



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

Región de Valparaíso

Síntesis de Resultados

Diciembre 2010

SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO
INSTITUTO DE DESARROLLO AGROPECUARIO
OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS
CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL

InnovaChile
CORFO



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

■ Región de Valparaíso

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

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

Región de Valparaíso

Síntesis de Resultados - Diciembre 2010

Publicación N° 145

Registro de propiedad intelectual: 200593

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 V Región de Valparaíso es de 1,6 millones de hectáreas.

Para la V Región existe una superficie actual de suelos erosionados (clasificados en categorías de erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de 907 mil hectáreas, lo que representa el 56,7% 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 más afectadas son Calle Larga (73%), Llay-Llay (77,6%) y San Antonio (80,1%). Cabildo, Petorca y San Esteban se constituyen como las comunas con la mayor superficie de suelos erosionados bajo las categorías “severa” y “muy severa”.

En cuanto al riesgo de erosión actual las categorías predominantes son moderadas y severa que representan el 55,7% de la superficie regional. El riesgo de erosión potencial severa y muy severa corresponde a 75,8% de los suelos de la región.

El uso de información de línea base generalizada de suelos, vegetación y clima reduce la precisión de la clasificación de erosión y los niveles de riesgo. La metodología planteada 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, V Región de Valparaíso.

El abordaje de esta problemática demanda una cuantificación actual y potencial de la erosión en Chile, pero los estudios de degradación de recursos naturales, erosión y fragilidad existentes en el país son escasos o se presentan a escalas generalizadas, y los estudios de mayor detalle son muy localizados por el alto costo que ello implica.

Los primeros testimonios de la pérdida de suelo se remonta a los estudios del botánico francés Claudio Gay, los historiadores Benjamín Vicuña Mackenna y R.E Mc Lure y el científico alemán Federico Albert quienes manifestaron la enorme fragilidad de los suelos y el daño ambiental de las malas prácticas antrópicas en amplias zonas de Chile y qué consecuencias tendrían para las futuras generaciones. Diversos estudios contemporáneos de la situación de los suelos en Chile han sido desarrollados por diferentes instituciones públicas, privadas y universidades, a saber; Elgueta y Jirkal en 1943, Rodríguez en el año 1957, INFOR en 1964, IREN y Ministerio de Agricultura en el año 1966, Peña (1983, 1985), Honorato et al (2001), Pérez y González (2001), Soto (1997), Bonilla et al. (2010), Castro y Aliaga (2010), entre otros. Estos estudios revelan que existe una situación preocupante de superficie erosionada en Chile, especialmente en las zonas silvoagropecuarias del secano costero e interior, es decir, desde las regiones de Coquimbo a Los Lagos.



Sin embargo, el único estudio disponible con información espacial para todo el territorio nacional fue realizado en 1979, por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN), donde se estableció la situación del recurso suelo y vegetación en lo que se refiere a la degradación progresiva, a fin de formular un prediagnóstico de la situación de la erosión de los suelos a nivel generalizado (escala 1: 500.000).

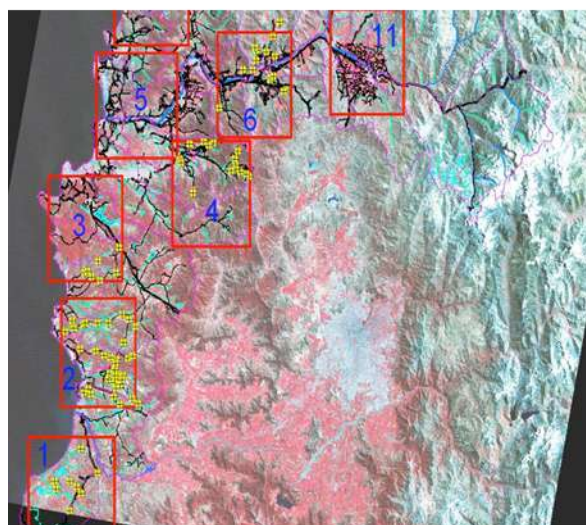


Figura 2. Estudio de la erosión con imagen Landsat 5 TM.

Durante las recientes décadas, los grandes avances en desarrollo de modelos empíricos, conceptuales y físicos (Merrit *et al.*, 2003; Saavedra, 2005) que utilizan, en la mayoría de ellos, datos obtenidos de sensores remotos, integrados en sistemas de información geográfica (SIG), permiten obtener nuevas herramientas de gestión de recursos naturales (Datta y Schack-Kirchner, 2010), beneficiando con ello a las ciencias del suelo, al cubrir amplias extensiones a menores costos (figura 2).

En este marco, el año 2004 y 2006, el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), en conjunto instituciones del Ministerio de Agricultura, a través de dos proyectos con financiamiento CORFO, elaboró mapas de erosión actual y potencial, en varias zonas de Chile central. Estos estudios ratifican la preocupante situación de los suelos agropecuarios, en cuanto a su degradación antrópica.

En el año 2007, las instituciones CIREN, CONAF, SAG, ODEPA e INDAP, todos pertenecientes al Ministerio de Agricultura de Chile, ejecutan el presente estudio, que tiene el objetivo de elaborar la cartografía de erosión potencial y actual de suelos a nivel semidetallado 1:50.000 y generalizado a escala 1:250.000 en todo el país, utilizando técnicas de geomática, teledetección y SIG.

El presente informe presenta las estadísticas y resultados finales para la Región de Valparaíso, en el marco del proyecto “Determinación de la erosión actual y potencial del territorio de Chile, financiado por el INNOVA-CORFO.

ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Región de Valparaíso cuya superficie es de 1,6 millones de hectáreas, se sitúa entre los 32°02' y 33°57' de latitud sur y entre los meridianos 70° y 72° longitud oeste. De esta superficie, 39, 5 mil hectáreas corresponden a territorio insular compuesto por las islas de Pascua, Salas y Gómez, San Félix y San Ambrosio, y el Archipiélago Juan Fernández compuesto por las islas Alejandro Selkirk, Robinson Crusoe y Santa Clara (BCN, 2010). Su territorio orográfico es complejo, compuesto por unidades morfológicas de planicies litorales fluviales y marinas y un área montañosa interior, donde las Cordilleras de la Costa y de los Andes se imbrican desde el punto de vista del relieve. La Depresión Intermedia se presenta en forma de cuencas o de corredores longitudinales en el sentido Norte-Sur, no conformando un rasgo orográfico continuo (INE, 2010). Desde el punto de vista climático, la Región de Valparaíso presenta un clima templado mediterráneo, pero con situaciones opuestas dentro de la región, puesto que hacia el norte del río Aconcagua se presenta la semiaridez, en el litoral, es más húmedo o mediterráneo costero, mientras que en la cordillera, se presenta el frío de altura (BCN, 2010).

Las formaciones vegetacionales que se desarrollan en la V Región de Valparaíso se caracterizan por la estepa de arbustos espinosos. En los sectores más soleados, se encuentran arbustos como el guayacán, algarrobo, quillay, molle y otros asociados al espino. En la zona costera se puede encontrar especies como el peumo, boldos y maitenes, junto a hierbas y gramíneas. En las áreas más húmedas como fondos de quebradas se pueden encontrar litres, quilas, pataguas. Sobre los 400 y 1.000 msnm, existe el denominado bosque esclerófilo, formado por especies arbóreas como quillay, litre, molle, belloto, boldo y peumo. (BCN, 2010). En los cerros La Campana y El Roble se desarrollan comunidades formadas por bosques de robles (*Nothofagus obliqua*) entre los 800 y 900 m de altura. Otra especie importante es la palma chilena que se encuentra en diferentes áreas, en pequeñas comunidades, en la Cordillera de la Costa. En la zona cordillerana, predomina la estepa arbustiva subandina y la estepa andina de altura y achaparrada.

Los suelos de la quinta región predominan los alfisoles (sectores costeros) con buen grado de evolución. En la vertiente poniente de la Cordillera de la Costa estos suelos se han desarrollado directamente a partir de roca granítica, presentando un fuerte incremento del contenido de arcilla en profundidad. Inceptisoles (preferentemente en la costa) de desarrollo incipiente que forman inclusiones en toda la región, generalmente son derivados de terrazas marinas altas y de relieve plano a ligeramente inclinado, de colores pardo rojizos. Y Mollisoles (valle central) Suelos aluviales, en la zona que comprende a la Región de Valparaíso alcanzan un desarrollo moderado. Cabe mencionar que sobre estos suelos se desarrolla la mayor parte de la agricultura de riego de la zona.

Se detalla la superficie (cuadro 1) por tipo de uso del suelo (CONAF, 2002) obtenida para la región al 2000:

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

Usos del suelo	Superficie 1995		Superficie 2000	
	(ha)	%	(ha)	%
Áreas urbanas e industriales	29.876,1	1,9	33.808,5	2,1
Terrenos agrícolas	186.204,8	11,6	190.434,0	11,9
Praderas y matorrales	887.815,0	55,4	872.942,7	54,4
Bosques	164.292,9	10,2	170.881,9	10,7
Humedales	5.874,4	0,37	5.855,5	0,37
Áreas desprovistas de vegetación	222.395	13,9	222.341,2	13,9
Cuerpos de agua o aguas Continentales	102.331,2	6,4	102.341,0	6,4
TOTAL	1.603.996,1	100,0	1.603.996,1	100,0



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	
V	(mill.)	0.05	0.23	0.15	0.46	0.89
	%	5.7	25.9	16.4	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

Los problemas más serios de desertificación, tanto de origen geológico como antrópica, se observan en la zona central de Chile, particularmente, en el secano costero e interior de las regiones V a la X, donde los procesos de deforestación, cambio de uso de suelos, incendios y sobreexplotación de recursos, entre otros, se manifiestan con mayor claridad en el paisaje. 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 274 mil hectáreas son consideradas de alta fragilidad, que corresponde a un 30% del área de estudio.

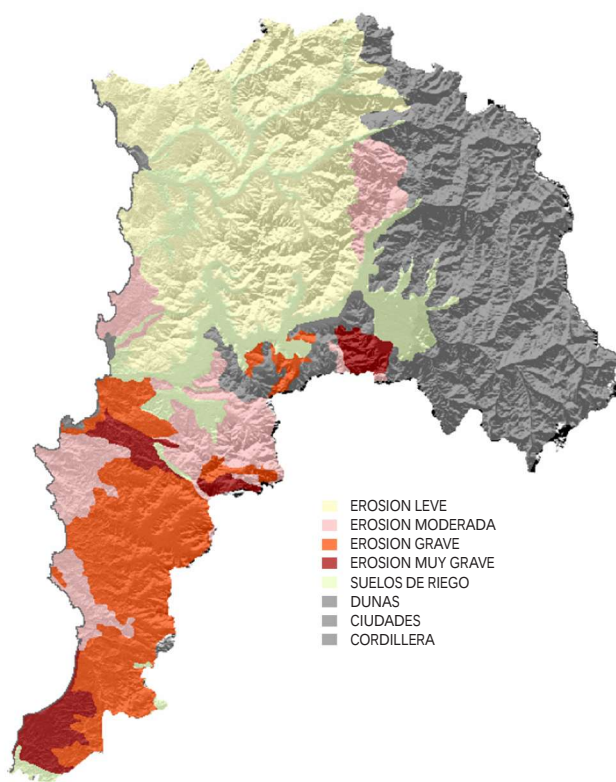


Figura 3. Mapa de nivel de erosión para la Región de Valparaíso, IREN-1979.

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).

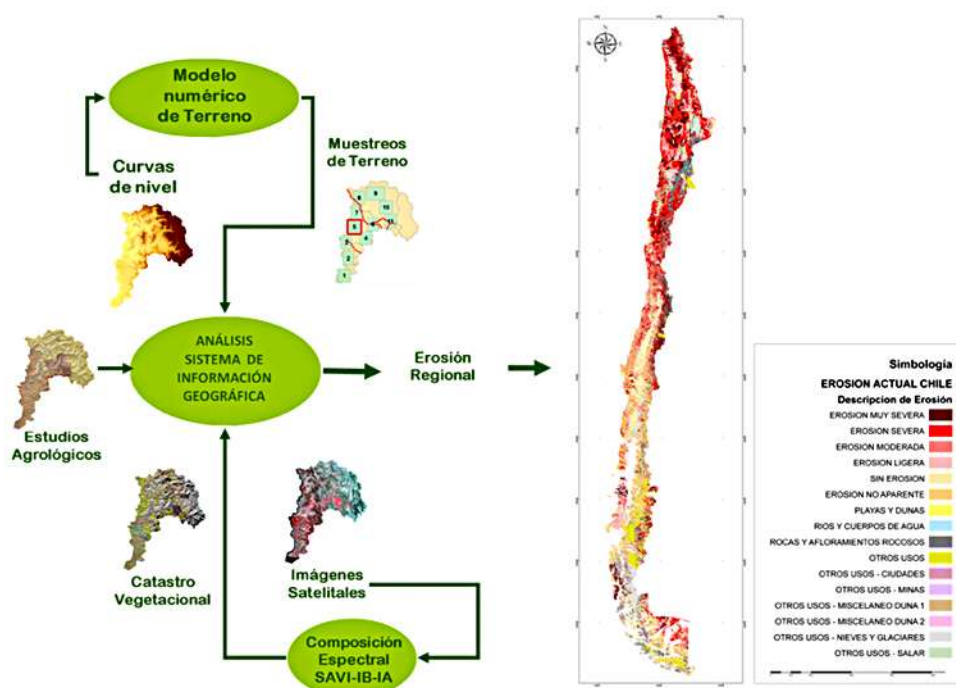


Figura 4. Diagrama metodológico del modelo de erosión actual.

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).

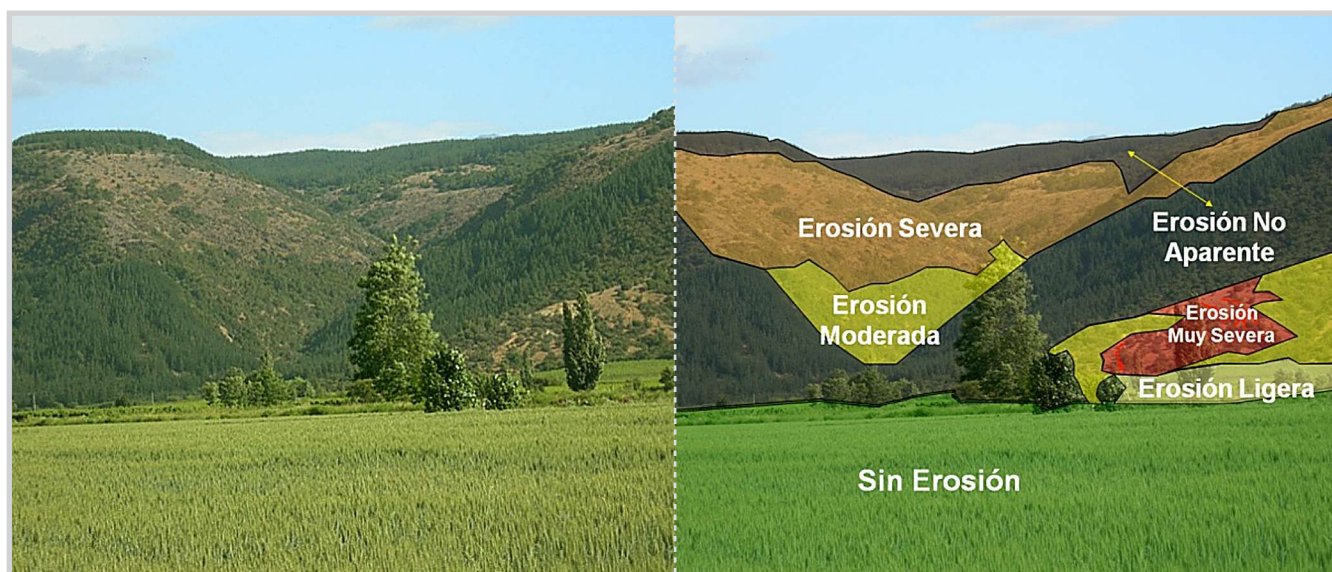


Fotografía 5. Clasificación de erosión de suelo, caso erosión muy severa.

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 15 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 coordenado (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%.

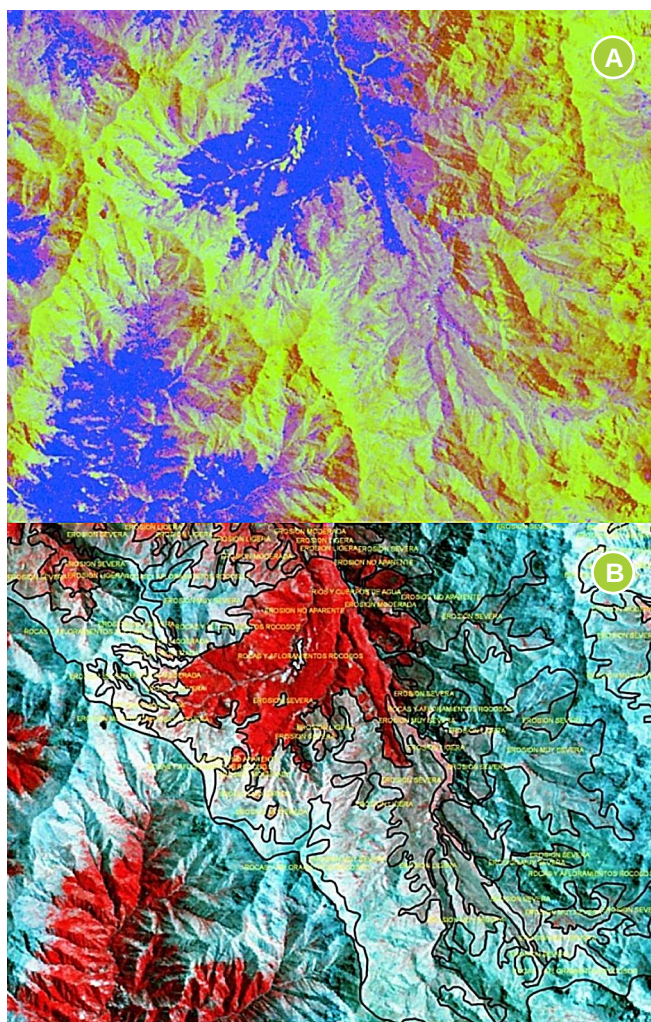


Figura 5. (a) Índice de erosión, composición falso color 2,1,3 para análisis visual de erosión actual.

(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).



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).

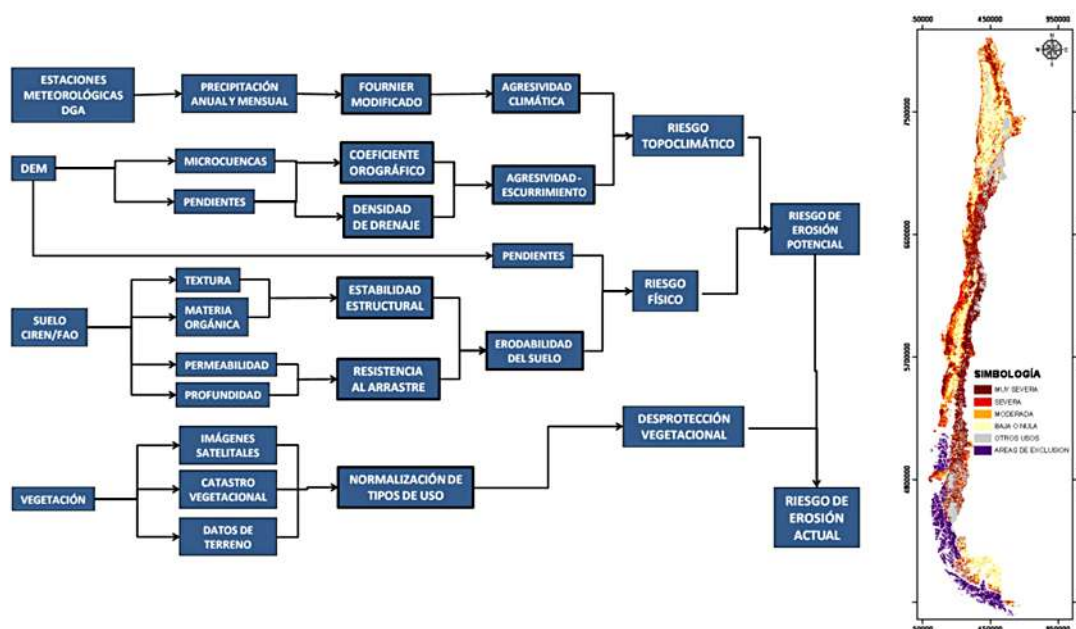


Figura 7. Diagrama metodológico del modelo de riesgo de erosión potencial y actual.

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.

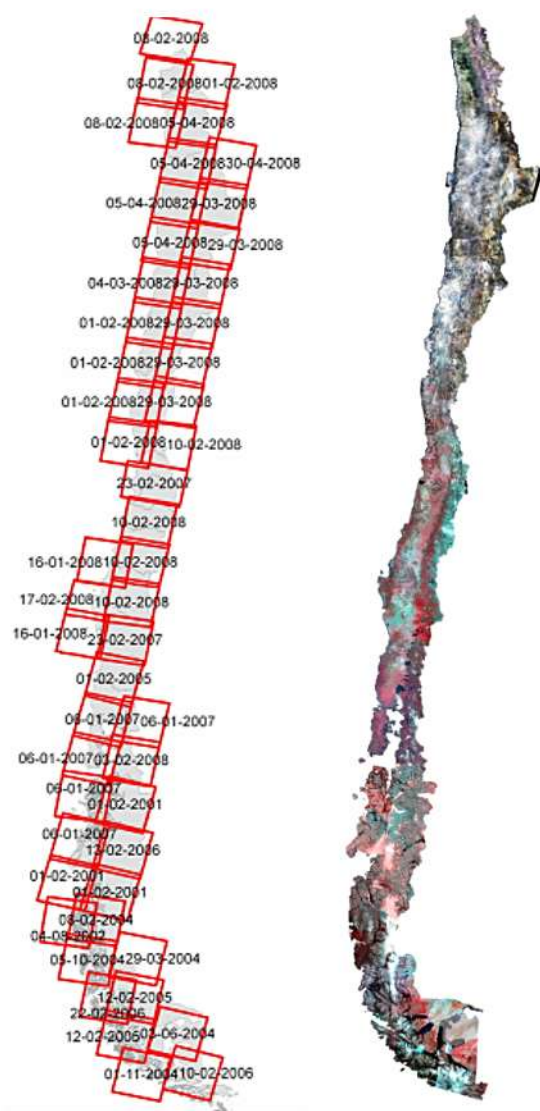
La agresividad climática es un índice que da cuenta de la erosividad de la lluvia, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación. La construcción de este índice se basó en la espacialización de registros pluviométricos proporcionados por 459 estaciones meteorológicas de la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

Apoyo al sistema de incentivos de recuperación de suelos degradados (SIRSD) del Ministerio de Agricultura. 2005-2006. Informe de proyecto, información digitalizada. Determinación y evaluación de la fragilidad de laderas en cuencas de la V Región. (2004-2006). Informe de proyecto, información digitalizada.

Determinación de la erosión y fragilidad de los suelos del secano costero de la V Región. (2006-2008). 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).

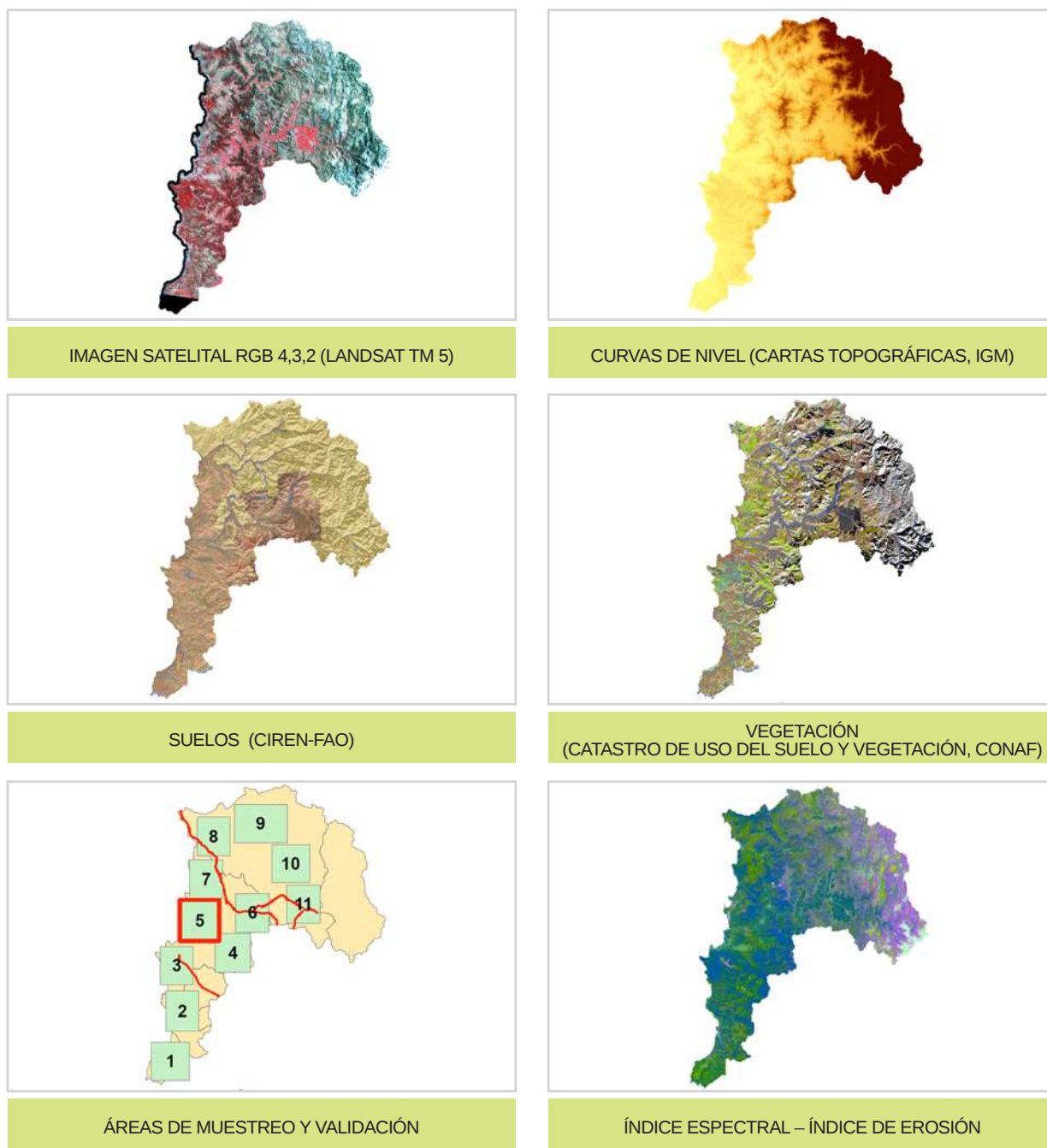
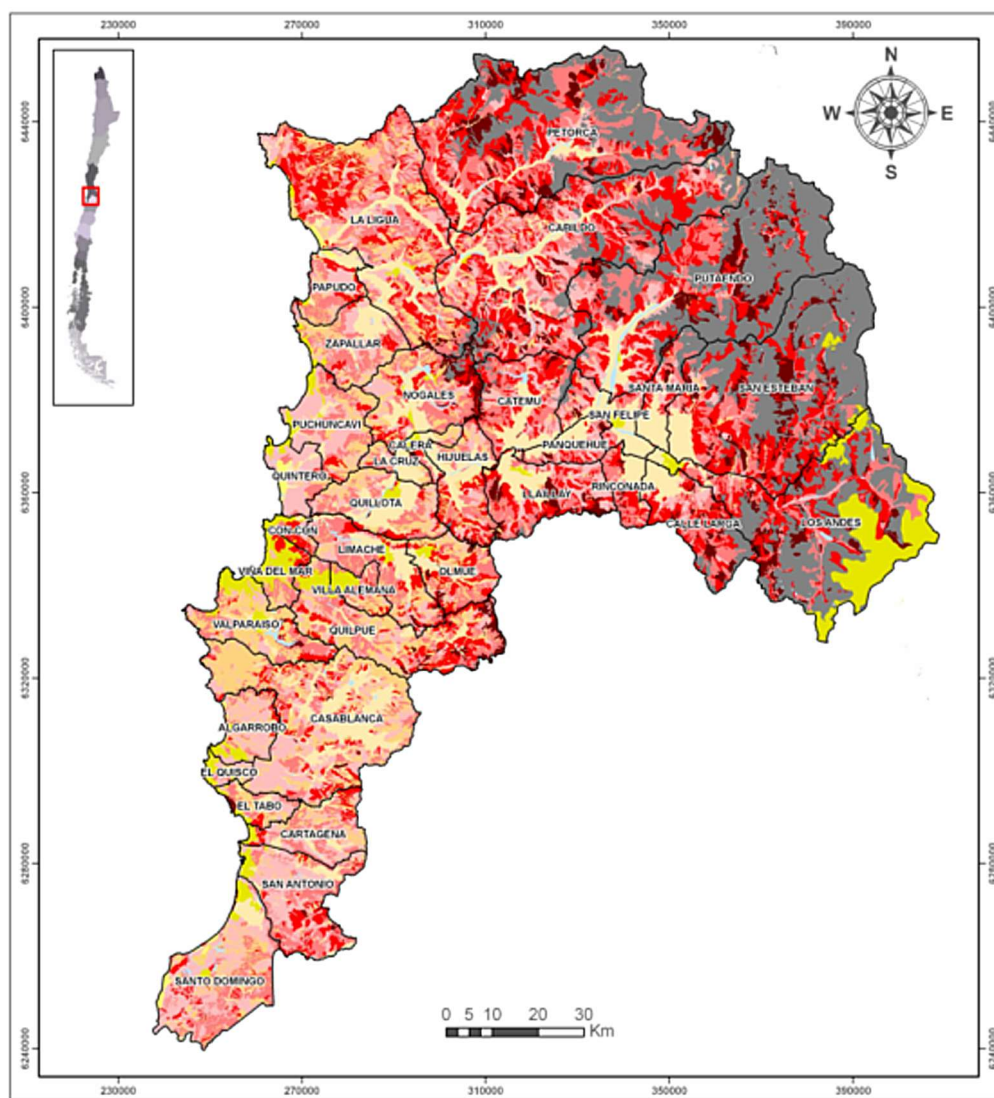


Figura 9. Cobertura de información biogeofísica para la determinación de la erosión actual en la Región de Valparaíso – modelo de erosión actual.

CARTOGRAFÍA EROSIÓN ACTUAL

V REGION DE VALPARAISO



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

Figura 10. Mapa de erosión actual para la V Región de Valparaíso.

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

Cuadro 3. Superficie de erosión actual en la Región de Valparaíso (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
VALPARAISO	161.955	244.249	324.561	258.168	79.966	162.637	368.429	906.943	1.599.964
LOS ANDES	16.255	9.750	41.368	57.402	27.703	2.240	150.763	136.222	305.481
CALLE LARGA	5.124	3.175	8.305	8.209	3.935	179	3.447	23.624	32.374
LOS ANDES	2.144	2.250	13.536	17.992	9.238	247	79.154	43.017	124.562
RINCONADA	3.300	849	4.223	3.055	491	308	45	8.617	12.270
SAN ESTEBAN	5.687	3.476	15.304	28.145	14.039	1.507	68.116	60.964	136.275
MARGA - MARGA	11.684	18.163	29.192	19.429	4.165	26.372	8.876	70.948	117.881
LIMACHE	5.671	5.645	9.423	4.032	703	4.802	1.461	19.803	31.737
OLMUE	2.230	2.540	5.158	5.053	989	6.223	874	13.741	23.068
QUILPUE	3.361	8.965	11.589	9.476	2.472	13.457	4.176	32.502	53.496
VILLA ALEMANA	423	1.013	3.021	869		1.890	2.364	4.902	9.580
PETORCA	32.229	73.661	109.649	96.544	22.279	35.248	89.987	302.133	459.597
CABILDO	11.539	26.597	32.404	35.802	5.877	4.370	28.779	100.680	145.368
LA LIGUA	10.790	19.767	32.217	23.927	1.002	22.023	6.950	76.913	116.676
PAPUDO	1.510	6.074	3.964	1.998	42	2.413	660	12.078	16.661
PETORCA	6.239	10.758	32.821	33.225	15.342	1.230	52.446	92.146	152.060
ZAPALLAR	2.151	10.464	8.242	1.592	17	5.213	1.152	20.316	28.832
QUILLOTA	27.100	16.721	24.684	11.881	4.795	19.756	6.459	58.082	111.397
CALERA	1.559	713	1.009	418	61	1.038	1.080	2.201	5.879
HIJUELAS	6.671	3.814	5.913	4.715	968	4.221	581	15.409	26.882
LA CRUZ	2.964	931	1.558	188	54	1.885	245	2.730	7.825
NOGALES	6.787	6.285	9.467	4.752	3.416	6.889	2.917	23.920	40.513
QUILLOTA	9.119	4.978	6.737	1.808	296	5.724	1.635	13.820	30.298
SAN ANTONIO	11.131	53.796	36.818	11.219	974	24.286	12.282	102.806	150.505
ALGARROBO	77	8.627	2.182	797		3.933	2.001	11.606	17.616
CARTAGENA	3.123	4.944	8.910	2.112		4.605	854	15.966	24.548
EL QUISCO	57	1.646	719			1.098	1.595	2.364	5.115
EL TABO	761	2.244	2.113	510	406	3.162	803	5.274	10.000
SAN ANTONIO	3.748	15.698	10.676	5.158	358	2.132	2.047	31.889	39.817
SANTO DOMINGO	3.364	20.637	12.218	2.642	210	9.355	4.982	35.707	53.408
Sn. FELIPE DE ACONCAGUA	37.913	28.975	46.144	47.916	19.221	3.421	82.162	142.257	265.753
CATEMU	6.858	5.879	10.480	7.728	1.202	1.266	2.884	25.289	36.296
LLAILLAY	5.983	7.155	7.996	7.492	4.435	1.013	841	27.078	34.915
PANQUEHUE	4.844	2.188	2.863	1.430	524	8	206	7.004	12.063
PUTAENDO	6.437	9.758	18.377	27.393	11.761	599	72.749	67.289	147.074
SAN FELIPE	8.098	2.300	3.671	1.580	554	409	1.993	8.105	18.605
SANTA MARIA	5.694	1.695	2.758	2.294	745	126	3.487	7.492	16.799
VALPARAISO	25.643	43.184	36.706	13.776	829	51.312	17.901	94.495	189.351
CASABLANCA	21.357	19.672	17.370	6.896	390	29.510	353	44.328	95.548
CON-CON	229	1.185	476	1.720	7	417	1.397	3.389	5.433
PUCHUNCAVI	1.816	11.236	7.341	1.461		6.391	1.890	20.039	30.136
QUINTERO	894	6.708	3.339	212		1.081	2.762	10.259	14.996
VALPARAISO	1.347	3.586	6.317	1.705	431	12.166	5.576	12.040	31.129
VINA DEL MAR		796	1.862	1.782		1.746	5.923	4.440	12.110

* 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 V Región es de 906.943 hectáreas, lo que representa el 56,7% de la superficie regional y el 73,6% de los suelos de la V 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.

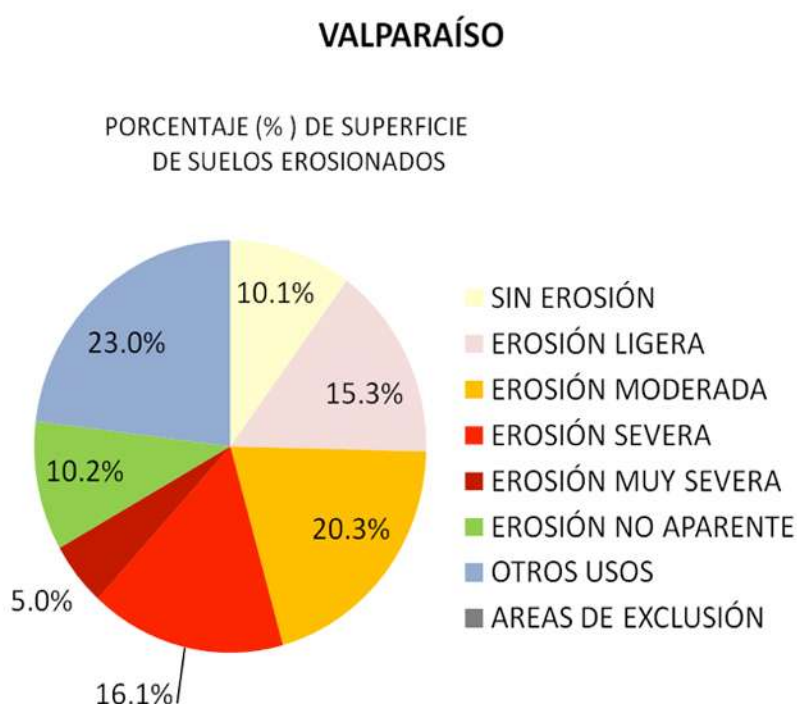
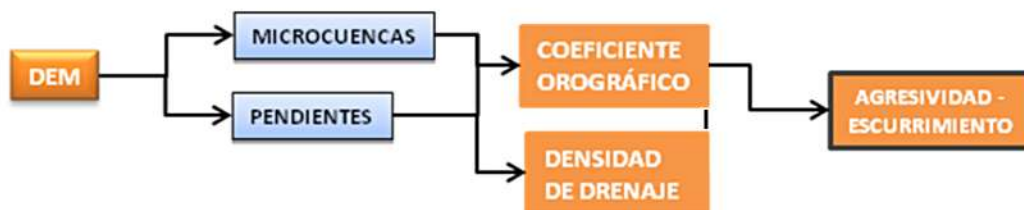


Figura 11. Porcentaje regional (%) de superficie de suelos erosionados.

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.

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.

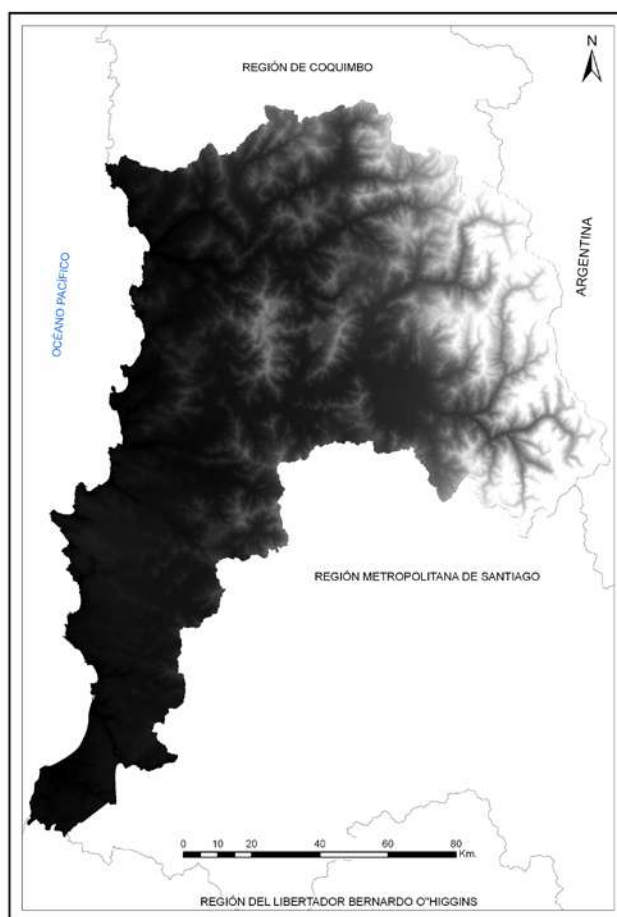


Figura 12. Modelo Global de elevación digital ASTER-GDEM.



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).

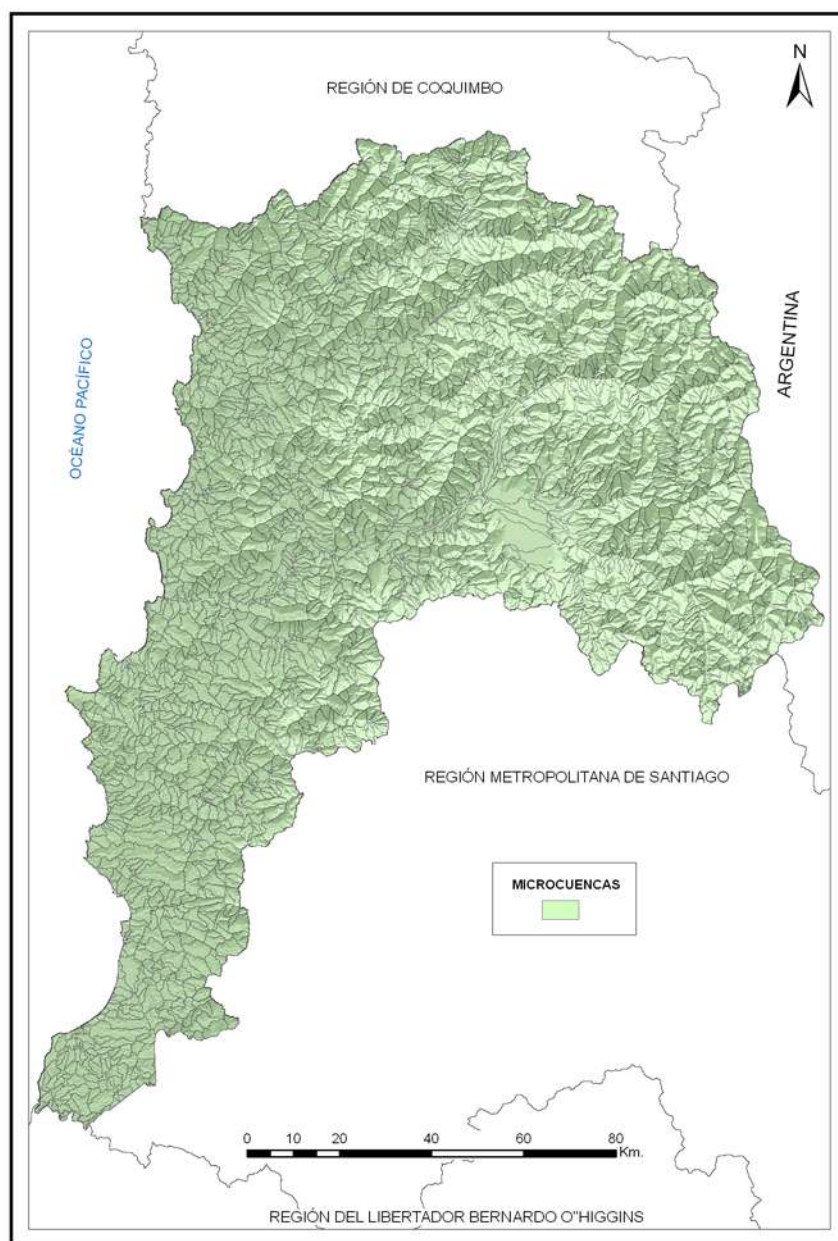


Figura 13. Microcuencas para la V Región de Valparaíso.

Coefficiente 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).

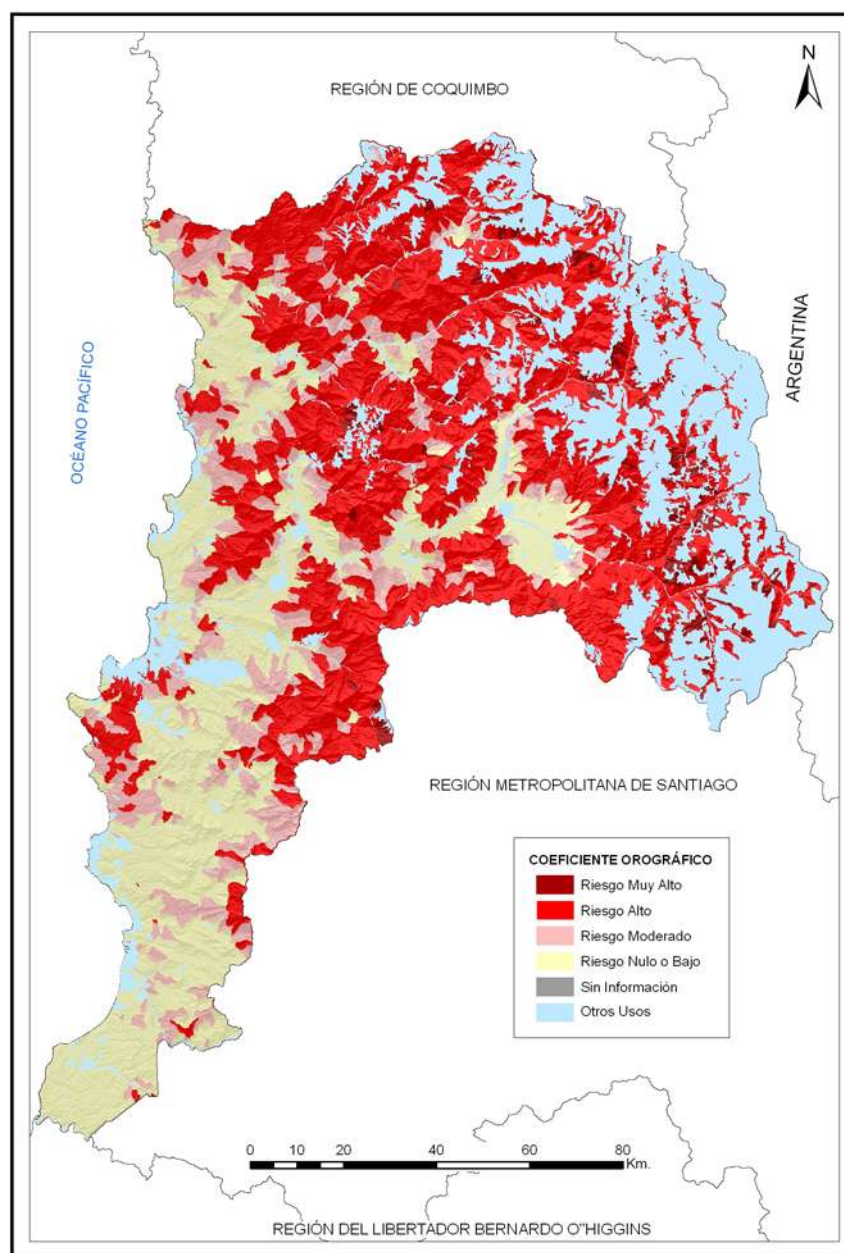


Figura 14. Índice de coeficiente orográfico.



Cartografía de pendientes.

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

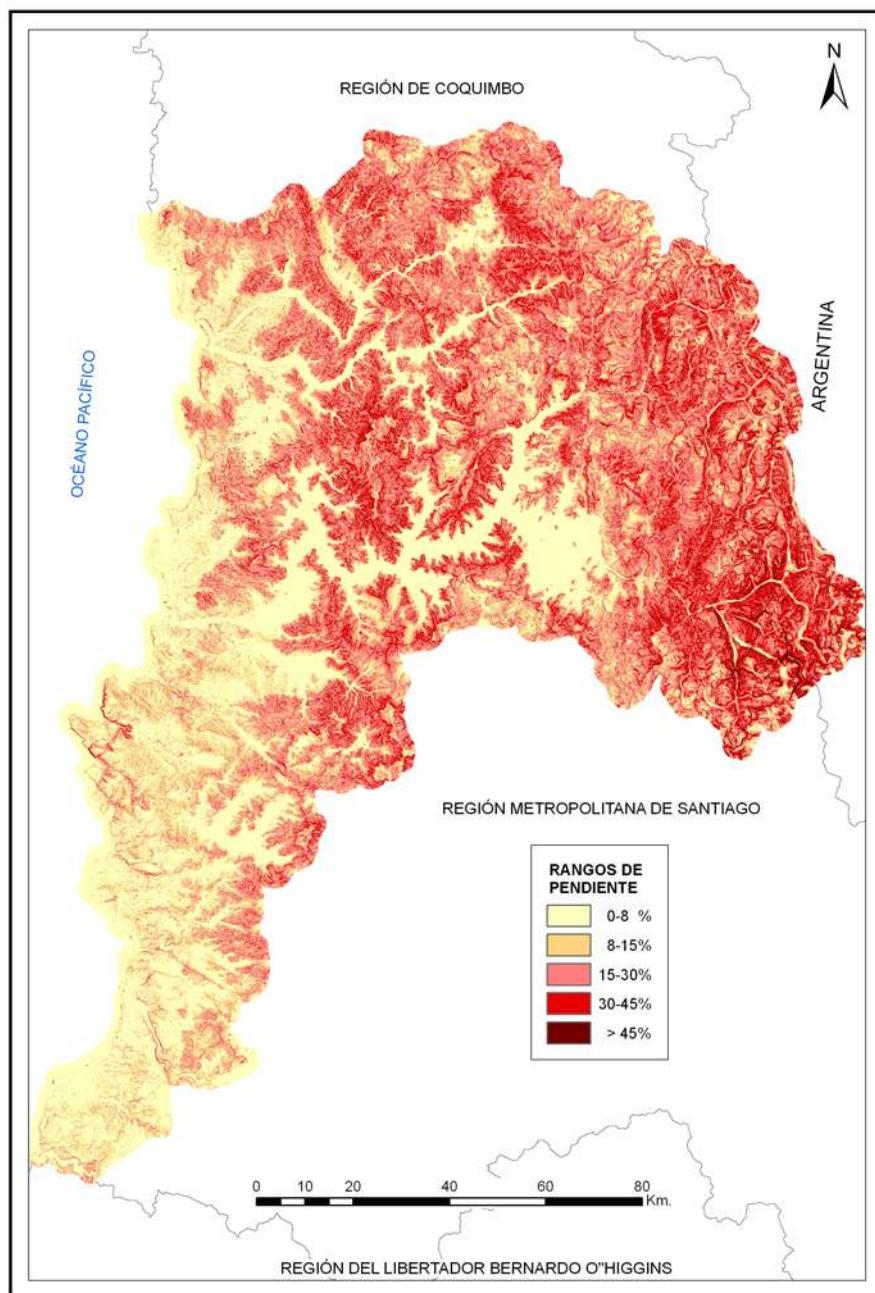


Figura 15. Índice de riesgo por pendientes.

Densidad de drenes.

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

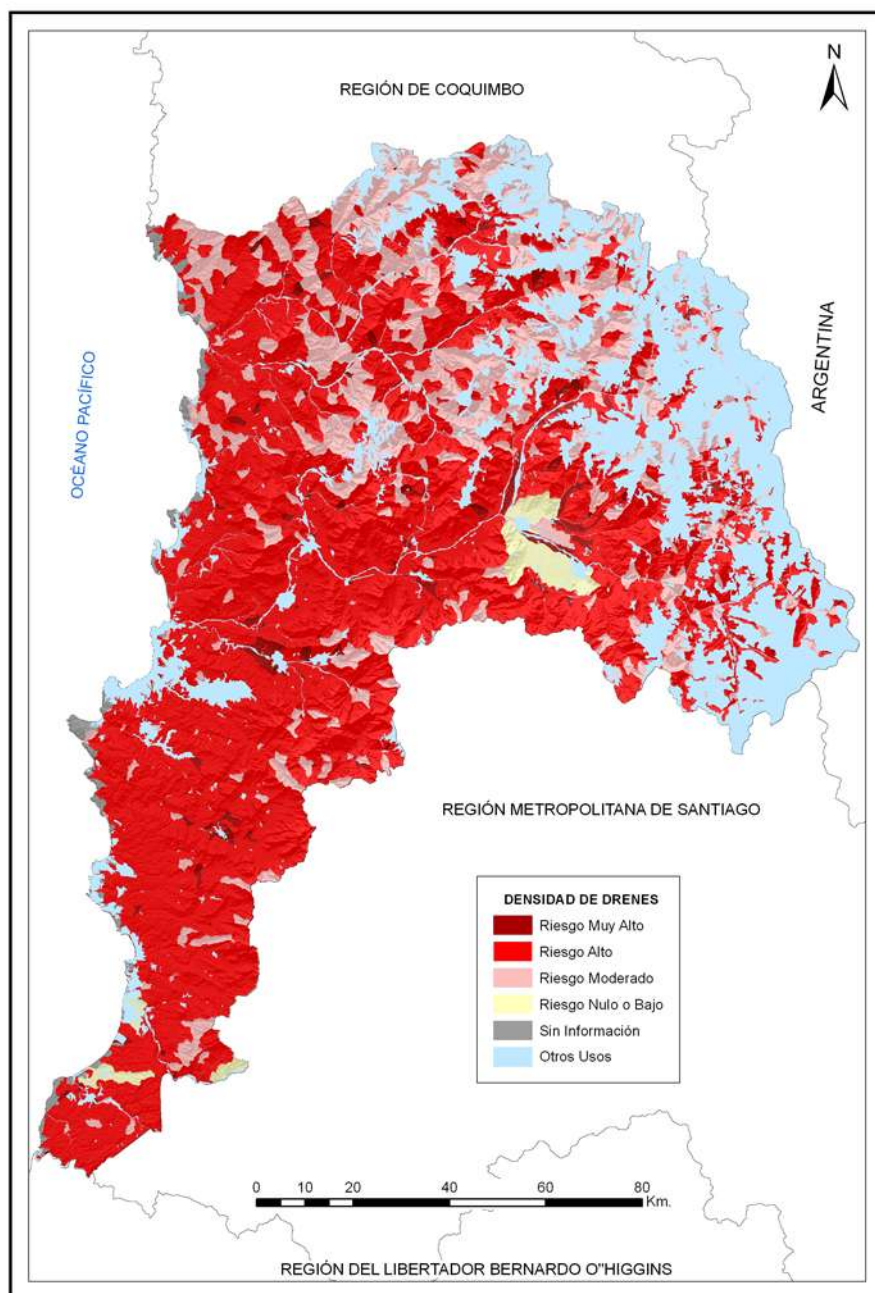


Figura 16. Índice densidad de drenes.

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

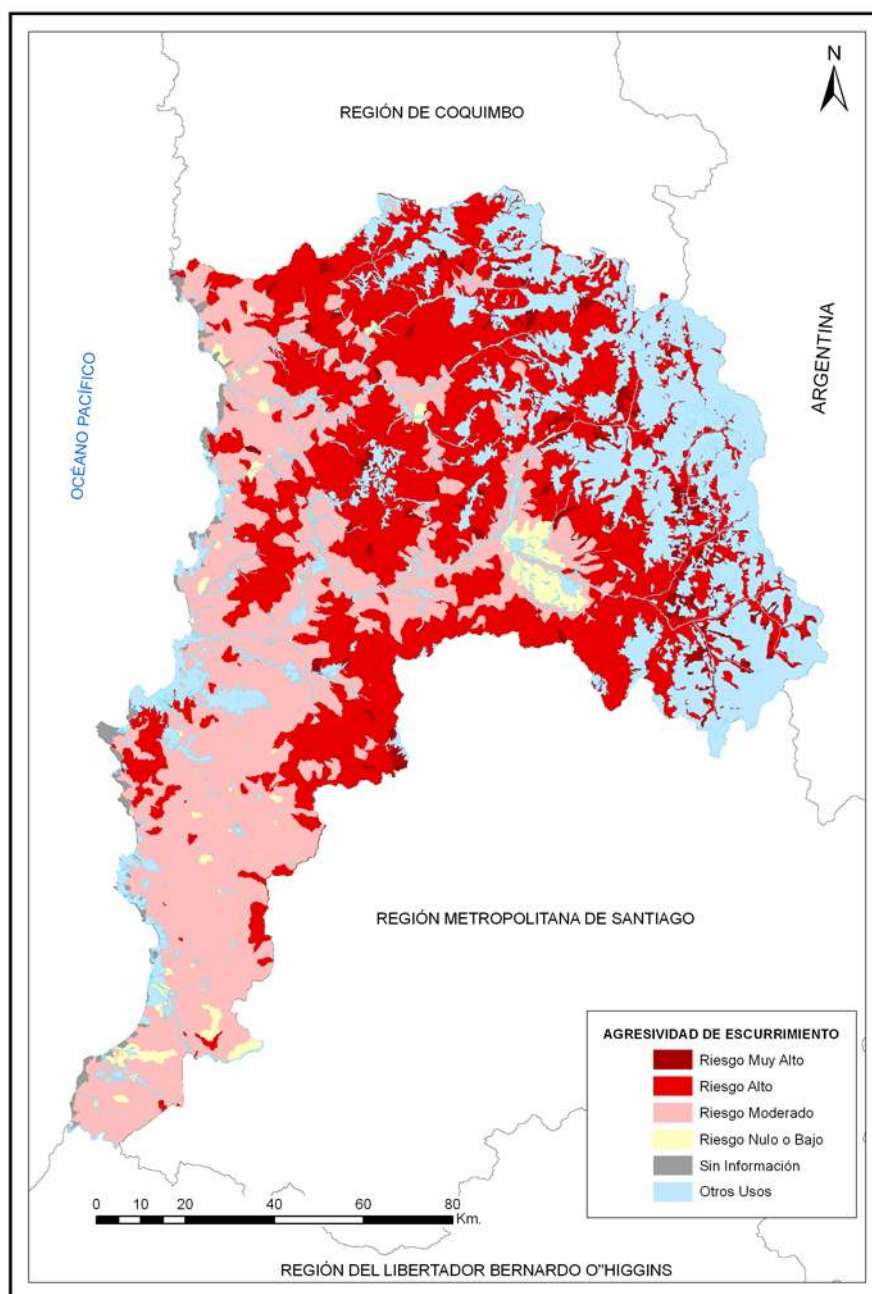
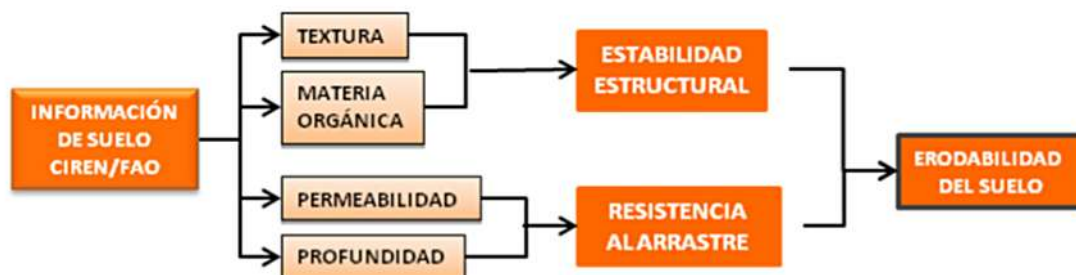


Figura 17. Índice de agresividad escurrimiento.

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).

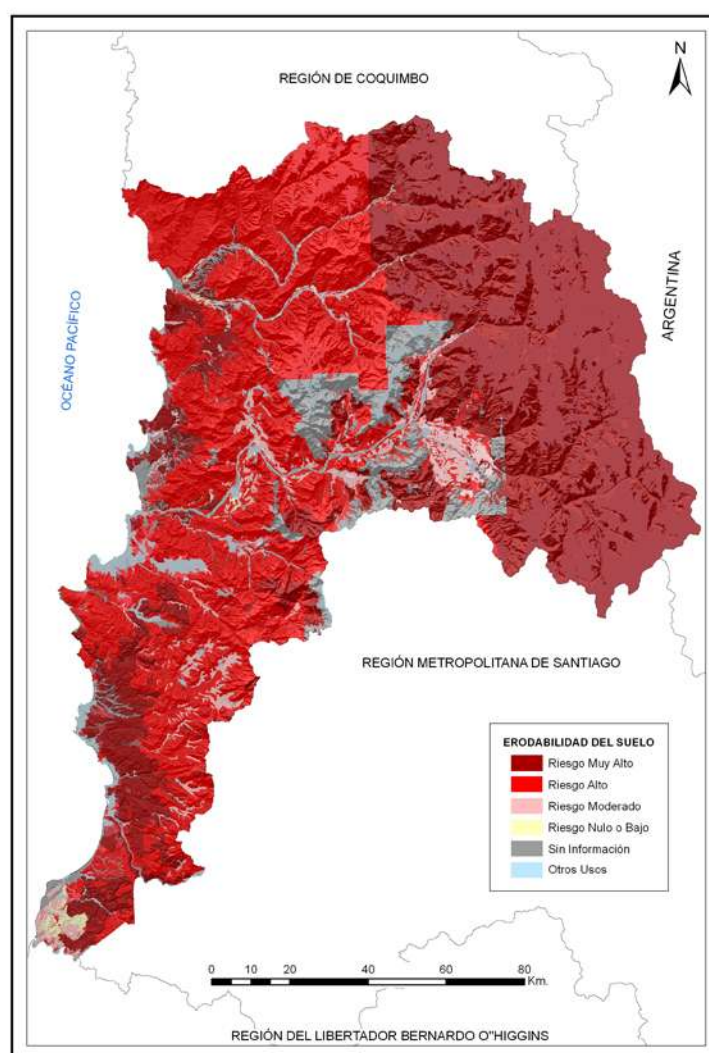


Figura 18. Índice de erodabilidad de suelo.



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.

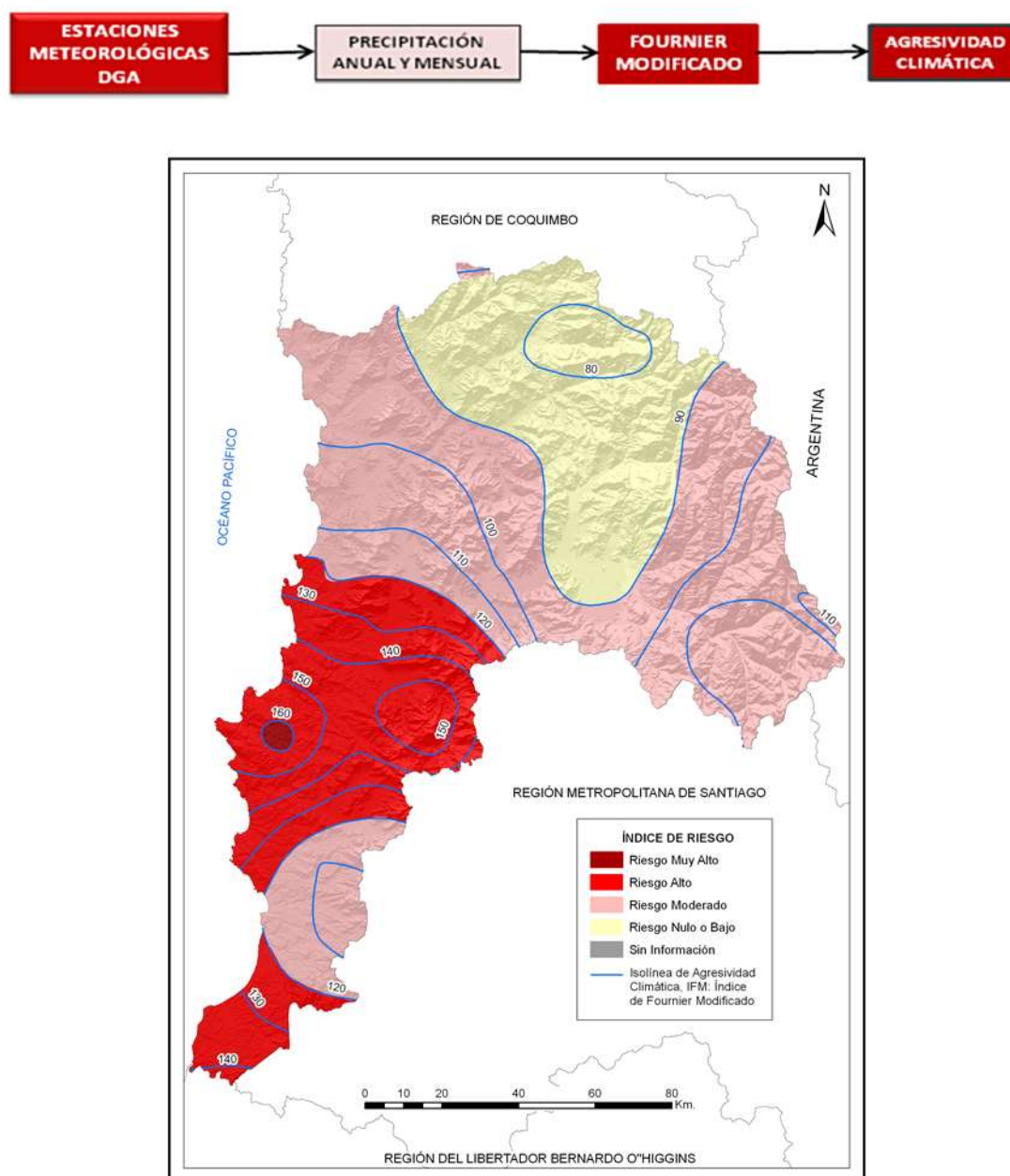


Figura 19. Índice de agresividad climática.

Índice de riesgo topoclimático.

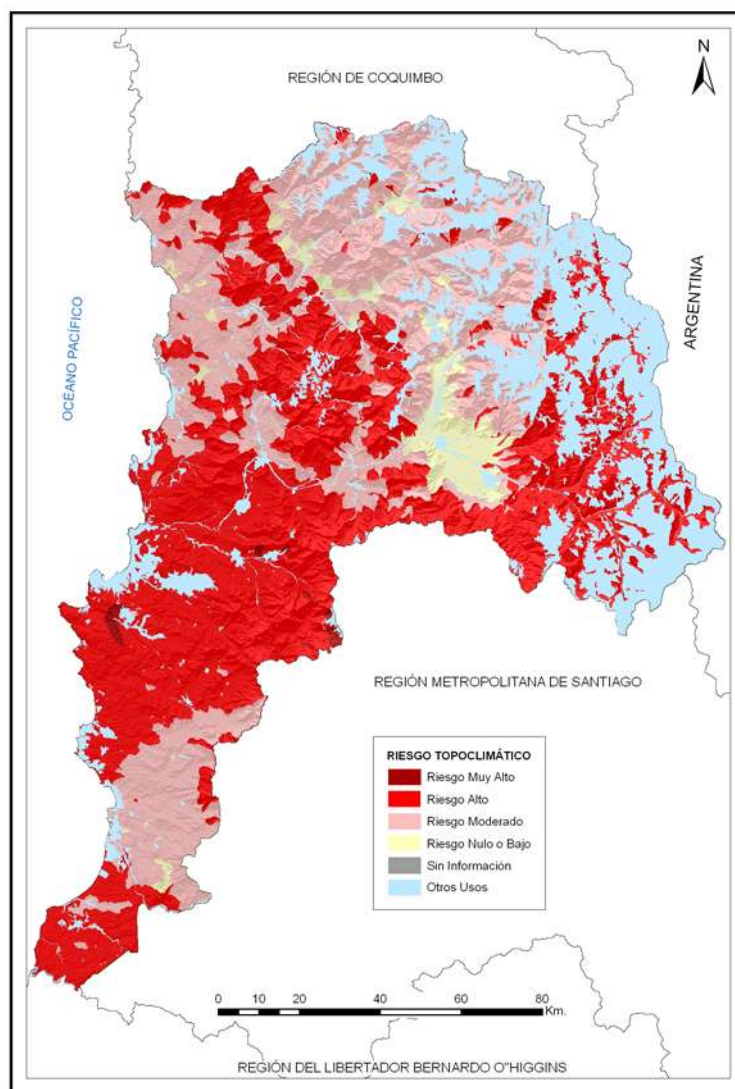
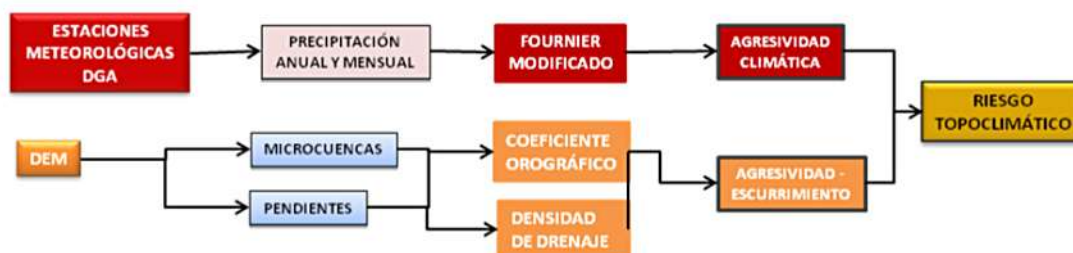


Figura 20. Índice de riesgo topoclimático.

Índice de riesgo físico.

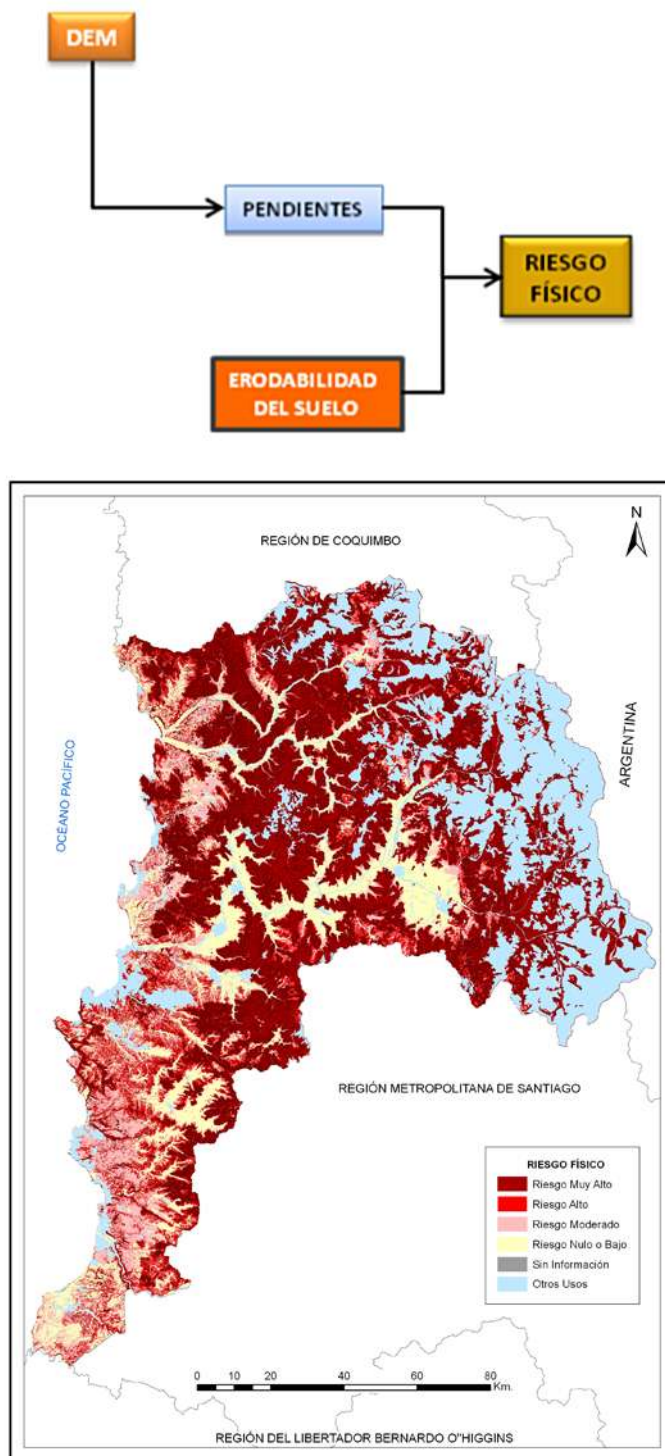
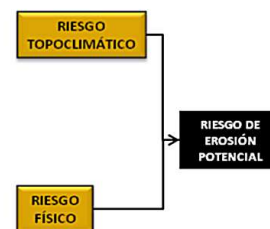


Figura 21. Índice de riesgo físico.

Índice de riesgo de erosión potencial.

El modelo es el resultado de la combinación de tres grupos de variables básicas: topográficas-hidroológicas, 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
VALPARAISO	106.566	189.169	420.613	505.569	378.821	1.600.738
LOS ANDES	12.402	4.707	42.129	93.705	152.692	305.637
CALLE LARGA	3.872	1.075	10.412	13.227	3.785	32.372
LOS ANDES	1.339	391	10.540	32.882	79.504	124.656
RINCONADA	2.778	981	3.690	4.518	301	12.267
SAN ESTEBAN	4.413	2.261	17.487	43.079	69.101	136.341
MARGA - MARGA	78	13.109	51.734	43.055	9.897	117.874
LIMACHE		6.997	15.406	7.340	1.991	31.735
OLMUE	14	1.785	5.501	14.602	1.165	23.067
QUILPUE	64	3.596	26.501	19.073	4.258	53.491
VILLA ALEMANA		730	4.326	2.041	2.484	9.581
PETORCA	30.275	48.483	98.571	191.526	90.870	459.725
CABILDO	6.669	8.442	27.477	72.296	30.476	145.360
LA LIGUA	13.014	15.670	32.918	50.164	4.979	116.745
PAPUDO	2.125	6.037	4.700	3.301	536	16.698
PETORCA	6.140	10.845	23.994	58.100	52.967	152.046
ZAPALLAR	2.328	7.489	9.483	7.665	1.912	28.876
QUILLOTA	9.432	16.917	28.705	48.731	7.604	111.390
CALERA	635	835	726	2.632	1.051	5.879
HIJUELAS	2.891	3.288	7.054	12.753	894	26.881
LA CRUZ	35	2.567	1.832	3.062	329	7.825
NOGALES	5.833	2.129	8.723	20.374	3.451	40.510
QUILLOTA	37	8.099	10.370	9.910	1.879	30.295
SAN ANTONIO	11.350	47.839	67.783	10.311	13.405	150.689
ALGARROBO	24	2.223	12.467	917	2.006	17.636
CARTAGENA	3.248	6.900	8.155	5.407	856	24.566
EL QUISCO		894	2.455	54	1.735	5.139
EL TABO	271	4.697	3.357	319	1.374	10.018
SAN ANTONIO	5.198	15.625	13.257	2.940	2.828	39.847
SANTO DOMINGO	2.610	17.501	28.093	674	4.605	53.483
Sn. FELIPE DE ACONCAGUA	33.947	15.861	43.615	87.607	84.772	265.801
CATEMU	4.127	2.581	6.754	19.522	3.311	36.295
LLAILLAY	5.069	2.012	11.650	15.116	1.063	34.909
PANQUEHUE	3.995	930	2.118	4.699	319	12.062
PUTAENDO	7.471	6.944	18.441	40.583	73.690	147.129
SAN FELIPE	8.006	1.610	2.096	4.386	2.510	18.608
SANTA MARIA	5.279	1.785	2.556	3.300	3.878	16.798
VALPARAISO	9.081	42.253	88.076	30.633	19.580	189.623
CASABLANCA	8.229	23.148	46.928	16.238	1.048	95.590
CON-CON		1.013	2.687	216	1.529	5.446
PUCHUNCAVI	536	7.131	10.430	9.512	2.564	30.172
QUINTERO	274	6.350	5.257	1.329	1.849	15.059
VALPARAISO	42	4.425	17.642	2.639	6.468	31.217
VINA DEL MAR		185	5.131	699	6.124	12.139

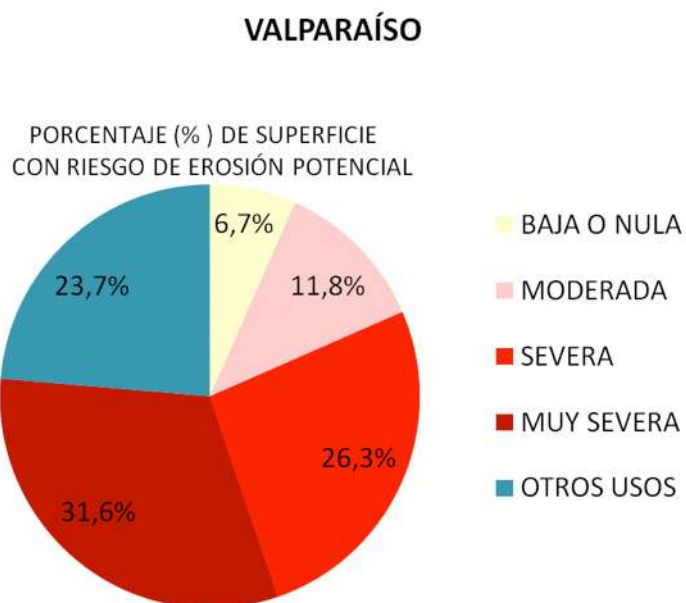


Figura 22. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión potencial, a nivel regional.



Figura 23. Sector Quilpue-Limache-Olmué
Coordenadas E 307247 – N 6344374
Clase de erosión: Severa

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION POTENCIAL REGIÓN DE VALPARAÍSO

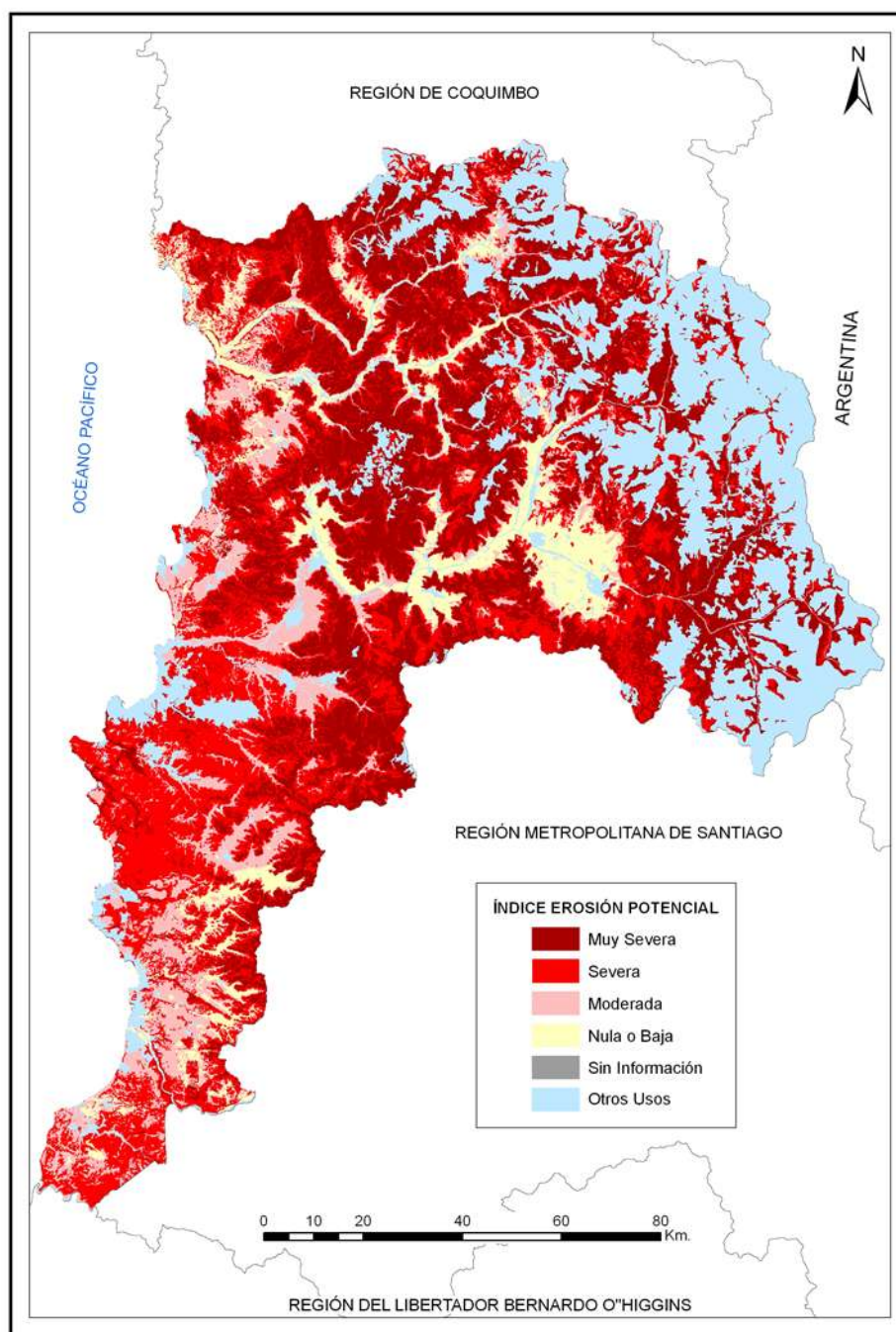


Figura 24. Riesgo de erosión potencial para la V Región de Valparaíso.

Índice de desprotección vegetal.

Este indicador corresponde al grado de descubertura que otorgan al suelo las clases de cobertura vegetal y uso del suelo, así como la facilidad que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial (figura 25). Este índice se obtuvo a partir de la actualización del catastro de vegetación nativa de CONAF, mediante técnicas de segmentación de clases y procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat 5 TM con resolución de pixel de 30 metros.

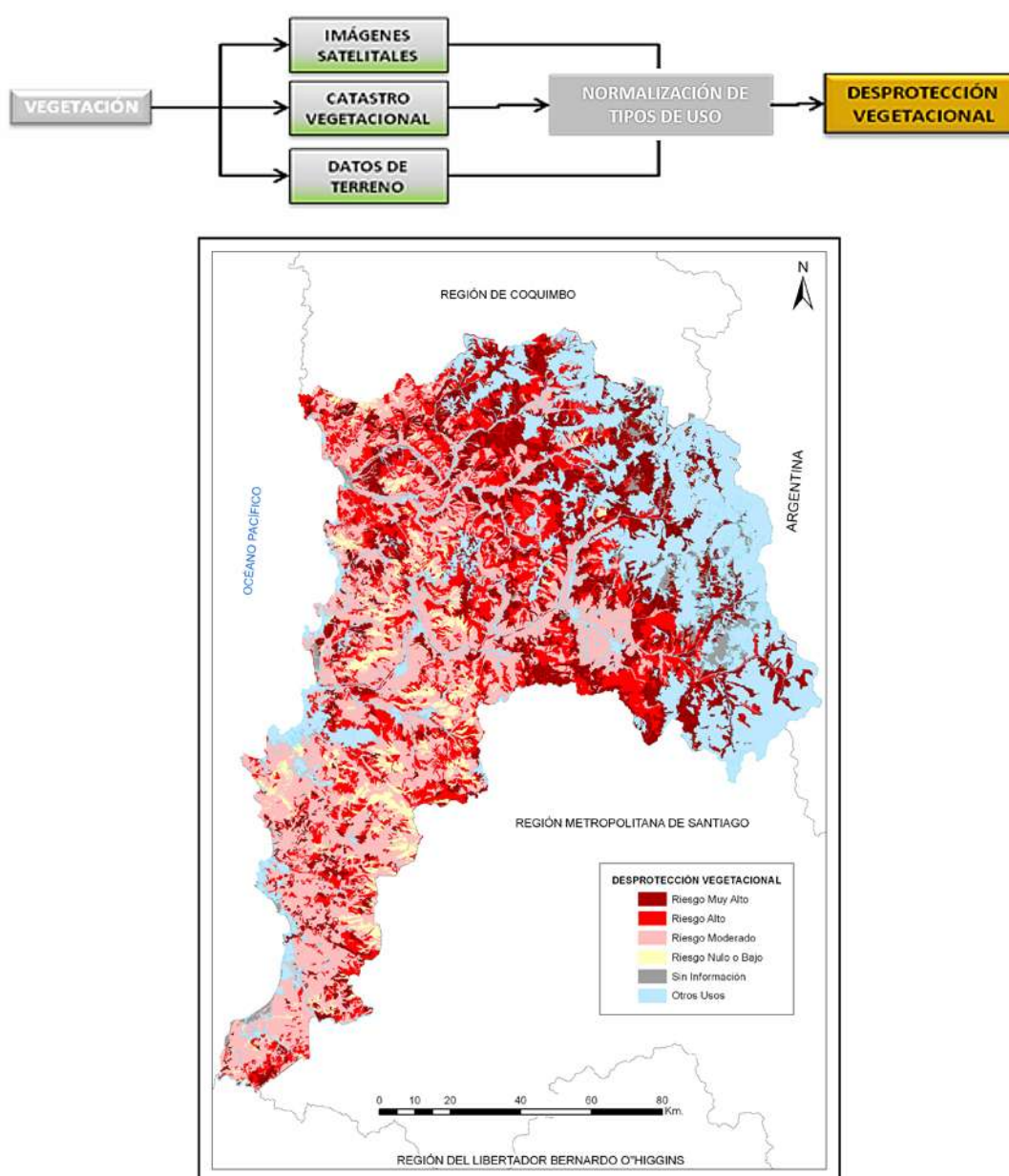


Figura 25. Índice de desprotección vegetal.

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

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

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



Índice de riesgo de erosión actual

Refleja la potencialidad que tiene el suelo a ser erosionado si se mantienen las condiciones actuales de vegetación (figura 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
VALPARAISO	192,299	564,496	326,682	138,249	379,012	1,600,738
LOS ANDES	15,829	21,452	70,870	44,794	152,693	305,637
CALLE LARGA	3,878	4,508	15,529	4,690	3,767	32,372
LOS ANDES	3,022	6,795	16,276	19,079	79,485	124,656
RINCONADA	2,825	2,350	4,982	1,855	255	12,267
SAN ESTEBAN	6,103	7,798	34,083	19,170	69,186	136,341
MARGA - MARGA	15,730	75,978	14,868	1,408	9,889	117,874
LIMACHE	1,304	23,455	4,887	101	1,989	31,735
OLMUE	4,729	12,643	4,067	473	1,154	23,067
QUILPUE	8,239	35,423	4,737	829	4,264	53,491
VILLA ALEMANA	1,458	4,457	1,177	6	2,483	9,580
PETORCA	46,999	151,045	117,643	52,918	91,120	459,725
CABILDO	12,871	39,697	39,443	22,782	30,567	145,360
LA LIGUA	18,485	57,388	31,540	4,320	5,012	116,745
PAPUDO	2,411	10,495	3,140	129	524	16,698
PETORCA	9,537	26,898	38,095	24,394	53,122	152,046
ZAPALLAR	3,695	16,568	5,424	1,293	1,897	28,876
QUILLOTA	26,061	51,611	22,993	3,165	7,559	111,390
CALERA	1,730	1,714	722	661	1,053	5,879
HIJUELAS	6,425	13,060	5,870	623	903	26,881
LA CRUZ	704	5,831	800	158	331	7,825
NOGALES	11,971	12,517	11,000	1,600	3,422	40,510
QUILLOTA	5,231	18,488	4,602	123	1,851	30,295
SAN ANTONIO	18,755	97,374	20,172	985	13,403	150,689
ALGARROBO	282	12,609	2,675	65	2,005	17,636
CARTAGENA	6,445	13,475	3,137	645	863	24,566
EL QUISCO		2,670	725	6	1,738	5,139
EL TABO	313	7,583	723	17	1,383	10,018
SAN ANTONIO	7,297	24,358	5,138	216	2,837	39,847
SANTO DOMINGO	4,417	36,680	7,774	36	4,576	53,483
Sn. FELIPE DE ACONCAGUA	40,588	48,271	58,505	33,678	84,758	265,801
CATEMU	4,258	13,095	12,450	3,177	3,316	36,295
LLAILLAY	5,321	12,703	13,709	2,116	1,061	34,909
PANQUEHUE	4,012	2,998	3,068	1,675	309	12,062
PUTAENDO	13,348	12,476	22,976	24,564	73,765	147,129
SAN FELIPE	8,315	4,067	2,935	818	2,473	18,608
SANTA MARIA	5,335	2,933	3,368	1,327	3,835	16,798
VALPARAISO	28,337	118,765	21,630	1,301	19,589	189,623
CASABLANCA	21,276	62,470	9,992	797	1,056	95,590
CON-CON		2,449	1,395	71	1,531	5,446
PUCHUNCAVI	3,450	19,762	4,071	341	2,549	30,172
QUINTERO	440	10,773	1,971	35	1,840	15,059
VALPARAISO	1,451	20,808	2,468	16	6,474	31,217
VINA DEL MAR	1,720	2,503	1,734	43	6,140	12,139

CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE EROSION ACTUAL REGIÓN DE VALPARAÍSO

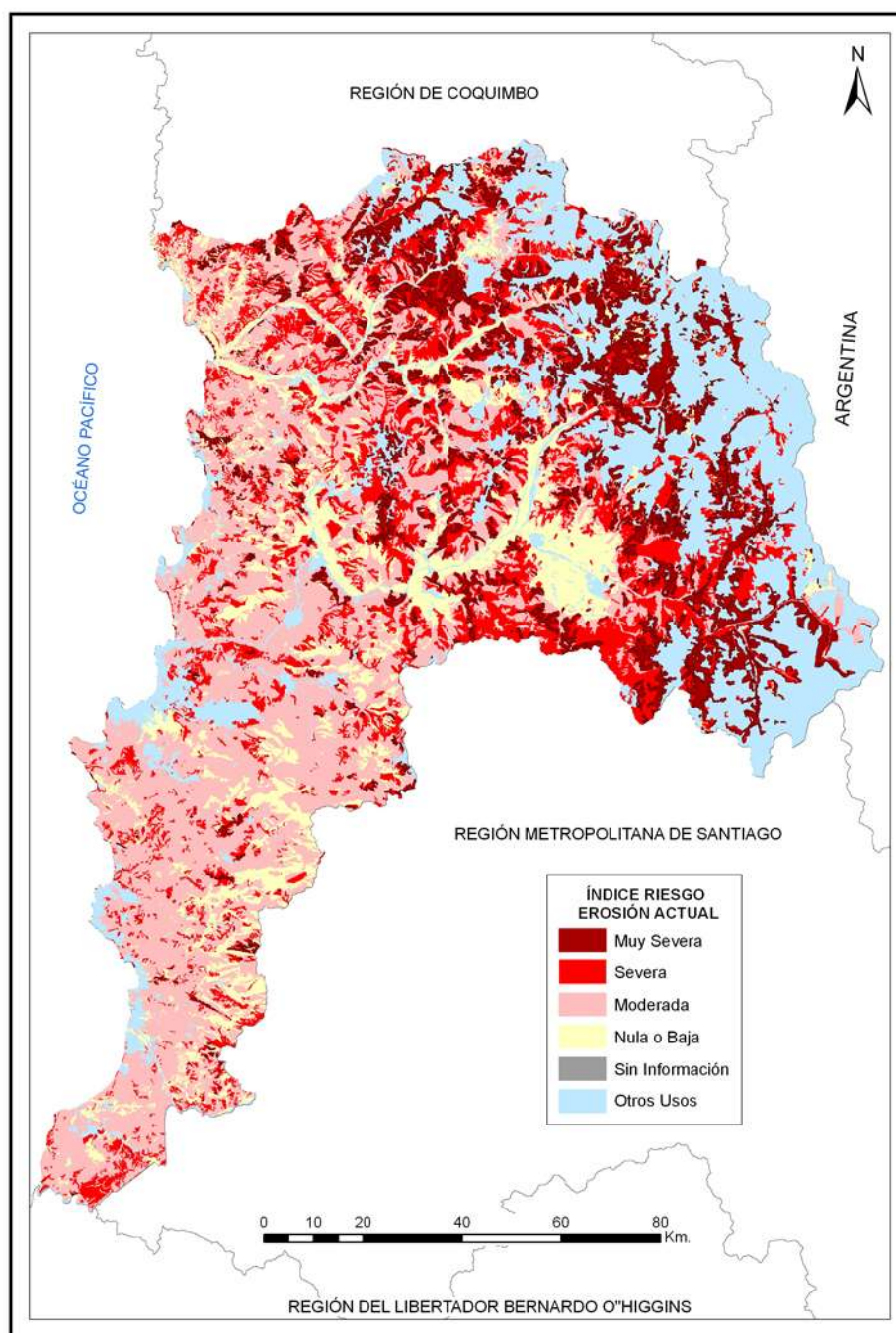


Figura 26. Riesgo de erosión actual para la V Región de Valparaíso.

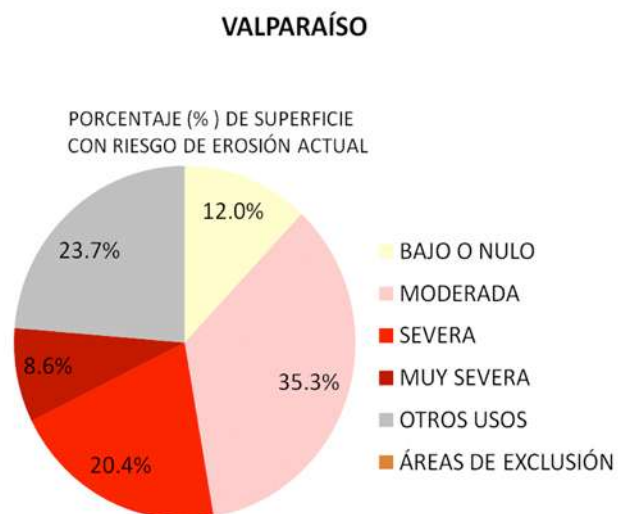


Figura 27. Porcentaje (%) superficie con riesgo de erosión actual. A nivel regional.



Figura 28. Sector Casablanca - Valparaíso
Coordenadas E 259094 – N 6314303

Clase de erosión: muy severa tipo: laminar, surcos, cárcavas, remoción en masa

A partir de los resultados (22 y 27), el riesgo actual severo y muy severo, no es despreciable, casi el 30 de la superficie de la región (465.000 mil hectáreas). El riesgo de erosión potencial severa y muy severa representa el 57,9% de la Región de Valparaíso.

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 aborda el análisis de la erosión actual y potencial en una escala de trabajo de mucho mayor detalle (1:50.000 y 1:250.000), además de un área de estudio ostensiblemente mayor al estudio de 1979. Estas diferencias metodológicas dificultan el análisis comparativo entre ambos estudios, aunque cabe destacar que la radiografía actual es un avance importante en términos de actualización, precisión y confiabilidad de la información de los suelos de la V Región de Valparaíso.

En esta región, el porcentaje de erosión severa y muy severa es de un 21,1%. Mientras en la zona norte del país predomina la erosión natural, a partir de esta región lo hace la erosión antrópica o acelerada. Los agentes más significativos son el hídrico, eólico en el sector costero, y en menor grado la formación de dunas litorales. 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 de la Región de Valparaíso con algún grado de erosión es de 906.943 hectáreas (15,3 ligera; 20,3% moderada; 16,1% severa; 5% muy severa). Las comunas más afectadas son Calle Larga (73%), Llay-Llay (77,6%) y San Antonio (80,1%).

Cabildo, Petorca y San Esteban se constituyen como las comunas con la mayor superficie de suelos erosionados bajo las categorías "severa" y "muy severa", antecedente de utilidad para concentrar los esfuerzos en el desarrollo de buenas prácticas agrícolas de conservación y mitigación, considerando la superficie destinada a la agricultura de alta rentabilidad.



En la Región de Valparaíso los resultados del modelo IREPOT indican que aproximadamente 1,1 millones de hectáreas (91,37% de los suelos de la región) tienen condiciones de fragilidad en cualquiera de sus clases, con predominancia de la clase muy severa (41,4% de los suelos de la región). Al incorporar la cobertura vegetal actual (estepas de arbustos espinosos, es decir con índice de desprotección de suelo moderado), el porcentaje regional de suelos con riesgo de erosión, disminuye a un 84,3%, con una notable disminución de los suelos clasificados en la clase severa y muy severa y un consiguiente aumento en la clase moderada y baja o nula), poniendo en evidencia el relevante efecto protector que constituye la vegetación.

El uso de información de línea base generalizada de suelos vegetación y clima, particularmente, en los sectores pre y cordilleranos pueden reducir la precisión de la clasificación de erosión y los niveles de riesgo.

Los resultados obtenidos en este estudio tienen una gran importancia para el agricultor que necesita información real para tomar decisiones que le permitan proteger su suelo y así asegurar la actividad agrícola. La principal proyección de esta cartografía temática, es que sea utilizada para la asignación de recursos financieros, administrativos y humanos de los programas de fomento de recuperación de suelos degradados. Finalmente, se esperaría en el futuro, una sincronización y concordancia con el programa satelital Chileno SSOT (Sistema Satelital de Observación Terrestre), que permita actualizar dicha información a un menor costo, mayor precisión y continua en el tiempo, como lo demanda la alta dinámica silvoagropecuaria de esta región.

Agradecimientos

Agradecer a todas las personas que facilitaron y trabajaron en el desarrollo de este estudio, en especial, a los profesionales del MINAGRI de cada región del país. Al equipo de profesionales temáticos y cartógrafos de CIREN que aportaron su experiencia y detalle al trabajo presentado. A los Coordinadores Nacionales de CONAF, SAG, ODEPA e INDAP.

REFERENCIAS

Araneda, A., M. Cisternas, y R. Urrutia. 1999. USLE y análisis isotópicos en la reconstrucción de la historia erosional en una cuenca lacustre. *Bosque (Valdivia)*, vol.20, no.2, p.95-105. ISSN 0717-9200.

BCN. 2010. Biblioteca del Congreso Nacional: Sistema integrado de información Territorial (SIIT); Región de Valparaíso. Disponible en:
<http://www.bcn.cl/siit/regiones/region5/region.htm>. Consultado el 23.11.2010.

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

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

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

CIREN. 2009. Determinación de erosión actual y fragilidad de suelos en la V Región utilizando datos satelitales Y SIG. Proyecto INNOVA-CORFO. Código: 05CR11XM-21. Centro de Información de Recursos Naturales.

CONAF, 2002. Actualización Catastro de Uso del Suelo y Vegetación, V Región de Valparaíso. Disponible en: <http://www.conaf.cl/modules/contents/files/unit0/file/659cb413c72103658b2c550e38e25532.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 Valparaíso. 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 de Valparaíso

CIREN

Centro de Información de Recursos Naturales

Manuel Montt 1164, Providencia.

Fono (56-2) 200 89 00

www.ciren.cl

Santiago de Chile - 2010