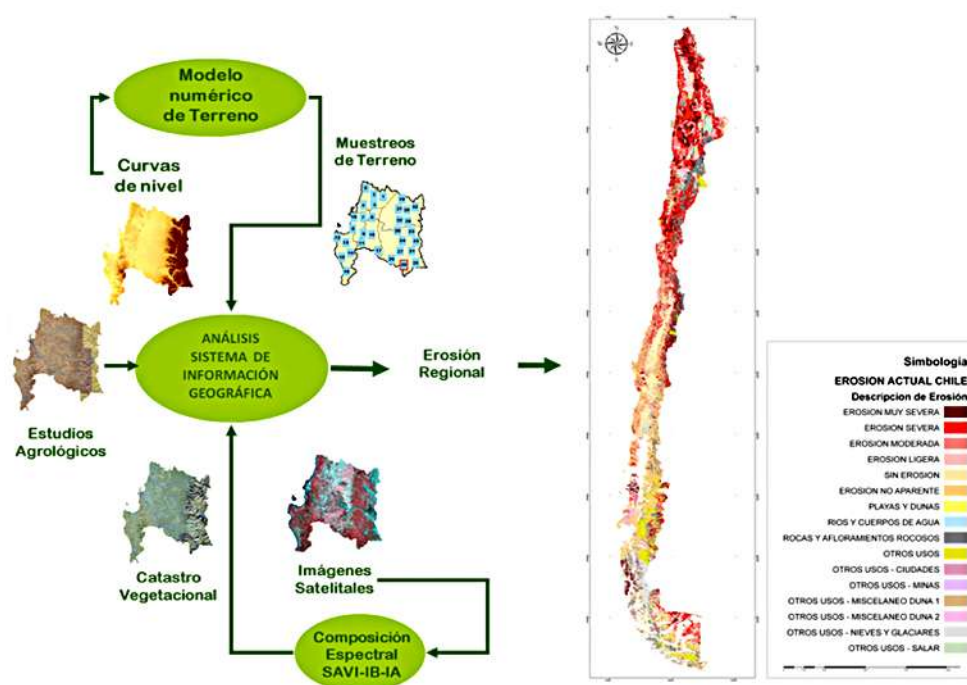


Figura 4. Diagrama metodológico del modelo de erosión actual.

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



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



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

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



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

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



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

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



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

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

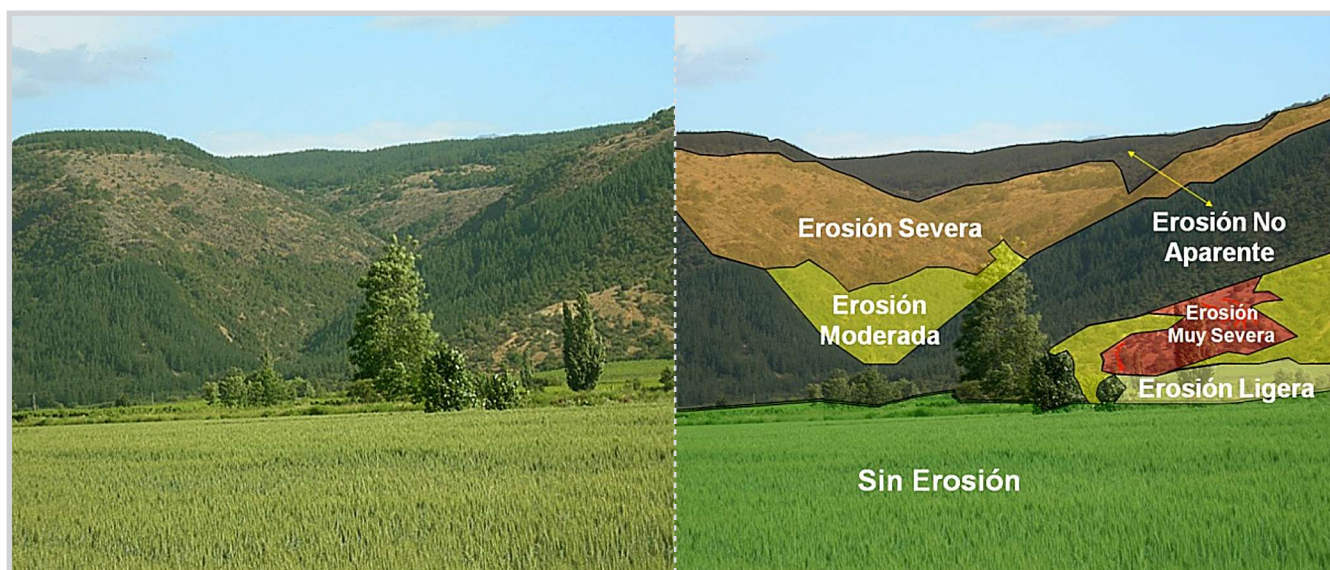


Fotografía 5. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión muy severa.

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



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



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



Adicionalmente, se considera las siguientes categorías;

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



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

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



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

Las observaciones de terreno para la calibración de las clases de erosión se tomaron en base a un muestreo descriptivo de suelos y vegetación que cubrió la totalidad de las áreas de estudio. Las áreas de muestreo se determinaron a nivel regional, en función de la diversidad de patrones espectrales, siendo posible seleccionar 33 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%.

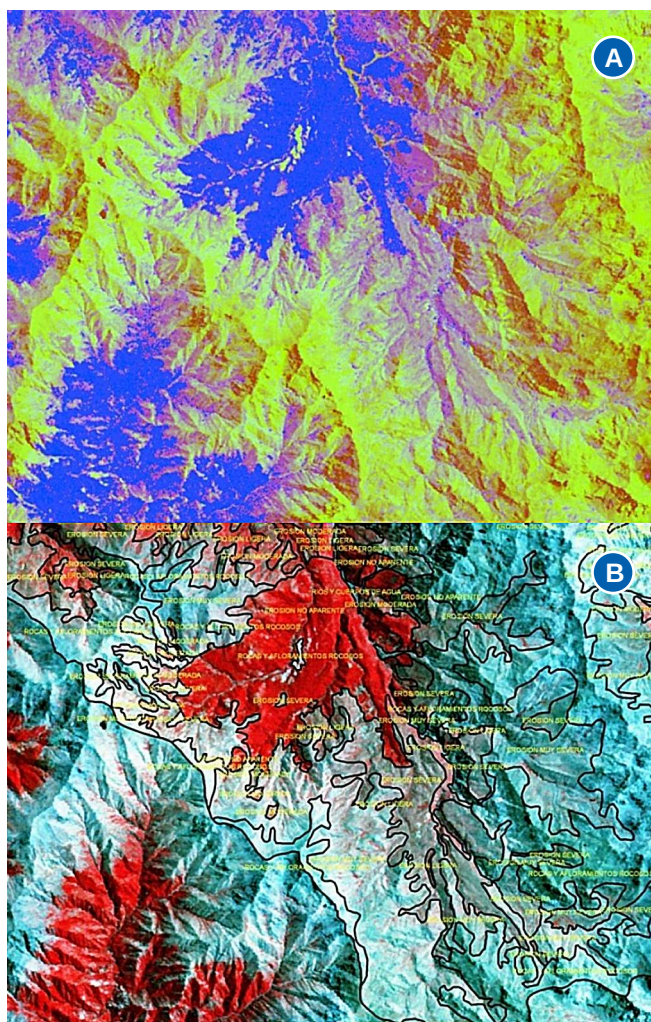


Figura 5. (a) Índice de erosión, composición falso color 2,1,3 para análisis visual de erosión actual.

(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).

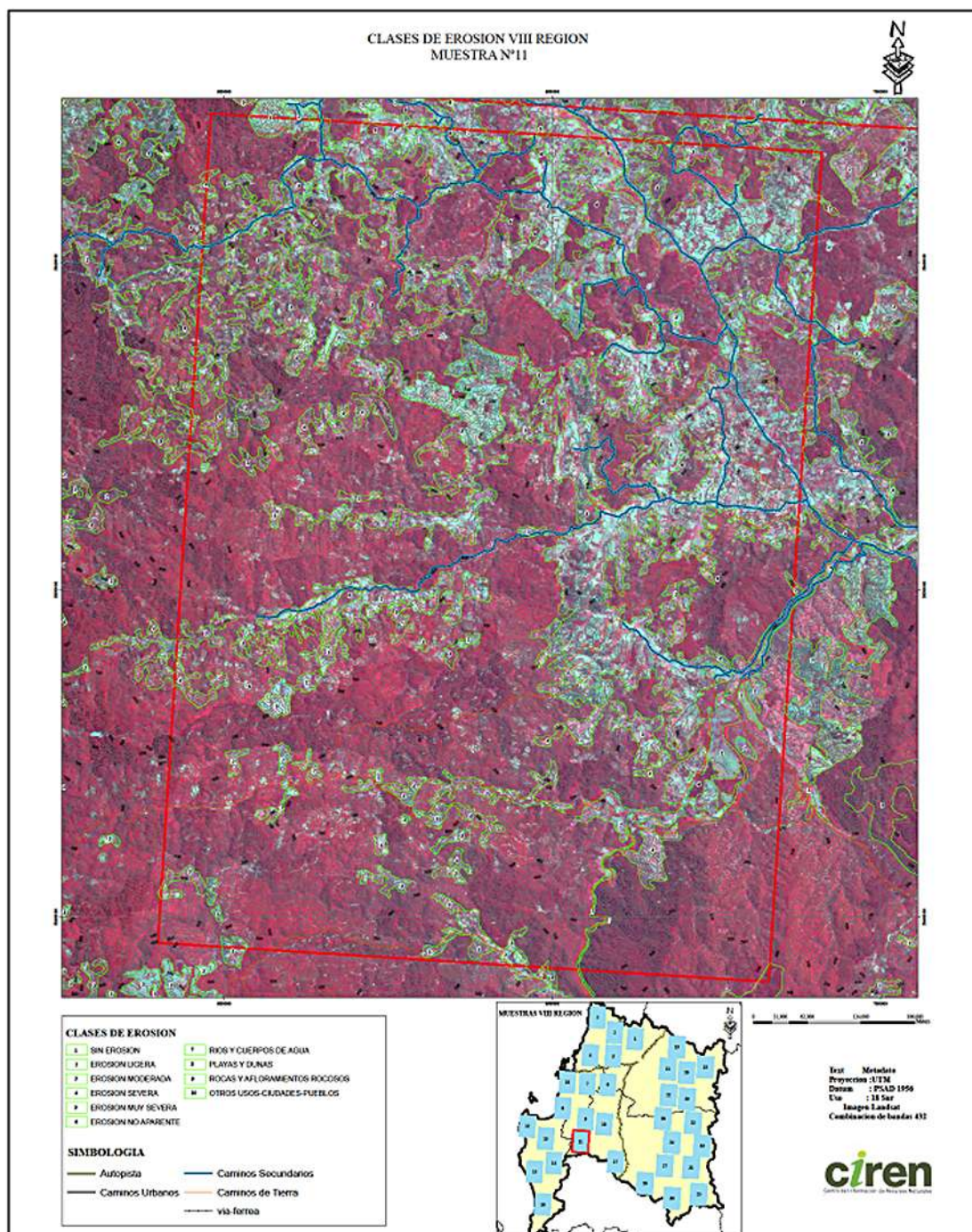


Figura 6. Áreas de muestreo y validación de la cartografía de erosión para la VIII Región del Bío-Bío.

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).

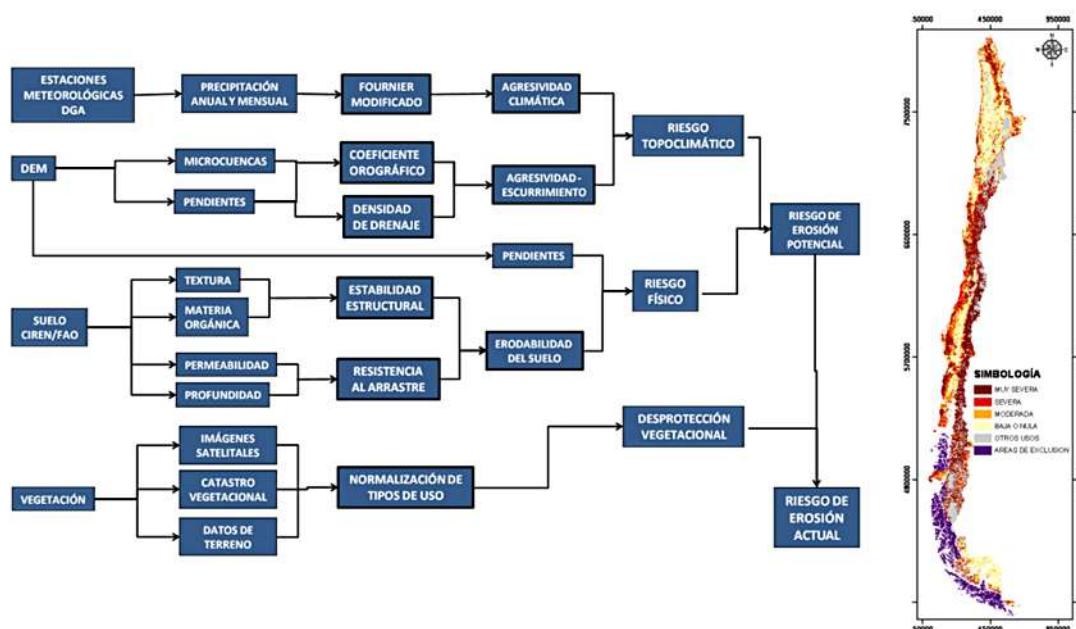


Figura 7. Diagrama metodológico del modelo de riesgo de erosión potencial y actual.

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.

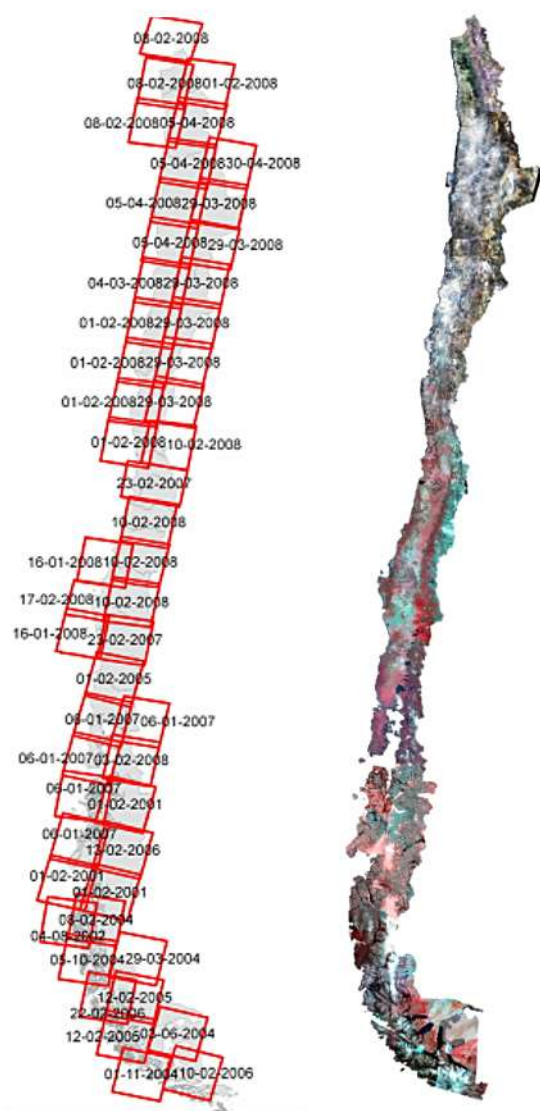
La agresividad climática es un índice que da cuenta de la erosividad de la lluvia, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación. La construcción de este índice se basó en la espacialización de registros pluviométricos proporcionados por 459 estaciones meteorológicas de la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

Modelo de zonificación de distritos de conservación. (2004-2006). Estudio de suelos en 12.000 hectáreas, microcuencas de las comunas de Yungay y Ninhue, escala 1:10.000. Informe de proyecto, información digitalizada.

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



EQUIPO DE TRABAJO

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

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

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

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

Asesor Satelital: Pedro Muñoz Aguayo. Geog.

Desarrollo y Apoyo Terreno

Pablo Avendaño Vercellino, Ing.Agr.

Patricio Torres Fuentes, Ing.Agr.

Gabriel Henríquez Armijo, Ing.Agr. MSc

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

Rodolfo Freres González, Ing. Agr.

Catalina Hernández Silva, Ing. Agr.

Carolina Leiva Madrid, Ing.Agr.

Claudia Sanguesa Pool, Ing.For. MSc.

Marcelo Retamal Gajardo, Cart.

Balfredo Toledo Hernández, Cart.

Luz María Marín Arce, Cart.

Gabriel Ortiz Flores, Cart.

Claudia González Bustamante, Ing.Amb. MSc.

Coordinadores de Proyecto

Mario Lagos Subiabre, Servicio Agrícola Ganadero - SAG

Sergio Maldonado Solis, Servicio Agrícola Ganadero - SAG

David Aracena Lassarre, Instituto de Desarrollo Agropecuario - INDAP

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

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

Roberto Lisboa Valle, Corporación Nacional Forestal - CONAF

RESULTADOS Y ESTADÍSTICAS DE LA REGIÓN

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

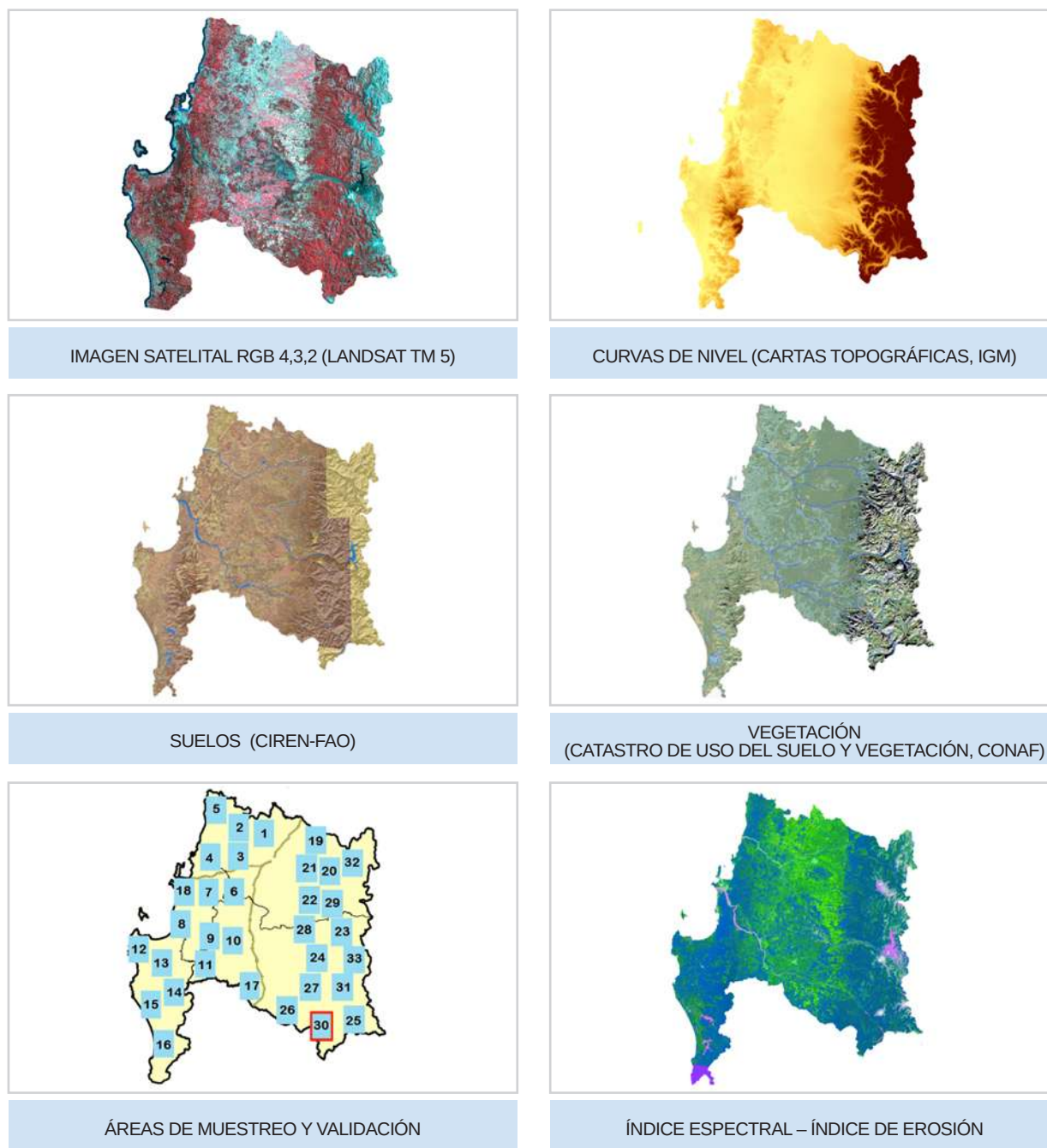
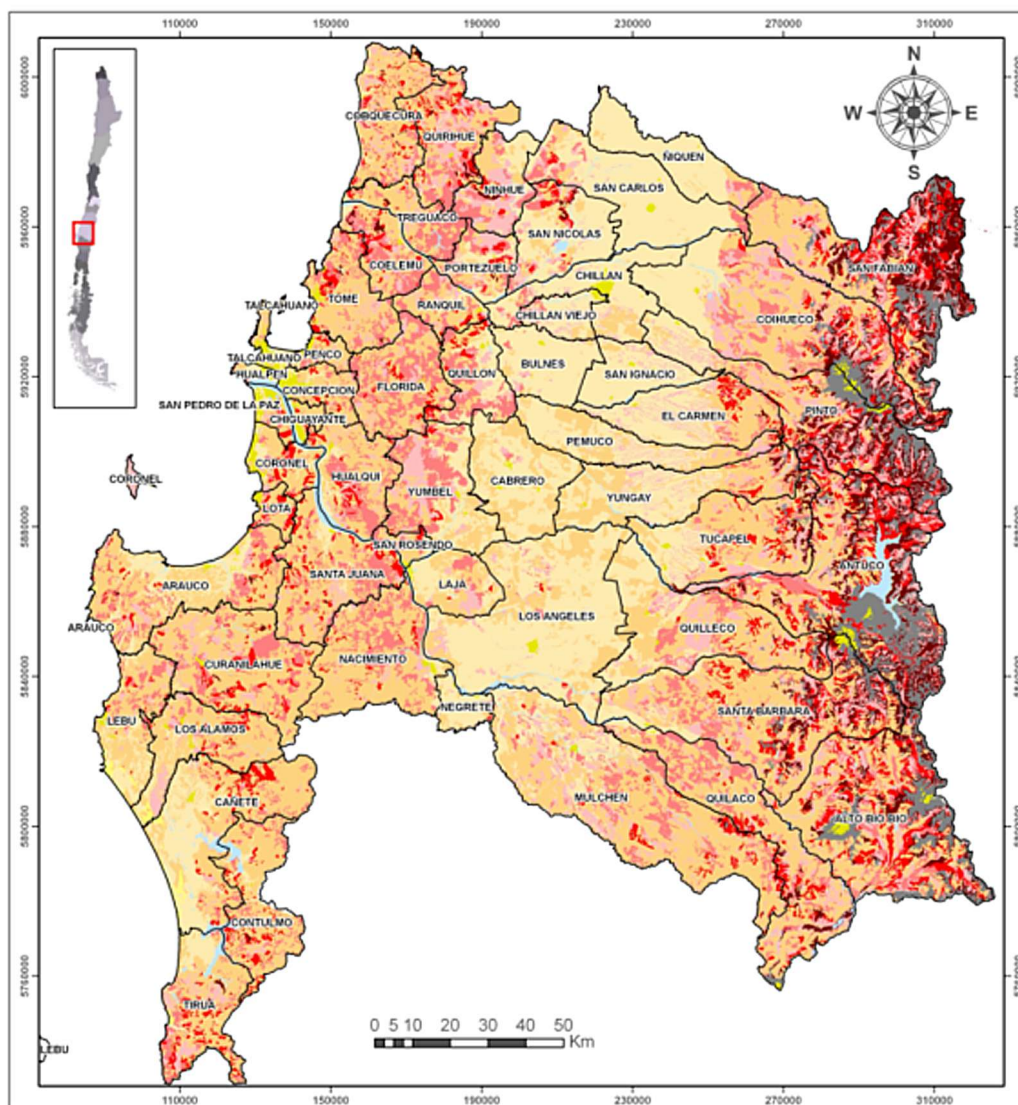


Figura 9. Cobertura de información biogeofísica para la determinación de la erosión actual en la Región del Bío-Bío – modelo de erosión actual.

CARTOGRAFÍA EROSIÓN ACTUAL

REGION VIII DEL BIO BIO



Simbología Erosión Nacional		
Descripción		
	EROSION MUY SEVERA	
	EROSION SEVERA	
	EROSION MODERADA	
	PLAYAS Y DUNAS	
	ROCAS Y AFLORAMIENTOS ROCOSOS	

Figura 10. Mapa de erosión actual para la VIII Región del Bío-Bío.

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

Cuadro 3. Superficie de erosión actual en la Región del Bío-Bío (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
BIO BIO	840.102	393.409	429.058	211.569	148.624	1.443.818	245.470	1.182.660	3.712.051
ARAUCO	83.081	28.493	62.883	29.662	1.715	318.365	21.767	122.753	545.966
ARAUCO	21.870	4.211	13.294	2.872	299	51.501	2.885	20.676	96.933
CANETE	35.279	2.026	5.744	5.941	158	54.011	5.966	13.869	109.124
CONTULMO	2.268	2.143	7.873	5.347	305	43.104	2.862	15.667	63.902
CURANILAHUE	1.012	6.132	18.336	6.256	333	67.358	1.144	31.058	100.572
LEBU	10.303	2.168	5.811	957		29.647	2.835	8.935	51.721
LOS ALAMOS	5.419	5.707	4.357	2.538	12	39.957	2.283	12.614	60.273
TIRUA	6.931	6.107	7.469	5.750	609	32.786	3.791	19.935	63.443
BIO BIO	299.027	164.900	155.932	93.742	73.424	594.062	118.243	487.998	1.499.330
ALTO BIO BIO	17	22.254	17.184	26.400	13.825	59.318	30.351	79.662	169.348
ANTUCO	854	28.728	11.410	25.611	34.920	36.602	50.577	100.669	188.701
CABRERO	40.538	892	672			22.885	873	1.564	65.859
LAJA	12.231	2.988	3.293	175		14.093	1.605	6.456	34.386
LOS ANGELES	123.265	5.250	1.580	272		38.978	5.720	7.102	175.065
MULCHEN	28.207	25.354	24.557	6.233	378	104.807	3.015	56.522	192.551
NACIMIENTO	2.439	4.883	19.939	1.792		59.870	2.033	26.614	90.956
NEGRETE	11.678	469	95	90		2.537	790	654	15.660
QUILACO	2.187	13.595	21.867	7.341	3.888	59.622	4.493	46.690	112.993
QUILLECO	24.428	16.902	9.681	4.495	1.844	51.715	3.177	32.921	112.242
SAN ROSENDO	1.074	472	2.227	487		3.988	1.005	3.186	9.254
SANTA BARBARA	10.468	22.263	18.666	14.759	14.373	77.809	9.923	70.062	168.263
TUCAPEL	21.678	9.763	5.909	5.161	4.196	40.909	3.561	25.029	91.178
YUMBEL	19.961	11.086	18.852	927		20.928	1.120	30.865	72.875
CONCEPCION	17.784	24.880	70.304	20.911	526	186.977	27.898	116.620	349.280
CHIGUAYANTE	83		110	286		4.627	2.349	396	7.455
CONCEPCION	1.523	480	2.403	682	53	13.960	3.035	3.618	22.136
CORONEL	3.026	3.307	2.158	2.879	33	13.072	3.967	8.376	28.442
FLORIDA	294	4.692	23.356	2.089		30.069	136	30.137	60.637
HUALPEN	1.674	98	191			1.464	2.113	289	5.539
HUALQUI	3.373	3.954	12.682	3.055		27.459	3.071	19.690	53.594
LOTA	163	330	1.831	1.573	82	6.715	728	3.815	11.422
PENCO	697	920	1.127	354		6.918	883	2.402	10.900
SAN PEDRO DE LA PAZ	1.046	575	802	823		3.913	4.103	2.200	11.263
SANTA JUANA	3.767	5.014	15.985	5.845	58	44.376	2.766	26.903	77.811
TALCAHUANO	2.051	387	60			3.829	3.311	447	9.637
TOME	88	5.123	9.599	3.324	301	30.574	1.436	18.347	50.444
ÑUBLE	440.210	175.137	139.939	67.255	72.959	344.415	77.562	455.290	1.317.476
BULNES	38.073	1.425	468			1.785	853	1.894	42.605
CHILLAN	39.373	2.952	1.940			6.271	3.526	4.892	54.062
CHILLAN VIEJO	13.555	2.585	1.391			1.391	1.171	3.976	20.094
COBQUECURA	2.169	8.507	7.228	3.513	617	34.371	1.163	19.865	57.567
COELEMU	1.716	3.664	10.949	2.339	850	13.581	1.745	17.801	34.843
COIHUECO	34.435	33.650	21.339	9.163	9.898	53.499	14.002	74.049	175.985
EL CARMEN	29.539	10.741	3.077	4.033	308	18.376	665	18.158	66.738
NINHUE	8.596	12.016	6.792	1.303	707	10.319	545	20.818	40.279
NIQUEN	41.433	1.422	1.642			4.400	514	3.064	49.411
PEMUCO	27.557	6.328	622	250	254	20.735	449	7.453	56.193
PINTO	13.970	22.698	8.317	9.329	20.419	22.198	19.292	60.764	116.224
PORTEZUELO	6.624	4.470	5.901	2.162	172	8.831	1.079	12.705	29.239
QUILLON	11.591	3.522	12.477	2.620		9.923	611	18.619	40.744
QUIRIHUE	1.646	11.098	14.423	5.174	801	25.757	238	31.496	59.137
RANQUIL	2.025	2.944	5.487	1.141	84	12.468	726	9.655	24.874
SAN CARLOS	69.370	3.916	5.764	601		5.673	2.473	10.281	87.796
SAN FABIAN	60	26.084	13.839	21.061	36.498	37.591	20.256	97.481	155.388
SAN IGNACIO	29.589	2.831				2.405	1.510	2.831	36.335
SAN NICOLAS	33.874	4.485	4.173	2.352	773	8.305	2.268	11.783	56.230
TREGUACO	1.720	1.969	10.589	677	241	14.282	1.769	13.476	31.247
YUNGAY	33.295	7.832	3.522	1.537	1.337	32.255	2.706	14.229	82.484

* 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 VIII Región es de 1,18 millones de hectáreas, lo que representa el 31,9% de la superficie regional (figura 11) y el 34,1% de la superficie de suelos de la región. Sin embargo, parte de esta superficie, en especial hacia la Cordillera de los Andes, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión 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% de sus suelos erosionados; Valparaíso, con 57%, y la Región de O'Higgins con el 52% de sus suelos.

BÍO BÍO

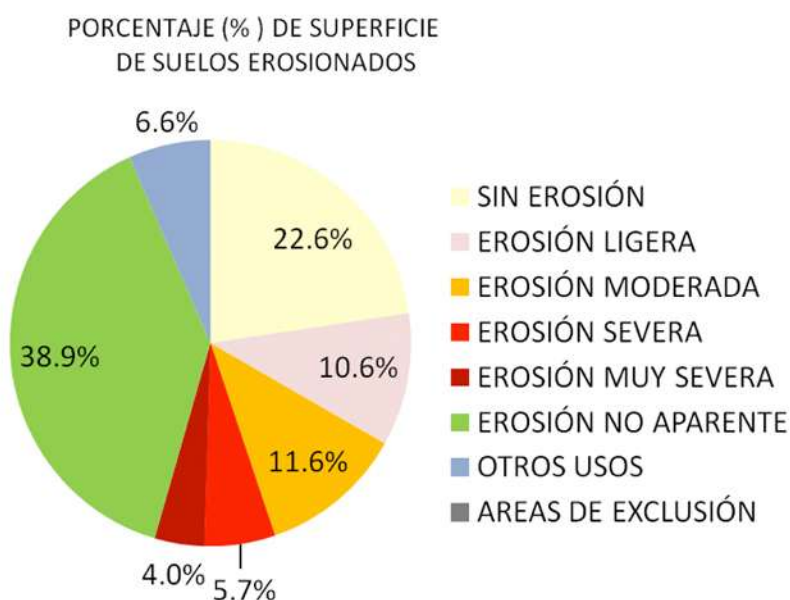
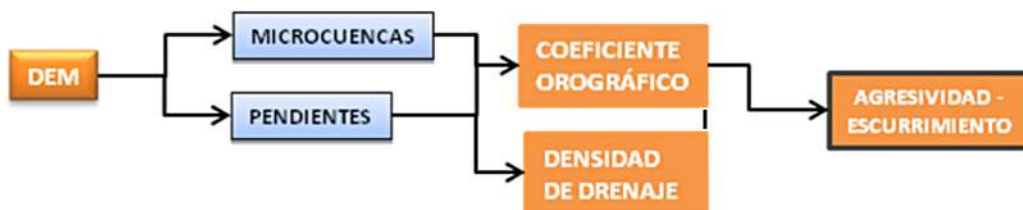


Figura 11. Porcentaje regional (%) de superficie de suelos erosionados.

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.

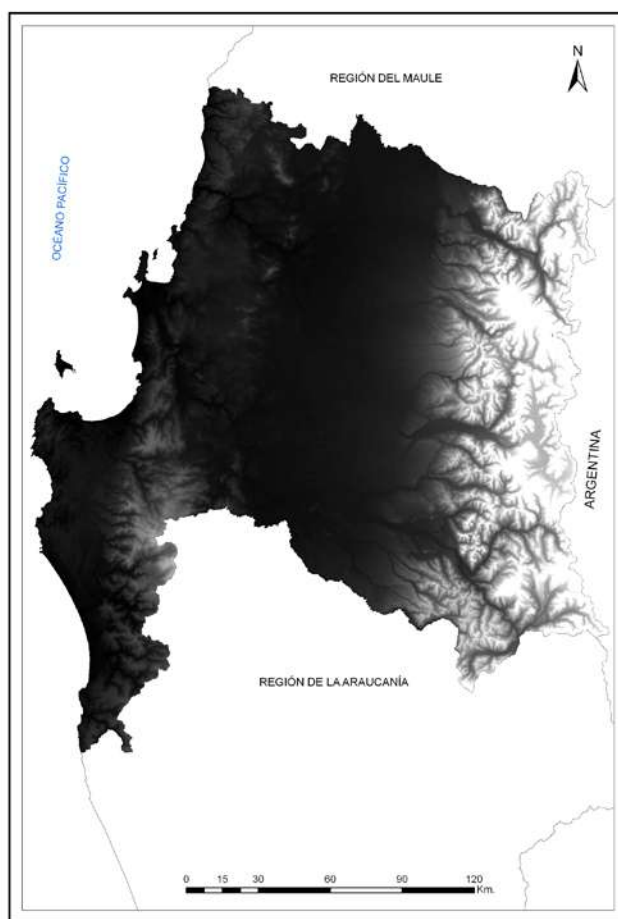


Figura 12. Modelo Global de elevación digital ASTER-GDEM.



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).

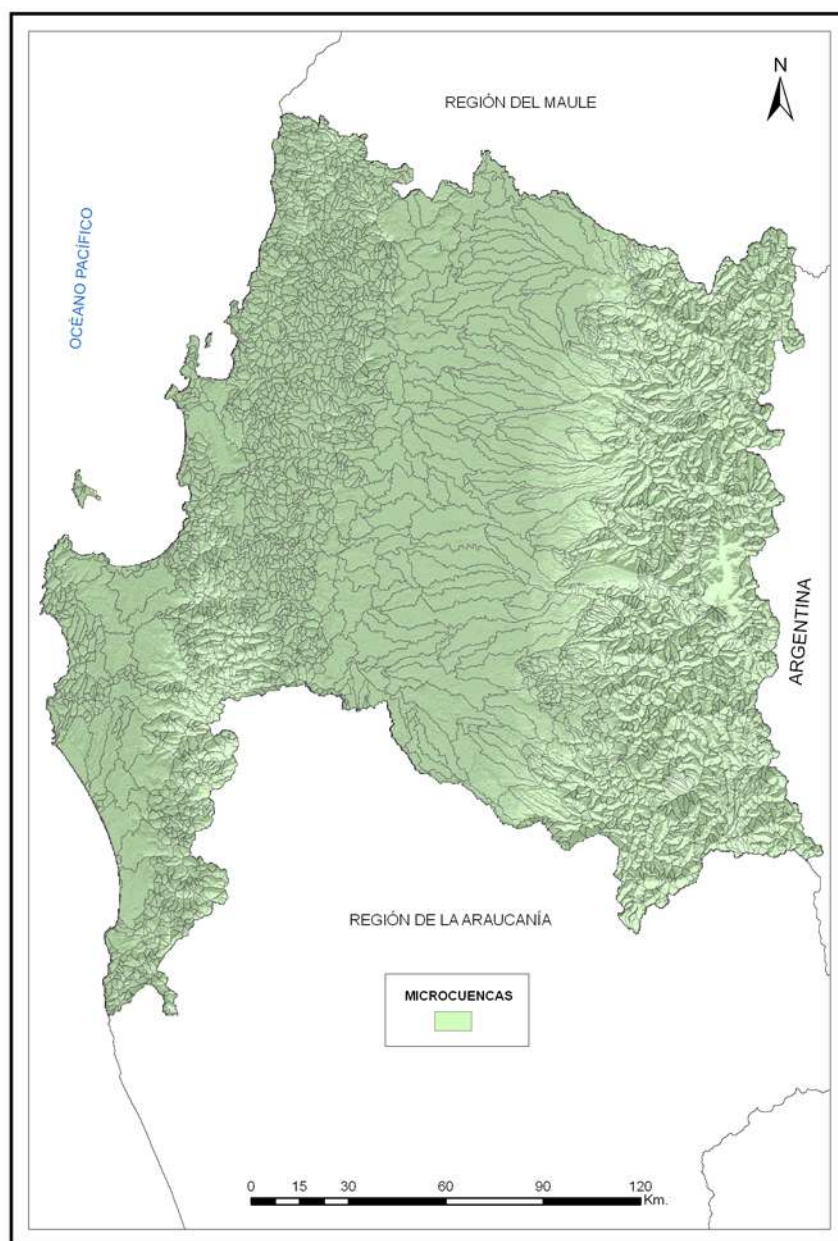


Figura 13. Microcuencas para la VIII Región del Bío-Bío.

Coeficiente orográfico.

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

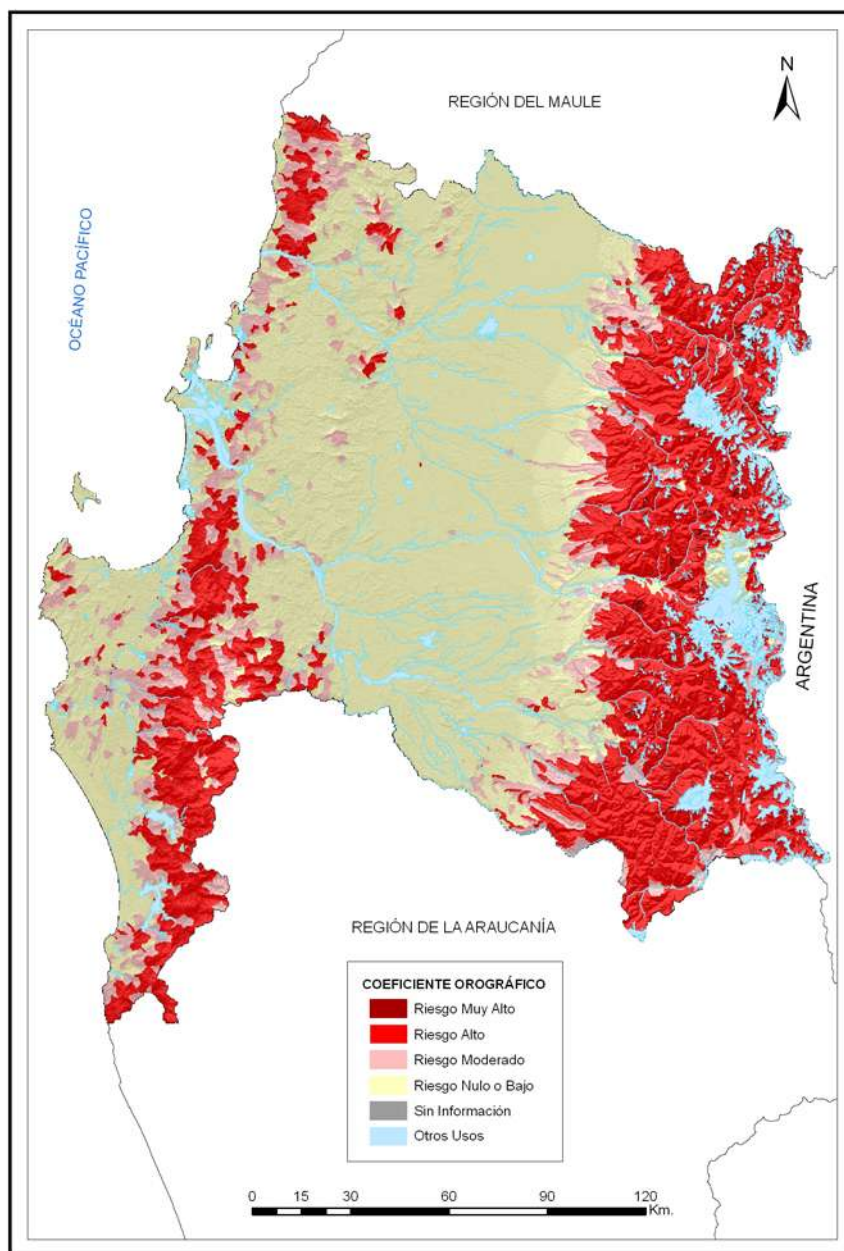


Figura 14. Índice de coeficiente orográfico.



Cartografía de pendientes.

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

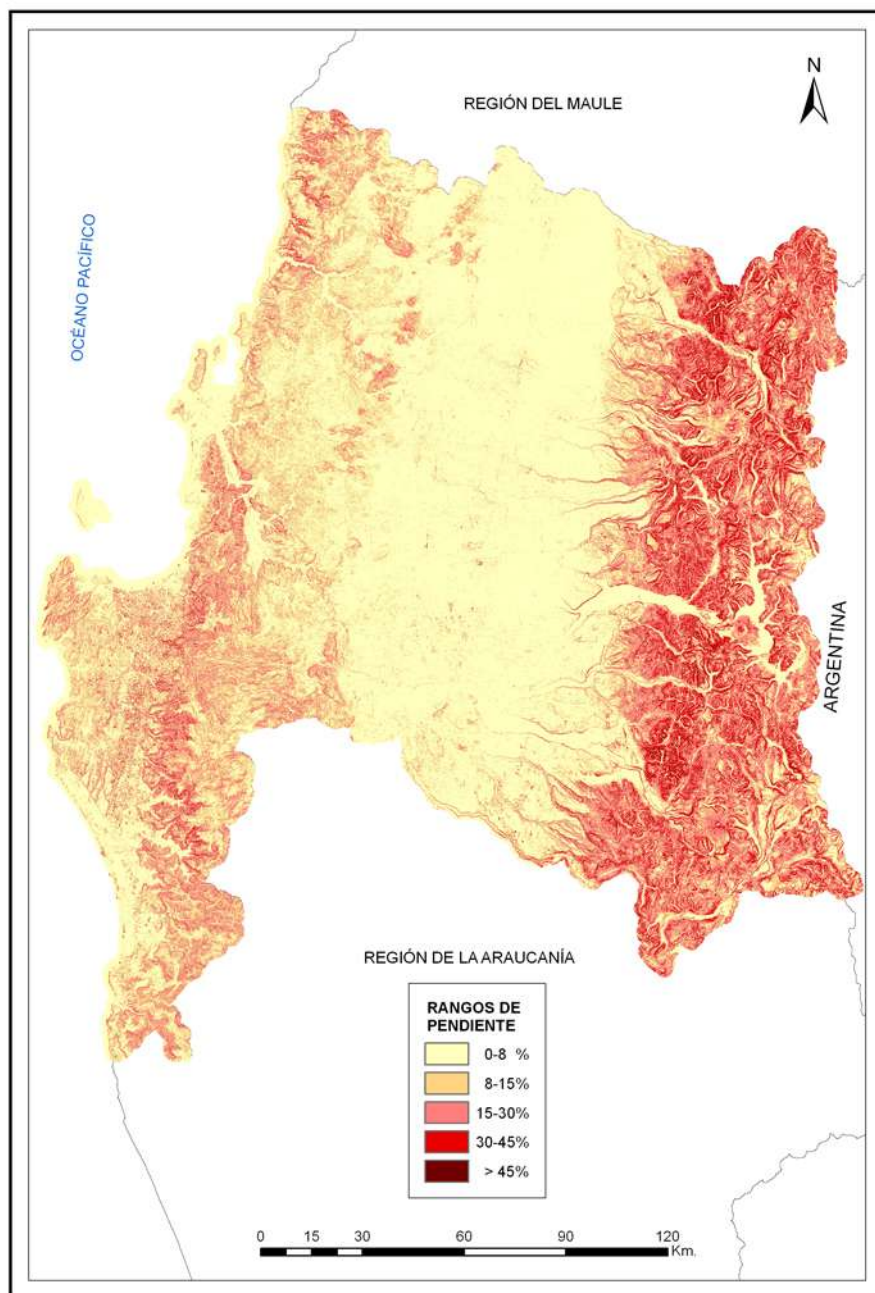


Figura 15. Índice de riesgo por pendientes.

Densidad de drenes.

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

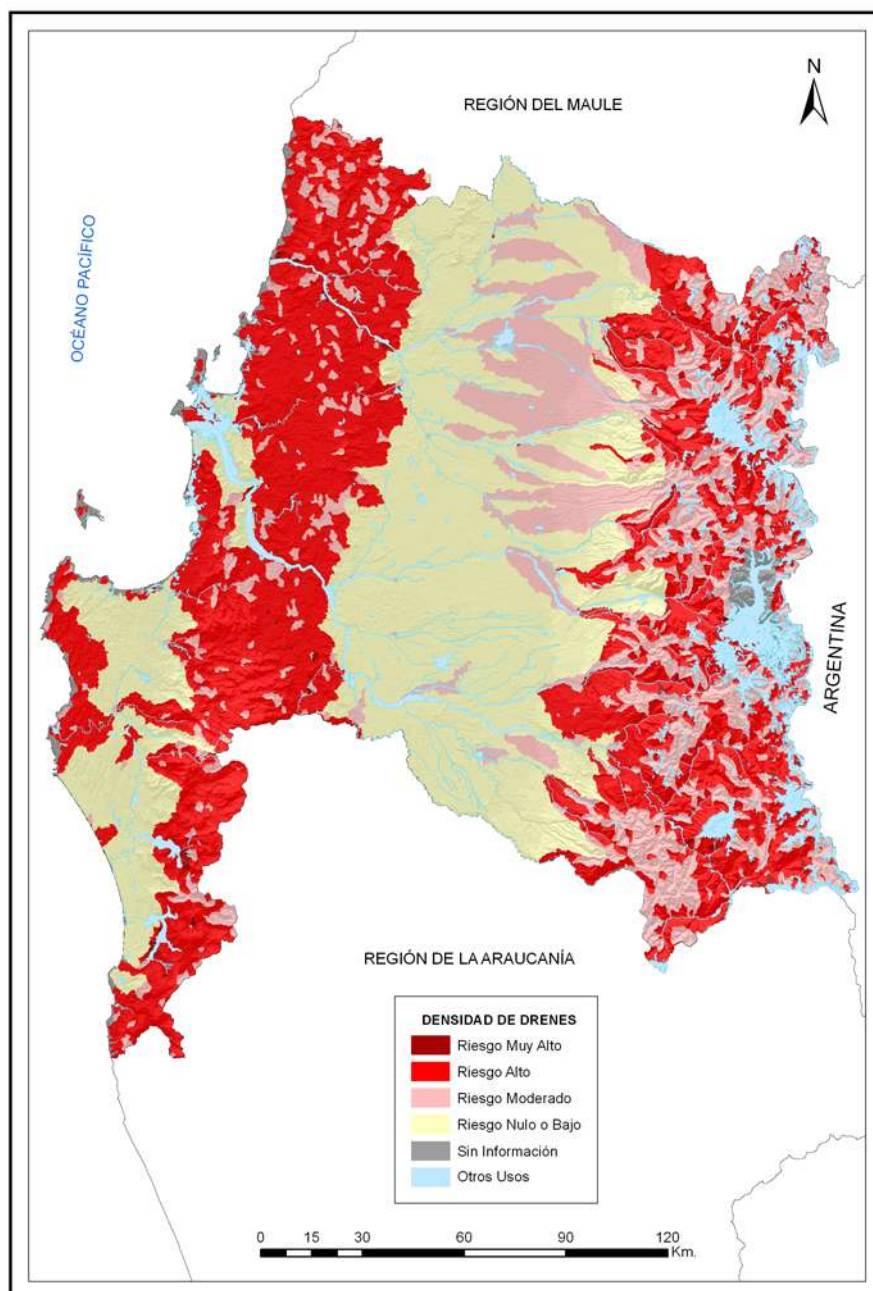


Figura 16. Índice densidad de drenes.



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

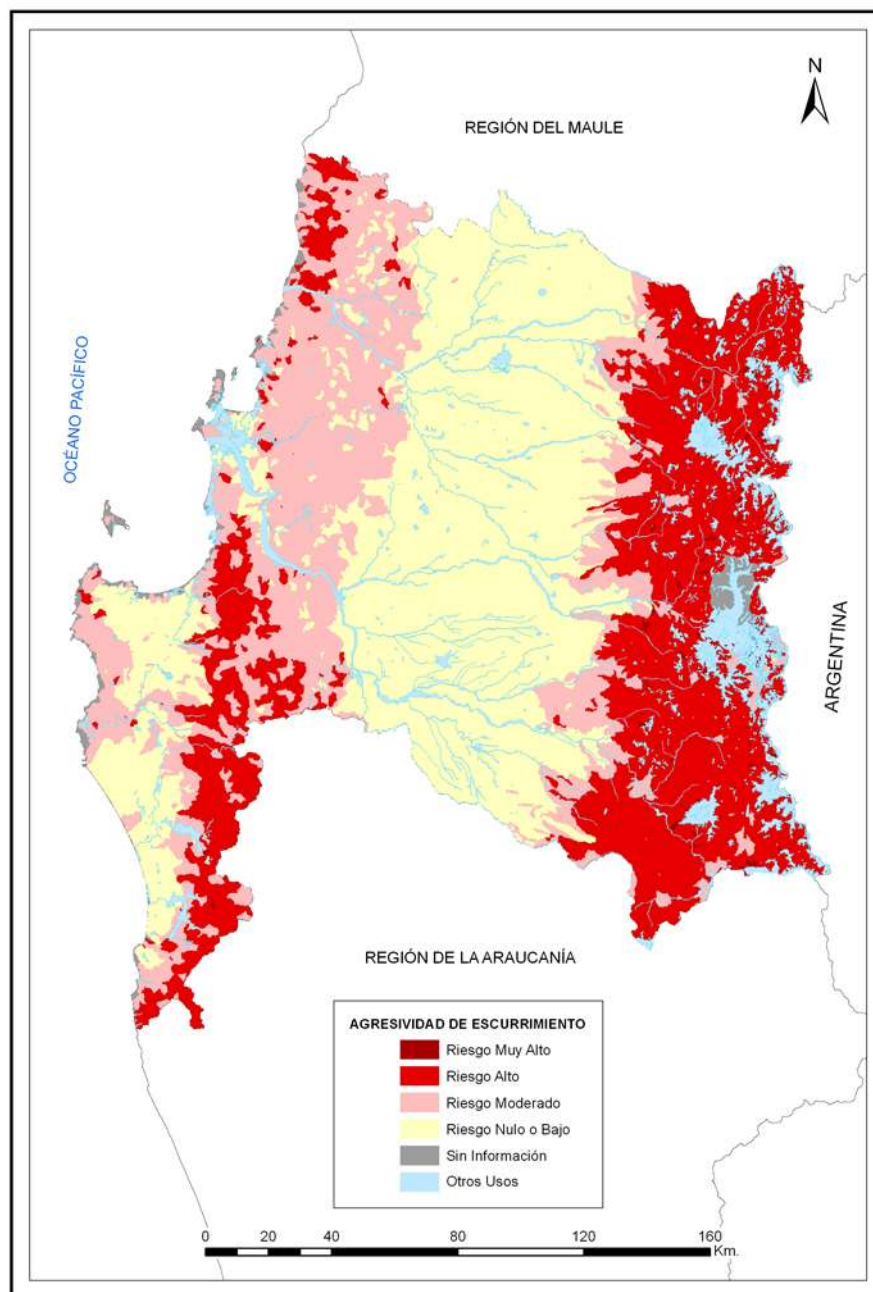
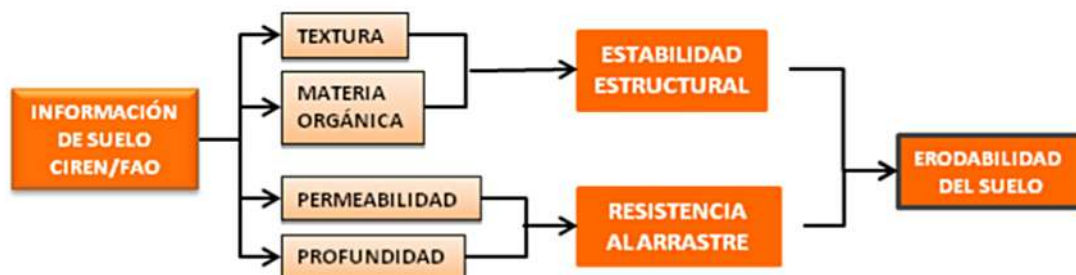


Figura 17. Índice de agresividad escurrimiento.

Índice de erodabilidad del suelo.



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

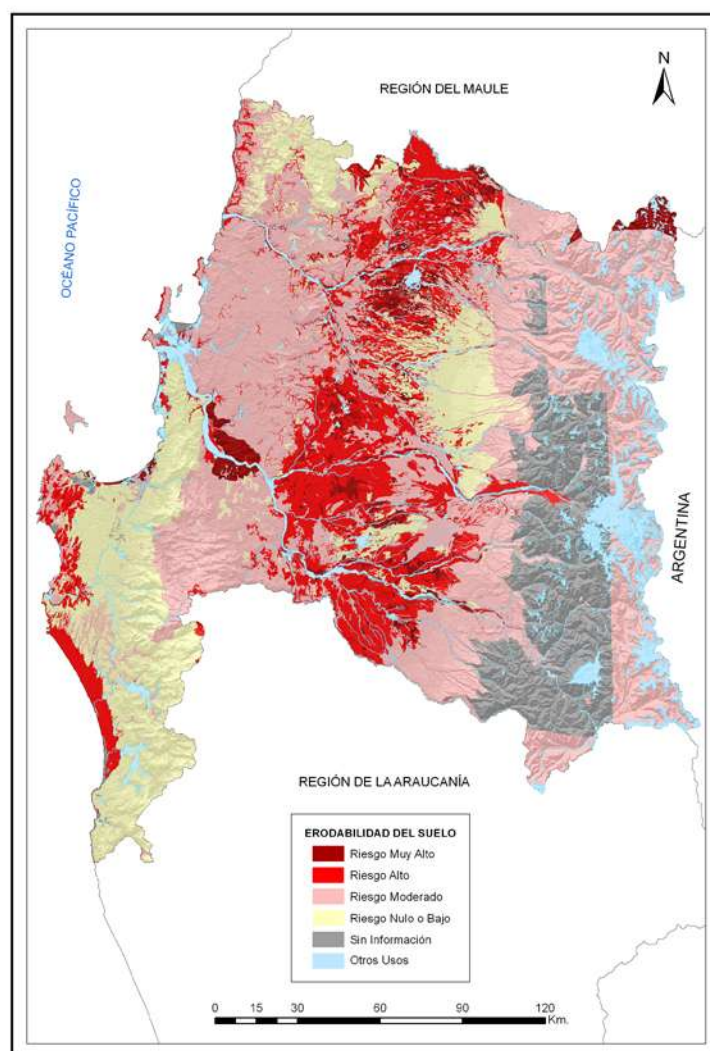


Figura 18. Índice de erodabilidad de suelo.



Índice de agresividad climática.

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

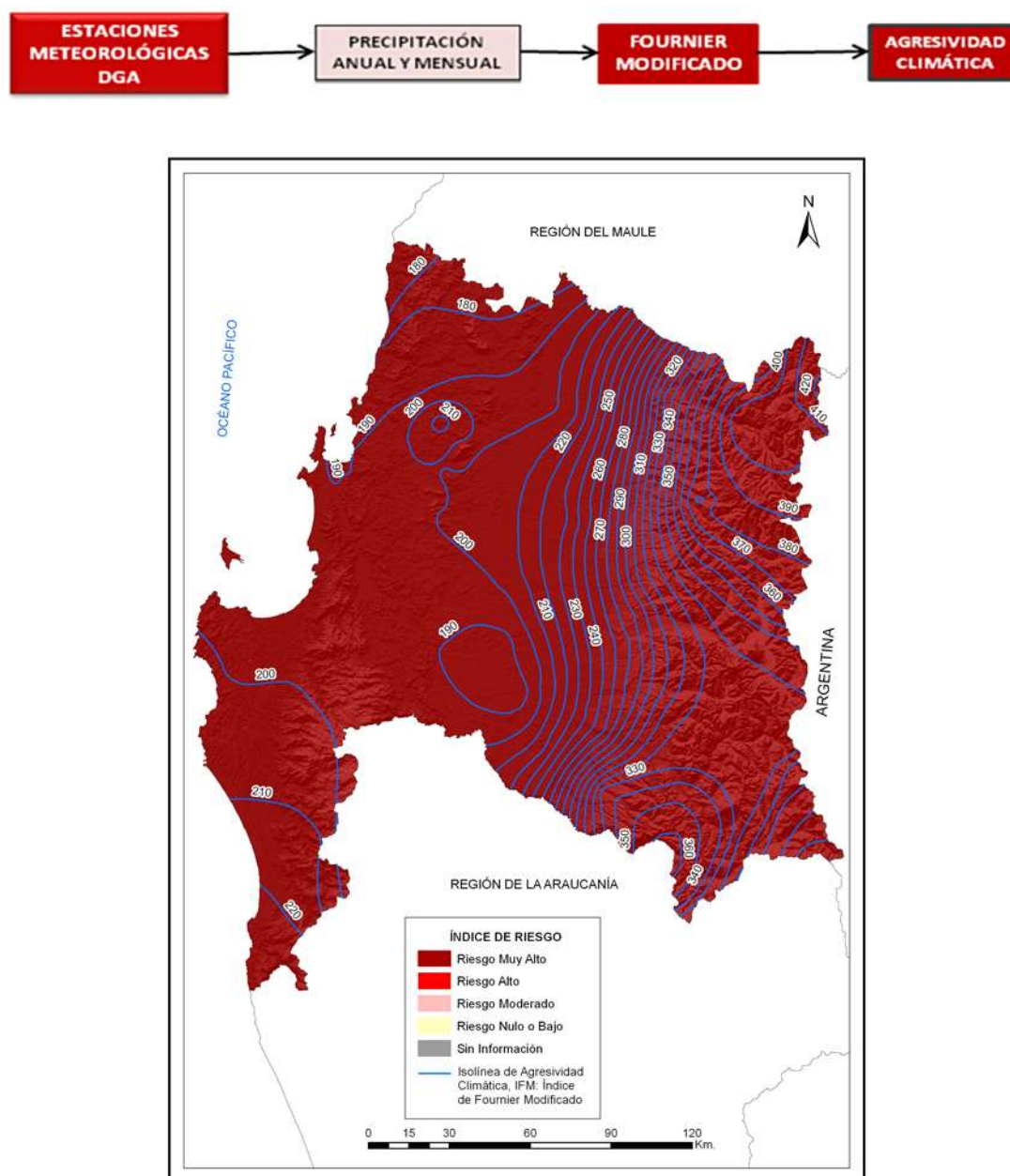


Figura 19. Índice de agresividad climática.

Índice de riesgo topoclimático.

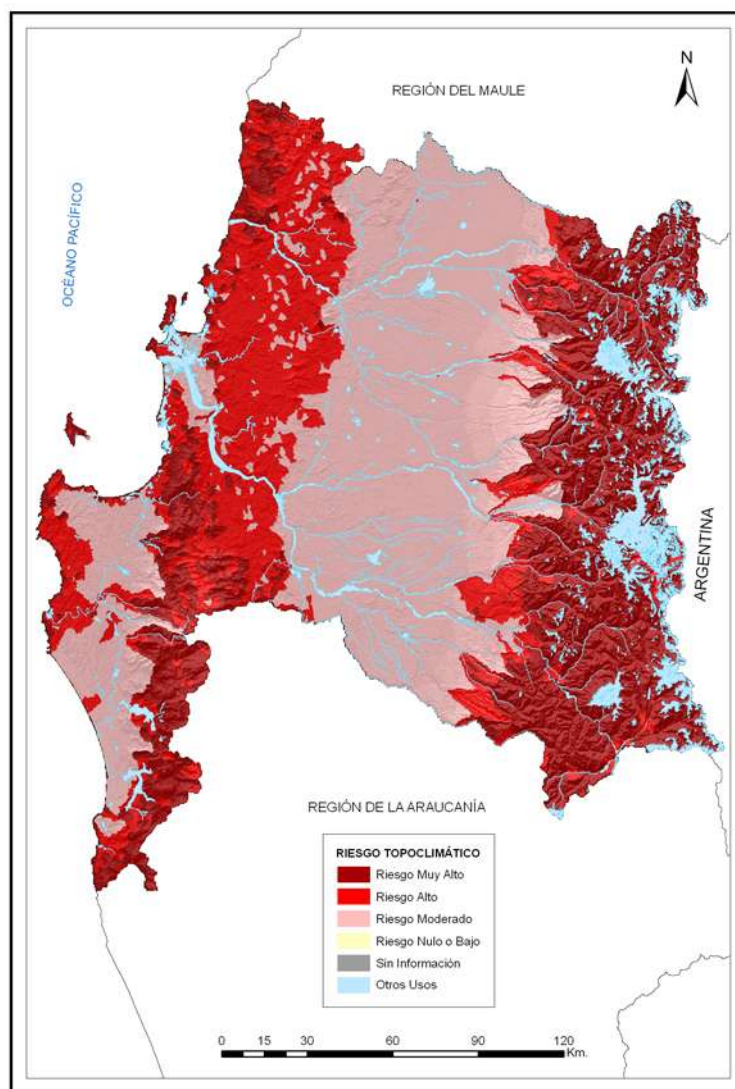
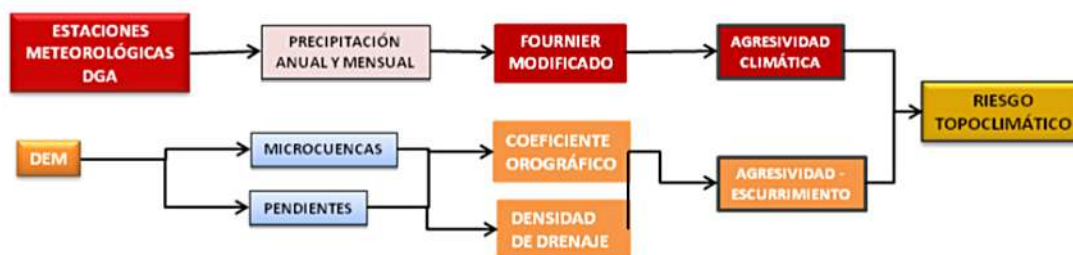


Figura 20. Índice de riesgo topoclimático.



Índice de riesgo físico.

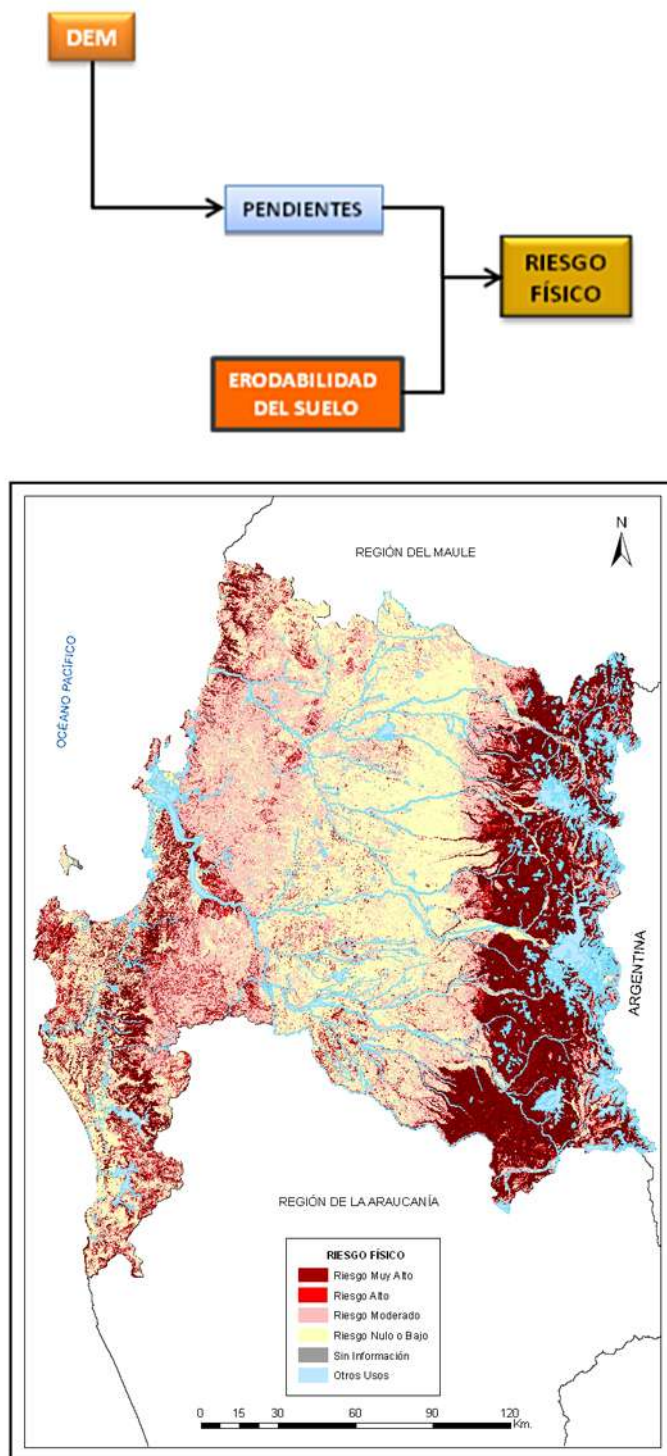
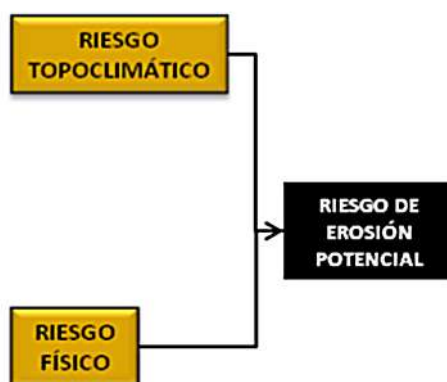


Figura 21. Índice de riesgo físico.

Índice de riesgo de erosión potencial.

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



A continuación se presenta los resultados a nivel comunal (cuadro 4) y a nivel regional (figura 22 y 23).

BÍO BÍO

PORCENTAJE (%) DE SUPERFICIE
CON RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL

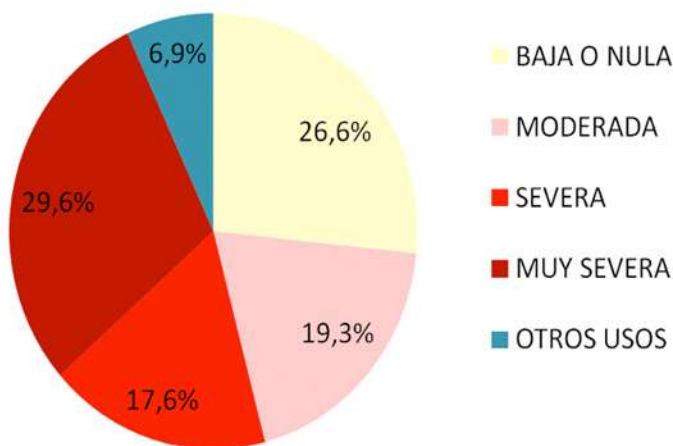


Figura 22 .Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión potencial, a nivel regional.



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
BIO BIO	988.734	716.361	653.293	1.098.389	256.562	3.713.338
ARAUCO	83.209	110.892	170.902	166.158	15.236	546.396
ARAUCO	13.738	22.815	40.725	18.005	1.822	97.105
CANETE	28.471	20.002	27.813	29.370	3.529	109.186
CONTULMO	93	2.826	18.416	39.571	2.990	63.895
CURANILAHUE	11.364	21.853	28.687	37.380	1.283	100.567
LEBU	9.724	16.618	19.474	5.194	861	51.870
LOS ALAMOS	10.621	13.724	18.179	16.078	1.642	60.244
TIRUA	9.198	13.054	17.608	20.561	3.109	63.529
BIO BIO	427.207	222.714	163.427	557.097	129.069	1.499.515
ALTO BIO BIO		1.410	9.602	127.877	30.589	169.479
ANTUCO	2.711	7.783	12.544	115.124	50.676	188.838
CABRERO	49.444	13.808	873	139	1.589	65.853
LAJA	20.007	10.910	1.795		1.672	34.384
LOS ANGELES	129.350	31.289	3.321	257	10.832	175.049
MULCHEN	87.064	26.450	24.542	49.131	5.348	192.535
NACIMIENTO	4.737	25.792	35.714	22.550	2.158	90.951
NEGRETE	10.433	3.693	527		1.006	15.659
QUILACO	10.758	14.053	10.539	73.241	4.399	112.990
QUILLECO	51.433	16.060	8.315	32.407	4.022	112.236
SAN ROSENDO	1.459	4.569	2.060	139	1.025	9.252
SANTA BARBARA	13.823	19.172	27.716	97.199	10.338	168.248
TUCAPEL	22.501	8.725	16.911	38.951	4.083	91.171
YUMBEL	23.487	39.000	8.969	82	1.331	72.870
CONCEPCION	8.311	116.355	158.729	37.958	28.349	349.702
CHIGUAYANTE	108	3.568	1.243	177	2.356	7.453
CONCEPCION	355	5.720	11.006	1.575	3.478	22.134
CORONEL	1.003	5.804	14.815	3.479	3.485	28.585
FLORIDA	1.285	37.755	21.259	21	311	60.631
HUALPEN	77	1.556	822	1.059	2.077	5.590
HUALQUI	1.075	16.751	29.467	2.651	3.643	53.588
LOTA		912	9.337	446	737	11.432
PENCO	653	4.315	4.623	470	855	10.916
SAN PEDRO DE LA PAZ	1.568	2.140	2.919	530	4.125	11.281
SANTA JUANA	602	16.389	39.024	18.967	2.822	77.805
TALCAHUANO	1.486	595	1.595	2.945	3.129	9.750
TOME	101	20.848	22.620	5.637	1.330	50.537
ÑUBLE	470.006	266.400	160.234	337.176	83.908	1.317.725
BULNES	35.099	6.088	165	21	1.232	42.606
CHILLAN	36.147	13.030	470	82	4.333	54.061
CHILLAN VIEJO	9.375	9.143	148		1.426	20.092
COBQUECURA	33	19.389	11.576	26.644	75	57.716
COELEMU	115	9.201	20.892	2.995	1.529	34.732
COIHUECO	35.101	19.573	20.111	84.315	16.894	175.995
EL CARMEN	37.648	9.378	10.692	7.949	1.065	66.731
NINHUE	13.285	16.547	8.945	852	646	40.274
NIQUEN	37.090	10.880	274	30	1.136	49.410
PEMUCO	40.101	8.787	3.220	3.017	1.067	56.192
PINTO	18.781	4.503	5.742	67.259	19.993	116.278
PORTEZUELO	2.265	17.749	7.942	147	1.134	29.237
QUILLON	8.148	19.666	11.509	563	850	40.737
QUIRIHUE	4.009	38.969	13.499	2.443	217	59.137
RANQUIL	1.520	12.138	10.087	365	763	24.873
SAN CARLOS	67.119	11.416	6.611	31	2.605	87.782
SAN FABIAN	1.668	6.369	7.841	118.925	20.742	155.545
SAN IGNACIO	32.122	2.458	27	50	1.676	36.333
SAN NICOLAS	40.419	10.427	3.664	13	1.701	56.225
TREGUACO	403	11.529	12.055	5.548	1.756	31.291
YUNGAY	49.557	9.160	4.763	15.926	3.071	82.477

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION POTENCIAL REGIÓN DEL BÍO-BÍO

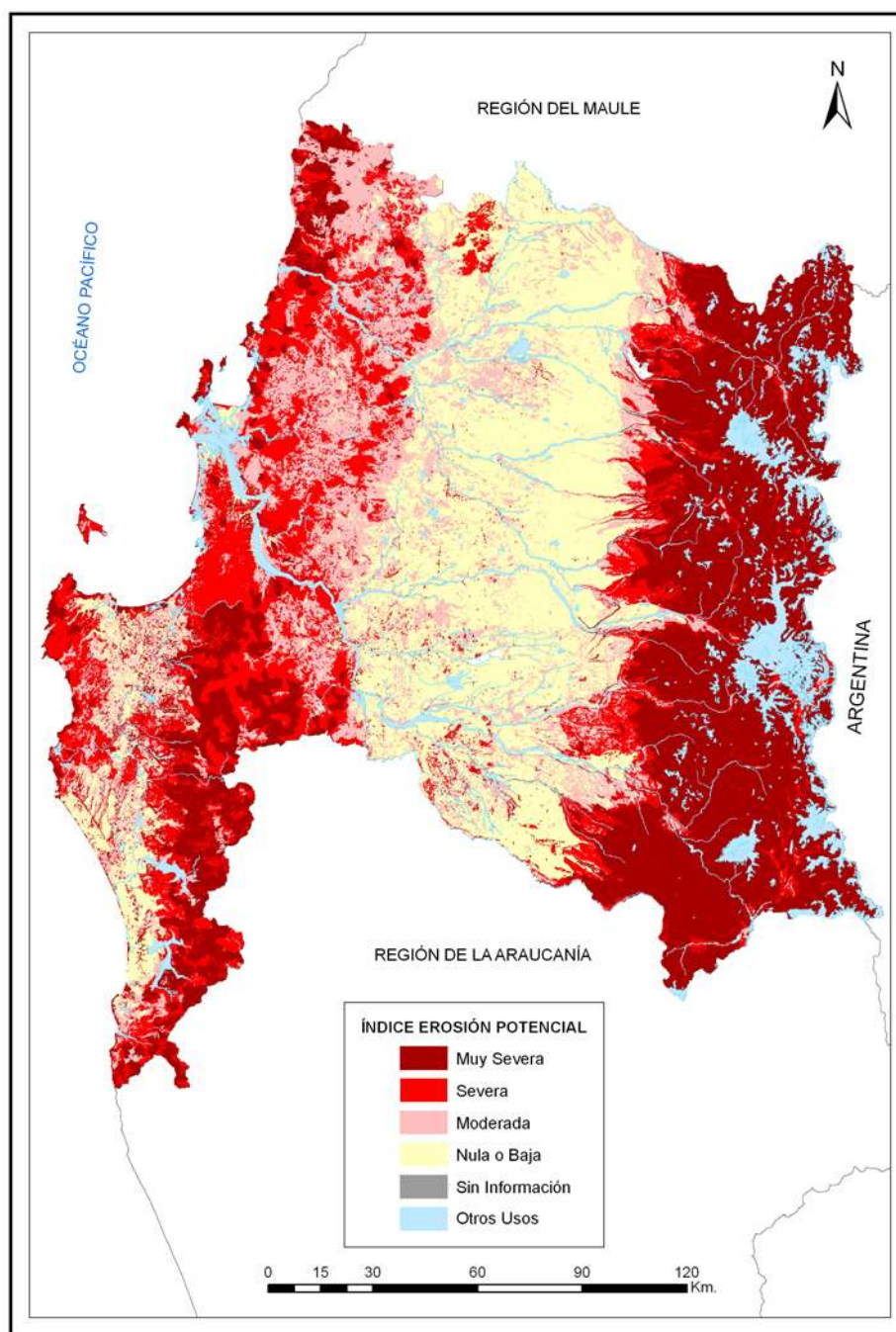


Figura 23. Riesgo de erosión potencial para la Región del Bío-Bío.

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.

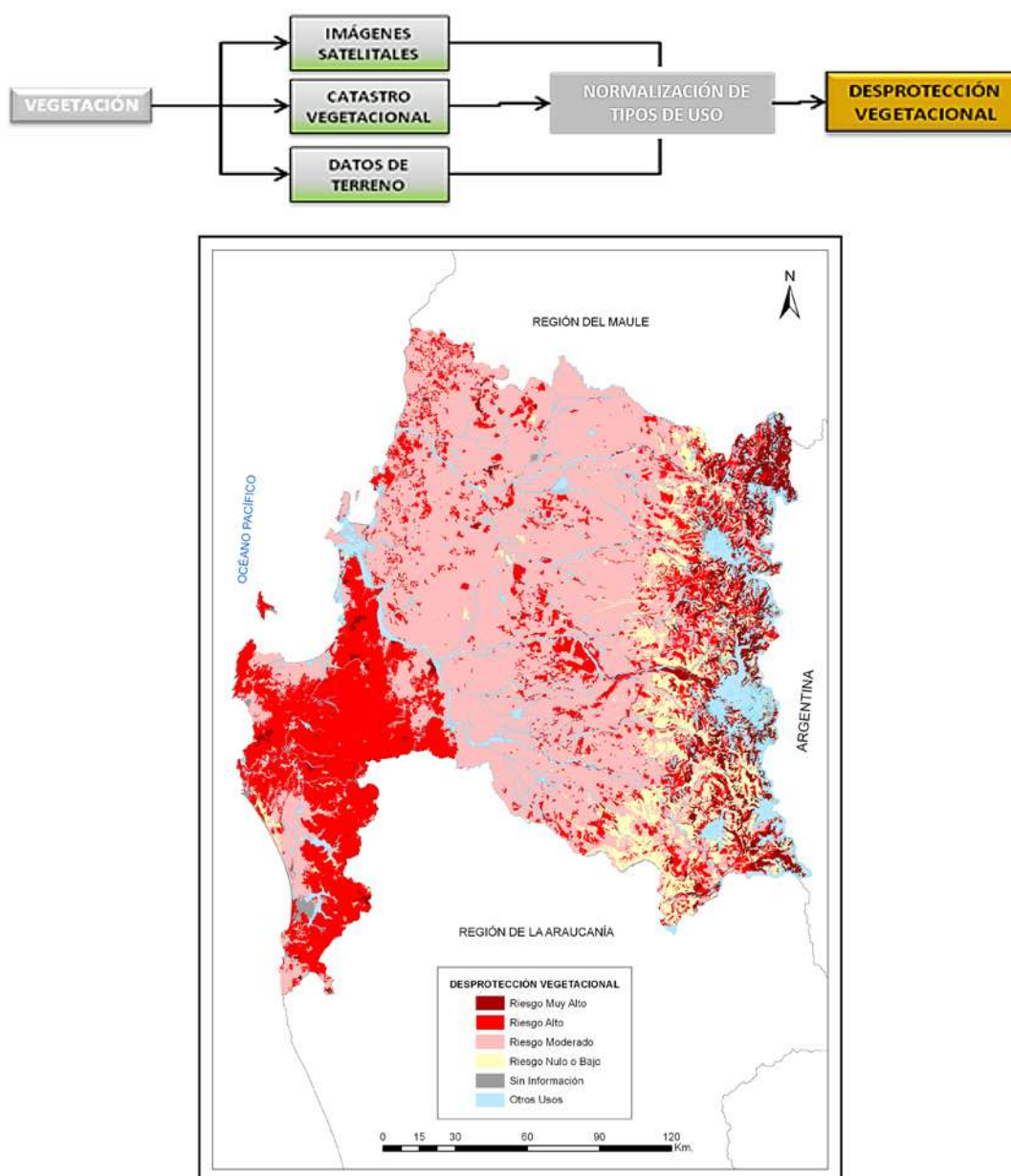


Figura 24. Índice de desprotección vegetal.

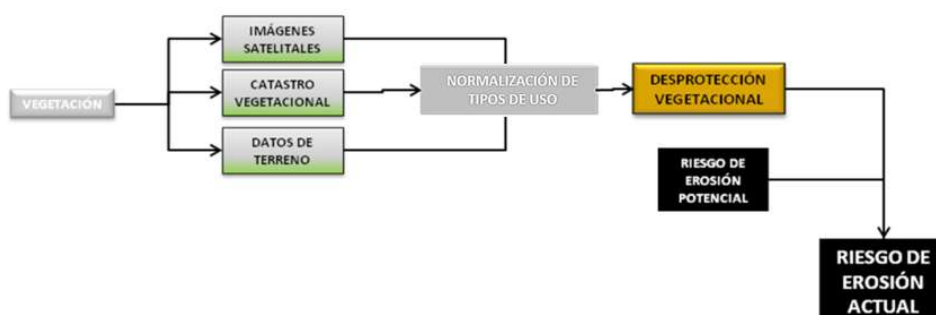
Cuadro 5. Clasificación de riesgo de erosión según tipología de uso del suelo.

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

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

Índice de riesgo de erosión actual

Refleja la potencialidad que tiene el suelo a ser erosionado si se mantienen las condiciones actuales de vegetación (figura 26).



A continuación, se detalla los resultados a nivel comunal (cuadro 6) y a nivel regional (figura 25 y 26).

BÍO BÍO

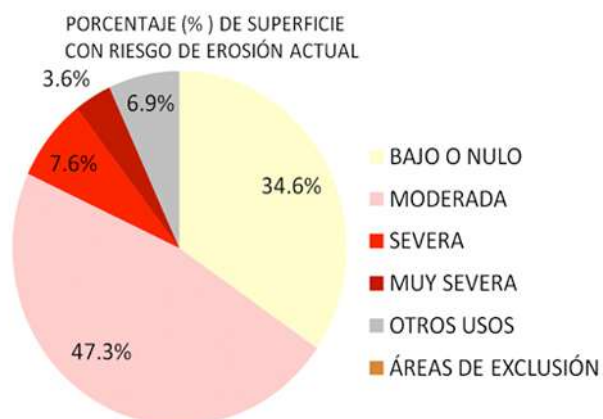


Figura 25. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión actual, a nivel regional.

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION ACTUAL REGIÓN DEL BÍO-BÍO

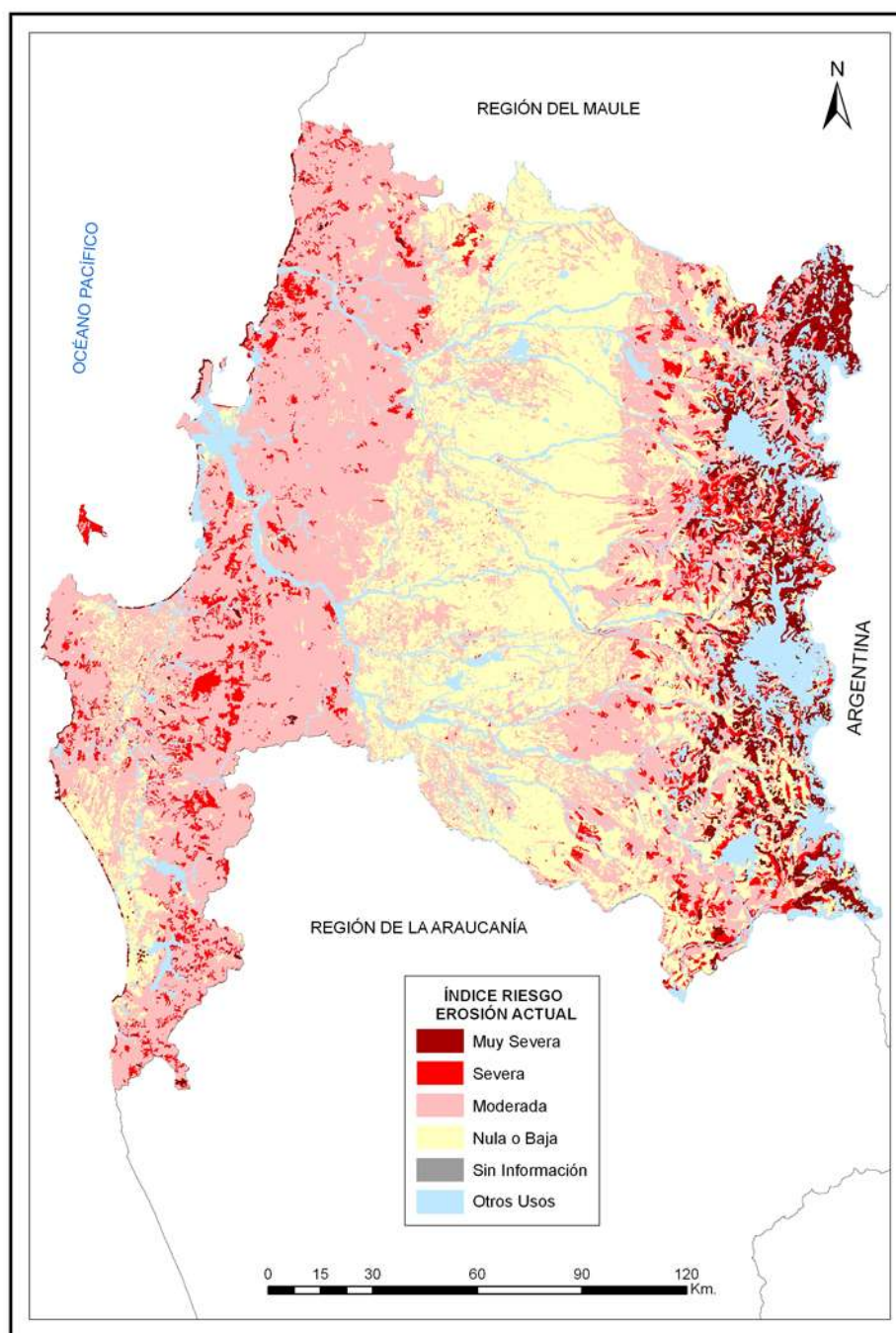


Figura 26. Riesgo de erosión actual para la Región del Bío-Bío.



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
BIO BIO	1,283,601	1,757,858	281,407	135,237	255,234	3,713,338
ARAUCO	89,516	381,041	58,283	2,374	15,182	546,396
ARAUCO	14,143	74,591	5,982	576	1,813	97,105
CANETE	30,059	66,676	8,796	151	3,503	109,186
CONTULMO	1,619	49,351	9,595	312	3,018	63,895
CURANILAHUE	11,555	70,801	16,841	109	1,261	100,567
LEBU	10,544	34,541	5,314	611	861	51,870
LOS ALAMOS	11,775	41,947	4,863	37	1,622	60,244
TIRUA	9,822	43,134	6,891	577	3,104	63,529
BIO BIO	647,837	554,190	105,128	64,166	128,194	1,499,515
ALTO BIO BIO	51,315	43,450	23,938	20,234	30,542	169,479
ANTUCO	38,654	41,950	28,615	29,116	50,503	188,838
CABRERO	49,649	14,485	155		1,564	65,853
LAJA	20,070	12,606	35		1,672	34,384
LOS ANGELES	130,109	33,965	348		10,627	175,049
MULCHEN	118,965	61,503	6,839	113	5,114	192,535
NACIMIENTO	4,949	80,508	3,185	166	2,143	90,951
NEGRETE	10,444	4,233			981	15,659
QUILACO	42,615	52,156	12,329	1,542	4,348	112,990
QUILLECO	68,582	33,669	4,955	1,057	3,972	112,236
SAN ROSENDO	1,539	6,690			1,024	9,252
SANTA BARBARA	48,772	82,490	15,315	11,379	10,293	168,248
TUCAPEL	38,419	38,865	9,249	560	4,078	91,171
YUMBEL	23,756	47,619	164		1,331	72,870
CONCEPCION	8,439	278,439	33,426	1,150	28,249	349,702
CHIGUAYANTE	105	4,941	48		2,359	7,453
CONCEPCION	356	17,742	594		3,442	22,134
CORONEL	1,021	17,954	6,023	98	3,489	28,585
FLORIDA	1,266	58,132	964		268	60,631
HUALPEN	78	3,426	8	7	2,071	5,590
HUALQUI	1,078	45,251	3,627		3,632	53,588
LOTA		8,372	2,314	9	737	11,432
PENCO	669	9,014	362	24	846	10,916
SAN PEDRO DE LA PAZ	1,624	4,830	659	41	4,127	11,281
SANTA JUANA	615	62,316	11,907	148	2,819	77,805
TALCAHUANO	1,500	4,461	257	404	3,130	9,750
TOME	126	41,998	6,663	420	1,329	50,537
ÑUBLE	537,809	544,188	84,570	67,548	83,610	1,317,725
BULNES	35,268	6,098	14		1,225	42,606
CHILLAN	36,196	13,489	30		4,345	54,061
CHILLAN VIEJO	9,379	9,290	28		1,396	20,092
COBQUECURA	39	50,285	6,556	761	75	57,716
COELEMU	111	27,581	5,440	79	1,521	34,732
COIHUECO	56,101	75,208	19,509	8,313	16,864	175,995
EL CARMEN	44,560	20,540	597		1,035	66,731
NINHUE	13,294	24,348	1,990	17	626	40,274
NIQUEN	37,295	10,962	37		1,115	49,410
PEMUCO	42,214	11,729	1,196	10	1,043	56,192
PINTO	32,070	33,599	16,465	14,195	19,950	116,278
PORTEZUELO	2,546	23,556	1,984	34	1,117	29,237
QUILLON	8,420	29,582	1,878		857	40,737
QUIRIHUE	4,026	52,280	2,402	217	212	59,137
RANQUIL	1,553	22,169	392		759	24,873
SAN CARLOS	67,352	15,530	2,306		2,594	87,782
SAN FABIAN	20,370	54,259	16,857	43,383	20,676	155,545
SAN IGNACIO	32,205	2,444	1		1,683	36,333
SAN NICOLAS	40,715	12,694	1,119		1,697	56,225
TREGUACO	391	26,762	2,331	62	1,745	31,291
YUNGAY	53,701	21,781	3,439	478	3,078	82,477

Los resultados de la aplicación del modelo de riesgo de erosión potencial indican que a nivel regional, aproximadamente 2,5 millones de hectáreas (71,4% de los suelos de la región) presentan un riesgo de erosión potencial entre moderado y muy severo, con predominancia de la clase muy severa (31,8% de los suelos de la región). La presencia de extensas zonas boscosas provocan una disminución porcentual del total de suelos frágiles, y obedece fundamentalmente a la modificación de clases de riesgo ocurrida en cuencas pre-cordilleranas y cordilleranas, donde suelos categorizados con riesgo “moderado” adquieren la clase “baja o nula”, situación cuya causa principal es la presencia de bosque caducifolio mediterráneo andino en la precordillera, y bosque laurifolio valdiviano templado propio del sector de Nahuelbuta.

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

El presente estudio revela que la superficie con algún grado de erosión alcanza los 1,18 millones de ha, lo que representa un 31,9% de la superficie regional. Una parte significativa de esta superficie regional de suelos degradados se ha debido a una fuerte influencia antrópica (secano costero e interior) y la otra parte está asociada a la erosión de tipo geológica registrada en la Cordillera de los Andes. La erosión severa y muy severa varía en torno al 10%, aun cuando se mantiene el predominio del efecto antropogénico como factor acelerador de la pérdida de suelos. Parte de la explicación de la disminución de la erosión severa y muy severa se debe al aumento de la cobertura boscosa en estas regiones, lo que se traduce en una mayor protección del suelo contra el impacto de la gota de lluvia y a la vez aumenta la resistencia a la dispersión por los mayores niveles de materia orgánica del suelo.

Las superficies categorizadas como erosión no aparente (cobertura vegetal sobre el 75%) no son despreciables (38,9%) y una fracción de ellas esconde algún proceso de erosión que está siendo frenado y/o mitigado mediante la aplicación de un programa de recuperación de suelos.

Las comunas con graves problemas de erosión de tipo hídrica se encuentran en el secano costero e interior de la región; Quirihue, Coelemu, Treguaco, Florida, Yumbel y Ninhue. Los agentes aceleradores evidenciados en estas zonas están constituidos por la deforestación (tala de bosques), el cambio de uso del suelo a la producción agrícola, las quemas e incendios forestales. Pinto, San Fabián, Antuco y Alto Biobío se constituyen como las comunas con la mayor superficie (en cantidad de hectáreas) presentando erosión (predominio geológico o natural) “severa” y “muy severa”. Suman en conjunto una cifra superior a las 180.000 ha, representando el 52,2% de la superficie regional categorizada bajo alguna de estas dos clases.



Predomina los niveles de riesgo regional de erosión actual bajo a moderado. Mientras que el riesgo de erosión potencial se sitúa entre una categoría de severa y muy severa, lo que revierte preocupación si no se considera una capa vegetal protectora de suelo. Sin embargo, si este análisis se realiza en sectores del secano de la región, la superficie con un riesgo actual y potencial de erosión hídrica son significativamente mayores.

La metodología resulta ser apta y los resultados obtenidos fueron validados (33 áreas muestrales) con un nivel de confiabilidad superior al 70%, a pesar de la alta dinámica silvoagropecuaria de la región, que reduce los porcentajes de acierto en la categorización de erosión. Se requiere que la actualización de la cartografía temática sea recurrente, sino la información se convierte rápidamente en obsoleta. En este sentido, el uso de información satelital LANDSAT 5 TM más coberturas biogeofísicas (suelo, topografía, vegetación y clima) son adecuados para cualificar y cuantificar el fenómeno de la degradación de los suelos y niveles de riesgos de erosión.

Finalmente, la cartografía actual de la Región del Bío-Bío de suelos degradados enriquece el escenario en términos de información, lo que permitiría identificar con mayor claridad los lugares que requieren mayor focalización de recursos financieros, administrativos y humanos, dónde los procesos de degradación se han acelerado y cuáles son las zonas críticas de degradación ambiental. Con estos resultados se puede establecer una metodología para promover políticas más efectivas y eficientes de conservación de suelos.

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 del Bío-Bío. Disponible en:
<http://www.bcn.cl/siit/regiones/region8/relieve.htm>. Consultado el 23.11.2010.

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

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

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

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

CONAF-CONAMA-BIRF. 1999. Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Disponible en:
http://otros.conaf.cl/cd_uso_suelos/reg08.pdf. Consultado el 23.11.2010.

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

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

INE. 2010. Instituto Nacional de Estadística: Compendio estadístico regional; Región de Antofagasta. Disponible en:
http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/territorio/division_politico_administrativa/pdf/DPA_COMPLETA.pdf. Consultado el 23.11.2010.

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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 Bío-Bío

CIREN

Centro de Información de Recursos Naturales

Manuel Montt 1164, Providencia.

Fono (56-2) 200 89 00

www.ciren.cl

Santiago de Chile - 2010