



ciren

Centro de Información de Recursos Naturales



HIDROFOR

ZONIFICACIÓN DE ESTÁNDARES Y PARÁMETROS EDAFOCLIMÁTICOS

para la conservación y protección de suelos
y aguas incluidos en la Ley 20.283

REGIONES V - X



Fondo de
Investigación
del Bosque Nativo

HIDROFOR

ZONIFICACIÓN DE ESTÁNDARES Y PARÁMETROS EDAFOCLIMÁTICOS

para la conservación y protección de suelos
y aguas incluidos en la Ley 20.283.

REGIONES V - X



HIDROFOR

Zonificación de estándares y parámetros edafoclimáticos para la conservación y protección de suelos y aguas incluidos en la ley 20.283. Regiones V - X.

INFORME FINAL MAYO - 2016

Publicación CIREN N° 197.

Registro de propiedad intelectual N° 267.230

La presente publicación entrega los resultados obtenidos en el marco del proyecto Zonificación de estándares y parámetros edafoclimáticos para la conservación y protección de suelos y aguas incluidos en la ley 20.283. Regiones V - X, desarrollado durante el periodo 2013 - 2016 con el apoyo financiero del Fondo de Investigación del Bosque Nativo.

Autores:

Juan Pablo Flores V.
Pedro Muñoz A.
Carlos Torres M.
Héctor Sáez C.
Isaac Ahumada F.
Alex Fernández M.
Marcelo Retamal G.
Claudio Olguín M.
Eduardo Martínez H.
Verónica Poblete M.

Editado por:

Juan Pablo Flores V.
Pedro Muñoz A.
Carlos Torres M.

Diseño y diagramación:

Simón Rodríguez T.

Se autoriza la reproducción parcial o total de la información siempre que se cite la fuente.

Centro de Información de Recursos Naturales - (CIREN)

Director Ejecutivo: Juan Pablo López Aguilera.
Manuel Montt 1164, Providencia.
Fono: (56) 2 2200 8900
www.ciren.cl

Santiago, Chile, Junio 2016.

Índice

1. Resumen ejecutivo	7
2. Introducción	9
2.1. Definición del problema	9
2.2. Correspondencia del estudio a la aplicación ley de bosque nativo	10
2.3. Antecedentes del estudio	10
3. Marco teórico	13
4. Hipótesis y objetivos del estudio	15
4.1. Hipótesis	15
4.2. Objetivos	15
5. Área de estudio	17
5.1. Construcción de límites y área de estudio	17
5.2. Superficie del área de estudio	19
5.3. Alcances y limitaciones	19
6. Metodología	21
6.1. Construcción y/o ajuste de la línea base de información territorial	21
6.1.1. Cartografía del uso de la tierra (bosque nativo)	25
6.1.2. Cartografía de pendientes medias y exposición de laderas	29
6.1.3. Cartografía de cuencas hidrográficas	30
6.1.4. Cartografía de la red drenaje superficial	33
6.1.5. Cartografía de la descripción agrológica y degradación física de los suelos	43
6.1.6. Otras cartografías temáticas regionales (glaciares, humedales y pluviometría)	50
6.2. Zonificación de estándares y parámetros de suelos y aguas incluidos en la ley 20.283	60
6.2.1. Zonificación de la fragilidad físico-biológica en áreas con bosque nativo, a nivel de cuenca	60
6.2.2. Áreas de protección del bosque nativo adyacentes a los cursos naturales de aguas	63
6.2.3. Áreas de protección del bosque nativo según la ley 20.283	64
7. Discusión y resultados territoriales del estudio	65
7.1. Re-delimitación de la red hidrográfica de Chile	65
7.2. Fragilidad físico-biológica y otros indicadores de paisaje en áreas con bosque nativo	68
7.3. Resultados de las áreas de protección del bosque nativo adyacentes a los cursos naturales de aguas	73
7.4. Resultados de las áreas de protección del bosque nativo según la ley 20.283	85
7.5. Revisión de la hidrografía superficial modelada	101
8. Conclusiones	105
9. Equipo de trabajo	107
10. Referencias	109
11. Anexos	111

Índice de Tablas

Tabla 1.	Superficie anual afecta por la aprobación para los planes de manejo forestal sustentable en bosque nativo, entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos.	11
Tabla 2.	Superficies regionales, de estudio y con bosque nativo para las regiones entre Valparaíso y Los Lagos.	19
Tabla 3.	Clasificación de la red hidrográfica de Chile.	31
Tabla 4.	Estructura de la base de datos de las unidades hidrográficas.	32
Tabla 5.	Criterios de asignación de ancho de protección según la topografía adyacente al curso de agua.	39
Tabla 6.	Anchos mínimos de protección permanente en torno a cursos de agua de acuerdo a la sección del cauce y/o pendientes laterales. (Basado en DS-82).	39
Tabla 7.	Dimensiones de la zona de manejo de cauces para los distintos tipos de drenes superficiales.	40
Tabla 8.	Anchos de protección de cauce propuestos por distintos países (Uso de herbicida y pesticidas).	40
Tabla 9.	Estudios agrológicos utilizados en el área de estudio.	43
Tabla 10.	Número de estaciones pluviométricas activas e inactivas utilizadas en la obtención de los índices de agresividad climática.	56
Tabla 11.	Clasificación de la agresividad de la lluvia, según Índice de Fournier Modificado (IFM).	58
Tabla 12.	Cruce matricial entre estado de conservación de las especies del bosque nativo y el riesgo de erosión potencial.	60
Tabla 13.	Documentos técnicos consultados sobre la clasificación de especies vegetales (bosque nativo) según estado de conservación.	61
Tabla 14.	Clases de riesgo por frecuencia y superficie afecta por incendio forestal en la cuenca.	62
Tabla 15.	Clases de ocupación del territorio por áreas silvestre protegidas dentro de la cuenca.	62
Tabla 16.	Rangos de presión antrópica asignada a la densidad poblacional dentro de la cuenca.	62
Tabla 17.	Caracterización de las nuevas unidades hidrográficas para las regiones V, RM, VI, VII y VIII de Chile (DGA, 2014).	66
Tabla 18.	Caracterización de las nuevas unidades hidrográficas para las regiones IX, XIV y X de Chile (DGA, 2014).	67
Tabla 19.	Superficie con limitación de manejo forestal para los tipos forestales esclerófilo y palma chilena, en sectores con pendiente menores a 45%, según el reglamento de suelos aguas y humedales.	87
Tabla 20.	Superficie con limitación de manejo forestal para el bosque nativo, en sectores con pendiente menores a 45%, según el reglamento de suelos aguas y humedales (no incluye tipo esclerófilo y palma chilena).	87
Tabla 21.	Superficie con limitación de manejo forestal para el bosque nativo, en sectores con pendiente abrupta (mayores a 45%), según el reglamento de suelos aguas y humedales.	88
Tabla 22.	Superficie de bosque nativo ubicado en suelos predominantemente delgados (menor a 25 cm de profundidad) entre las regiones V y X.	92

Índice de Figuras

Figura 1.	Mapa de localización del área de estudio del proyecto Hidrofor.	18
Figura 2.	Representación gráfica de un modelo de elevación del terreno (16 bit).	22
Figura 3.	Esquema del Cánvas de Landsat 8 para la zona de estudio del proyecto HIDROFOR (junio, 2013).	23
Figura 4.	Imagen satelital 2014 Landsat 8 de la ciudad de Rancagua (fusión en falso color convencional con 15 m por pixel).	24
Figura 5.	Mapa de vegetación nativa (bosque nativo), y (derecha) representación de la triple frontera regional (V-RM-VI).	25
Figura 6.	Croquis del descalce de la información de vegetación nativa entre las regiones VII y VIII.	26
Figura 7.	Catastro de bosque nativo para las regiones entre la V (Valparaíso) y la X (Los Lagos).	27
Figura 8.	Brecha de información de hidrografía y de vegetación nativa de un plan de manejo forestal en áreas con bosque nativo de la VI región de Chile.	28
Figura 9.	Brecha de información topográfica de un plan de manejo forestal en áreas con bosque nativo de la VI región de Chile.	29
Figura 10.	Cartografía regional del drenaje superficial y cuerpos de agua del IGM (1:50.000) en la VI región de Chile.	33
Figura 11.	Cartografía regional del drenaje superficial y cuerpos de agua del IGM y CONAF para la VI región de Chile.	34
Figura 12.	Cartografía regional del drenaje superficial y cuerpos de aguas del IGM, CONAF y CIREN, para la VI región de Chile.	34
Figura 13.	Trazado del drenaje superficial de la cobertura del estudio agrológico de suelos de CIREN sobre imagen satelital (VI región).	35
Figura 14.	Representación gráfica de los puntos de control para la georreferenciación del drenaje superficial en la región del Biobío.	36
Figura 15.	Representación gráfica del drenaje superficial existente (escala 1:50.000) en la región de Valparaíso.	37
Figura 16.	Representación gráfica del drenaje modelado (escala 1:35.000) en la región de Valparaíso.	37
Figura 17.	Representación gráfica del drenaje superficial densificado (escala 1:50.000) en la región de Valparaíso.	38
Figura 18.	Representación matricial del cálculo de asignación de pendiente media al curso de agua.	38
Figura 19.	Atribución de la pendiente media lateral a los cursos naturales de aguas, para la asignación del ancho de protección.	41
Figura 20.	Esquema metodológico de la construcción del drenaje superficial, para toda el área de estudio.	42
Figura 21.	Visualizaciones de las gráficas de los estudios agrológicos de CIREN.	44
Figura 22.	Mapa de la erodabilidad de los suelos entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos.	46
Figura 23.	Mapa de la erosión actual de los suelos entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos.	47
Figura 24.	Mapa del riesgo de erosión actual de los suelos entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos.	48
Figura 25.	Mapa del riesgo de erosión potencial de los suelos entre las regiones de V y X de Chile.	49
Figura 26.	Mapa con el inventario de glaciares de Chile (2008 - 2011).	51
Figura 27.	Comparación entre bosque nativo adyacente a glaciares en la zona central y sur de Chile.	52
Figura 28.	Áreas de protección de un glaciar de acuerdo a lo estipulado en la normativa vigente (art. 17 de la ley 20.283).	53
Figura 29.	Mapa con el inventario de humedales de Chile (2012).	55
Figura 30.	Mapa de isoyetas de la precipitación media anual para las regiones de Valparaíso a Los Lagos.	57
Figura 31.	Distribución espacial de las estaciones pluviométricas de la DGA y Índice de agresividad climática para Chile central.	59
Figura 32.	Representación de la fragilidad del bosque nativo a nivel de cuencas hidrográficas.	69
Figura 33.	Indicador de riesgo de incendios forestales y quemas agrícolas a nivel de cuenca hidrográfica. Regiones V a X.	70
Figura 34.	Indicador de ocupación (%) de áreas silvestre protegidas (SNASPE) a nivel cuenca hidrográfica. Regiones V a X.	71
Figura 35.	Indicador de densidad demográfica (hab./km ²) a nivel de cuenca hidrográfica. Regiones V a X.	72
Figura 36.	Comparación gráfica entre la red superficial existente (IGM) y la propuesta de un sector de bosque nativo de la región de Los Lagos.	73
Figura 37.	Cálculo de la densidad de drenaje superficial en un sector con bosque nativo de la región de O'Higgins.	74
Figura 38.	Comparación de densidades de drenaje existente (IGM) y la propuesta por el estudio hidrofor, para las regiones del centro y sur de Chile.	75
Figura 39.	Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de Valparaíso.	76
Figura 40.	Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región Metropolitana.	77
Figura 41.	Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de O'Higgins.	78
Figura 42.	Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región del Maule.	79
Figura 43.	Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región del Biobío.	80
Figura 44.	Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de La Araucanía.	81
Figura 45.	Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de Los Ríos.	82
Figura 46.	Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de Los Lagos.	83
Figura 47.	Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de Los Lagos (Chiloé).	84
Figura 48.	Zonas de prohibición de descepa de vegetación nativa, según de erosión del suelo y pendiente del terreno, para las regiones V y RM de Chile.	86
Figura 49.	Bosque nativo en suelos de origen y/o formación granítica ubicados terrenos con pendiente igual o superior a 45%.	90
Figura 50.	Bosque nativo en suelos predominantemente delgados en las regiones V y X de Chile, según los estudios agrológicos de CIREN.	91
Figura 51.	Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de Valparaíso.	93
Figura 52.	Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la Región Metropolitana.	94
Figura 53.	Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins.	95
Figura 54.	Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región del Maule.	96
Figura 55.	Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de Biobío.	97
Figura 56.	Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de La Araucanía.	98
Figura 57.	Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de Los Ríos.	99
Figura 58.	Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de Los Lagos.	100
Figura 59.	Puntos de muestreos en la quebrada Agua de Ramón (Región Metropolitana) para la comparación de la hidrografía levantada y la existente.	101
Figura 60.	Representación de tres modelos de elevación del terreno (dem) para un sector de la comuna de Marchigüe (Región de O'Higgins).	103
Figura 61.	Comparación entre dos modelos de elevación del terreno en la V región de Chile. dem con curvas de nivel cada 10 m y dem aster con resolución de 30 m.	104

i

1. Resumen ejecutivo

La zona centro sur de Chile se caracteriza por presentar ecosistemas mediterráneos y templados lluviosos reconocidos como zonas de máxima importancia para la conservación de la biodiversidad mundial, destacándose un alto grado de endemismo de la vegetación nativa.

El estado de Chile requiere proteger estos ecosistemas de interés global y también potenciar el desarrollo forestal sustentable de las zonas productivas, respetando fielmente el medio ambiente y el ciclo natural de los procesos que ocurren en las cuencas hidrográficas de Chile.

Con la implementación de la ley N° 20.283, el bosque nativo presente en estas regiones del país ha posibilitado a la Corporación Nacional Forestal aplicar una normativa enfocada a la protección de esta vegetación y de los recursos naturales circundantes, agua suelos y humedales.

El problema que motivó esta investigación surge de las dificultades que ofrece en la práctica, la fiscalización y el cumplimiento de las actividades silvícolas y la definición de áreas de protección del bosque nativo definidas en los instrumentos legales vigentes. Muchas de las decisiones técnico-ambientales insertas en los planes de manejo forestal pasan por disponer información precisa, confiable y actualizada de los recursos naturales y del territorio intervenido.

El Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) aborda esta temática de la zonificación de conservación y protección de los recursos naturales asociados al bosque nativo chileno mediante tecnologías satelitales integradas a sistemas de información geográfica. Esto permitió estudiar grandes extensiones a bajos costos operativos, con resultados altamente favorables y necesarios para la focalización del problema y la generación de información territorial de referencia en suelos, aguas y cuencas hidrográficas, lo cual es un aporte innovador en estas líneas de acción a nivel regional. La gran cantidad de estudios y proyectos que requieren de nuestra información, ratifican la relevancia de esta temática para particulares e instituciones del Ministerio de Agricultura de Chile (MINAGRI).

Los principales resultados de este estudio fue la zonificación áreas de protección de aguas y suelos, para una superficie cercana a los 4,6 millones de hectáreas de bosque nativo (desde la región de Valparaíso a Los Lagos), a partir de los artículos normativos que están indicados en el reglamento de suelos, aguas y humedales y la ley N° 20.283. Se entregan estándares y resultados espaciales a nivel de cuenca (unidades > 100 ha), drenaje superficial, pluviometría, erodabilidad y degradación física del suelo, para ser utilizados como guía para la toma de decisiones de los planes de manejo forestal sustentable en bosque nativo. Este estudio generó información territorial mejorada de la red drenaje en áreas con bosque nativo a una escala 1:35.000, que antes no disponía el estado de Chile, además de elaborar la nueva redefinición de la red hidrográfica de Chile., mandado por la Dirección General de Aguas de Chile, a una escala 1:30.000, para todo el territorio nacional.

Para nuestro Centro de Información de Recursos Naturales es muy grato presentar este informe, que resume toda la experiencia del proyecto «Zonificación de estándares y parámetros edafoclimáticos para la conservación y protección de suelos y aguas incluidos en la ley N° 20.283 Regiones V - X», el que ha sido realizado gracias al financiamiento aportado por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo. En sus distintos apartados se entrega la metodología de trabajo y los resultados a nivel regional, se pretende aportar a particulares y al Estado de Chile, cartografía e información actualizada, confiable y precisa del recurso suelo, agua y la cuenca hidrográfica.

Juan Pablo López Aguilera

Director Ejecutivo
Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN.



2. Introducción

2.1. Definición del problema

En el Artículo 17 de la Ley 20.283 sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal, se establece una serie de restricciones al uso y manejo del bosque nativo, así se prohíbe la corta, destrucción, eliminación o menoscabo de árboles y arbustos nativos en una distancia de 500 metros de los glaciares, medidas en proyección horizontal en el plano. Asimismo, se establece que el Reglamento norma la protección de suelos, cuerpos y cursos naturales de agua, teniendo, a lo menos, los siguientes criterios centrales: la pendiente, la pluviometría, la fragilidad y erodabilidad de los suelos; el nivel de saturación de los mismos y la flotación de los equipos de maderero. En el caso de la protección de los cursos naturales de agua considerará además el tamaño de la cuenca, el caudal y su temporalidad.

El artículo 18 de la misma Ley establece que las mismas se aplicarán también a las plantaciones que se acojan a lo establecido en el inciso segundo del artículo 13 del decreto ley N° 701, de 1974. Es decir los bosques de protección, entendiéndose por tales los ubicados en suelos frágiles con pendientes iguales o superiores a 45% y los próximos a fuentes, cursos o masas de agua destinados al resguardo de tales recursos hídricos. Estos últimos, podrán cubrir una franja equivalente al ancho máximo del cauce natural, la que no podrá exceder de 400 metros medidos desde el borde del mismo.

Además, se prohíbe la corta, eliminación, destrucción o descepado de individuos de las especies vegetales nativas clasificadas, de conformidad en las categorías de "en peligro de extinción", "vulnerables", "raras", "insuficientemente conocidas" o "fuera de peligro", que formen parte de un bosque nativo, como asimismo la alteración de su hábitat. Esta prohibición no afectará a los individuos de dichas especies plantados por el hombre, a menos que tales plantaciones se hubieren efectuado en cumplimiento de medidas de compensación, reparación o mitigación dispuestas por una resolución de calificación ambiental u otra autoridad competente (Artículo 19, Ley 20.283).

El problema que motiva la realización de este estudio es que en la actualidad, no se cuenta con la información sistematizada y especializada que permita mejorar la gestión de la aplicación de la Ley 20.283, así como, su fiscalización en terreno.

La zona centro-sur de Chile representa un excelente modelo de aplicación de los resultados de esta investigación por cuanto mantiene una considerable superficie de bosque nativo y además en ella se realiza parte de la actividad forestal convencional basada en la explotación de plantaciones exóticas.

2.2. Correspondencia del estudio a la aplicación ley de bosque nativo

El presente trabajo de investigación se enmarca en la línea de investigación n° 7 del año 2013 y que tiene estrecha relación con la aplicación de la Ley N° 20.283, sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, en relación a la investigación del bosque nativo, cuya finalidad será proponer estudios complementarios que apunten a generar conocimientos para dar cumplimiento efectivo y eficaz a los objetivos de esta ley. Aun cuando la ley 20.283 requiere para su aplicación eficaz y eficiente, entre otros, del *Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales* (RSAH), esta situación demanda la urgencia de investigar y construir una cartografía temática y establecer nuevos estudios que permitan apoyar las decisiones técnico-legales de los profesionales y autoridades regionales de CONAF.

En este marco, es posible corresponder las conclusiones de los documentos elaborados por el Instituto Forestal (INFOR) en materias de la validación de los informes preparativos del reglamento de suelos, aguas y humedales y el desarrollo del presente proyecto. Se pretende espacializar y cartografiar los criterios científicos puntuales, mediante la incorporación de nuevas coberturas temáticas (erosión y erodabilidad del suelo, modelos de elevación de alta resolución, modelos de clima y vegetación actualizada de CONAF) y el uso de técnicas de geomática aplicada.

La literatura técnica mundial, muestra importantes avances en tópicos como: hidrología forestal, ecología, dasimetría, tecnología de la madera, etc. Sin embargo, un aspecto poco tratado es la relación de los impactos de la actividad forestal (silvicultura y cosecha en bosque nativo) en los suelos, las aguas y los humedales, a nivel de cuenca. Esta situación dificulta la extrapolación mecánica de tales experiencias y estándares foráneos hacia nuestro país. Contribuye a hacer aún más compleja la adopción de estándares de otras latitudes, la falta de antecedentes técnicos de los suelos chilenos en ambas cordilleras, los que no han sido estudiados con el detalle actualmente necesario (Quiroz y Cavieres, 2009). Por otro lado, el conocimiento referente al impacto de las actividades forestales de cosecha y manejo silvicultural sobre el suelo y el agua se encuentra insuficientemente desarrollado en el ámbito de los bosques nativos. En este tema sólo existe un número reducido de estudios que representan sólo una fracción del área forestal del país (Oyarzún, 1993; FAO, 1995) y no cubren el área de estudio de esta investigación. En el lado positivo de la balanza, se cuenta con guías de buenas prácticas de carácter general orientadas a plantaciones forestales (Gayoso *et al.*, 2000; Gayoso y Gayoso, 2008; Pizarro *et al.*, 2005).

Queda de manifiesto en los documentos elaborados por Quiroz y Cavieres (2009, 2010), la falta de información técnica que complica la implementación del reglamento, por ejemplo, antecedentes de precipitaciones, caudales, suelos etc., por lo anterior se debería generar los recursos financieros para su implementación. Ante esta situación, se requiere seguir trabajando con el sistema de paneles de expertos, para contar así con el mejor conocimiento y experiencia sobre las áreas de protección de bosque nativo, o detección áreas con limitantes edáfica como apoyo a la aplicación de la ley 20.283.

CIREN, cuenta con información actualizada para desarrollar la cartografía base referencial de los aspectos técnicos incluidos en la Ley 20.283. Nuestro Centro de Investigación de los Recursos Naturales dispone de la cartografía de diferentes estudios territoriales, como por ejemplo, erosión actual y potencial de los suelos para todo el país, las bases de datos climáticas y de los estudios agrológicos. CIREN, cuenta con un banco de imágenes satelitales de diferentes años y resoluciones espaciales, que han sido trabajadas durante los últimos años en proyectos de propiedades rurales, de suelos y catastro de vegetación nativa. El presente estudio cuenta con la mayor base de datos georreferenciada de recursos naturales que posee el Estado de Chile.

2.3. Antecedentes del estudio

Para el análisis del estado de arte del proyecto, primeramente se debe precisar que el problema objetivo, consiste en la preparación de las bases conceptuales, metodológicas y de manejo, referidas a establecer un sistema de información que determine las zonas de protección cuyos suelos y masas boscosas presentan distintos grados de degradación o aquellas en que hay mayor peligro de deterioro severo del recurso suelo, agua y vegetación.

No existen estudios territoriales previos similares en Chile. La información de línea cartográfica base está dispersa y/o desactualizada. Además, se debe considerar el hecho que Chile presenta características de clima, suelos y fisiografía lo que hacen particularmente difícil extrapolar y aplicar de manera mecánica los estándares normativos y los valores críticos de impacto de las actividades forestales en bosque nativo.

Según Quiroz y Cavieres (2009), la actividad extractiva, incluida la cosecha y la construcción de caminos, es la principal fuente de erosión en terrenos con bosque nativo, en relación a la producción total de sedimentos de las operaciones forestales. Se

desconoce de estadísticas actualizadas en terrenos con bosque nativo. Estudios realizados en el país, estiman pérdidas de suelo que pueden alcanzar valores entre 32 ton/ha a 100 ton/ha, dependiendo el nivel de pérdida del tipo de suelo, la longitud de la pendiente, la época de año y del tipo de actividad (Oyarzun, 1993; Gayoso y Alarcón, 1999; Peña *et al.*, 1993; Honorato *et al.*, 2001). Sin lugar a dudas, esto provoca serios cambios en la calidad del agua debido a los aportes de sedimentos y de nutrientes, cambios que son ocasionados por la actividad forestal a través de actividades como el maderero terrestre y en particular la construcción de caminos forestales en las actividades de cosecha. Esta última actividad impacta el 5% de la superficie, sin embargo, explica 90% del transporte de sedimentos a los cauces. Los factores que controlan la intensidad de los procesos erosivos, con efectos en la calidad del agua son esencialmente: cantidad, frecuencia e intensidad de las precipitaciones (erosividad), tipo de suelo y factores geomorfológicos (erodabilidad), cubierta vegetal y de manejo forestal. El mayor o menor impacto al suelo de tales actividades se encuentra determinado por los factores del sitio (clima y suelo) y por la magnitud de los factores inherentes al manejo forestal.

El deterioro del ambiente físico que hoy se percibe en la zona centro-sur de Chile, no es consecuencia de un proceso reciente, si no que se inicia en la época colonial, se acelera en el siglo antepasado y continúa hasta la década de 1970, cuando los usos tradicionales de la tierra ven deteriorada sus condiciones de intercambio. Con la promulgación de la ley 20.283 sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal, ha contribuido a que el bosque nativo localmente sea visto como un ecosistema integrado. La superficie afecta a la aprobación de planes de manejo en bosque nativo, en el periodo 2011-2016, alcanza las 132.093 hectáreas a nivel nacional. Para el mismo periodo la superficie afecta entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos, la cifra alcanza las 97.600 hectáreas. La tabla 1, muestra la distribución regional de la superficie aprobada para los planes de manejo forestal sustentable en bosque nativo, para el periodo 2011 a marzo del año 2016¹.

Tabla 1. Superficie anual afecta por la aprobación para los planes de manejo forestal sustentable en bosque nativo, entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos.

Región	2011	2012	2013	2014	2015	2016*	Total general
Valparaíso	384	421	1.100	1.010	378	124	3.417
Metropolitana	483	552	650	310	645	110	2.750
Lib. Gral. Bernardo O'Higgins	1.226	2.557	2.099	1.550	2.364	308	10.104
Maule	2.496	1.401	1.413	1.873	1.095	94	8.373
Biobío	2.901	2.167	3.044	2.193	1.609	114	12.027
La Araucanía	5.832	4.808	5.448	3.806	5.320	673	25.886
Los Ríos	4.687	3.662	2.829	2.599	3.136	296	17.208
Los Lagos	4.143	4.405	3.650	3.049	2.291	297	17.835
Total general	22.151	19.973	20.233	16.391	16.837	2.016	97.600

* Estadística válida a marzo del año 2016

Para el periodo 2011-2016 (anexo 1), es la región de La Araucanía la que presenta mayor superficie de actuación forestal recogidos de los planes de manejo (25.886 ha) en bosque nativo. El tipo forestal con mayor presencia en los planes de manejo es el Roble-Raulí-Coihue con 41.123 hectáreas. Los tipos forestales Esclerófilo, Siempreverde y Lengua tienen una participación cercana a las 25.000 hectáreas, cada una de ellas. Las comunas con mayor superficie afecta a aprobación de planes de manejo en bosque nativo son Panguipulli (6.273 ha), Villarrica (3.832 ha), Ancud (3.078 ha), Curacautín (2.869 ha) y Collipulli (2.856 ha).

Al año 2016, no existe un sistema de información territorial para validar espacialmente los criterios utilizados en el Reglamento de suelos, aguas y de humedales que apoya la implementación de la ley 20.283. Este reglamento presenta criterios a nivel puntual, y no a nivel de cuenca hidrográfica, en cada una de las temáticas de protección de los cursos y cuerpos naturales de agua, de los suelos y los humedales. El siguiente paso es la incorporación e integración de las coberturas SIG de suelos, clima, topografía y vegetación que mostrará los resultados espaciales de los criterios definidos y se podrá disponer de bases de datos georreferenciada de estas áreas de interés. El objetivo del estudio es contribuir al conocimiento de las condiciones edafoclimáticas presentes en zonas con vegetación nativa para la conservación y protección de suelos, aguas y humedales, descritos en la normativa legal vigente (ley 20.283) para la región centro-sur de Chile. La etapas de este trabajo fueron la construcción de la línea base territorial biogeofísica entre las regiones V y X, la zonificación de estándares y parámetros edafoclimáticos para la conservación y protección de suelos, aguas y humedales, incluidos en la ley 20.283, y la transferencia y difusión de los resultados del estudio.

1 http://www.conaf.cl/cms/editorweb/transparencia/2011/planes_LBN.html



3. Marco teórico

El marco teórico del estudio se basó en el análisis multicriterio de profesionales temáticos y un panel de expertos que recoge las indicaciones de la ley 20.283 y los integra en un sistema de información cartográfico, a través de la superposición y geoprocesamiento de capas de información de suelos, topografía, clima y vegetación para la determinación de áreas de protección. Esto conlleva a la realización de dos geoprocesos metodológicos, el primero de ellos la construcción de un línea base biogeofísica del área de estudio y en segundo lugar la zonificación de estándares y parámetros edafoclimáticos para la determinación de zonas de protección incluidas en la ley.

El avance tecnológico de las técnicas geomáticas y de los insumos satelitales (resolución de las imágenes y modelos de elevación del terreno) permiten mejorar las capas de información existentes, recopilar nuevas fuentes de información del terreno y de crear nuevas coberturas temáticas de interés (Flores, 2016).

El concepto genérico de evaluación multicriterio como conjunto de operaciones espaciales para lograr un objetivo teniendo en consideración simultáneamente todas las variables que intervienen, ya sean factores o restricciones es usado con diversos objetivos, frecuentemente relacionados con la toma de decisiones espaciales (De Cos, 2007). La aplicabilidad del método sirve para materializar los diversos objetivos en uno concreto: por ejemplo, medir o estimar el grado de fragilidad ecosistémica del territorio y, en definitiva, poner límites sobre el uso o conservación de los recursos naturales (bosques).

La relevancia científica es avanzar en el conocimiento y el uso de técnicas geomáticas y de integración de bases georreferenciadas de datos los recursos naturales para extensas zonas y bajo costos operativos para el Estado de Chile.

Aun cuando no existen experiencias en Chile de esta aplicación a bosque nativo y plantaciones forestales, se pueden destacar algunos esfuerzos realizados, principalmente, por investigadores de la Universidad Austral de Chile, Universidad de Concepción, Universidad de Talca y la Universidad de Chile en relación de protección de cauces y delimitación de franjas de exclusión. Un avance técnico sería la implementación de la ley de bosque nativo requiere de un modelo territorial de mayor complejidad ecosistémica y que compromete superficies extensas. Una línea de investigación paralela se pudo visualizar en el estudio "*Determinación de Distancias Óptimas para Protección de Cauces con Bosque Nativo Utilizando Modelos de Predicción de Sedimentos Basados en SIG*" de BIOFOREST S.A, el cual ratifica la escasa investigación que dé respuesta sobre la verdadera contribución de estas zonas a los distintos objetivos de protección, situación que se evidencia en la realidad de nuestro país. El grado de incerteza, lleva a la utilización de diversos criterios en la planificación del territorio. En términos de sedimentos, son varios los factores que se conjugan en distintas proporciones para que éstos lleguen a los cauces. Entre estos factores están: las precipitaciones y su intensidad, características del suelo, la topografía y la configuración y tipo de cobertura vegetal. Todos ellos tienen una participación temporal y espacial en la producción y/o captura de sedimentos que van al cauce con posterioridad a una intervención. Estos factores pueden combinarse en modelos geográficos que estiman sedimentos en base a la configuración de zonas de protección en una cuenca (Ramírez de Arellano, 2009).

Rodríguez (2015) indica que las variables estimadas en terreno o en parcelas y particularmente del suelo, no necesariamente pueden ser aplicadas a la superficie total de la cuenca o replicables en laboratorio. En este sentido, la utilización de modelos de simulación es una herramienta referencial que permitiría contribuir a la toma de decisiones relacionadas con el manejo de los recursos agua y bosques apoyando las propuestas de la nueva política de gestión del bosque nativo.

En este contexto, este estudio genera información territorial de referencia e incorpora las técnicas de geomáticas que han sido desarrolladas durante las recientes décadas, con grandes avances en desarrollo de modelos empíricos, conceptuales y físicos. Estos modelos utilizan, en la mayoría de ellos, datos obtenidos de sensores remotos, integrados en sistemas de información geográfica (SIG), permitiendo obtener nuevas herramientas de gestión de recursos naturales (Datta y Schack-Kirchner, 2010), y beneficiar con ello a las ciencias silvoagropecuarias, al cubrir amplias extensiones a menores costos. Por ejemplo, la cartografía de cuencas y sus parámetros geomorfológicos pueden ser mejor delimitados y estimados, respectivamente, con el DEM ASTER de 30 m de resolución y de disponibilidad gratuita (Muñoz *et al.*, 2009).



4. Hipótesis y objetivos del estudio

4.1 Hipótesis

Análisis de extensas áreas a bajo costo

Dada la problemática que en la actualidad, no cuenta con la información a escala de semi-detalle de forma sistematizada y espacializada que permita mejorar la gestión de la aplicación de la Ley 20.283, así como su fiscalización en terreno. Es posible zonificar extensas áreas de prioritarias de protección y manejo sustentable de bosque nativo y plantaciones exóticas, a bajo costos, usando técnicas de teledetección, geomática y SIG.

Variabilidad local

Dada la variabilidad espacio-temporal de parámetros edafoclimáticos de macrozonas biogeográficas distintas, la zonificación de estándares para la protección de la vegetación nativa, debe ser de tipo local.

Lo que pretende esta investigación es dar un siguiente paso después del establecimiento de una normativa ambiental. El análisis del territorio permitirá, con insumos de alta calidad, discriminar geográficamente que la norma, en un futuro, debe contener los atributos y características locales y regionales para una eficaz aplicación. Ya ocurrió anteriormente cuando la tabla de costos y el diseño de obras de conservación de aguas y suelos no puede ser igual en todas las regiones del país, porque las condiciones edafoclimáticas son diferentes y variables. Con la presente normativa no se sabe si el buffer de protección es suficiente o demasiado para conservar la vegetación de fondo de quebrada o reduce significativamente las tasas de sedimentación en los cauces subyacentes, no se ha definido cuál es la clasificación de drenaje a utilizar ni qué orden ni la geomorfología de la cuenca (tamaño, forma, orografía, densidad de drenaje, etc).

Y en segundo lugar, la tecnología actual más la integración de bases de datos georreferenciados de los recursos agua, suelo y clima permiten abarcar extensas áreas de estudio a menor costo. Esto responde a la problemática de escasez de información de los tomadores de decisión, porque todo se deja en manos de la experiencia de los profesionales de CONAF. Este nuevo estudio entrega una nueva herramienta de apoyo a la decisión de qué proteger, cuánto proteger y dónde proteger o conservar.

4.2 Objetivos

Objetivo General

Contribuir al conocimiento de las condiciones edafo-climáticas presentes en zonas con vegetación nativa para la conservación y protección de suelos, aguas y humedales, descritos en la normativa legal vigente (ley 20.283) para la región centro-sur de Chile.

Objetivo específicos

1. Construir la línea base territorial de los estándares y parámetros edafo-climáticos según normativa legal vigente, entre las regiones V y X.
2. Zonificar estándares y parámetros edafo-climáticos para la conservación y protección de suelos, aguas y humedales, para el territorio comprendido entre la Región de Valparaíso y Los Lagos.
3. Transferir y difundir los resultados y bases de datos georreferenciadas de estándares y parámetros edafo-climáticos de áreas con vegetación nativa, para apoyar la toma de decisiones de la ley vigente nº 20.283.



5. Área de estudio

5.1. Construcción de límites y área de estudio

Cabe destacar previamente que la cobertura de límites de la DPA (división político administrativo) digital de Chile, es un archivo de poli-líneas. Este trabajo fue desarrollado en conjunto por la subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativa (SUBDERE), y el Instituto Geográfico Militar, en un periodo aproximado de 5 años. Los límites fueron digitalizados por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.), usando la cartografía base escala 1:50.000 en formato digital, siguiendo la redacción de las leyes que indican los límites de cada una de las unidades administrativas del país: regiones, provincias y comunas. Este trabajo generó más de 300 archivos de líneas en formato shape (*.shp). La SUBDERE, unió los más de 300 archivos, y generó una tabla inteligente que describe cada una de las líneas, indicando la hoja base del IGM en que aparece cada una de las líneas; la escala base que se utilizó para su digitalización; la institución que llevó a cabo la digitalización; las comunas que comparten el límite; el tipo de límite (regional, provincial o comunal); y un campo de observaciones adicionales.

El archivo únicamente cuenta con las líneas internas del país, no considera la línea de costa (donde existe una gran cantidad de fuentes diversas, por lo que no existe una única línea de costa oficial) ni el límite internacional (no existe un archivo digital oficial con el límite internacional, por lo que no fue posible integrarlo a este archivo). En esta primera versión, fue posible realizar una revisión superior al 39% de los límites de todo el país (que corresponde a más de 12.000 km lineales, de un total de 31.900 km de límites de todo el país), con la certeza de que este es un proceso de mejora continua.

Considerar que, esta cobertura de límites cuenta con un error asociado a la digitalización de la carta base digital 1:50.000 del IGM.

Bajo estos antecedentes, y conforme a la escala geográfica del proyecto (1:35.000) se estimó conveniente trabajar con los siguientes límites referenciales (figura 1);

1. En la costa se utilizará el límite de costa de los estudios agrológicos de CIREN, con una escala de representación 1:10.000 en las regiones VI, VII y X y escala 1:20.000 en la regiones restante del área del estudio.
2. En la cordillera se utiliza la delimitación de cuencas hidrográficas obtenidas de la modelación hidrológica realizada en el programa TNTmips®.
3. El límite entre regiones corresponde a la división política-administrativa elaborada por la Oficina de Políticas Agrarias (ODEPA) a una escala 1:50.000
4. Existe un límite interno de delimitación temática del estudio, que corresponde al límite de los estudios agrológicos de CIREN.

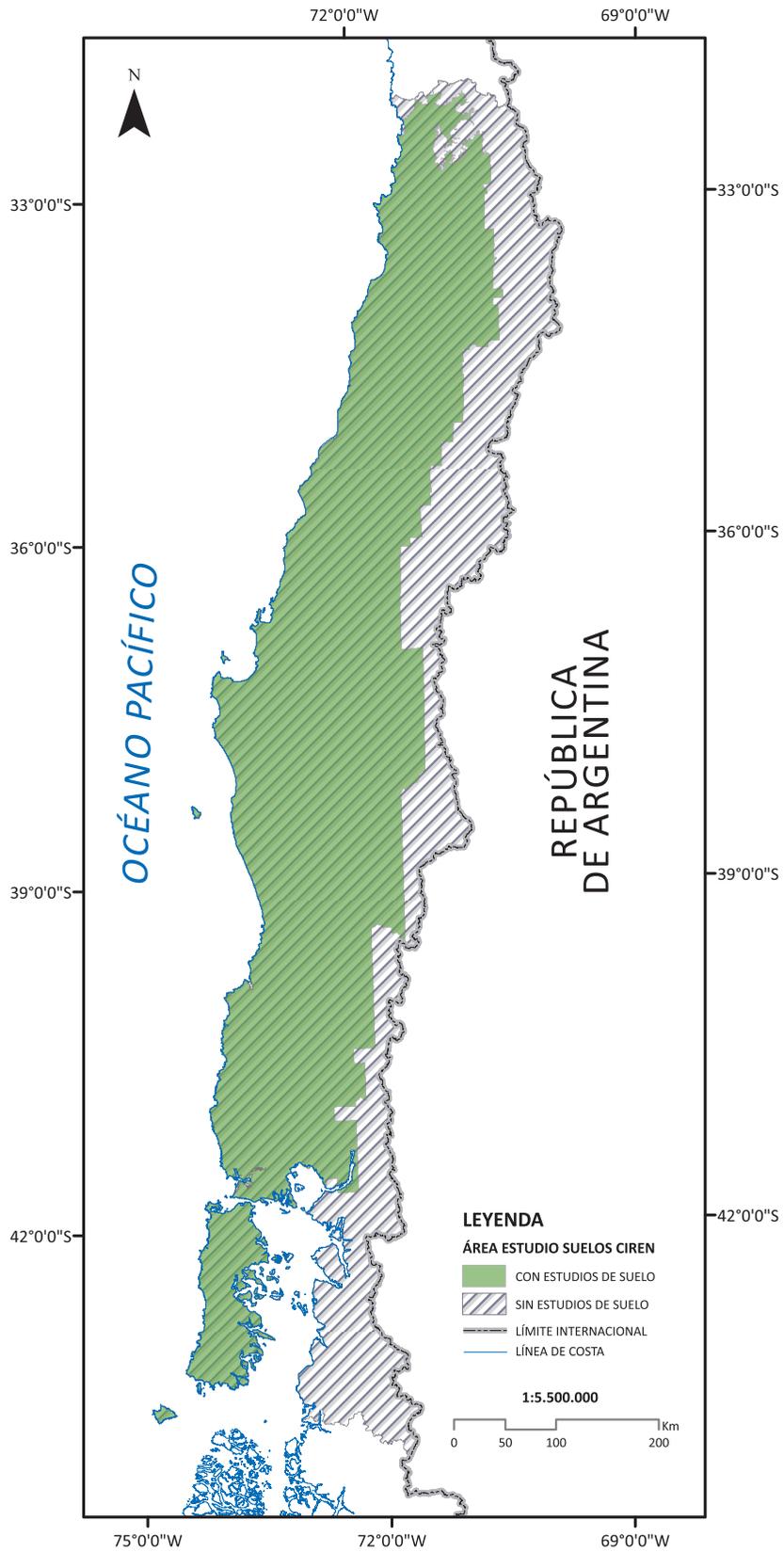


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio del proyecto Hidrofor.

De esta forma, esta investigación utiliza las mejores coberturas de información espacial disponibles en los ministerios públicos de Chile, para la delimitación del área de estudio. Nótese que la línea de costa, se extrajo de la línea utilizada en los estudios de suelos de CIREN, escala 1:10.000, la que fue interpretada a partir de las Ortoimágenes CIREN 1:10.000 y 1:20.000.

5.2. Superficie del área de estudio

La superficie total de las regiones involucradas entre la V y la X es de 21,4 millones de hectáreas, de las cuales 14,8 millones de hectáreas corresponden a la superficie donde hay estudios agrológicos de suelos realizados por CIREN. Por tanto, el área de estudio corresponde al 69,3% de la superficie regional (21,4 millones de hectáreas). Mientras que, la superficie con bosque nativo regional (de V a X región) definido por el catastro vegetacional de CONAF corresponde a 7,2 millones de hectáreas. La superficie de estudio hidrofor es de 4,6 millones de hectáreas (tabla 2), que corresponde al área de bosque nativo con estudio agrológico de CIREN.

Tabla 2. Superficies regionales, de estudio y con bosque nativo para las regiones entre Valparaíso y Los Lagos.

Región	Superficie regional (ha)	Superficie estudio (ha)	Superficie de bosque nativo regional (ha)	Superficie de bosque (nativo y mixto) estudiada (ha)
Valparaíso	1.598.660	940.418	484.116	348.240
Metropolitana	1.539.632	883.671	363.955	310.816
Lib. Gral. Bernardo O'Higgins	1.634.463	1.120.595	459.309	355.887
Maule	3.030.117	1.838.025	384.714	143.145
Biobío	3.712.608	3.232.164	768.553	641.126
La Araucanía	3.182.304	2.589.308	964.153	679.703
Los Ríos	1.838.193	1.506.856	908.531	670.614
Los Lagos	4.848.153	2.717.265	2.827.436	1.415.926
Total	21.384.129	14.828.302	7.160.767	4.565.456

Anótese, que en la cordillera de los Andes no existen estudios ni descripción de suelos a escala de detalle, ni semidetalle. La única fuente de información es el estudio de FAO a una escala de reconocimiento 1:5.000.000, que en el año internacional de los suelos (2015), CIREN publicó una actualización a escala 1:1.000.000.

5.3. Alcances y limitaciones

Se menciona que los archivos vectoriales en formato shape (*.shp) que contiene los límites utilizados en este estudio es netamente referencial y en nada compromete al Gobierno ni Estado de Chile, en relación a la delimitación fronteriza con el país de Argentina, ni tampoco establece regla en la línea de costa para la delimitación marítima de 200 millas.



6. Metodología

La metodología consistió en (i) la construcción de y/o ajuste consensado de una línea base de información territorial estándar para las ocho regiones de la zona centro sur de Chile (V a X región) y (ii) la zonificación de los parámetros de suelos, aguas y humedales, indicados en la ley 20.283 (anexo 2).

6.1. Construcción y/o ajuste de la línea base de información territorial

Es la cartografía temática básica de los elementos biogeográficos, entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos, que describen el territorio y que permiten localizar áreas de interés para la conservación y protección de los recursos naturales, en función de lo expuesto en el reglamento de suelos, aguas y humedales. Entiéndase por ello, activar, generar y/o ajustar las cartografías de uso del suelo (bosque nativo), la descripción agrológica y la degradación física del suelo, las cuencas hidrográficas, el drenaje superficial, la pluviometría y/o el uso de los inventarios nacionales de glaciares (Ministerio de Obras Públicas) y de humedales (Ministerio de Medio Ambiente). Otros insumos utilizados para la modelación y los procesos geomáticos del estudio son el modelo de elevación del terreno y las imágenes Landsat 8.

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 V002 (ASTGTM), disponible en formato raster y cuya resolución es de 30m x 30m por pixel. Se distribuye en cuadrángulos de 1° X 1° (111,11Km x 111,11Km aprox.), en formato GeoTiff o Tiff georreferenciado, en coordenadas geográficas Lat/Long, con datum WGS 84 y huso 19 promedio. El raster posee una estructura de 16 bit. Los valores especiales de los pixeles son "-9999" para pixeles malos (anomalías persistentes luego de los procesos de corrección geomática. Normalmente se refiere a nubes al norte de los 60° de latitud del hemisferio Norte, y "0" para los mares. El DEM correspondiente a la superficie ocupada por las 8 regiones de estudio fue ajustado a los límites del proyecto. Del sitio web en <https://wist.echo.nasa.gov/api/> es posible descargar las secciones solicitadas como archivos comprimidos (*.zip). Estos contienen el archivo "Dem" y el "Num" o archivo QA (Quality Assessment). En el apartado 5, muestra una breve evaluación de este modelo de elevación global (Muñoz *et al.*, 2009), con respecto a otras fuentes de información topográfica.

En los modelos de elevación (formato raster), cada pixel puede asumir un número, de entre un rango específico de valores de altitud. Esto dependerá de la estructura del raster en números binarios: 8 bit = 1 entre 256 valores distintos, 16 bit = 1 entre 65.000 valores distintos de celda.

Formato raster: Es una forma matricial de ingresar la realidad a un computador. En las imágenes de satélite cada pixel, puede asumir una cantidad de valores específica, dependiendo de su resolución radiométrica.

Por ejemplo, la figura 2, muestra gráficamente en 3D un modelo de elevación del terreno (TanDEM-X) con estructura de 16 bit. Las ventajas de este modelo de datos raster es que permite representar la altitud y/o profundidad de cualquier paisaje del planeta ocupando un número de 65.000 valores distintos de celda. Por ejemplo, esta estructura de 16 bit puede representar las Fosas Marianas de 11.012 m de profundidad y la cima del Everest de 8.848 m.s.n.m e inclusive sobran valores de celda, como indica su estructura. Entre las desventajas del modelo raster destaca su inexactitud que depende de la resolución de los datos y la gran cantidad de espacio que requiere para el almacenamiento de los datos. Este último problema puede compensarse mediante diversos sistemas de compresión de archivos.

Este estudio utiliza imágenes Landsat 8 del periodo 2013 - 2015. Landsat 8 es parte de un programa espacial de la agencia de Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) que se ha puesto en órbita en febrero de 2013 con el lanzamiento de un satélite de misión de continuidad de la información Landsat con una resolución temporal de 16 días. El Landsat 8 lleva consigo dos instrumentos, el primero de ellos es el conocido por las siglas OLI (Cámara Terrestre Operacional), y posee tres nuevas bandas en comparación con su antecesor ETM+ (Generador Temático Mejorado de Mapas Plus); la banda azul profundo (0,433 -0,453µm), que está principalmente destinada a estudios costeros y aerosoles, una banda infrarroja de

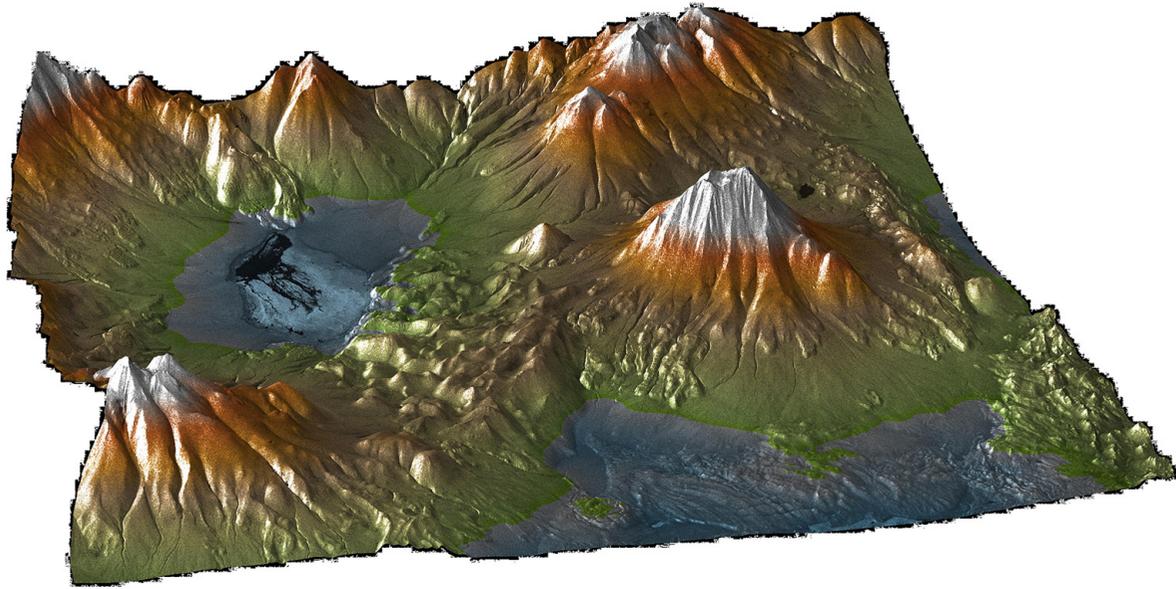


Figura 2. Representación gráfica de un modelo de elevación del terreno (16 bit).
Fuente: Centro Aeroespacial Alemán (DLR), Misión TanDEM-X.

onda corta (1,36–1,38 μm) para la detección de cirros, y una tercera banda que evalúa la calidad de la información (*Quality Assessment band*). El segundo instrumento es el TIRS (Sensor Térmico Infrarrojo), que proporciona dos bandas térmicas. Para ambos instrumentos el proceso de escaneo es por línea (*pushbroom*), es decir, se elimina el proceso mecánico de escáner de tipo *whiskbroom*. Las imágenes son distribuidas de manera gratuita por Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS, disponible en <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

Orto-rectificación de una imagen: Producto cartográfico obtenido mediante la corrección u ortorrectificación, que elimina las distorsiones planimétricas, debidas al ángulo de toma del sensor y la distorsión topográfica por el movimiento. Con ello, las variaciones de escala presentes en las imágenes se eliminan, obteniéndose una escala única y exacta sobre la totalidad de la superficie de la ortoimagen, con un margen de error conocido.

Por su parte, al año 2016, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE, Argentina) también distribuye la misma información LANDSAT en <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/>. Los archivos se distribuyen comprimidos y su tamaño es de aproximadamente 1 GB; cada escena es de 170 por 185 kilómetros con 9 bandas en resolución espacial de 30 metros, una banda pancromática de 15 metros y dos bandas en el infrarrojo térmico de 100 metros de tamaño de pixel. (http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php). Los productos se distribuyen en el nivel 1T que consiste en la corrección de la superficie terrestre de acuerdo a la corrección geométrica por medio de uso de puntos de control sobre el terreno, los cuales provienen del conjunto de datos de GLS2000, SRTM, NED, CDED, DTED y GTOPO 30, este pre-procesamiento es el mismo que en los anteriores productos provenientes de *LandSat 7*, *ETM+* y *LandSat 5 TM*.

Fusión de bandas: Corresponde a técnicas geomáticas que permiten mezclar, a nivel de pixel, las virtudes de diversas imágenes, mejorando la capacidad de discriminación digital de los fenómenos espaciales y permitiendo al usuario, cambiar la escala del análisis espacial con la misma imagen. Una aplicación recurrente es mejorar la resolución espacial de una imagen multi-espectral, usando una imagen de resolución espectral pobre (p.e. banda pancromática), pero de mayor resolución espacial.

Los procesos geomáticos que requirieron las imágenes Landsat 8 utilizadas en este estudio, fueron:

- **Descarga desde la red internet:** 3 horas cada imagen, descargando un total de 30.
- **Selección de imágenes sin nubes:** Debido a que Landsat 8 captura imágenes cada 16 días, se descargaron las que no poseen nubes. Pero en algunos lugares (como las regiones IX, XIV y X) se descargó más de una imagen, para completar las áreas con nubes.
- **Importación al programa de procesamiento:** 8 bandas espectrales y 1 pancromática.
- **Cambio de hemisferio:** Landsat 8, viene en WGS84, pero referenciado al hemisferio Norte, generando coordenadas negativas. Esto se resolvió re-proyectándolas al hemisferio Sur.
- **Ajuste de contraste:** Manipulación de los histogramas de todas las bandas, para lograr tonos y contrastes que faciliten la interpretación de la red de drenaje.
- **Fusión de bandas:** Mejorar el tamaño del Pixel, desde 30 m. a 15 m en combinaciones Color Real y Falso color convencional.
- **Mosaico de imágenes:** En el caso de Landsat 8 las bandas vienen ortorrectificadas y calzadas entre ellas, por lo tanto no se requirió realizar este proceso.

A continuación, se muestra la retícula o cánevas de las imágenes Landsat 8 (figura 3) que contienen el territorio nacional. Cabe señalar que se tiene más de un par de imágenes de distinta data en el sur de Chile, debido a la presencia de nubes en imágenes estivales.

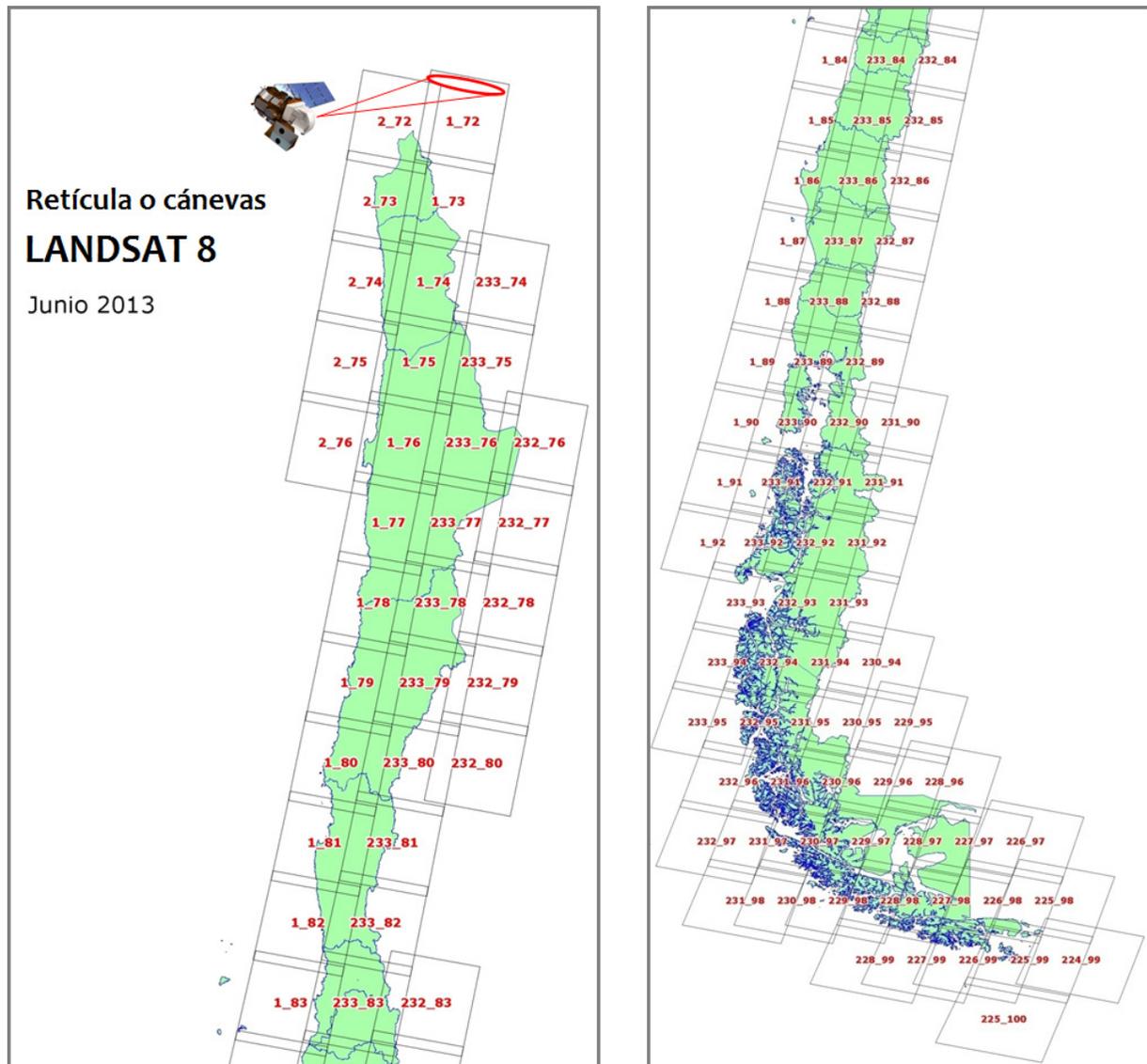


Figura 3. Esquema del Cánevas de Landsat 8 para la zona de estudio del proyecto HIDROFOR (junio, 2013).

La figura 4, muestra una imagen satelital Landsat 8 (año 2014) de la ciudad de Rancagua, que ha sido fusionada en falso color convencional con 15 m por pixel, para realzar la escala de trabajo de estudio (1:35.000). Se puede identificar los cursos de agua no permanentes y la vegetación adyacente en la cabecera de la cuenca.



↶ ↷ **Figura 4.** Imagen satelital 2014 Landsat 8 de la ciudad de Rancagua (fusionada en falso color convencional con 15 m por pixel).

6.1.1. Cartografía del uso de la tierra (bosque nativo)

Es la representación espacial (formato vectorial) de los usos de la tierra definidos en la base metodológica de las Cartas de Ocupación de Tierras (COT), desarrollada por el Centro de Estudios Fitosociológicos y Ecológicos Louis Emberger- CEPE de Montpellier (modificado para Chile por Etienne y Prado, 1982) y que es aplicada en los catastros regionales y monitoreos de la vegetación nativa. En 1993, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) dio inicio al proyecto "Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile", cuyo objetivo fue la elaboración de un Catastro Nacional de usos de la tierra y de las formaciones vegetales, especialmente aquellas relacionadas al bosque nativo, las plantaciones forestales y los matorrales, constituyendo la línea base de la información cartográfica vegetal de Chile. Este trabajo ha permitido contar con datos básicos para la gestión gubernamental, ya sea en materias forestales, ambientales o de políticas de manejo y conservación de estos recursos.

Vectores: Se refiere al conjunto de líneas digitales usadas en los sistemas de información geográfica (SIG), que poseen topología o un sistema de atributos, que permite realizar operaciones entre mapas vectoriales (unión, intersección, entre otros.). Una característica de este sistema de líneas o sistema vectorial, es la presencia de "nodos" o interrupciones lógicas.

La información proporcionada por el catastro de vegetación nativa es periódicamente actualizada por CONAF, a través de proyectos de continuidad de alcance regional (principalmente, la Universidad Austral de Chile, BIOTA y CIREN), cuyo objetivo ha sido monitorear los cambios de uso ocurridos entre períodos de medición e identificar sus causas. De esta forma el catastro y sus actualizaciones se han convertido en un soporte cartográfico digital que ha permitido contar con información sobre la localización, distribución, tamaño, estructura y estado de las comunidades vegetales, especialmente las comunidades boscosas pertenecientes a los diferentes ecosistemas forestales de Chile.

Los principales campos de información que provee el catastro son; uso y subuso del suelo, cobertura, estructura, tipo y subtipo forestal, la identificación de las especies arbóreas y arbustivas dominantes de la unidad cartografiable. También hace mención de las especies en conservación. Todo esto asociado a la división político administrativo comunal, provincial y regional de Chile. Sin embargo, la información territorial que proporciona el catastro no ha estado exento a dificultades geomáticas e informáticas. En este caso, la información regionalizada no mantiene la uniformidad de la estructura y el contenido de la base de datos. Se une a esto, los errores topológicos de la cartografía digital del catastro, situación que ha ido mejorando con las actuales versiones del catastro (figura 5).

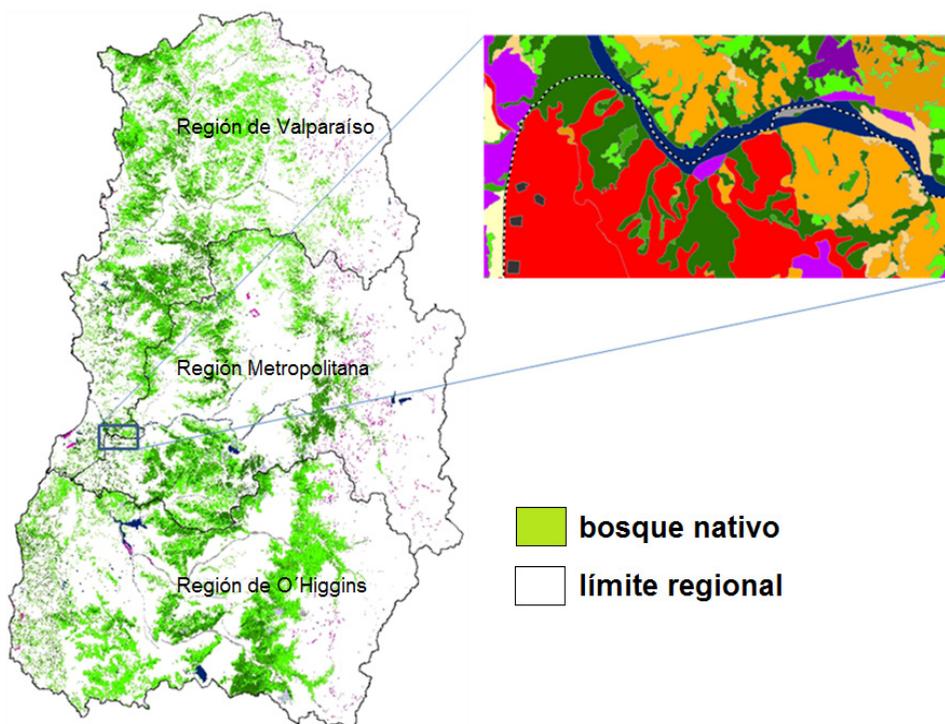


Figura 5. (izquierda) Mapa de vegetación nativa (bosque nativo), y (derecha) representación de la triple frontera regional (V-RM-VI).

Por tanto, este estudio que involucra ocho regiones administrativas de la zona centro sur de Chile, requirió del ajuste geométrico y de la adecuación de la bases de datos espacial. Esto se realizó en base a los trabajos regionales de monitoreo de cambios, corrección cartográfica y la actualización del catastro de bosque nativo en las Regiones de Valparaíso, Metropolitana y Libertador Gral. Bernardo O'Higgins que fue realizado el año 2013. Este último estudio realizó la actualización del uso del suelo para estas tres regiones centrales de Chile, sobre una superficie de 4.787.285 hectáreas. Se pudo detectar los cambios que han ocurrido entre un periodo de medición y otro (2001-2013). También se pudo identificar las causales de cambio en el uso de la tierra, con especial énfasis en los usos de matorral y bosques en las tres regiones de estudio. El proyecto consideró la realización de una corrección geométrica de la cartografía generada en el anterior monitoreo, sobre una base ortorrectificada proyectada en coordenadas UTM, datum WGS 84, uso 19 (CIREN, 2013).

La información del catastro vegetacional con sus monitoreos o actualizaciones es una de las principales fuentes de datos a nivel nacional en su tipo y cuya principal característica es la alta proporción de polígonos o unidades cartográficas sobre uso de la tierra que son verificados directamente en campo, lo que le otorga confiabilidad y respaldo a las estadísticas generadas. Ello ha contribuido a que sea un banco de datos ampliamente utilizado por muchos actores sectoriales, tanto privados como públicos, con propósitos de gestión del ambiente y del territorio.

El desarrollo metodológico del ajuste geomático del catastro entre las regiones V a X consistió en unir las cartografías regionales. En el caso de la cartografía digital de la macrozona central (V, RM y VI) de 4,7 millones de hectáreas fue realizada por CIREN (2012-2013) y se unió espacialmente (HUSO 19 sur) a la cartografía regional de Los Lagos, elaborada en el año 2013 por la Universidad Austral de Chile, cuya superficie de estudio comprende 4,8 millones de hectáreas. En este caso, los trabajos fueron realizados en paralelo con CIREN, por lo que, CONAF corroboró que las bases de datos regionales tuvieran estructuras y campos similares. Para las regiones VII (año 2008), VIII (año 2009) y X (año 2013), se realizó el siguiente protocolo de trabajo cartográfico y temático;

1. Georreferenciación sobre Landsat 8 (pansharpening) VII, VIII y X región.
2. Extracción de USOS: Bosque nativo, mixtos, humedales, ríos, cajas de río.
3. Normalización de base de datos en campos: USO TIERRA, USO, SUBUSO, ESTRUCTURA, COBERTURA.
4. Unión y edición de polígonos de frontera VI con VII región.
5. Unión y edición de polígonos de frontera VII con VIII región (figura 6).
6. Simplificación de vértices capa X región.
7. Unión de polígonos X con capa V, RM, VI, VII, VIII región.
8. Revisión topológica.

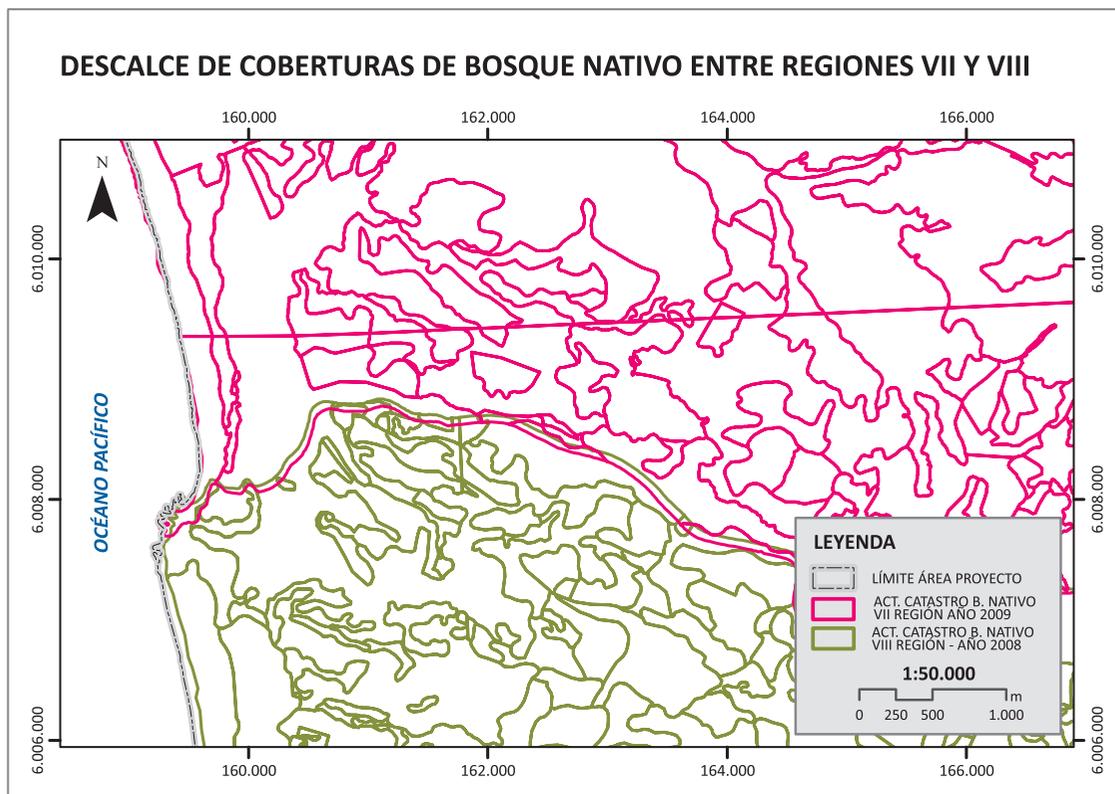


Figura 6. Croquis del descalce de la información de vegetación nativa entre las regiones VII y VIII.

Finalmente, CIREN ajustó y unió geomáticamente las nuevas coberturas del catastro de bosque nativo de las regiones IX y XIV por cuanto la cartografía actual es de mayor detalle y calidad de dibujo (que la versión anterior de esas regiones), además, la cartografía digital posee menos errores topológicos e elimina el campo subuso de protecciones y lo reemplaza por el subuso bosque nativo (mayoritariamente). Asimismo, la integración de esta nueva información espacial del uso del suelo cumple con la estandarización propuesta por la macrozona central. Esto involucró tiempo adicional del estudio por cuanto requirió actividades de sistematización de campos, topología de archivos y unión de coberturas a la macrozona V-RM-VI-VII-VIII-X. La figura 7, muestra la ubicación referencial del bosque nativo entre las regiones V y X y los años de publicación del catastro.

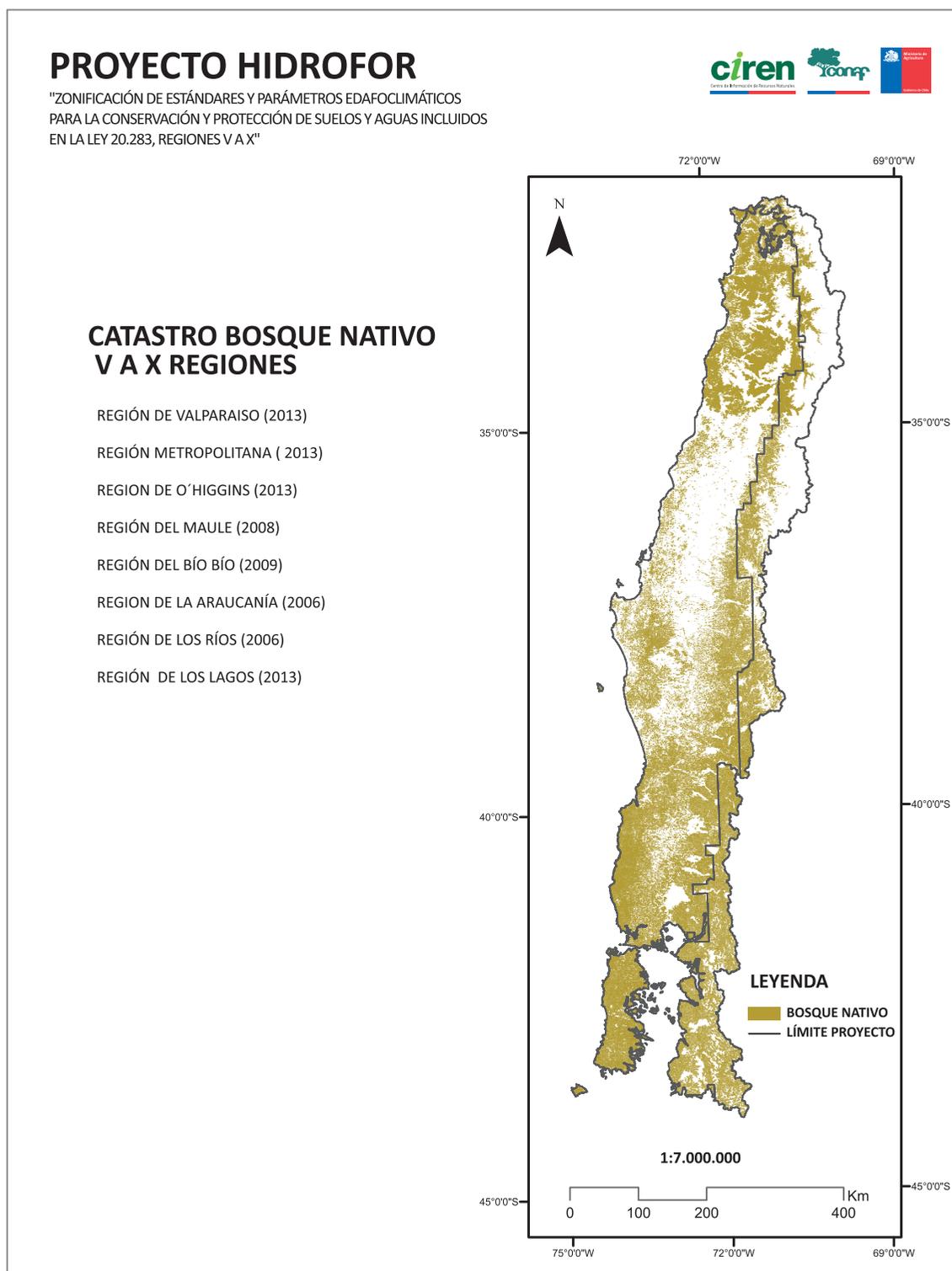
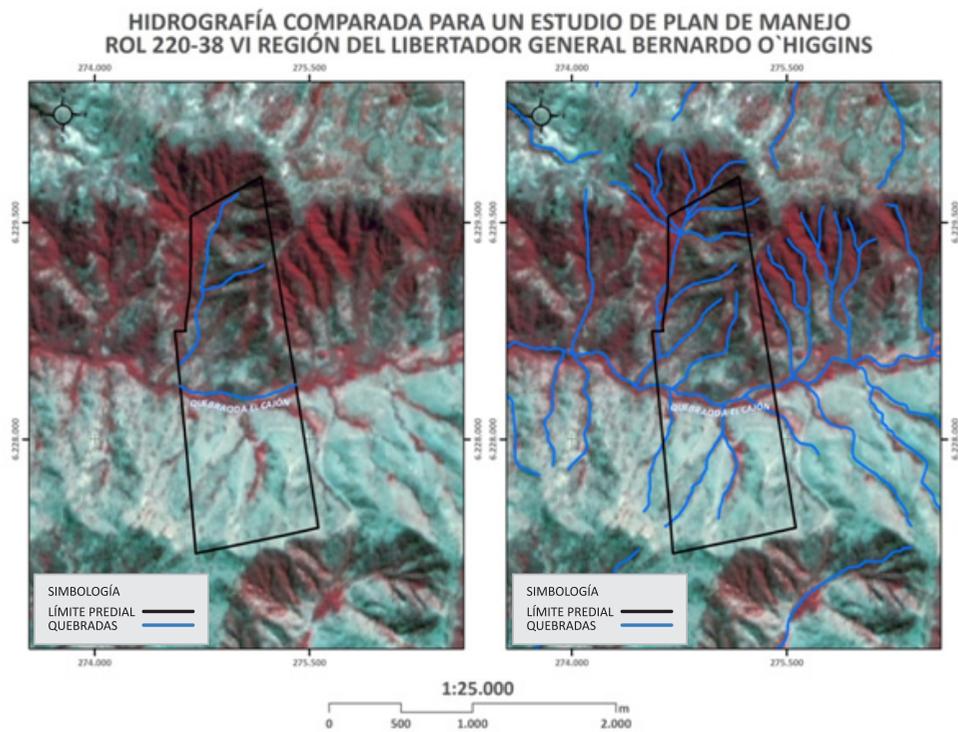


Figura 7. Catastro de bosque nativo para las regiones entre la V (Valparaíso) y la X (Los Lagos).



SIN ESTUDIO

CON ESTUDIO

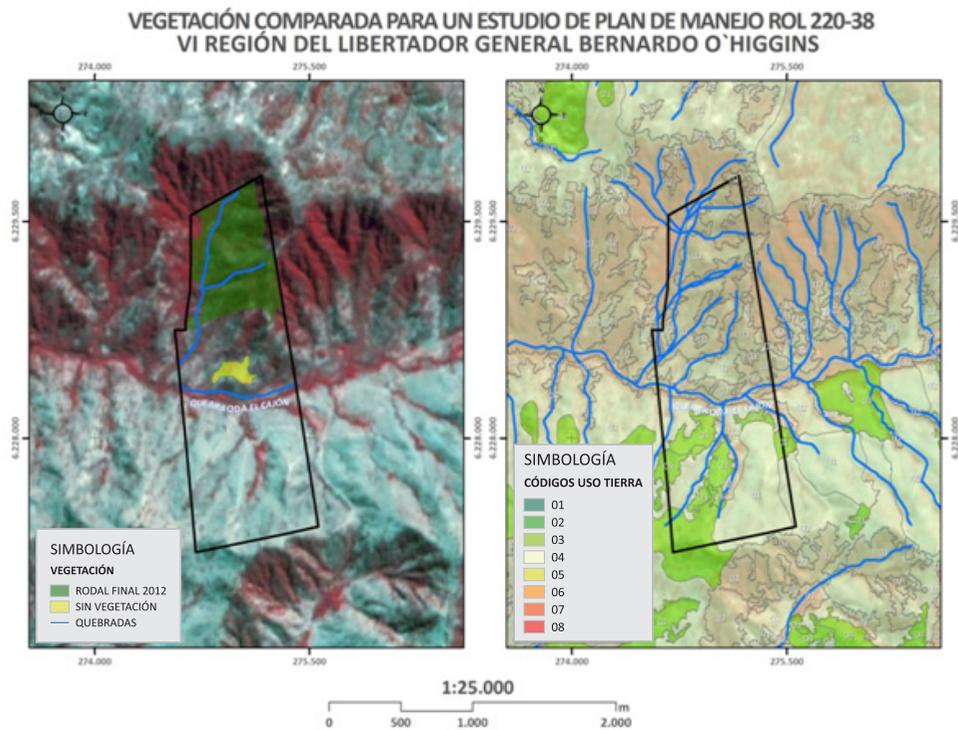


Figura 8. Brecha de información de hidrografía y de vegetación nativa de un plan de manejo forestal en áreas con bosque nativo de la VI región de Chile.

Por su parte, la figura 8, muestra un ejemplo de la brecha de información de la presentación de los planes de manejo forestal sustentable en bosque nativo, entre un consultor forestal y la información actualizada de la vegetación nativa. Al lado derecho muestra la información de bosque nativo asociada al nuevo catastro de la macrozona central (CIREN, 2013) y la hidrografía del proyecto hidrofor, a escala 1:35.000.

6.1.2. Cartografía de pendientes medias y exposición de laderas

Muchas prácticas silvícolas descritas en los cuerpos legales forestales están reguladas o prohibidas en función de la pendiente media del terreno. Por ejemplo, una zona de manejo limitado definido en el reglamento de suelos, aguas y humedades (Decreto D.S N° 82), establece distintas longitudes o ancho de la zona de amortiguamiento si la pendiente excede los 30% o 45%. En estos casos, esta zona de manejo forestal tendrá un ancho mínimo de 10 metros para pendientes entre 30 y 45% y de 20 metros para pendientes superiores a 45%. Para representar cartográficamente los cursos naturales de agua y su área de protección, el uso de un modelo de elevación digital del terreno como el asterdem (de 30 m de resolución espacial) resulta de gran utilidad para los consultores y profesionales de la Corporación CONAF, por cuanto, pueden definir o segmentar labores de manejo para distintas zonas del predio, asociado a la hidrografía local y las pendientes laterales del cauce. Por ejemplo, la figura 9 muestra una cartografía comparada de pendientes medias de dos fuentes de información distintas. En el lado izquierdo se puede observar el mapa de pendientes medias construido a partir de las curvas de nivel de la carta topográfica del IGM (1:50.000), mientras que en la derecha se observa el mapa de pendientes media calculado con el modelo de elevación aster dem. En este último caso, el fiscalizador podrá sugerir un manejo forestal diferenciado por zona o pendiente, con una mayor precisión y certeza.

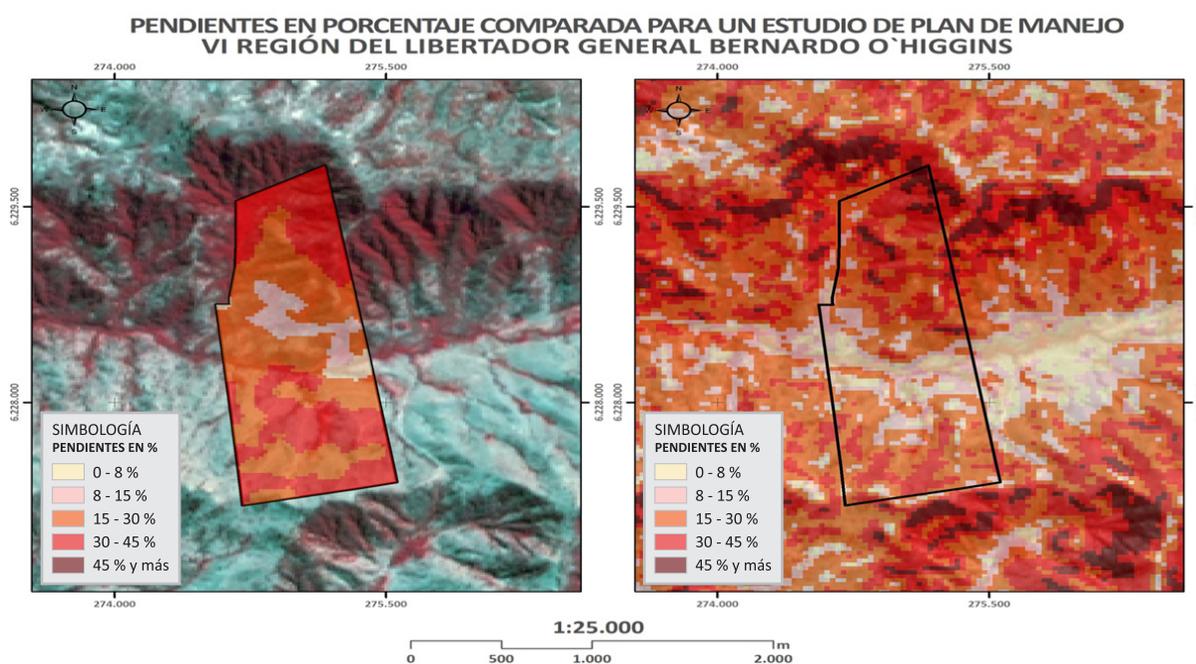


Figura 9. Brecha de información topográfica de un plan de manejo forestal en áreas con bosque nativo de la VI región de Chile.

En este marco, se elaboró la cartografía de pendiente y exposición para cada una de las 8 regiones de estudio, la cual se deriva del modelo aster dem. La unidad de medida para las pendientes fueron el grado (°) y en porcentaje (%). La cartografía se obtuvo a través de la aplicación 3D Analyst del software ArcGis®, la cual calcula la tasa máxima de cambio de elevación entre cada celda y sus ocho celdas vecinas. Cada celda del archivo raster de salida tiene un valor de pendiente.

Mapa de pendientes medias: Representa la pendiente promedio por unidad de superficie, que en este caso es de 900 m² ya que el pixel es de 30 x 30 m. Los valores están expresados en porcentaje, donde 100% equivale a 45°.

Esta información se puede aplicar al artículo n°6 del RSAH que establece que en bosque nativo ubicados en la Región de Valparaíso y Metropolitana de Santiago, prohíbase el descepado de árboles, arbustos y suculentas de formaciones xerofíticas en áreas con pendiente entre 10 y 30% que presenten erosión moderada, severa y muy severa; como en aquellas con pendientes superiores al 30%. Considere, para el área de estudio del proyecto HIDROFOR (2013-2016) de CIREN en la región V y

RM hay una superficie de bosque nativo de 605.145 ha correspondiente a los tipos forestales Esclerófilo (583.630 ha), Palma Chilena (9.953 ha), Roble-Hualo (10.625 ha) y rezagos de Ciprés de la cordillera (23 ha).

Otra información de interés es la elaboración de un mapa de exposición de laderas que puede ser construido a partir del modelo digital de elevación DEM Aster, a una escala 1:30.000. El mapa de exposición de laderas registra en cada pixel el ángulo hacia donde apuntan las laderas en el sentido horizontal, donde 0° es orientación Norte, aumentando en el sentido del reloj, es decir el Este está a 90°. La información de exposición está dado por la orientación cardinal de la ladera (9 categorías: norte, noreste, noroeste, oeste, este, sur, sureste, suroeste y zonas planas).

La información de exposición de laderas permite analizar indirectamente el estado actual de la degradación física de los suelos, entendiendo que por las características climáticas de la zona central de Chile existen orientaciones de laderas más frágiles y/o susceptibles a la erosión hídrica, como por ejemplo, las laderas de exposición Norte. Por consiguiente, conocer la exposición de laderas, es una medida fundamental para reducir los efectos negativos sobre el suelo, con el fin de sustentar ambientalmente los diseños agroforestales, la construcción de infraestructuras de riego en zonas con pendientes, la protección de la vegetación nativa de quebradas y de cauces naturales cercanos.

Actualmente, la información de la orientación de las laderas se está utilizando para elaborar mapas de insolación y potencial de energía fotovoltaica.

6.1.3. Cartografía de cuencas hidrográficas

Cabe destacar previamente que el Inventario de Cuencas Hidrográficas de la Dirección General de Aguas (DGA) tiene su génesis en el año 1978, que da origen al actual inventario denominado "Clasificación de Cuencas Hidrográficas de Chile", el cual, a más de treinta años de su creación, aún está vigente. Durante el tiempo ha tenido diversas modificaciones y mejoras hasta lo que actualmente la DGA denomina "Cuencas BNA", y su difusión ha sido masiva a nivel país. La Dirección General de Aguas de Chile consciente del avance tecnológico de las herramientas de SIG, la geomática, el geoposicionamiento y la tele-detección, ha visualizado la oportunidad de revisar, mejorar y actualizar con nuevos estándares SIG su inventario de cuencas hidrográficas, que incluye resolver intrínsecamente una serie de problemas detectados, por ejemplo;

- a) Diferencias entre cuencas declaradas en el BNA y las cuencas reales.
- b) Ausencia de criterios para estudios internos DGA.
- c) Diferencia de sinuosidades.
- d) Diferencia de criterios en la delimitación de cuencas.
- e) Diferencias en la sectorización acuífera y su coincidencia con las cuencas.
- f) Implicancia en el análisis de la situación de derechos.

Dicho trabajo cartográfico, informático e hidrológico fue realizado por el Centro de Información de Recursos Naturales (CI-REN), durante el periodo 2014-2015.

Es importante mencionar que, sin perjuicio de lo anterior, cuando se construyeron las cuencas BNA, se buscaba satisfacer las necesidades de la DGA, en el sentido de administrar los recursos y las variables hídricas, y la actual codificación ha cumplido a cabalidad con ese objetivo, no así algunas delimitaciones de cuencas, subcuencas y subsubcuencas. Se planteó entonces, y existe casi un consenso general, que reconstruir la delimitación de cuencas (a una escala cercana a 1:30.000), mejorando las sinuosidades en el 100%, constituye un importante aporte y avance para su uso en varios de los ámbitos de este servicio ministerial.

Para el proyecto hidrofor, se realizó un trabajo de reclasificación y delimitación de las cuencas entre las regiones V a X. El área de estudio contempló la redefinición de los límites de 72 cuencas entre cuencas continentales e isla de Chiloé y circundantes, de ellas se componen 190 subcuencas y 758 sub-subcuencas aguas superficiales asociadas a su respectiva red de drenaje. Para ello se rediseñó el información geográfico a partir de un modelo de geodatabase.

La jerarquización de la red de cuencas hidrográficas planteada para este estudio incorporó las bases metodológicas expuestas en la "GUÍA ANÁLISIS Y ZONIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL" elaborado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo el año 2013. Este documento presenta la clasificación de cuencas en base al trabajo realizado por el Instituto Geográfico Militar (1984, "Hidrografía Volumen VIII Geografía de Chile), donde se la jerarquización es por orden (n); cuencas, subcuencas, sub-subcuencas (microcuencas) y quebradas (tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de la red hidrográfica de Chile.

Nivel jerárquico o número de orden	Clasificación contextual	Descripción y ejemplos
Cuenca	Tamaño según superficie	Área geográfica cuyas aguas superficiales y subterráneas drenan o vierten a una red hidrográfica común y finalmente hacia un curso mayor o principal que desemboca en el mar o lago
Subcuenca	De "n" orden	Subdivisión al interior de una cuenca para denominar a la superficie de menor jerarquía u orden que realiza el drenaje por un tributario del curso principal.
Sub-subcuenca (microcuenca)	De "n" orden	Subdivisión al interior de una subcuenca para delimitar las unidades hidrográficas más pequeñas dentro de una cuenca principal.
Quebrada	Superficie mínima de drenaje	Subdivisión al interior de una sub-subcuenca (microcuenca) que desarrolla su drenaje directamente al cauce principal de una microcuenca. Varias quebradas pueden conformar una microcuenca.

Fuente: Subdere (2013) en base a IGM 1984 Hidrografía Volumen VIII Geografía de Chile;

Esta clasificación es consistente a otros estudios realizados por el Ministerio de Agricultura. La jerarquización de cuenca es utilizada en la clasificación de la vegetación nativa de la macrozona central de Chile (CIREN, 2013) y en estudios de la degradación del suelo, en particular, el proyecto nacional para la determinación de la erosión actual y potencial de los suelos realizado por CIREN (2010), a escala 1:50.000 en suelos agropecuarios y 1:250.000 en el resto del país.

En este estudio se define como unidad básica de análisis, la sub-subcuenca (microcuenca). A este nivel de resolución es posible determinar flujos superficiales de aguas y sedimentos, los cambios vegetacionales y de humedad entre solana y umbría, entre otros estudios de recursos naturales. La clasificación en función del criterio número de orden de la cuenca (n) se basa en la asignación de un valor que tiene relación estrecha con el número de ramificación es de la red de drenaje. El método de delimitación utilizó el modelo de elevación digital DEM Aster para el modelamiento matemático de cuencas mediante algoritmo topográfico de los datos de altitud y que fue procesada con el software TNTmips®. Para contener grandes unidades territoriales que aseguraran la integridad del flujo de grandes cuencas hidrográficas, la cobertura DEM se dividió en ocho secciones regionales y en cada sección se define distintos parámetros de entrada para la aplicación de un algoritmo de determinación y salida de la cobertura de cuencas. Se consideró como parámetros adecuados aquellos que permiten visualizar cartográficamente las cuencas de relieves escarpados a una escala 1: 30.000. Los parámetros de modelación de las cuencas y drenaje del software TNTmips® correspondieron a: ensenada 128, salida 1.024 y cuenca 3.072. Para representar de mejor manera el drenaje del área de estudio se utiliza un único nivel de densificación de drenes (parámetro rama), ajustándose a la escala de trabajo del estudio; V, RM, VI, VII, VIII, IX, XIV y X. La variación en el parámetro rama para la obtención de cuencas a partir del DEM se llevó a cabo en consideración con la unidad geográfica procesada y a la densidad vectorial esperada para cada sección analizada. Para las zonas bajas, planas y fondo de valles se digitaliza una máscara con las zonas de planiformes del país y se genera una nueva cobertura de cuencas utilizando los siguientes parámetros: ensenada (6.144), salida (2.056), rama (6.144) y cuenca (49.152). La edición de las sub-subcuencas consistió en la siguiente secuencia de procesos una vez obtenidas de la modelación:

- a) Conversión a formato shape (*.shp) desde formato (*.rvc)
- b) Corrección de errores mediante generación de parches en las áreas faltantes, los que serán editados para evitar el traslape de polígonos.
- c) Autocompletación para algunos sectores de la costa y la cordillera.
- d) Generación de nuevas cuencas en las zonas planiformes.
- e) Generación del mosaico (V a X regiones) con todas las secciones procesadas y edición de bordes.
- f) Ajuste de la cobertura con límites administrativos del proyecto.
- g) Revisión topológica de las coberturas digitales (*.shp).

Un aspecto importante de cualquier cobertura SIG fue la definición de los campos de información y la estructura de bases de datos. En este caso, CIREN revisó y mejoró las bases de datos del BNA, conforme a los lineamientos de la DGA. Se definió la siguiente estructura y codificación de la base de datos, en función de la división política-administrativa adoptada (tabla 4).

Tabla 4. Estructura de la base de datos de las unidades hidrográficas.

Campo	Descripción
Código	Corresponde al código BNA único para cada unidad hidrográfica.
Nombre	Nombre de la unidad hidrográfica.
Tipología de cuenca	Indica el tipo de escurrimiento superficial (arreica, exorreica, o endorreica) y la posición topográfica (andina, pre-andina o costera) de la unidad hidrográfica.
Vertiente de cuenca	Señala la dirección de drenaje superficial de la unidad hidrográfica (atlántico o pacífico).
Origen cuenca	Indica el régimen de alimentación de la unidad hidrográfica (nival, pluvial o mixta, glacial).
Temperatura media anual	Es el promedio histórico de las temperaturas medias registradas en cada uno de los doce meses del año. Valor expresado en grados Celsius.
Temperatura máxima	Es el valor en grados Celsius correspondiente a la temperatura más alta alcanzada en el mes más cálido.
temperatura mínima	Es el valor en grados Celsius correspondiente a la temperatura más baja alcanzada en el mes más frío.
Precipitación media anual	Es el promedio histórico de la precipitación anual caída durante los doce meses del año expresada en milímetros.
Nº estaciones fluviométricas	Número de estaciones fluviométricas que se encuentran en cada unidad hidrográfica
Nº estaciones pluviométricas	Número de de estaciones pluviométricas que se encuentra en cada unidad hidrográfica.
Superficie	Corresponde a la superficie de la unidad hidrográfica expresada en kilómetros cuadrados.

Se ajustó la nueva cobertura cartográfica de la red hidrográfica de Chile. La nueva codificación de las unidades hidrográficas regionales viene dada por el sistema de codificación y los criterios del estudio "Clasificación de cuencas hidrográficas de Chile" DGA de 1978, la cual tiene una correspondencia con el sistema Banco Nacional de Aguas (BNA), que almacena toda la información de la red hidrométrica nacional.

Base de datos jerárquica: Una base de datos jerárquica estructura los campos en nodos en una estructura subordinada. Los nodos son puntos conectados entre sí formando una especie de árbol invertido. Cada entrada tiene un nodo padre, que puede tener varios nodos hijos; esto suele denominarse relación uno a muchos. Los nodos inferiores se subordinan a los que se hallan a su nivel inmediato superior.

La redefinición de la nueva delimitación hidrográfica crea nuevos niveles de jerarquía de cuencas, por lo que requirió un nuevo código de identificación que posee la siguiente estructura:

01	02	03	01	02	2	0	8	1	2
Región	Cuenca	Subcuenca	Sub-subcuenca	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7	Nivel 8	Nivel 9

En otras palabras, dos dígitos para codificar la Región (01 a 15); dos para codificar las Cuencas de cada Región (0 a 99); dos para numerar las subcuencas dentro de cada Cuenca (0 a 99); dos dígitos para codificar las sub-subcuencas dentro de cada subcuenca (0 a 99); dos dígitos para numerar los afluentes directos de cada sub-subcuenca, en el nivel 4 de jerarquía (0 a 99); un dígito para el nivel 5 de jerarquía, es decir los afluentes del nivel 4 (0 a 9); un dígito para los afluentes del nivel 5 (nivel 6 de 0 a 9) y así sucesivamente, se asigna un dígito por cada nivel nuevo en la jerarquía, pudiendo llegar a "nivel 9". De esta forma es posible saber en cuál cuenca u otro nivel, desaguan los afluentes.

Existe un anexo cartográfico publicado por la Dirección General de Aguas (DGA) donde se expone las cartografías regionales resultantes de la re-delimitación de cuencas realizada por CIREN y se muestra la estadística climática y dimensional asociada a nivel de sub-subcuenca.

6.1.4. Cartografía de la red drenaje superficial

La información georreferenciada de la red de drenaje superficial en el área de estudio (V a X región), pueden ser visualizadas a través del Geoportal de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE MINAGRI) disponible en su página web <http://ide.minagri.gob.cl/geoweb/> desde el año 2014. Esta información se encuentra en formatos de archivos vectoriales, a la forma de líneas, polígonos y puntos en base a la información disponible en el Instituto Geográfico Militar (IGM).

La red de drenaje del IGM es un archivo vectorial en formato shape (escala 1:50.000), que se compone con los siguientes archivos;

- Archivo de líneas que representa la hidrografía superficial, a saber; arrecifes, canales, quebradas permanentes y quebradas no permanentes.
- Archivos de puntos que representan elementos de roqueríos, dirección de corriente, término de corriente, y aguada.
- Archivo de polígonos que representa a cuerpos de aguas y otros elementos geográficos, a saber; aluvión, embalse, isla lago seco, lago temporal, océano, río, estero, terreno de inundación

Téngase presente que existe otras fuentes de información vectorial que poseen una red de drenaje superficial a escalas de semide-talle (p.e CIREN) y generalizada (p.e CONAF). Primero, la red de drenaje del catastro vegetacional de CONAF es un archivo vectorial en formato shape (escala 1:50.000) que incorpora los objetos de Cajas de Ríos, Lago-Laguna-Embalse-Tranque, Ríos y Vegas. Segundo, la red de drenaje de los estudios agrológicos de CIREN (1:10.000 a 1:20.000) es un archivo vectorial en formato shape que incorpora los objetos caja de estero, caja de rio, laguna, misceláneo estero, misceláneo quebrada, misceláneo río y tranque. En tercer lugar es la información del inventario de humedales del Ministerio de Medio Ambiente, realizado en el año 2012, también representa gráficamente los cuerpos y cursos de agua en base a la fotointerpretación de espejos de agua sobre imágenes Landsat 5.

Al revisar las coberturas de drenaje coincidimos con Quiroz y Cavieres (2009, 2010), existe una asimetría en la densidad de drenaje entre las regiones. Asimismo, ninguna de las tres coberturas puede ser representativa del drenaje para los fines del estudio. En las figuras 10, 11 y 12, como ejemplo en la Región de O´Higgins, se puede demostrar la carencia dispar de la información de drenaje entre las coberturas del IGM, CONAF y CIREN. En cuanto a la gráfica, la cobertura de CIREN tiene mejor interpretación cartográfica que las otras, debido a su escala de dibujo es 1:10.000 o 1:20.000 dependiendo de la región de estudio. Sin embargo, adolece de baja densidad de trazado en las zonas cordilleranas costeras y andinas, por cuanto su área de interés ha sido históricamente el sector agrícola de la zona central de Chile. Otro elemento discutido, es la disparidad de criterios para la definición de curso superficial natural de agua. Por un lado el IGM considera como curso superficial, el espejo de agua, mientras que CIREN y CONAF, consideran un concepto hidrológico del drenaje que incorpora un periodo de retorno de los flujos superficiales.

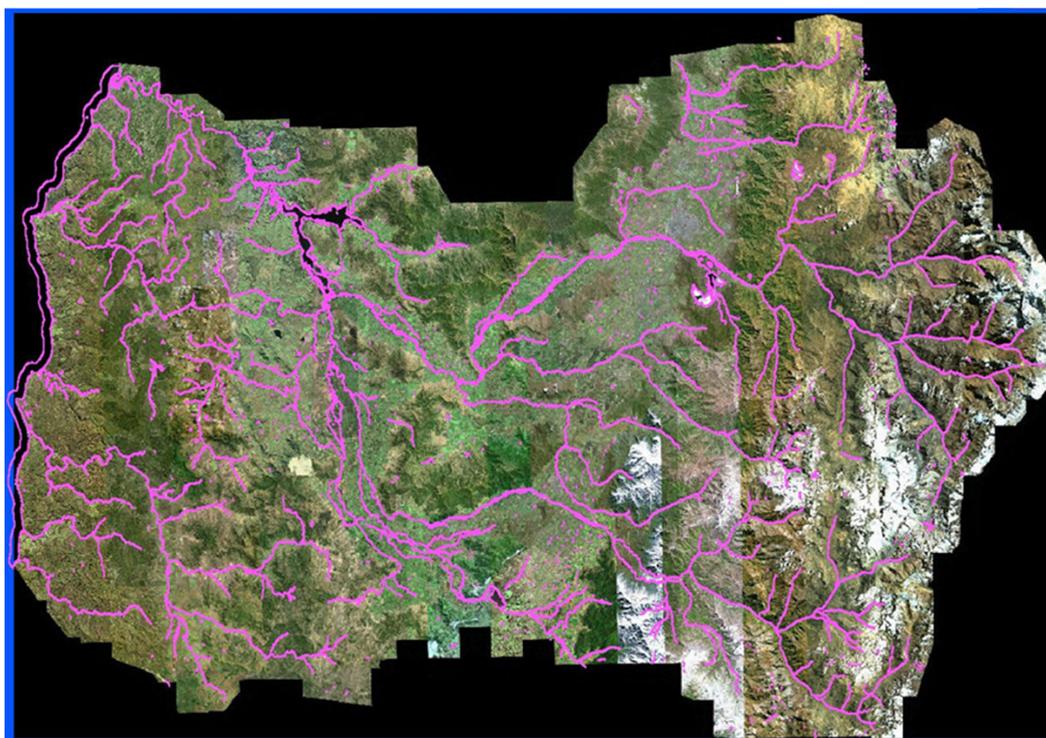


Figura 10. Cartografía regional del drenaje superficial y cuerpos de agua del IGM (1:50.000) en la VI región de Chile.

NOTA: drenaje color magenta

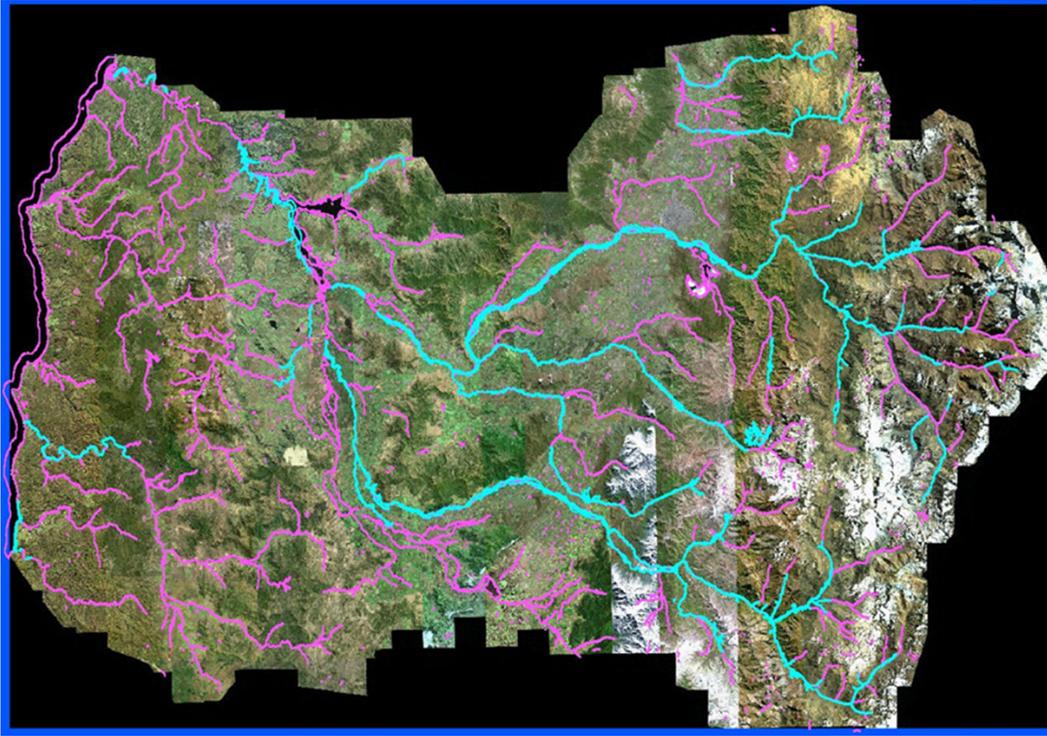


Figura 11. Cartografía regional del drenaje superficial y cuerpos de agua del IGM y CONAF para la VI región de Chile.
NOTA: drenaje IGM: color magenta y CONAF: color cian

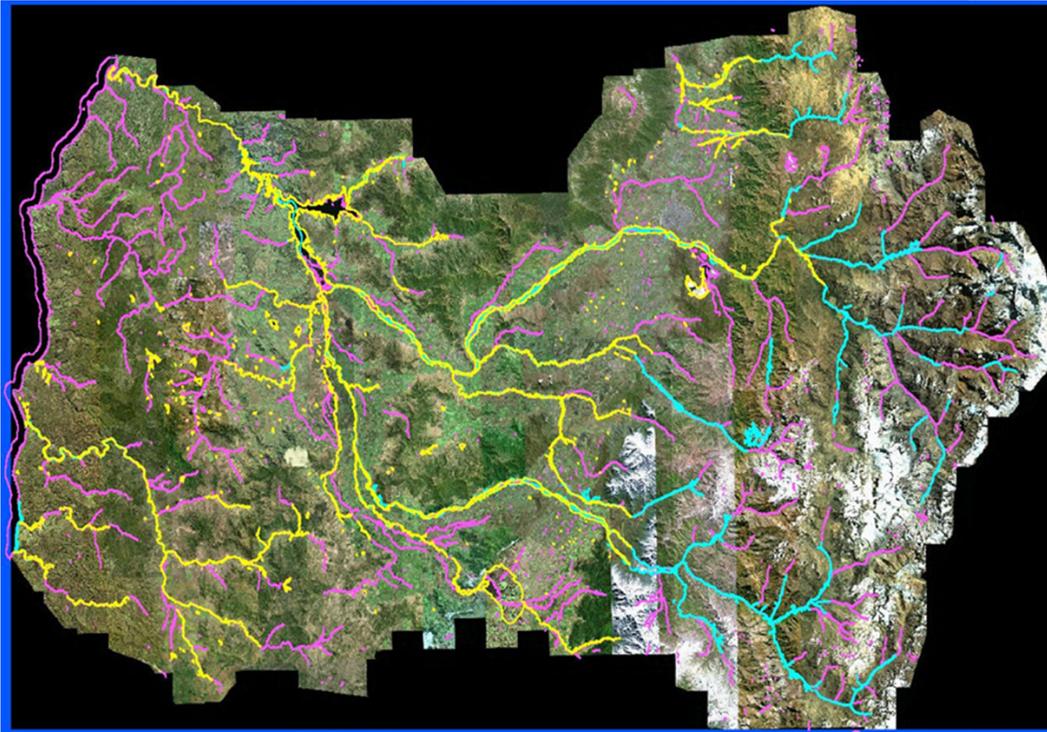


Figura 12. Cartografía regional del drenaje superficial y cuerpos de aguas del IGM, CONAF y CIREN, para la VI región de Chile.
Nota: drenaje IGM: color magenta, CONAF: color cian y CIREN: color amarillo

De la figura 13, y del análisis cartográfico e hidrográfico de los cursos de agua se deduce que la interpretación de la caja de río y/o estero de los estudios agrológicos de CIREN (1:10.000 - 1:20.000), representan gráficamente de mejor manera la variabilidad histórica de un dren superficial y rescata el concepto del periodo de retorno de la crecida, y a partir de ésta, permitiría una mejor interpretación espacial de las zonas de protección exclusiva y/o de manejo limitado. Los flujos superficiales varían anualmente, de igual forma la configuración de hidráulica del lecho. Esta situación dificulta la medición espacio-temporal de las secciones transversales indicadas en el reglamento de aguas, suelos y humedales. Esto provoca incertidumbre en la estimación de los anchos de protección de la vegetación nativa adyacentes a los cursos naturales de agua.

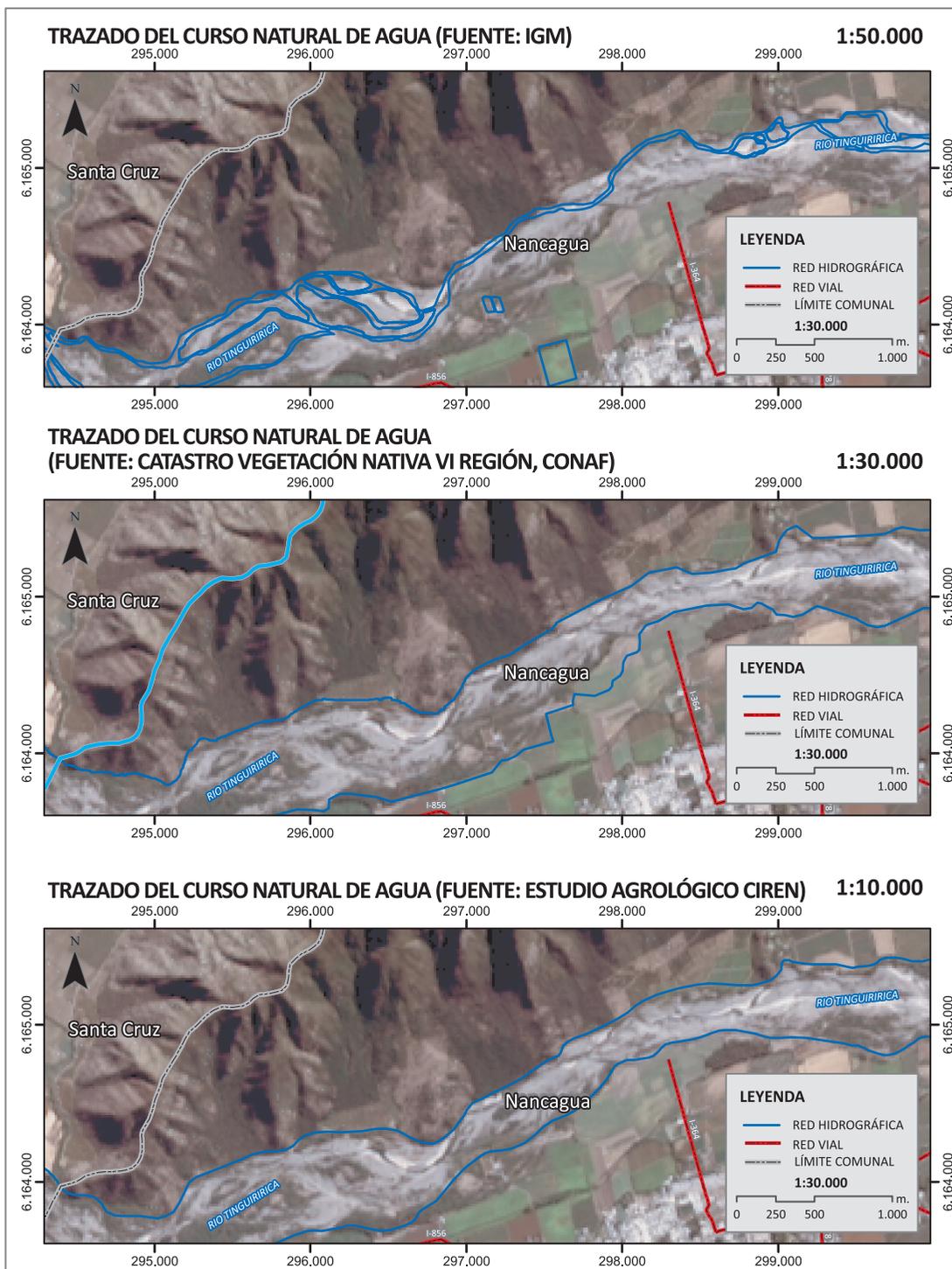


Figura 13. Trazado del drenaje superficial de la cobertura del estudio agrológico de suelos de CIREN sobre imagen satelital (VI región).

Sabiendo la necesidad de generar zonas de protección del bosque nativo cercano a cauces superficiales y de la carencia de información de drenaje densificado, este estudio crea una nueva red de drenaje que recoge lo mejor gráfica de cada cobertura digital citada. A continuación, se indican algunos pasos metodológicos del ajuste de la red drenaje superficial y la densificación del mismo;

1. Se construye una red de drenaje ampliada considerando las cajas ríos de los estudios agrológicos de CIREN ajustadas a la imagen Landsat 8 (2013-2015).
2. Se agrega y ajustó las cajas de ríos de la información de drenaje del IGM. Se ajustó toda la red de drenaje IGM a la imagen Landsat 8 (2013-2015).
3. Se georreferenció la red de drenaje de ríos, esteros y quebradas del IGM (V a X).
4. Se unieron las capas de información vectorial IGM y cajas de ríos de los estudios agrológicos de CIREN.
5. Se densifica la red de drenaje con información de flujos superficiales ajustados desde el modelo de elevación DEM Aster, en programa TNTmips®.

Las fuentes cartográficas con redes de drenaje, disponibles en CIREN fueron transformadas desde el datum PSAD 1956 a WGS84. Se procedió a georreferenciar nuevamente esta cartografía de tipo vectorial, para hacer coincidir el drenaje IGM con los cursos de agua que se aprecian en las imágenes Landsat 8. Se agregaron miles de puntos de control para la georreferencia. A modo de ejemplo, en la región del Biobío se colocaron 14.000 puntos, en color verde (figura 14).

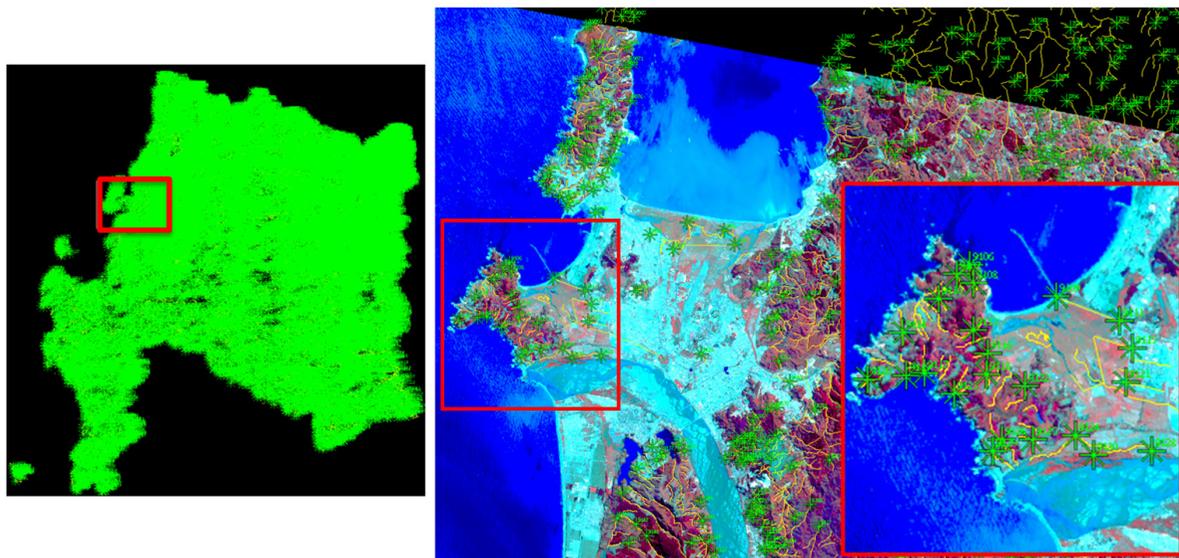


Figura 14. Representación gráfica de los puntos de control para la georreferenciación del drenaje superficial en la región del Biobío.

Con la red de drenaje ajustada a la imagen Landsat 8 y corregida en su trazado, se inició el proceso de densificación de la red de drenaje superficial de la zona centro-sur del país (figura 15). En este estudio, se entiende como **densificación**, el aumentar y/o completar la red de drenaje esporádico o quebradas, a partir de los cursos de agua existentes en la carta IGM, pero sólo aquellos que sean visibles con las imágenes Landsat 8 a escala 1:35.000 y **sólo en las áreas con bosque nativo**, declarado en el catastro de vegetación nativa de la Corporación CONAF.



Figura 15. Representación gráfica del drenaje superficial existente (escala 1:50.000) en la región de Valparaíso.

Para lograr una densificación uniforme por cada unidad biogeográfica entre la región de Valparaíso y Los Lagos, se procedió a modelar matemáticamente la red de drenaje (figura 16), utilizando un único modelo digital de elevación para las ocho regiones de estudio. Los parámetros de modelación incorporan el tamaño de cuenca y el drenaje superficial (CIREN, 2010) y consideró un sistema de drenaje de cuencas con dimensión entre 100 y 350 ha. Esto asegura que la densidad de cursos de agua fuera superior a las cartas del IGM y acorde con la escala del estudio (1:35.000).

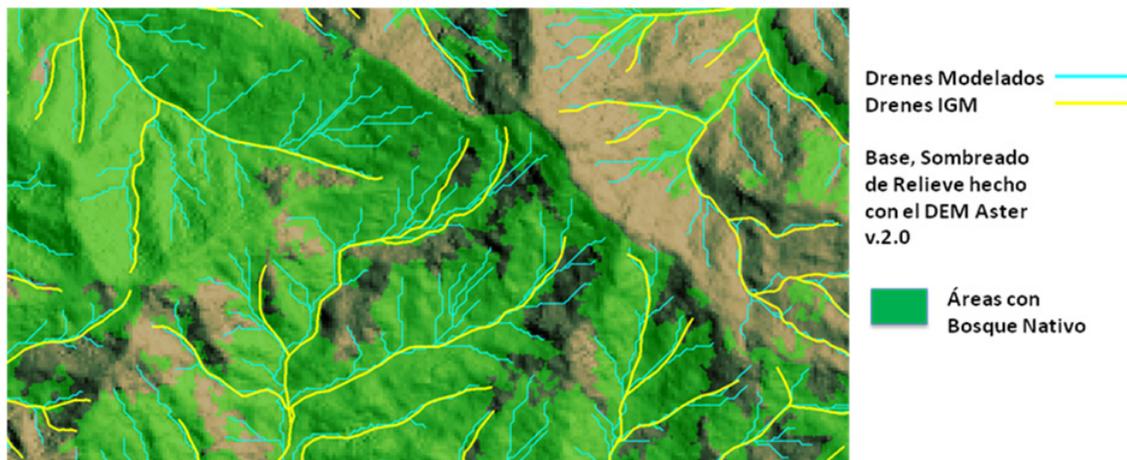


Figura 16. Representación gráfica del drenaje modelado (escala 1:35.000) en la región de Valparaíso.

Se fotointerpretó y dibujó manualmente las quebradas esporádicas y/o no permanentes, usando como criterio los drenes modelados y la imagen Landsat 8. En este trabajo se utilizaron tabletas digitalizadoras, las cuales poseen un lápiz pasivo (sin cable), 10 veces más sensible que un mouse, donde la mano del operador asume una postura natural para dibujar. Con este dispositivo electrónico, los tiempos de trazado de drenaje se redujeron a la mitad, con respecto al mouse tradicional. La figura 17, muestra una vista del trabajo de densificación en la región de Valparaíso.



Figura 17. Representación gráfica del drenaje superficial densificado (escala 1:50.000) en la región de Valparaíso.

Para definir las áreas de protección del bosque nativo asociado a los cursos naturales de agua se asigna el atributo pendiente media a los vectores, segmentando la red de drenaje densificada, en 3 rangos de inclinación del terreno, y que están definidos en el reglamento de suelos aguas y humedales, a saber; rango 1 = de 0% a 30%; rango 2 = de 31% a 45% y rango 3 = Más de 45%.

Se elabora un mapa de pendientes medias usando el modelo digital de elevación, DEM Aster versión 2.0. Recuerde este DEM es un formato matricial, donde cada pixel registra un valor de altitud, medido desde el nivel medio del mar y posee un pixel de 30 x 30 m.

Mapa de pendientes medias: Representa la pendiente promedio por unidad de superficie, que en este caso es de 900 m² por celda. Los valores están expresados en porcentaje, donde 100% equivale a 45°.

Se convirtió la información vectorial de drenaje a raster binario es decir de 1 bit, que permite valores 1 y 0 solamente (ver figura 18). Los pixeles "0" son de color negro y los pixeles "1" son de color blanco. Se transfiere la información de pendientes medias a la red de drenaje el sentido transversal al eje del drenaje. En otras palabras se considera un pixel de 30 metros a la izquierda y otro pixel de 30 metros a la derecha. Se realiza la operatoria matricial para obtener los segmentos de drenaje con pendiente media.

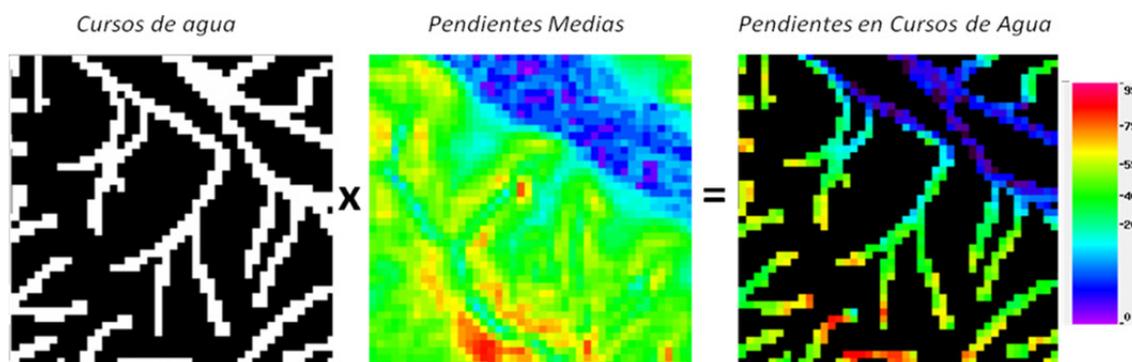


Figura 18. Representación matricial del cálculo de asignación de pendiente media al curso de agua.

Para resolver el exceso de segmentación, que aparece en algunos drenes y disminuirlo a escala del proyecto (1:35.000), se aplicó un filtro de tipo, "pasa bajo" o "media", con una matriz de cálculo de 3x3. Finalmente, se convierte la información raster en vectorial (polígono), y se acopla los atributos de pendiente media de los polígonos, al trazado de líneas del drenaje densificado, lo que genera la segmentación de los cursos naturales de aguas por cada categoría de pendiente.

El siguiente paso, y con asesoría del Centro de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca, fue proponer una definición de áreas de protección de riberas en función de la información cartográfica disponible del Instituto Geográfico Militar (IGM) y la definición del ancho de protección según tipología de curso natural de aguas y la pendiente lateral del terreno. Por lo expuesto, el valor de la pendiente del terreno impacta directamente la repuesta del suelo ante la agresividad de la lluvia y las sollicitaciones físicas del suelo. Los suelos ubicados en pendientes abruptas, por lo general, son erosionables y con ausencia de los primeros horizontes orgánicos. Dependiendo de su posición y orientación en la ladera y la densidad de la vegetación, tienen señales de pérdida de suelos y presencia de canalículos o regueros de erosión. La tabla 5, expone los criterios de asignación de ancho de protección de estudio hidrofor en base a la topografía adyacente, al tipo de curso natural de agua (definidos en la cartografía I.G.M).

Tabla 5. Criterios de asignación de ancho de protección según la topografía adyacente al curso de agua.

Tipo de dren	Pendiente	Ancho de protección
RÍO	<= 45%	20 metros
	> 45%	30 metros
ESTERO	<= 45%	10 metros
	> 45%	15 metros
QUEBRADA	< 30%	5 metros
	30% - 45%	10 metros
	>= 45%	15 metros

Fuente: Forestal Mininco, 2014.

Cabe consignar, algunos antecedentes recopilados, al año 2015, en temáticas sobre las zonas y anchos de protección del bosque nativo adyacente a los cursos naturales. Se reconoce que existen algunas evidencias empíricas de empresas forestales chilenas (Arauco S.A y Forestal Mininco S.A), que en cumplimiento a la certificación ambiental FSC (Forest Stewardship Council), especifican en sus protocolos de manejo forestal sustentable de plantaciones comerciales (pino y eucalipto), algunos criterios de anchos de protección de cursos de aguas, basados en la topografía y en el paisaje intervenido. Por ejemplo Arauco S.A, define su estándar de protección de la vegetación nativa en cursos de aguas basado en la interpretación del Decreto Supremo N° 82, del año 2011 del Ministerio de Agricultura (tabla 6), de modo dar fiel cumplimiento a la normativa legal vigente en Chile.

Tabla 6. Anchos mínimos de protección permanente en torno a cursos de agua de acuerdo a la sección del cauce y/o pendientes laterales. (Basado en DS-82).

Tipo	Pendiente del terreno		
	<30%	30-45%	>45%
Cursos temporales de sección menor a 0,5 m2	5	5	5
Manantiales	10	20	30
Cursos permanentes de sección de cauce menor a 0,5 m2	10	10	10
Cursos de agua de sección mayor a 0,5 m2	10	20	30
Cuerpos de agua	10	20	30
Humedales	10	10	10

NOTA.-En caso de existir acuerdos previos de anchos de protección con la autoridad (CONAF) estos se respetarán cuando las protecciones sean mayores a las indicadas en el cuadro aprobado. (Fuente: Arauco S.A, 2012)

Interesante resulta revisar la guías metodológicas de Gayoso et al., (2000), quienes clasifican los cauces de protección en 4 categorías de acuerdo a el tamaño de la cuenca, existencia de peces y las características de su flujo (permanente o temporal). Además, define una Zona de Manejo de Cauces (ZMC) como una franja de protección variable adyacente a un cauce, en la cual el suelo, la materia orgánica y la vegetación son manejadas, de manera de proteger y mantener las características físicas, químicas y biológicas de las aguas del cauce, tanto dentro como fuera del sitio. La clasificación de cauces y la definición de la ZMC, están principalmente orientadas a prescribir las actividades de manejo forestal en esta zona (principalmente la

cosecha y la construcción de caminos), de manera de cumplir con los objetivos antes señalados (Texas Forest Service, 1999)². La tabla 7, presenta las dimensiones (ancho) de la ZMC para los distintos tipos de cauces.

Tabla 7. Dimensiones de la zona de manejo de cauces para los distintos tipos de drenes superficiales.

Tipo de cauce	Descripción del cauce	Ancho de Protección (m)
clase 1	Ríos y lagos suministradores de agua para consumo y por su uso recreacional. Poseer cuencas de más de 2000 ha. Poseer peces. La existencia de un flujo normal durante todo el año	60
clase 2	Cursos naturales de agua. Poseer cuencas entre 200 y 2000 ha. Poseer peces La existencia de un flujo normal durante más de 6 meses en el año	45
clase 3	Cursos naturales de agua. Poseer cuencas entre 20 y 200 ha ó menores a 20 ha. Poseer o no peces. La existencia o no de un flujo normal durante 6 meses del año o más.	30
clase 4	Líneas de drenaje (quebradas, principalmente). Poseer cuencas menores a 20 ha No poseer peces Normalmente poseen un flujo superficial sólo después de una lluvia	15

Fuente: Gayoso et al., (2000)

Sin embargo, Gayoso *et al.*, (2000) proponen algunos factores de corrección que modifican la zona de protección indicada en la tabla 7 de los cauces: (i) pendiente de las laderas adyacentes, (ii) fragilidad del sitio, (iii) quebrada pronunciada, (iv) alto valor paisajístico, (iv) presencia de bosque nativo, (v) adyacente a humedales y (vi) adyacentes a zona de operaciones forestales.

Por su parte, Rodríguez (2015), menciona algunos estándares o rangos de anchos de protección de cauces recomendados o requeridos por distintos países, por ejemplo: el uso de herbicidas y pesticidas (tabla 8).

Tabla 8. Anchos de protección de cauce propuestos por distintos países (Uso de herbicida y pesticidas).

País	Rango (m)	Fuente
Argentina	50 m -o 1.5 veces el ancho del cauce	Comunicación Personal
Australia-Tasmania	10-60	For. Comm. Of Tasmania
Australia-Victoria	10-40	Dept Nat. Resour. Environ
Brasil	30	Kellison, 1995
Canadá-British Columbia	20-100	Ministryof Forests, BC
Nueva Zelanda	30-300	Kellison, 1995
Sudáfrica	20/100	Kellison, 1995
USA	8/91	Blinnand Kilgore, 2001

Fuente: Rodríguez, 2015.

Por la escala del presente estudio (1:35.000) y la información topográfica disponible en CIREN y en los servicios públicos competentes, no se realiza la identificación de los orígenes de los cursos de agua de tipo temporal, ni permanente. En cuanto a la medición de la configuración hidráulica del lecho (mayor o menor a 0,5 m²), no hay una metodología validada ni consensuada técnicamente a nivel regional, por cuanto, estos elementos naturales tienen una variabilidad espacial y temporal muy alta. En este sentido, los avances metodológicos y de protocolos definidos por Arauco S.A y Forestal Mininco S.A, indican una guía recomendable para investigar e interpolar algunos criterios y resultados empíricos registrados sobre la protección del bosque nativo adyacentes a los cursos de agua. Se requiere que dichos estándares puedan ser testeados en diferentes ambientes y ecosistemas con bosque nativo. Coincidimos que realizar recorridos con cuadrillas con personal especializado en las quebradas para la marcación con GPS los orígenes de los cursos de agua, o en su defecto, disponer de información derivadas del modelo digital DTM de LIDAR a 5x5m de resolución y cartografía detallada de las masas boscosas y plantaciones forestales, resulta de gran ayuda para la clasificación hidrográfica y en la asignación cartográfica de los anchos de protección.

Pero, se señala que la topografía y la clasificación del tipo de dren son una primera aproximación para la determinación de los estándares de agua y suelos para la conservación o protección de estos ambientes. Se debe involucrar a esta temática las variables del suelo (propiedades físicas, biológicas, químicas y mecánicas), de pluviometría local y estacional, la vegetación y sus indicadores intrínsecos (densidad, cobertura, estructura, dominancia, altura) y otros parámetros ecosistémicos (vivos y mineralógicos).

Volviendo a la asignación de los anchos de protección del bosque nativo, mediante el uso de imagen satelital Landsat 8, el DEM Aster y la cartografía del bosque nativo, la figura 19, presenta el resultado final de la segmentación y atribución de la pendiente media al curso de agua, por tipo de dren definido por el I.G.M. Se puede visualizar la coherencia geográfica del trazado de la red de drenaje, a medida que, llega a la cabecera de cuencas el bosque nativo que está ubicado en quebradas de pendientes laterales abruptas (mayor a 45%); aquí el segmento se colorea rojo (3).

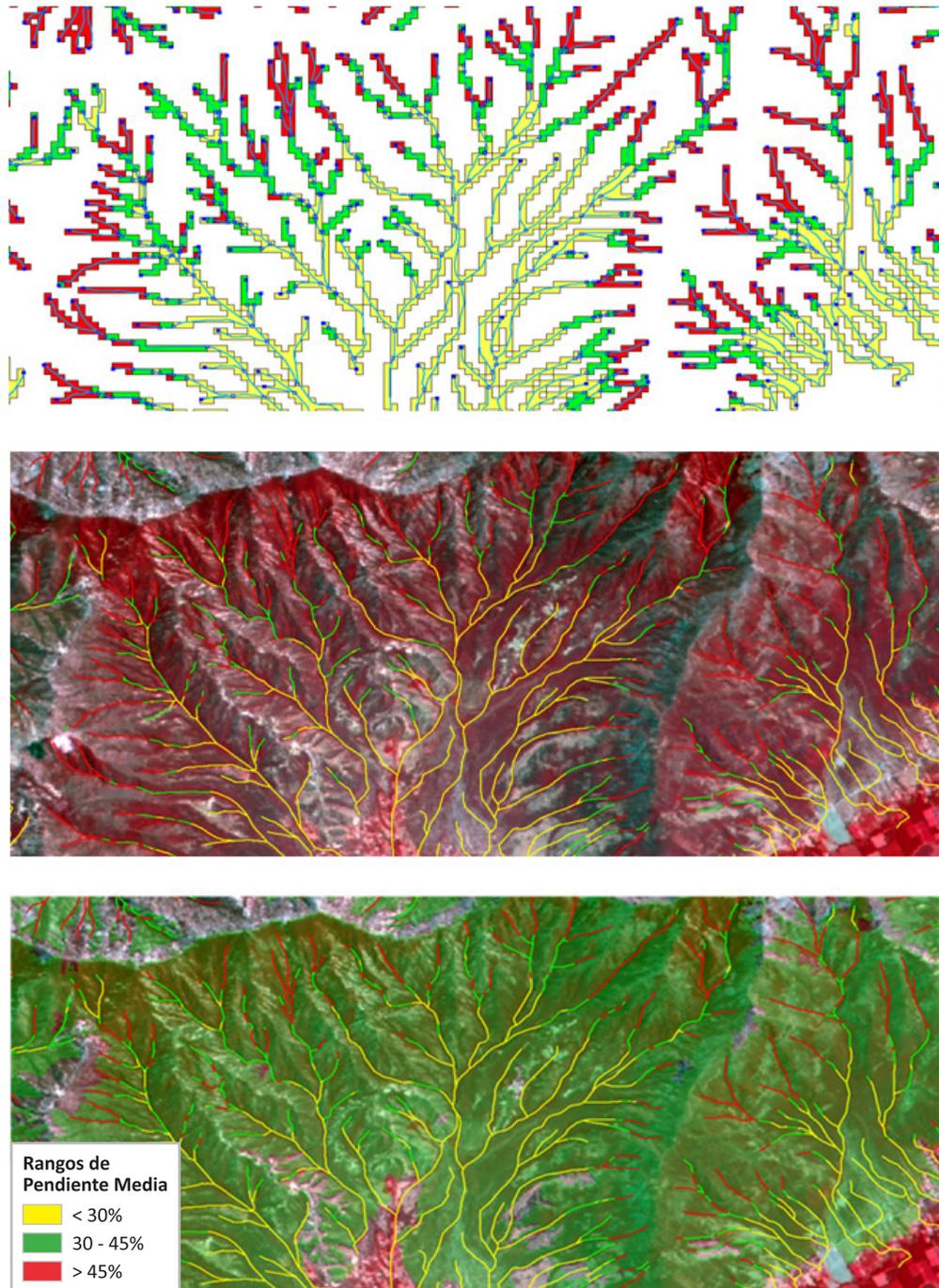


Figura 19. Atribución de la pendiente media lateral a los cursos naturales de aguas, para la asignación del ancho de protección.

El esquema conceptual de la densificación y asignación de pendiente media lateral de los cursos naturales de aguas, se muestra en la figura 20.

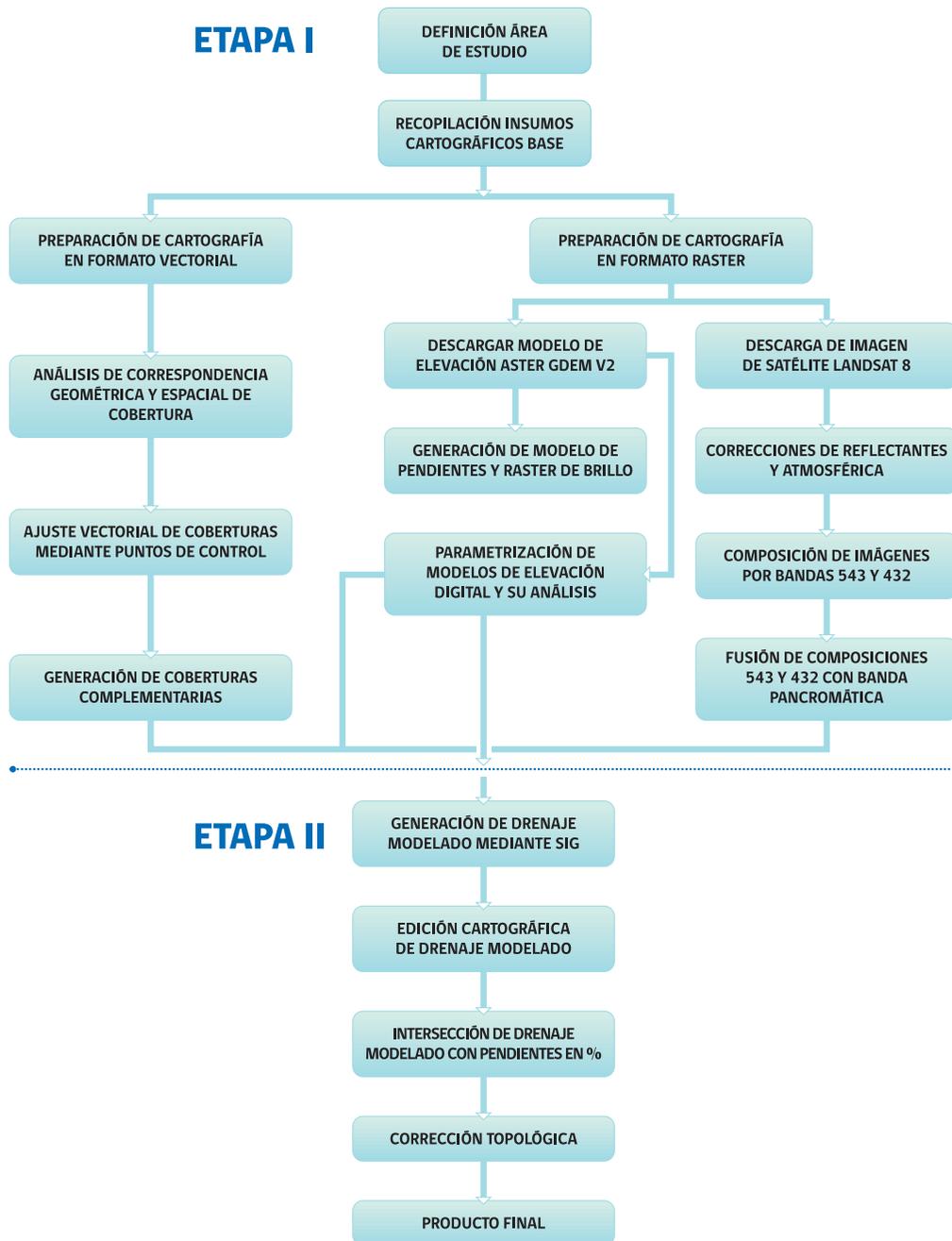


Figura 20. Esquema metodológico de la construcción del drenaje superficial, para toda el área de estudio.

6.1.5. Cartografía de la descripción agrológica y degradación física de los suelos

Estudios agrológicos de suelos

Uno de los elementos centrales del reglamento de suelos, agua y humedales es contar con información espacial y la descripción de las unidades de suelos en áreas con vegetación nativa. CIREN mantiene y actualiza la base de datos más completa de los suelos de Chile a una escala 1:10.000, 1:20.000 hasta 1:100.000, dependiendo del sector y el año de actualización del estudio agrológicos. La tabla 9, muestra los estudios utilizados para el proyecto hidrofor.

Tabla 9. Estudios agrológicos utilizados en el área de estudio.

REGIÓN	NOMBRE PUBLICACIÓN	ESCALA
Valparaíso	Descripciones de Suelos y Materiales y Símbolos. Estudio agrológico, V Región, Tomo 1 y 2. Publicación CIREN N°116. Reedición 2009	Valles 1:20.000 y 1:50.000 Cerros 1:100.000
Metropolitana	Descripciones de Suelos y Materiales y Símbolos. Estudio agrológico, Región Metropolitana, Tomo 1 y 2. Publicación CIREN N°115. Actualización cartográfica sobre ortoimágenes satelitales digitales SPOTMAPS a escala de salida 1:10.000, reedición 2015.	Valles 1:50.000 Cerros 1:100.000
Lib. Gral. Bernardo O'Higgins	Descripciones de Suelos y Materiales y Símbolos. Estudio agrológico, VI Región, Tomo 1 y 2. Edición 2002. Publicación CIREN N°114. Actualización cartográfica sobre ortoimágenes satelitales digitales QUICKBIRD a escala de salida 1:10.000, reedición 2010.	Valles 1:20.000 y 1:50.000 Cerros 1:100.000
Maule	Descripciones de Suelos y Materiales y Símbolos. Estudio agrológico, VII Región, Tomo 1 y 2. Edición 1997. Publicación CIREN N°117. Actualización cartográfica sobre ortoimágenes satelita- les digitales SPOTMAPS a escala de salida 1:10.000, reedición 2012.	Valles 1:20.000 y 1:50.000 Cerros 1:100.000
Biobío	Descripciones de Suelos y Materiales y Símbolos. Estudio agrológico, VIII Región, Tomo 1 y 2. Edición 1999. Publicación CIREN N°121. Actualización cartográfica sobre ortoimágenes satelita- les digitales SPOTMAPS a escala de salida 1:10.000, reedición 2014.	Valles 1:20.000 y 1:50.000 Cerros 1:100.000
La Araucanía	Descripciones de Suelos y Materiales y Símbolos. Estudio agrológico, IX Región. Edición 2002. Publicación CIREN N°122. Actualización cartográfica sobre ortoimágenes satelitales digitales SPOTMAPS a escala de salida 1:10.000, reedición 2013.	Valles 1:50.000 Cerros 1:100.000
Los Ríos y Los Lagos	Descripciones de Suelos y Materiales y Símbolos. Estudio Agrológico, IX Región, 2002. Publicación CIREN N° 122. X RE- GION (incluye Regiones de Los Ríos y Los Lagos) Descripciones de Suelos y Materiales y Símbolos. Estudio Agrológico de la X Región, 2003. Publicación CIREN N° 123. (Incluye regiones de los Ríos y los Lagos. Provincias de Valdivia, Osorno, Llanquihue y Chiloé).	Valles 1:50.000 Cerros 1:100.000

Fuente: Área de Suelos. Gerencia Estudios y Proyectos (CIREN, 2016).

Dentro de los principales parámetros de suelos que deberían contener los planes de manejo forestal, son la textura, profundidad, permeabilidad y materia orgánica. La cobertura de suelos se encuentra ajustada para las 8 regiones de estudio (figura 21), según la escala regional disponible.

ESTUDIOS AGROLÓGICOS, CIREN

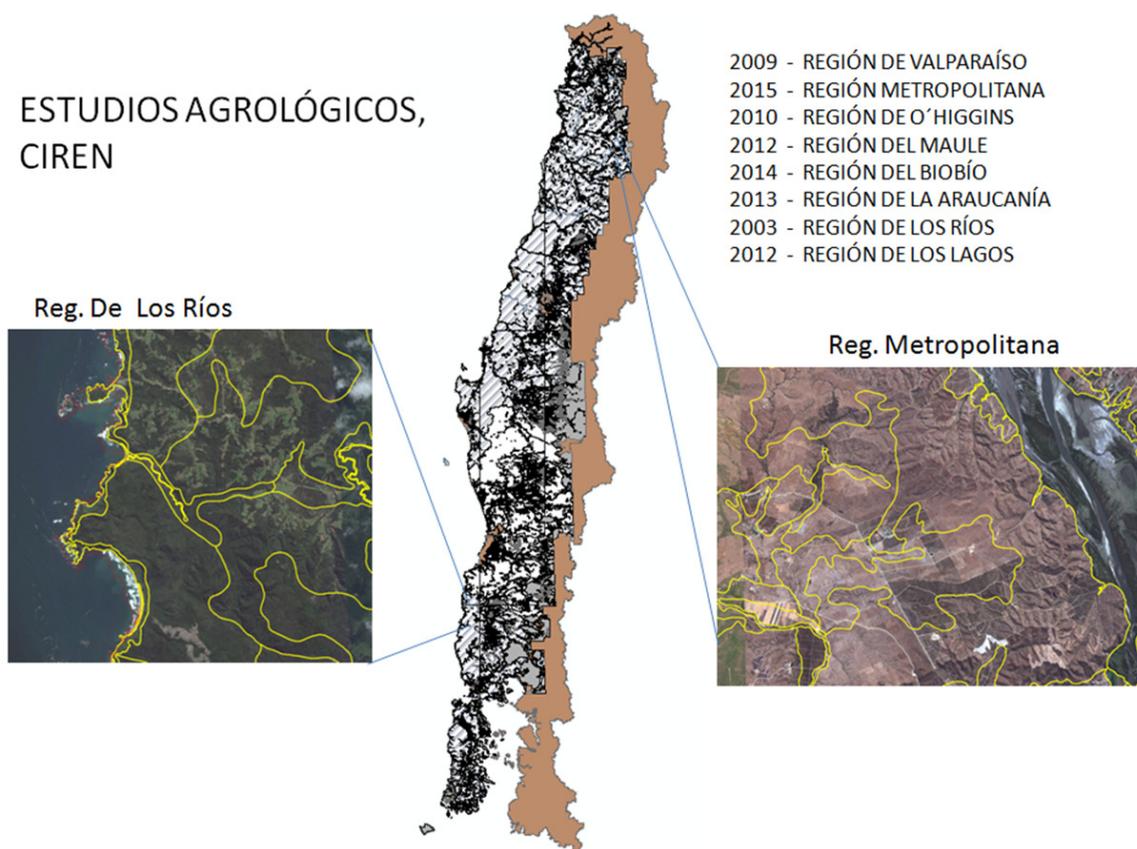


Figura 21. Visualizaciones de las gráficas de los estudios agrológicos de CIREN.

Degradación física de los suelos

Cuando se hace referencia a la erosión acelerada, el proceso erosivo adquiere una connotación negativa y se enmarca como una de las causas de la degradación del suelo. La degradación del suelo significa el cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos. La FAO (1979) definió la degradación del suelo como aquel proceso que disminuye su capacidad real y/o potencial para producir bienes o prestar servicios. En términos generales la degradación del suelo provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva (Wildner y Veiga, 1994).

La degradación del suelo es un aspecto importante en la zona centro sur de Chile, debido al impacto adverso sobre la productividad agrícola, el medio ambiente y su efecto en la seguridad alimentaria y la calidad de vida. Esto ocurre por la fuerte interrelación existente entre la erosión, la sostenibilidad de las poblaciones y el desarrollo socioeconómico (Lal, 2003). En Chile la degradación de los suelos está explicada en gran medida por la erosión. Pérez y González (2001) señalan que en Chile la erosión atribuible a la intervención del hombre es un proceso grave, acelerado y casi irreversible producto de un afán, a corto plazo, de obtener mejor rentabilidad a través del uso de tecnologías y prácticas silvoagropecuarias inadecuadas en relación a la capacidad de uso del suelo. La erosión existente en Chile está estrechamente ligada a la fragilidad de los ecosistemas. Entre los factores naturales que inciden en el deterioro, destaca la topografía montañosa que se extiende en la mayor parte del territorio nacional y la elevada erosividad dada por la distribución irregular y concentrada de las precipitaciones en la zona centro sur de Chile (Pizarro *et al.*, 2008).

La degradación del bosque nativo chileno está provocando una acelerada degradación del suelo y una reducción substancial de la productividad de la tierra. Los principales factores son la erosión acelerada por agua y viento, la acidificación, la salinidad y alcalinidad del suelo y la pérdida de materia orgánica y destrucción de la estructura del suelo.

Un elemento central de la ley 20.283 de ley del bosque nativo es el concepto de la erodabilidad del suelo, que se define como la capacidad natural del suelo a ser erosionado y puede ser representado por la interacción 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 información espacializada de la erodabilidad es obtenida desde el estudio "determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile" (CIREN, 2010), resulta relevante para la toma de decisiones de manejo forestal sustentable en áreas con bosque. En este sentido, el conocimiento de las propiedades físicas y el estado de conservación del suelo, son indicadores plausibles para corta regulación y/o prohibición de manejo forestal.

Entiéndase que la información tiene una escala de representación de 1:50.000 a 1:250.000, en áreas con bosque nativo, lo que significa que la información de suelos es referencial. Por lo tanto, la observación local, que se realiza en terreno mediante una calicata o un corte de camino, un indicador próximo para el reconocimiento y/o estimación de las propiedades físicas por cada horizonte de suelo. Dentro de las principales características del suelo sugeridas de explorar en terreno son; la clase textural, estructura, porosidad, tipo de enraizamiento, presencia de materia orgánica, la profundidad de suelo y la recalificación del uso de capacidad de suelo. En esta última, es muy importante aclarar que la clase VIII no sólo representa sitios con limitaciones agropecuarias o forestales, sino que su objetivo principal en este trabajo es que se define una zona de hábitat de la fauna silvestre, o para uso esparcimiento o para usos hidrológicos de la hoya hidrográfica.

El Índice de erodabilidad del suelo se obtuvo considerando las siguientes fases del proceso de erosión de suelo, como el desprendimiento de partículas por impacto de la gota de agua (estabilidad estructural) y el transporte (resistencia al arrastre por escorrentía). A partir de este análisis y considerando la información disponible, se seleccionaron las propiedades y características de suelo más influyentes en las etapas señaladas y que dan cuenta de la resistencia del suelo al proceso de erosión (Wischmeier y Smith, 1978). La figura 22, presenta un mapa de erodabilidad para el área de estudio de hidrofor.

Las fuentes de información utilizadas para la caracterización de la erodabilidad del suelo del área de estudio, fueron los Estudios Agrológicos de Suelo realizados por CIREN para las regiones V a X (escala 1: 20.000 a 1:100.000). Se consideraron las siguientes propiedades del suelo: clase textural, materia orgánica (M.O), permeabilidad y profundidad del perfil del suelo. Las variables de suelo definidas por unidad territorial, como la clase textural, M.O, permeabilidad y profundidad, definen la erodabilidad intrínseca del suelo. En el modelo de erosión del suelo 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.

Por otra parte, disponer de la cartografía de erosión actual, riesgo de erosión actual y riesgo de erosión potencial descrita en CIREN (2010), resulta relevante para la zonificación de áreas de prohibición de descepado y para la protección de los suelos de origen graníticos en laderas con pendientes pronunciadas (art. nº6, Decreto Supremo 82). Este estudio se desarrolló en dos fases: determinación de la erosión actual de Chile y estimación de la erosión potencial (fragilidad del suelo) para todo el territorio nacional.

En el primer caso la base metodológica consistió el análisis interpretativo visual de imágenes satelitales Landsat TM 5 y de fotografías aéreas, fotos a color, 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 con el uso de la tecnología SIG complementada con técnicas geomáticas. 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 cinco categorías: nula o sin erosión, ligera, moderada, severa, muy severa y erosión no aparente. La información temática de la erosión de los suelos se ajusta a Landsat 8, para todas las regiones entre la V y X.

Para estimar el riesgo de erosión actual y 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. 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 4 rangos, a saber; Bajo (1), Medio (2), Alto (3) y Muy Alto (4). La información temática de erosión se ajusta a Landsat 8 y sincroniza con el DEM aster.

En el marco de este estudio, se ajustó la información vectorial de la degradación física del suelo (figuras 23, 24 y 25) para las zonas que son descritas como bosque nativo en el catastro de vegetación nativa de CONAF, entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos. Cabe recordar que la escala de trabajo en las zonas silvoagropecuarias es 1:50.000 mientras que en el resto del país la información se ajusta a una escala 1:250.000 donde no hay estudios de agrológicos de CIREN.

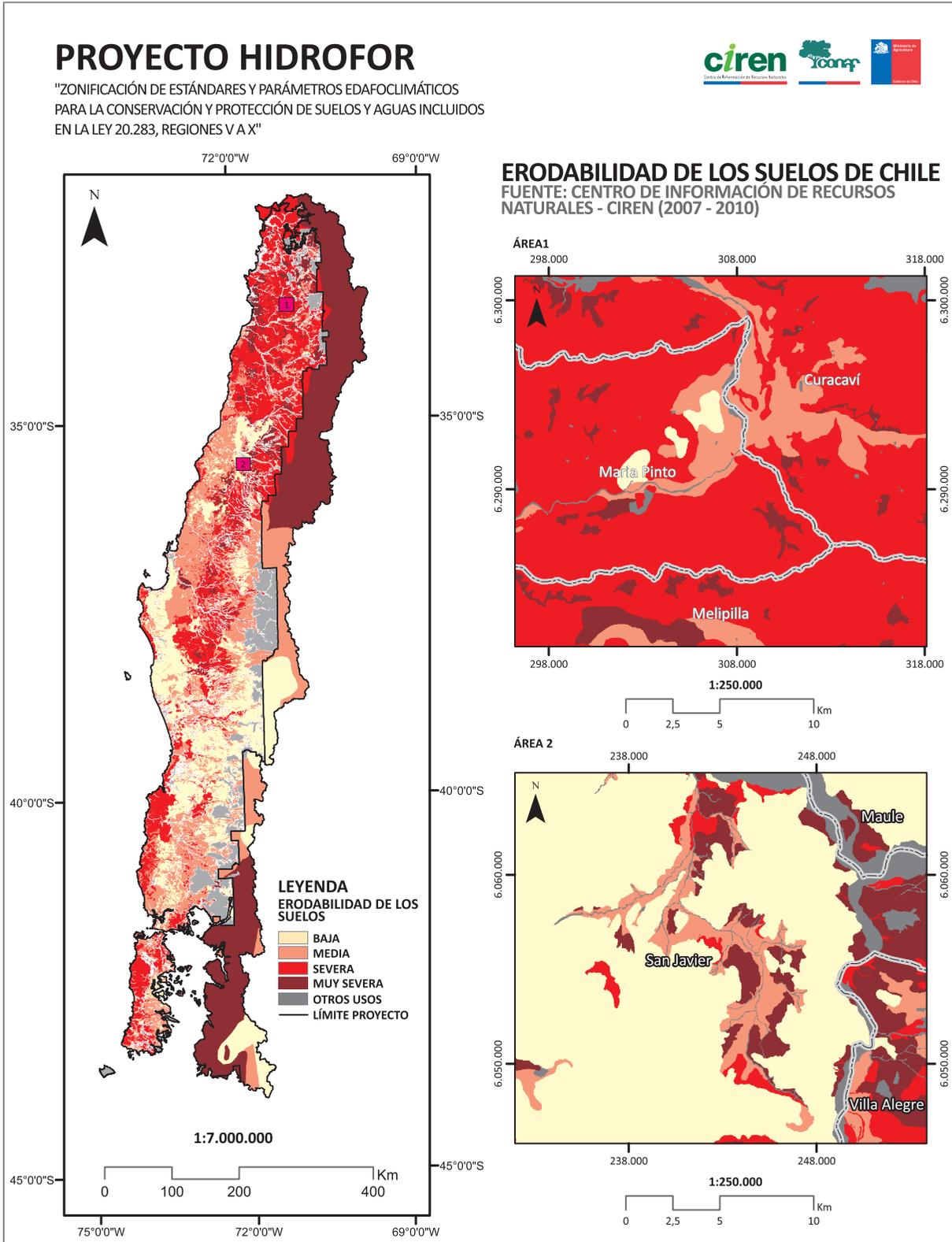


Figura 22. Mapa de la erodabilidad de los suelos entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos.

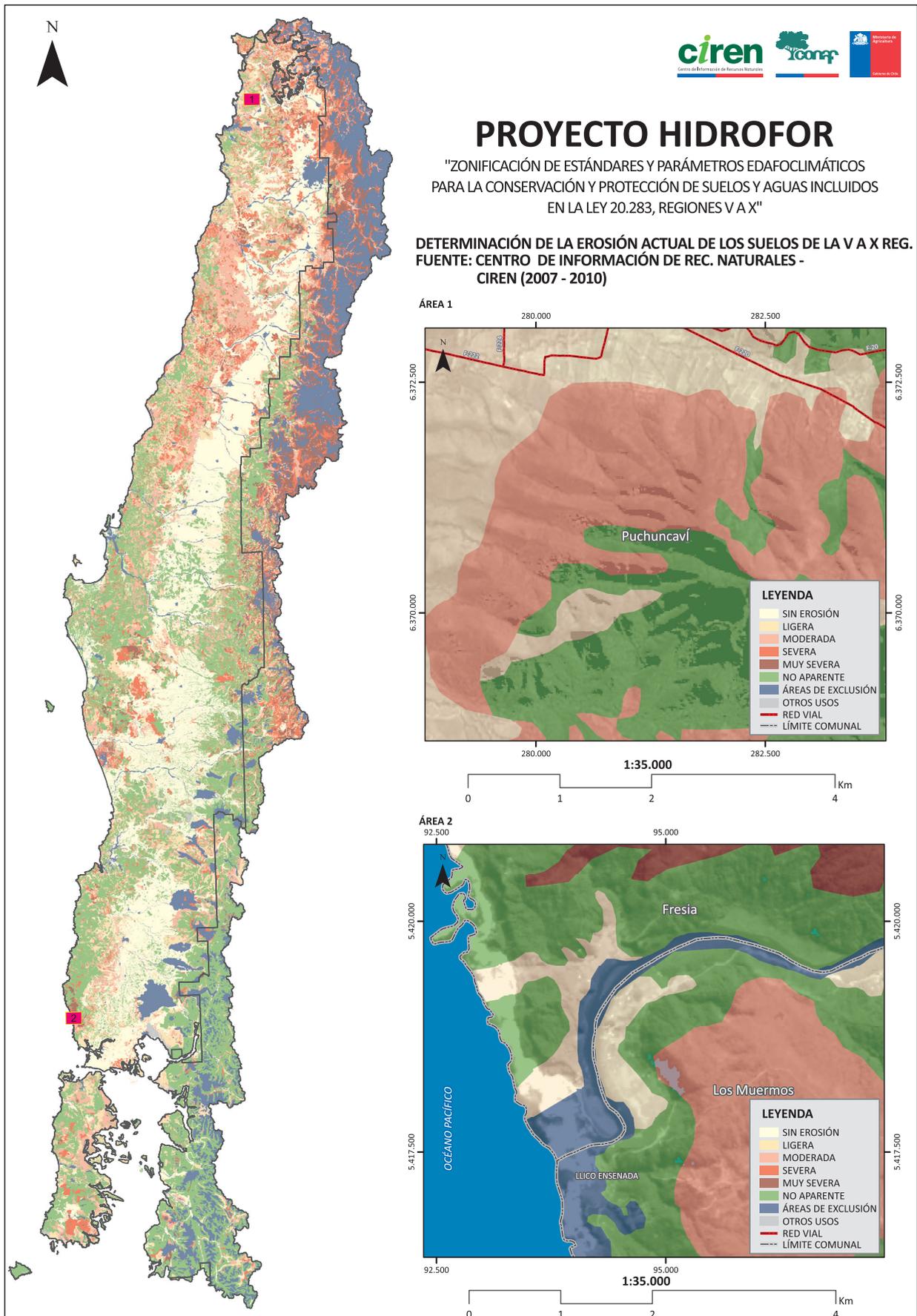


Figura 23. Mapa de la erosión actual de los suelos entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos.

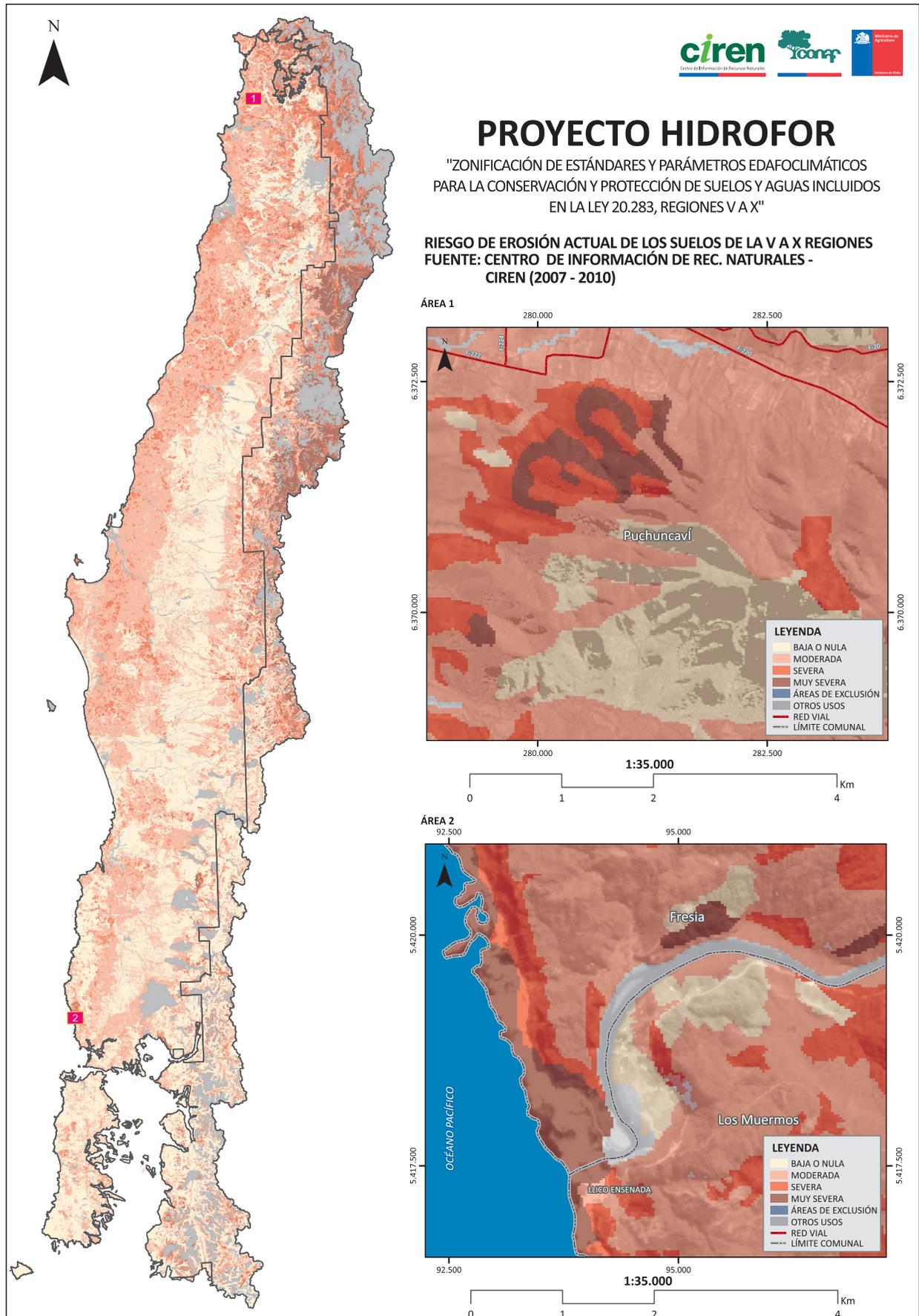
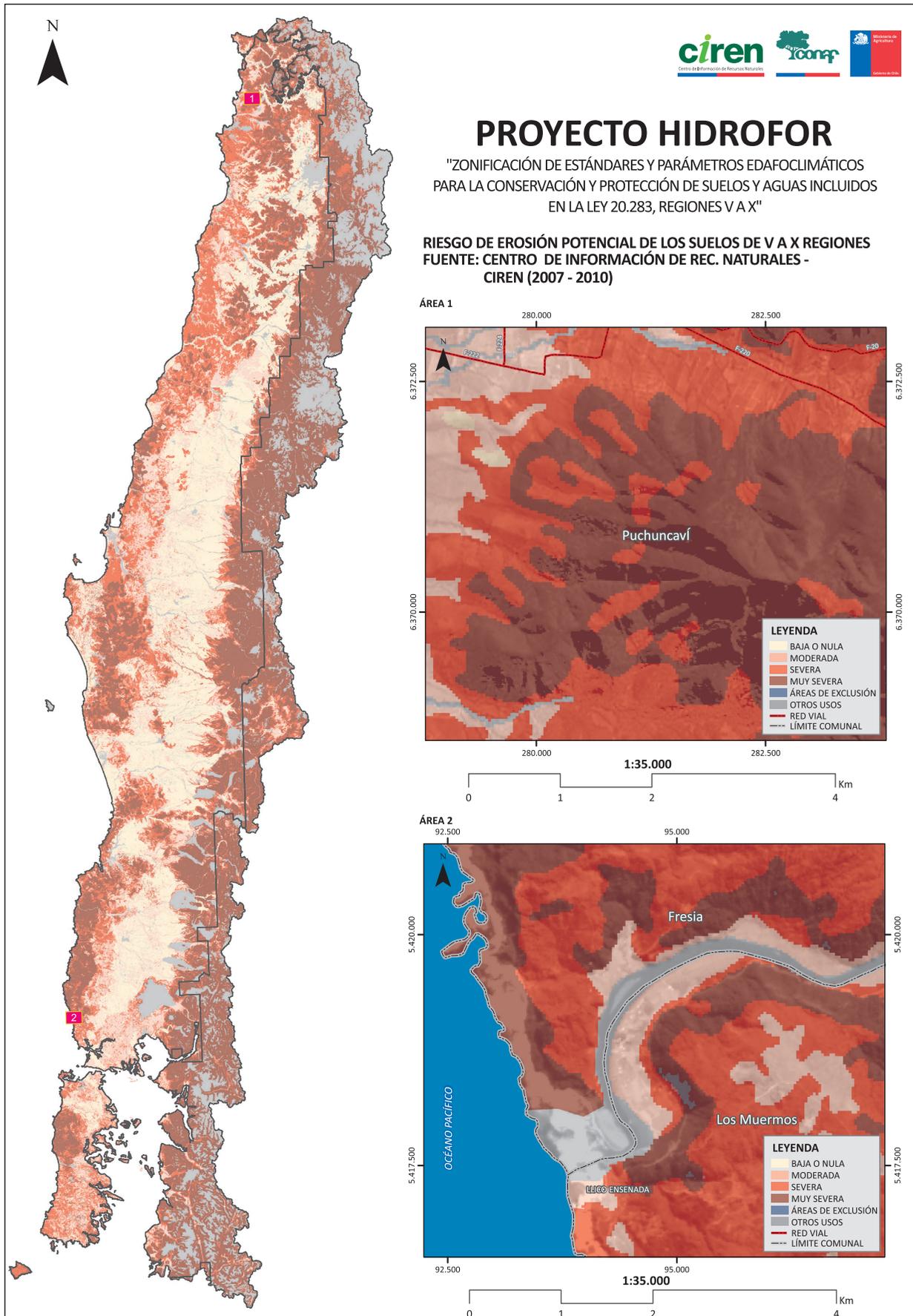


Figura 24. Mapa del riesgo de erosión actual de los suelos entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos.



6.1.6. Otras cartografías temáticas regionales (glaciares, humedales y pluviometría)

La ley 20.283 de bosque nativo hace referencia al cuidado y protección de los cauces naturales de agua, humedales y glaciares, para minimizar el impacto de las actividades de corta e intervención de bosques nativos y formaciones xerofíticas con el objeto de i) evitar el deterioro de los cuerpos y cursos naturales de agua; ii) resguardar la calidad de las aguas; iii) evitar el deterioro de los suelos; y iv) evitar el deterioro de los humedales. El estado de Chile dispone de información digital y espacializada de cuerpos de aguas, glaciares y nieves eternas, a escala de semidetalle a generalizada (1:50.000 a 1:250.000). Esta sólo puede ser utilizada como referencia en los diferentes estudios y solicitudes de manejo forestal en bosque nativo. Esta información geográfica esta disgregada en el Ministerio de Agricultura, Obras Publicas y Medio Ambiente. Es importante reconocer que estos esfuerzos deben ser protocolizados en estructura de base de datos comunes y con lenguaje técnico consensuado. A continuación, se revisa la información de glaciares, humedales y pluviometría para las regiones V a X.

Cartografía de glaciares

El año 2012, se publica el inventario nacional de glaciares elaborado por la Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas). Este informe indica que en Chile, el área total cubierta por glaciares es de alrededor de 2,2 millones de hectáreas de la cual sólo un 0,6% se distribuye entre los 18º y 32º de latitud Sur. La presencia de glaciares en Chile es un fenómeno asociado a las montañas, tanto por ofrecer un espacio para su contención como por la influencia sobre la temperatura y precipitación nival. En las regiones de Valparaíso, Lib. Gral. Bernardo O'Higgins y Metropolitana, el número y superficie de glaciares se incrementan (con respecto a la zona norte del país) significativamente debido a un aumento en las precipitaciones y alturas de la Cordillera de los Andes, que supera los 6.000 msnm en varias ocasiones (por ejemplo, Volcán Tupungato, 6.550 m.s.n.m, 33°21'31"S 69°46'13"O). En esta zona se han inventariado sobre 1.320 glaciares que suman en total más de 90.000 hectáreas. Más al sur, entre la Región del Maule y la Región de los Lagos, se produce una disminución tanto en el número como en la superficie glaciaria contabilizando cerca de 300 glaciares alrededor de 40.000 hectáreas de hielo, debido principalmente a la disminución en la altura de las cumbres andinas, que en promedio es apenas superior a los 2.000 msnm (Rivera et al., 2000).

Glaciar: Masa de hielo que fluye hacia abajo (por deformación interna y deslizamiento de la base) limitada por la topografía que le rodea... Un glaciar se mantiene por la acumulación de nieve en altitudes altas, y se equilibra por la fusión de nieve en altitudes bajas o la descarga en el mar (IPCC, 2001).

Excepto la zona central, el resto del país posee inventarios detallados de glaciares descubiertos, pero no de glaciares de roca o glaciares recubiertos con detritos (glaciares rocosos), que sólo fueron incluidos en la cuenca del Maipo por Marangunic (1979). El resto de las cuencas de Chile central tienen importantes porcentajes de glaciares rocosos, generados por derrumbes laterales, incorporación de material morrénico y regeneración de lenguas terminales (Valdivia, 1984; Rivera, 1989). La figura 26, muestra un mapa de localización de los glaciares, para las regiones entre Valparaíso y Los Lagos.

El número de glaciares dentro del área de estudio de hidrofor es despreciable, por lo tanto, sería de utilidad disponer de la información regional de glaciares. La superficie glaciaria entre la V y X región de Chile corresponde a 182.400 hectáreas de los cuales 100.700, 37.700, 27.700 y 9.200 hectáreas corresponden a glaciares de montaña, glaciar de valle, glaciar rocoso y glaciaretas, respectivamente. Los glaciares de mayor dimensión registrados en el inventario (sobre las 20.000 hectáreas) son Río Blanco (47,4 - V región), Monte Tronador (36,1 - X región), Volcán Villarrica (28,8 - IX región), Universidad (27,6 - VI región) y Juncal Sur (21,4 - RM).

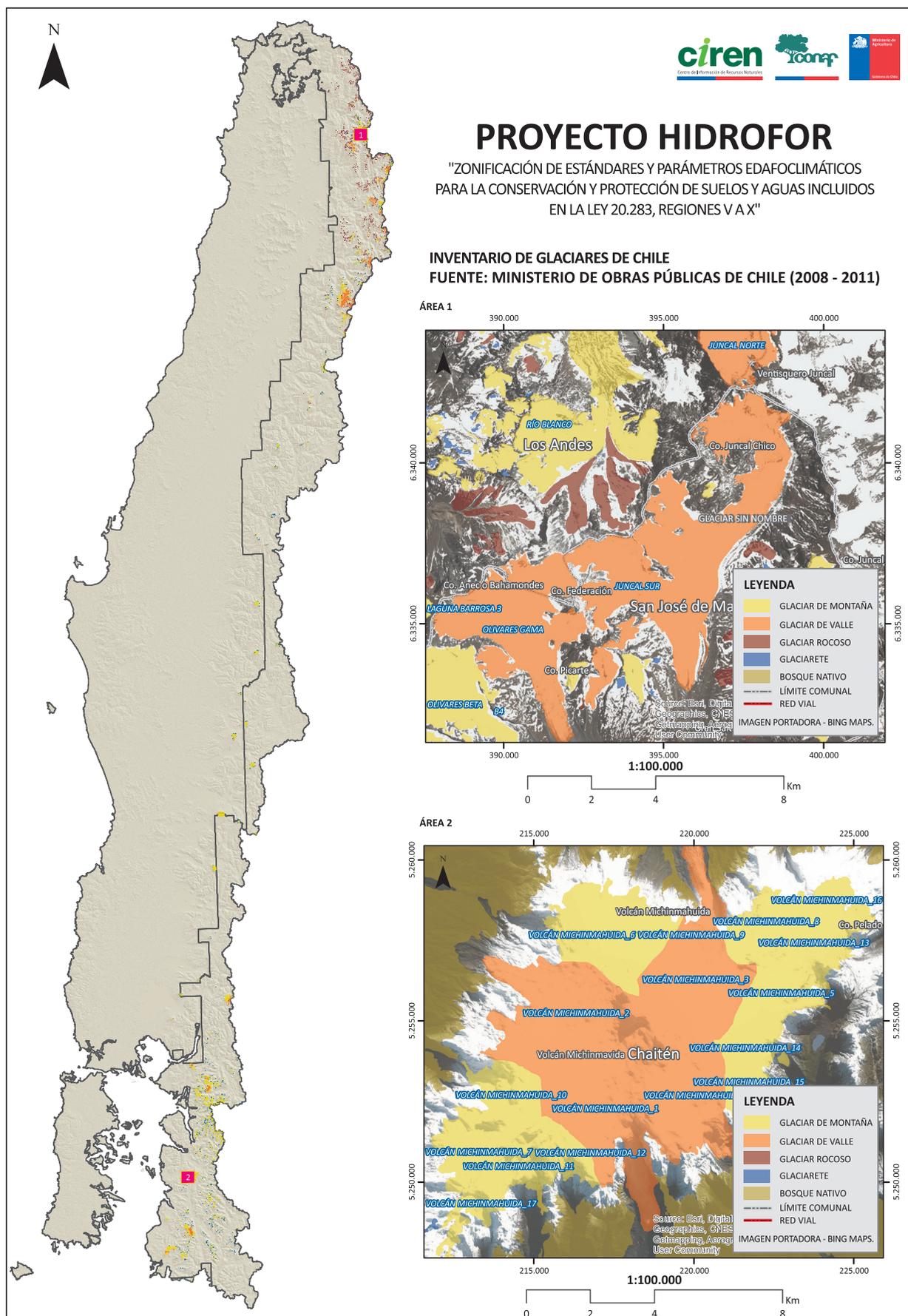


Figura 26. Mapa con el inventario de glaciares de Chile (2008 - 2011).

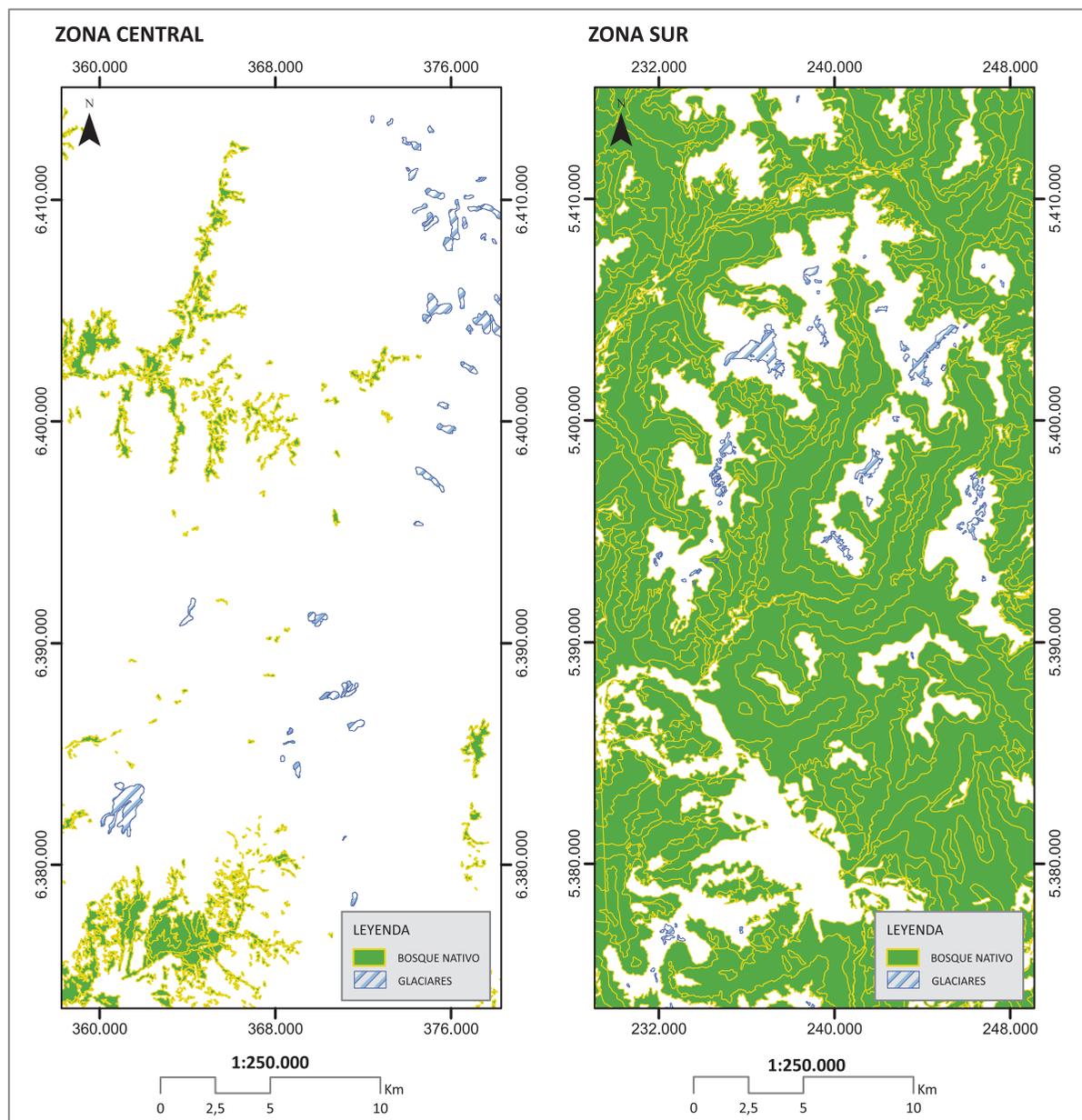


Figura 27. Comparación entre bosque nativo adyacente a glaciares en la zona central y sur de Chile.

En el caso de la vegetación nativa asociada o adyacente a los glaciares, se refiere a unas escasas zonas de praderas o estepas andinas en la zona central y en el mayor de los casos son áreas desprovistas de vegetación, debido principalmente a la ubicación altitudinal de éstos. Aquí el impacto de la normativa es relativamente bajo sobre los ecosistemas de vegetación nativa en términos de grandes volúmenes de captura de carbono. Pero si resulta muy relevante como fuente de agua (deshielo) que proporciona estos mantos glaciares en la parte alta de la cuenca, y de este modo la vegetación adyacente funciona como un regulador hidrológico y climático. En cambio en el sur de Chile el bosque nativo es circundante a los glaciares en una distancia promedio de los 500 metros, o incluso superior (figura 27), pero agrega a las anteriores, una mayor funcionalidad en la conservación de la biodiversidad y de mayores volúmenes de captura de carbono. Para todos los elementos geográficos de la cobertura digital de glaciares (*.shp) se delimitaron las áreas de protección (buffer a 500 m, en proyección horizontal), de los contornos de los polígonos del archivo vectorial (figura 28) en datum WGS84, proyección UTM, huso 19 Sur.

Cartografía de cuerpos de agua y humedales

Desde el año 2012 se cuenta con el inventario nacional de humedales, estudio que fue realizado para el Ministerio de Medio Ambiente. Dicho estudio genera una base de datos georreferenciada y la cartografía digital nacional de humedales (figura

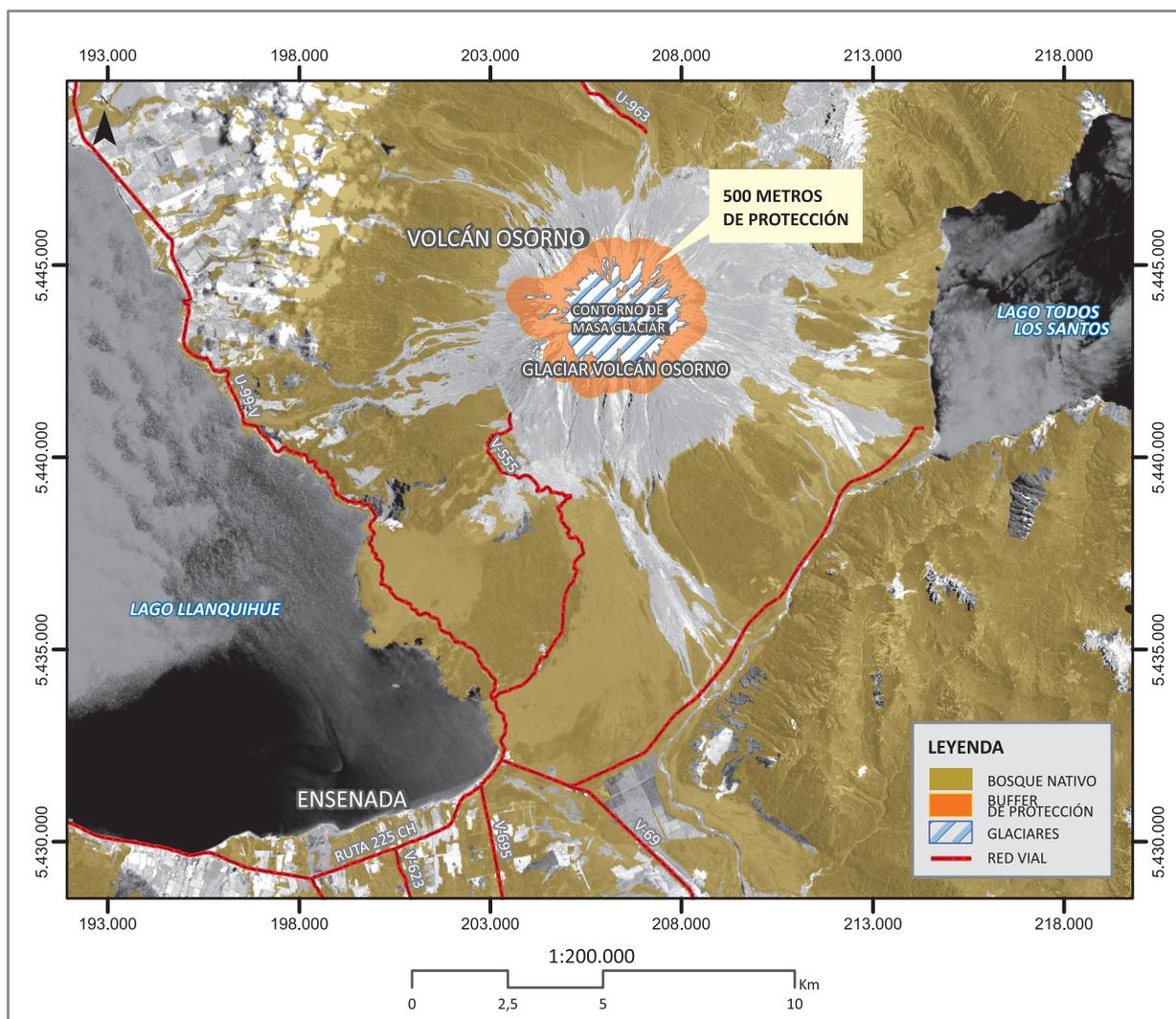


Figura 28. Áreas de protección de un glaciar de acuerdo a lo estipulado en la normativa vigente (art. 17 de la ley 20.283).

29). Esta estructura básica de datos pone en marcha un sistema nacional de alerta temprana y priorización en el manejo de humedales, con aplicación experimental en la generación de datos y cartografía de índices biofísicos a escala local en humedales indicadores de estado de salud para una cuenca piloto. El estudio propone una metodología basada en el análisis de imágenes satelitales Landsat (generación de índices; NDVI, NDWI, fotointerpretación) y el análisis de imágenes de alta resolución espacial y espectral (sensor AISA) con identificación de cuerpos de agua en escala de cuenca y cobertura de vegetación, estado de salud, clorofila en el agua en escala local. Además, el estudio examina las recomendaciones que RAMSAR entrega en su diversidad de manuales, algunas experiencias internacionales en la implementación de sistemas de gestión e iniciativas a nivel nacional en torno al tema, así como algunos resultados de estudios acerca de la evaluación del uso de la percepción remota en el relevamiento de información necesaria para cubrir los diversos ámbitos de la gestión integrada de humedales.

Humedales: Ecosistemas asociados a sustratos saturados de agua en forma temporal o permanente, en los que existe y se desarrolla biota acuática y, han sido declarados Sitios Prioritarios de Conservación, por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, o sitios Ramsar. Para efectos de delimitación, se considerará la presencia y extensión de la vegetación hidrófila. Tratándose de ambientes que carezcan de vegetación hidrófila se utilizará, para la delimitación, la presencia de otras expresiones de biota acuática.

De acuerdo a lo establecido en la ley 20.283 de bosque nativo los humedales considerados para la elaboración del RSAH corresponden a aquellos incluidos en la lista de los *Sitios RAMSAR* y los declarados *Sitios Prioritarios de Conservación* por la CONAMA. Los criterios considerados para la protección, incluyen el tipo de vegetación (bosques nativos o formaciones xerofíticas), el estado de saturación de los suelos, la pendiente, el nivel de precipitaciones y las especificidades regionales.

Vegetación hidrófita: Corresponde a vegetación azonal que está vinculada a disponibilidad permanente de agua. Comprende asimismo la vegetación que se presenta en ambientes con precipitaciones superiores a 2.500 mm y pendientes inferiores a 3%

La figura 29 muestra un mapa (izquierda) con el inventario de humedales para las regiones de Valparaíso y Los Lagos. En el recuadro derecho de la figura se presenta un zoom de la información para un sector de la región de Los Ríos.

La Ley 20.283, hace hincapié en la protección de la vegetación nativa, por cuanto le atribuye y establece 10 metros de protección. En este punto, se declara que se requiere mayores antecedentes científicos para la determinación de los anchos de protección de los humedales, por cuanto son ecosistemas altamente frágiles y tienen una variabilidad espacial y temporal no despreciable. Estos ecosistemas tienen una directa relación con el comportamiento del clima local y responden a diferentes escalas ante las actuaciones antrópicas sobre la cuenca. Por ejemplo, la principal amenaza al humedal de Batuco de la región Metropolitana es la acción antrópica: drenajes de la laguna para fines inmobiliarios e industriales, caza ilegal, recepción desechos domiciliarios e industriales, construcción de diques, extracción de suelos y aguas subterráneas, entre otras ¿La solución reside en 10 metros de protección?

En consecuencia, este tema requiere; (i) un análisis multi e interdisciplinario, (ii) la consideración legal de que Chile presenta diferentes bioclimas y/o ecorregiones, y (iii) que su unidad natural de planificación es la cuenca hidrográfica y no la división política-administrativa. Y sumar a ello, la presencia innegable de un escenario de variabilidad climática y cambio climático global.

En estema marco, el presente estudio técnico es referencial y sólo incorpora el elemento territorial y normativo de la protección de los humedales indicado en el reglamento de suelos aguas y humedales (ley 20.283).

Por su parte, la cartografía presentada en el inventario de humedales (2012), representa una información de referencia válida pero su delimitación cartográfica se basa principalmente en los espejos de aguas detectados y clasificados por el sensor del satélite Landsat. Con ello, algunos objetos requieren de una nueva interpretación o corrección. Por ejemplo, se detectaron algunos cuerpos de aguas de origen antrópico (relaves y embalses). Al revisar otras coberturas de información espacial que contenga la delimitación cartográfica de humedales, como por ejemplo, el catastro de vegetación nativa de CONAF, se concluye que esta demarcación de humedales fotointerpretados (con imágenes de mayor resolución) representan idóneamente las características de los ecosistemas hidrófilos y sus áreas adyacentes, con la identificación de la vegetación dominante. Para estudios ambientales locales, se sugiere mejorar las escalas de trabajo y representación de semi-detalle a escalas pediales (1:3.000 - 1:10.000).

Mapa de isoyetas y agresividad climática de la lluvia

Un tercer elemento indicado en la Ley 20.283 de bosque nativo, es disponer de información de la pluviometría, por ejemplo, los montos anuales de precipitación. Quiroz y Cavieres (2009) señala que el ancho del área de protección se relaciona directamente con la pendiente y las precipitaciones, las cuales varían tanto en latitud y como altitud. El impacto de las precipitaciones en el suelo, varía según el tipo de geomorfología, vegetación (tipo y cobertura), la actividad forestal, tipo de suelo y las características propias de las precipitaciones (cantidad, intensidad y tipo). Las precipitaciones determinan la erosividad de sitio y son causantes de la erosión de los suelos, a través de la energía de impacto (dispersión) y luego la escorrentía. En los países con legislación para la protección de suelos y aguas se han identificado aquellas zonas vulnerables a la erosión. Para ello han determinado el Factor R o factor de la erosividad de la lluvia por regiones (Wischmeir y Smith, 1978). Ello implica disponer de estaciones pluviométricas en toda la zona de distribución que se desea categorizar. Es decir, en ellas se determina la intensidad máxima de lluvia en 30 minutos consecutivos y la energía cinética por evento de lluvia (Morgan, 1996). Este factor R es un indicador del riesgo de erosión que posibilita el diseño de mapas específicos a nivel regional y local que optimizan los resultados de las medidas de mitigación p.e. ancho de las área de protección y asignación de maquinarias y equipos de cosecha. Debido a que no existen suficientes datos pluviométricos y estaciones pluviométricas en la zona de distribución del bosque nativo en Chile (la mayoría están en zonas

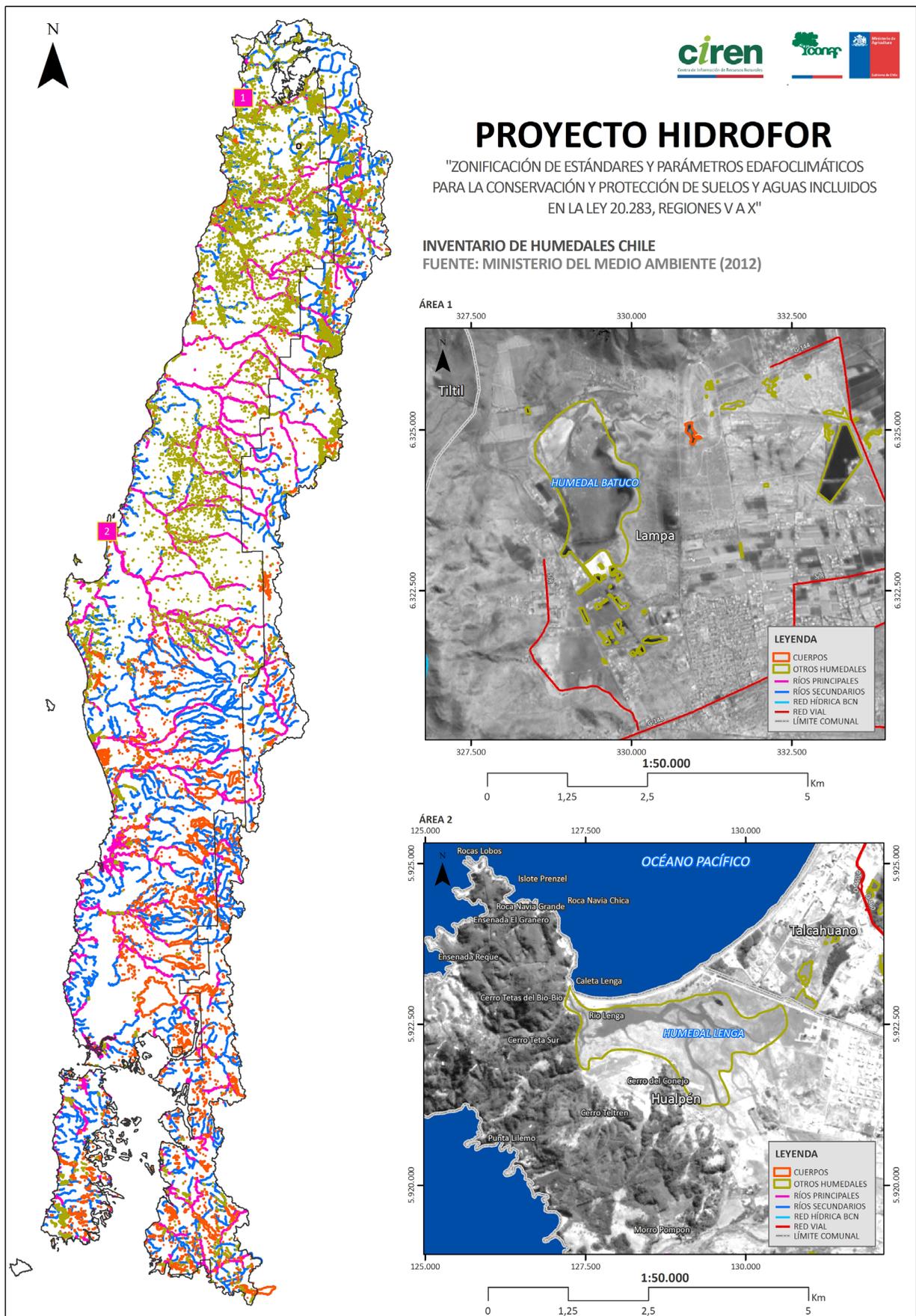


Figura 29. Mapa con el inventario de humedales de Chile (2012).

urbanas y cuerpos de aguas mayores), no se puede determinar, con datos medidos en la zona específica, el impacto de la lluvia erosiva (Factor R). La intensidad, la frecuencia y el tipo de precipitaciones dan origen a diferentes categorías de cauces, los cuales podrían clasificarse por funcionalidad, permanencia, orden, área de drenaje y atributos del caudal. Sin embargo, para realizar tal clasificación se requiere de información que no se encuentra disponible para el país (p.e. caudal), generando dificultades al momento de su fiscalización.

El proyecto hidrofor generó un mapa de isoyetas (isolíneas de precipitación media anual) a partir de las estaciones meteorológicas que la Dirección General de Aguas de Chile (DGA) posee en el país (figura 30). Se procedió a hacer la distinción de las estaciones que se encuentran activas e inactivas para poder utilizarlas posteriormente en la obtención de estos índices (tabla 10).

Tabla 10. Número de estaciones pluviométricas activas e inactivas utilizadas en la obtención de los índices de agresividad climática.

Región	Estaciones pluviométricas activas	Estaciones pluviométricas inactivas	Número total de Estaciones pluviométricas
V	42	1	43
RM	29	0	29
VI	18	4	22
VII	42	3	45
VIII	36	3	39
IX	38	2	40
XIV	13	0	13
X	22	0	22
TOTAL	240	13	253

En total se utilizaron 240 estaciones pluviométricas para interpolar la información a toda el área de estudio. Del total de las estaciones provistas por la DGA, se excluyeron las aquellas con menos de 10 años de datos y las estaciones inactivas que habían dejado de funcionar hasta el año 1980. La completación de los datos faltantes en las estaciones pluviométricas se estimó a través de la metodología planteada en Pizarro *et al.* (2003) y el uso del método de regresión lineal del mes correspondiente a la estación de mayor coeficiente de correlación, de una estación vecina. Para ello se requiere establecer una regresión y correlación lineal entre una estación patrón y la estación que tenga carencia de información. Los datos fueron procesados en el software estadístico STATGRAPHICS®. El criterio de selección de las regresiones lineales simples fue un coeficiente de correlación "r" mayor o igual a 0,70. Se utilizó el programa hidrológico HIDROBAS® para la completación de las series temporales de forma automatizada. Para los casos en que la estación a completar en un año determinado tenía menos de seis datos (meses) se eliminó el año completo en esa estación. La espacialización de la información pluviométrica se realizó por interpolación geoestadística de los datos. El método de interpolación seleccionado fue el kriging. El método de kriging es un método geoestadístico de interpolación que ha probado ser útil en el área hidrológica (Flores, 2016).

Si bien es cierto, la agresividad climática es un índice que da cuenta de la erosividad de la lluvia, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación, éste no está incluido en el reglamento de suelos, aguas y humedales, como indicador de pérdida de suelo. Este índice resulta ser relevante en el transporte de partículas del suelo, en especial, para laderas pronunciadas y densidad de coberturas vegetal baja. Por cuanto, este indicador es directamente proporcional a las tasas de erosión del suelo.

La erosividad de la lluvia ha sido estimada mediante varios indicadores, uno de los más utilizados es el factor R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y mide la energía cinética de la lluvia y la máxima intensidad de precipitación en un intervalo de 30 minutos (Wischmeier y Smith, 1978; Renard y Foster, 1997). El Factor R, usa un valor estadístico calculado a partir de la sumatoria anual de la energía de la lluvia en cada evento (correlacionado al tamaño de las gotas), multiplicado por su máxima intensidad en 30 minutos. Sin embargo, dado que este índice requiere contar con registros pluviométricos continuos incluso menores a 1 hora para su estimación fiable, en este proyecto se calcularon y probaron otros índices posibles de obtener a partir de los registros estándar de estaciones meteorológicas y que cuya especialización genera una resolución aceptable. Se probaron algunos índices, por ejemplo; de Fournier (IF), de Fournier Modificado (IFM) y el índice de concentración de las precipitaciones (ICP). El índice de Fournier, no es un buen indicador de la erosividad de la lluvia en zonas con más de un máximo de precipitación mensual, o de valores pluviométricos en general elevados. El IF sólo considera el

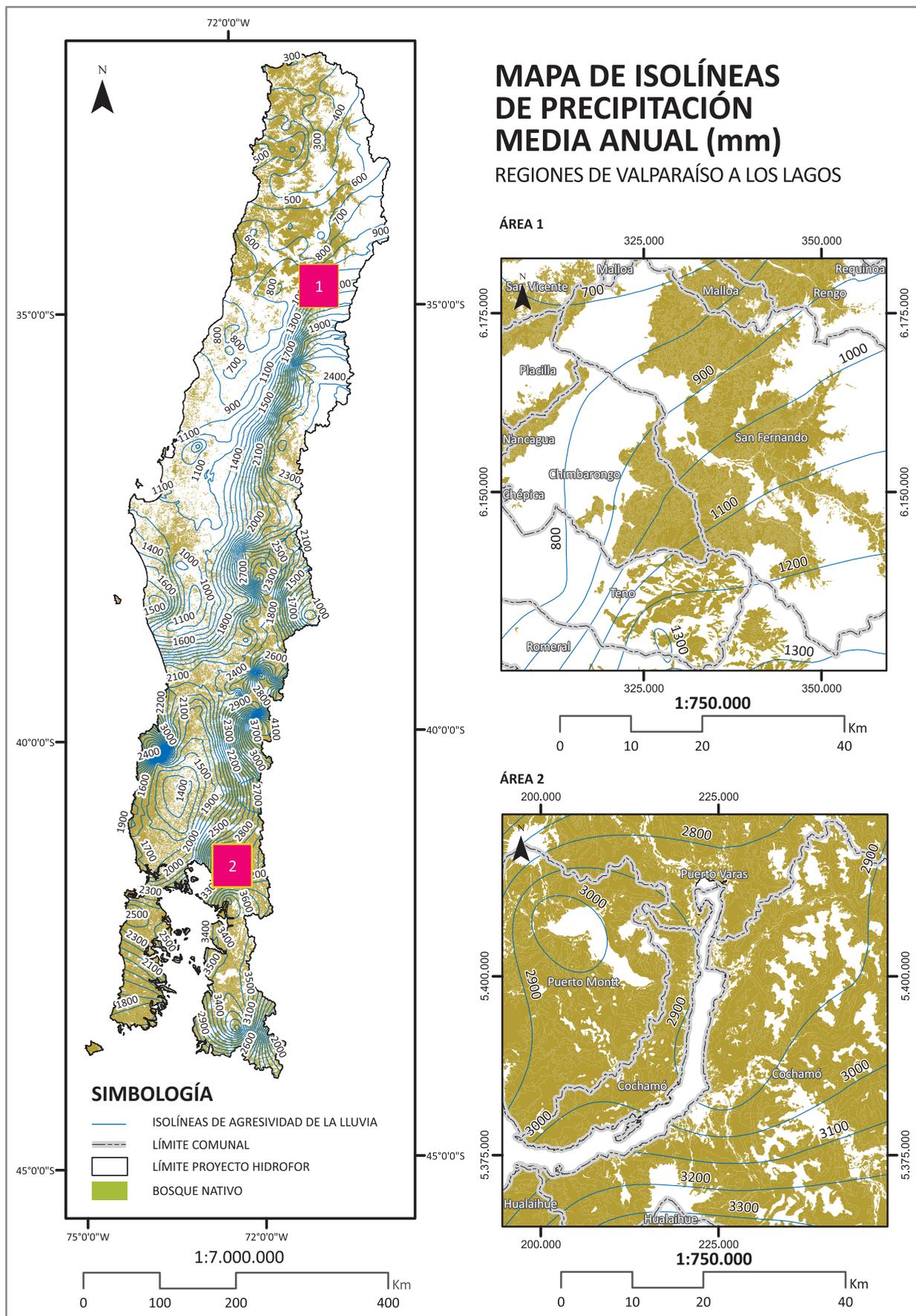


Figura 30. Mapa de isoyetas de la precipitación media anual para las regiones de Valparaíso a Los Lagos.

mes de mayor precipitación, despreciando los valores del resto de los meses. Experimentos realizados por Arnoldus (1978) determinaron la necesidad de una corrección al IF que considera la precipitación de todos los meses del año bajo la ecuación:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{\bar{p}}$$

Donde: *IFM* es el índice de Fournier Modificado, p_i es la precipitación media mensual y \bar{p} es la precipitación media anual.

Luego, de analizar la representatividad de la agresividad de las lluvias en relación a la distribución espacial de cada índice en el área de estudio, se decidió utilizar al Índice de Fournier Modificado como el mejor indicador de la agresividad climática. El procedimiento que se utilizó para la obtención de este índice, es el siguiente:

1. Obtención de estaciones pluviométricas de la Dirección General de Aguas, serie 1950 - 2008.
2. Análisis y clasificación de estaciones pluviométricas activas e inactivas.
3. Selección de estaciones pluviométricas (activas e inactivas) con series de datos mayores a 10 años.
4. Separación de estaciones pluviométricas por cuenca y espacialización.
5. Determinación de estación patrón por cuenca (estación con datos sobre 30 años y con correlación normal).
6. Completación y corrección de datos de cada estación pluviométrica con respecto a su estación patrón.
7. Cálculo de índice de agresividad climática (IFM).
8. Espacialización del índice de agresividad climática.

Se aplica una interpolación por co-kriging, para la variable principal, utilizando como variable secundaria a la altitud extraída del modelo de elevación digital y la precipitación media anual. Los datos se despliegan como una grilla estadística de 30 x 30 m. El fundamento para ello, se basa en el análisis de componentes principales y la correlación de la precipitación y la elevación. El índice de Fournier modificado fue categorizado en cuatro clases de agresividad de las lluvias (tabla 11), donde la clase 1 representa una menor agresividad y por lo tanto menor riesgo de erosión, mientras que la clase 4 se refiere a un mayor riesgo de erosión.

Tabla 11. Clasificación de la agresividad de la lluvia, según Índice de Fournier Modificado (IFM).

Valor De Ifm	Categoría Agresividad de Lluvias
0 - 90	Bajo
90 - 120	Medio
120 - 160	Alto
Mayor a 160	Muy Alto

Cabe considerar que sólo el monto total anual es considerado como indicador de prohibición y/o regulación de manejo silvícola o intervención en áreas con bosque nativo de las regiones de Aysén y Magallanes. En este caso sobre el umbral de 1.500 mm anuales se prohíbe la corta de vegetación nativa. En este punto, trabajos como Pizarro *et al.* (2006) y Huber (2001; 2003; 2005; 2010) son pioneros, pero todavía exiguos para establecer conclusiones definitivas sobre el comportamiento hidrológico espacial y temporal de la vegetación nativa. Se requiere nuevas investigaciones que apunten a revisar el comportamiento hidrológico forestal de cuencas con bosque nativo (densidad, cobertura, composición y estructura, manejo silvícola, etc).

El reglamento de suelos aguas y humedales no da cuenta de la importancia que radica como indicador de protección del suelo, la agresividad climática de las lluvias (figura 31). Se ha verificado con las estadísticas de la DGA que el número de chubasco de los últimos años (2010 - 2016) es menor a los registros de otras décadas, pero su intensidad máxima en 1 hora se ha incrementado, durante estos últimos años³. Por la fisiografía de la zona centro sur de Chile, estos chubascos provocan una alta tasa de transporte de sedimentos al curso de agua, para lo cual, es relevante conocer indicadores pluviométricos a la hora de definir longitudes de amortiguamiento del bosque nativo. Se desconocen datos estadísticos entre la agresividad de la lluvia y bosque nativo. Lara *et al.*, (2009) establecen una correlación positiva y significativa entre el porcentaje de la cuenca cubierta por bosque nativo y el coeficiente de escorrentía anual (R², sobre el 67%), como expresión de la cantidad de agua que sale de una cuenca. La relación lineal indica que por cada 10% en el incremento de la cobertura de bosque -a escala de cuenca- se incrementa un 5,7% y 14,1% los caudales anuales y de verano, respectivamente.

3 Aplicaciones estadísticas en hidrología: El caso de las intensidades de precipitación y las curvas IDF en la zona central de Chile (Varas *et al.*, 2013)

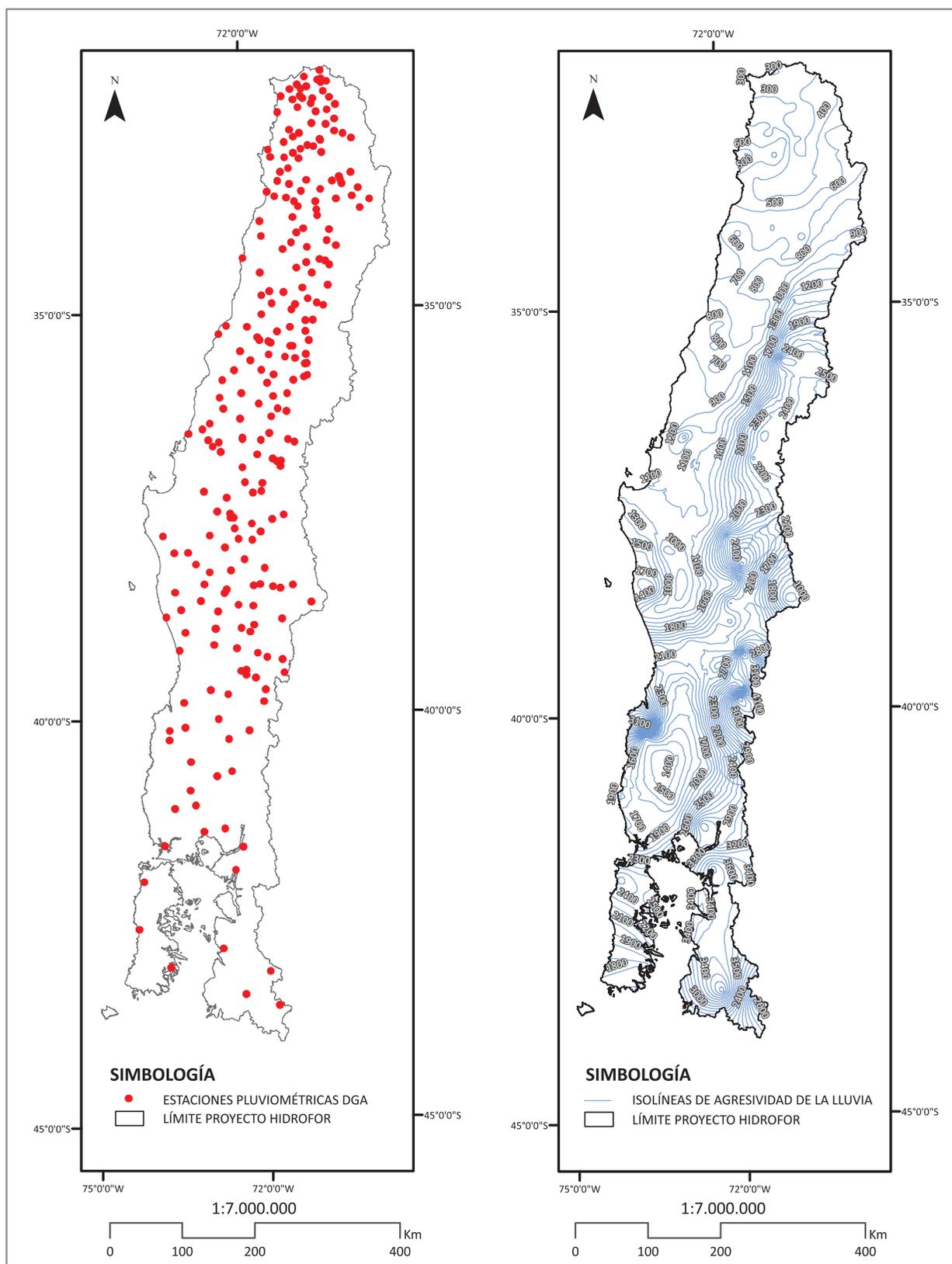


Figura 31. (izquierda) Distribución espacial de las estaciones pluviométricas de la DGA y (derecha) Índice de agresividad climática para Chile central.

6.2. Zonificación de estándares y parámetros de suelos y aguas incluidos en la ley 20.283.

6.2.1. Zonificación de la fragilidad físico-biológica en áreas con bosque nativo, a nivel de cuenca

En hidrología forestal, la unidad territorial de análisis de los procesos biogeoquímicos es la cuenca hidrográfica. Estas son unidades geográficas delimitadas por la propia naturaleza a partir del ciclo del agua. Con los antecedentes mencionados, es dable determinar cuáles y/o cuántas cuencas hidrográficas de la zona centro sur de Chile son vulnerables a la presión antrópica sobre el bosque nativo o poseen fragilidad física (degradación de suelos) y biológica (estado de conservación de la flora).

En otras palabras, la fragilidad físico-biológica representa una característica o atributo antrópico de la vegetación con problemas de conservación biológica en un área con degradación física del suelo. Se puede estimar un grado de riesgo relacionando el estado de conservación de las especies dominantes con la susceptibilidad del suelo a la erosión (erosión potencial). Este índice pretende relacionar las categorías de conservación de las especies, listadas en Benoit (1989), Dto. 50, 51 (2008) y la cobertura de erosión potencial del suelo (figura 25). La información base para espacializar este indicador es el uso de la carta de ocupación de la tierra (COT) que viene en el catastro de vegetación nativa de Chile. Este es un trabajo de carácter referencial e indirecto que atributa los polígonos del bosque nativo según su categoría de conservación se considera que cada unidad cartográfica posee campos con información de las seis especies arbóreas-arbustivas de mayor presencia. Si al menos una especie de la unidad tenía problemas de conservación (declarada regionalmente), todo el polígono adoptaba esta condición. En caso contrario se asumía que la unidad cartográfica no presentaba problemas de conservación. Esta nueva cobertura de información se cruzó con la erosión potencial del suelo (CIREN, 2010), obteniendo como producto cartográfico la intersección de ambas coberturas con el atributo denominado fragilidad físico-biológica de acuerdo a los criterios mostrados en la tabla 12.

Tabla 12. Cruce matricial entre estado de conservación de las especies del bosque nativo y el riesgo de erosión potencial.

		Estado de conservación del bosque nativo	
		Sin problema de conservación (1)	Con problema de conservación (2)
Erosión potencial del suelo	Baja o nula (1)	1	2
	Moderada (2)	1	2
	Severa (3)	2	3
	Muy severa (4)	2	3

No obstante, al procedimiento indicado, la información espacializada es referencial, es necesario cotejar localmente en terreno con cuadrillas de personal calificado la información procesada en gabinete. Sólo se ha podido constatar en algunos sitios de la pre-cordillera de Santiago de la macrozona central de Chile, existe una relación directa entre la degradación de suelos y la conservación biológica de la vegetación, pero resulta ser subjetiva, en cuanto a la escala de paisaje con que se trabaja y a la formación y experiencia profesional de los integrantes de la cuadrilla.

La tabla 13 presenta la bibliografía consultada para construir el indicador de fragilidad biológica, a partir del estado de conservación de las especies del bosque nativo, a nivel regional.

Tabla 13. Documentos técnicos consultados sobre la clasificación de especies vegetales (bosque nativo) según estado de conservación.

AUTOR	NOMBRE	AÑO
Benoit, Iván	Lista roja de la flora terrestre de Chile	1989
UICN	Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN	2012
Ministerio de Medio Ambiente	DS 13	2013
Ministerio Secretaría General de la Presidencia	DS 151	2007
Ministerio de Medio Ambiente	DS 19	2012
Ministerio Secretaría General de la Presidencia	DS 23	2009
Ministerio de Medio Ambiente	DS 33	2012
Ministerio de Medio Ambiente	DS 41	2011
Ministerio de Medio Ambiente	DS 42	2011
Ministerio de Medio Ambiente	DS 52	2014
Ministerio Secretaría General de la Presidencia	DS 50	2008
Ministerio Secretaría General de la Presidencia	DS 51	2008

Se sugiere revisar la nómina regionalizada de las especies según estado de conservación de Chile, elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente (última revisión de este estudio fue el año 2016). Los resultados de este procedimiento prevalecen por sobre cualquier otro estado de conservación asignado previamente a tal especie. Y de igual modo, para las especies aún no evaluadas por este procedimiento siguen siendo válido el estado de conservación asignado previamente ya sea por el reglamento de Ley de Caza, Libro Rojo de los Vertebrados, Libro Rojo de las Plantas u otros instrumento válidos para tal fin. Las Categorías de Conservación empleadas por nuestro país fueron definidas por el Artículo 37 de la Ley N° 19.300, Ley de Bases del Medio Ambiente, y que hasta el 26 de enero de 2010 incluyó las categorías: Extinto, En Peligro, Vulnerable, Insuficientemente Conocido, Rara y Fuera de Peligro. El 26 de enero del 2010, se publicó la Ley 20.417, mediante la cual se modificó el artículo 37 de la Ley 19.300, modificando las categorías de conservación que desde esa fecha deben ser usadas en Chile. De este modo, las nuevas categorías que deben ser hoy en día usadas en Chile corresponde a la vigentes actualmente para UICN: y que corresponden a: Extinta, Extinta en Estado Silvestre, En Peligro Crítico, En Peligro, Vulnerable, Casi Amenazada y Preocupación Menor. Además, las especies que no puedan ser clasificadas por ausencia de información, pueden ser calificadas como "Datos Insuficientes". El 27 de abril de 2012 se publicó un nuevo Reglamento para la Clasificación de Especies según Estado de Conservación (Decreto Supremo N° 29 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente), el cual mantiene el procedimiento previamente diseñado y refuerza el uso de la nuevas categorías de estado de conservación⁴.

Otros criterios de cualificación o de asignación de alguna prioridad de focalización de programas y/o acciones de manejo, conservación y protección forestal, a nivel de cuenca son; el riesgo por incendios forestales, el índice de ocupación de áreas silvestres protegidas o un indicador de presión antrópica sobre los recursos naturales de la cuenca. A continuación se detalla cada uno de los indicadores propuestos.

- *Riesgo por incendios forestales*; este indicador relaciona las variables de frecuencia de ocurrencia de incendios forestales con la superficie quemada por los incendios de la base de datos de CONAF Para la temporada 2013 - 2014 (tabla 14). La corporación CONAF mantiene un sistema de estadísticas (en línea) de ocurrencia de incendios forestales y elabora un mapa de riesgo (a nivel comunal). Éste se construye a partir de la información y consulta ciudadana sobre identificación de sectores con mayor exposición y probabilidad de ocurrencia de incendios forestales y las estadísticas de incendios forestales disponibles por CONAF. Y se realiza un cálculo de densidad de focos comunal con estadísticas georreferenciadas de focos de incendios forestales y quemadas agrícolas. Esta información se encuentra disponible en la IDE-MINAGRI (Infraestructura de datos espaciales del Ministerio de Agricultura). Para este nuevo análisis por cuenca, se propone los siguientes rangos de riesgo que se clasificaron según la distribución muestral de los datos por método de quiebres naturales.

4 Historia de la Clasificación de Especies según Estado de Conservación, Ministerio del Medio Ambiente

Tabla 14. Clases de riesgo por frecuencia y superficie afecta por incendio forestal en la cuenca.

	Clase de riesgo			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy Alto (4)
frecuencia de ocurrencia de incendio forestal en la cuenca	Menor a 20	20 - 80	80 - 200	Mayor a 200
superficie afecta de incendio forestal en la cuenca (ha)	0,5 - 400	400 - 1.600	1.600 - 4.000	Mayor a 4.000

- *Índice de ocupación de áreas de conservación y/o protección*; este indicador está determinado por el porcentaje de superficie que ocupa un área silvestre protegida dentro de una cuenca, en cualquiera de sus categorías; monumento natural, reserva natural o parque natural. Este indicador permite identificar y dimensionar cuáles son las cuencas hidrográficas de interés medioambiental y protección de los ecosistemas nativos para el estado de Chile. Entiéndase por:

PARQUE NATURAL es aquel espacio natural con características biológicas o paisajísticas especiales que les hacen gozar de especial protección y determinadas funciones (recreativa, científica...). Teniendo especial cuidado en la conservación y mantenimiento de sus cualidades. Los parques naturales pueden ser marítimos o terrestres y pueden estar en la montaña, el mar, el desierto o cualquier otro espacio definido geográficamente.

MONUMENTO NATURAL es un área que contiene una o más características naturales o naturales/culturales específicas de valor destacado o excepcional por su rareza implícita, sus calidades representativas o estéticas o por importancia cultural.

Una RESERVA NATURAL o área natural protegida o reserva ecológica es un área de importancia para la vida silvestre, flora o fauna, o con rasgos geológicos de especial interés que es protegida y manejada por el hombre, con fines de conservación y de proveer oportunidades de investigación y de educación.

De acuerdo a la distribución de los datos de ocupación de las áreas silvestres protegidas (SNASPE) se clasificaron en 5 categorías por método de quiebres naturales (tabla 15).

Tabla 15. Clases de ocupación del territorio por áreas silvestre protegidas dentro de la cuenca.

	Clase de ocupación dentro de la cuenca				
	Nulo (0)	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy Alto (4)
Índice de ocupación de área silvestre protegidas	Menor a 1%	1,0 - 12,0%	12,1 - 33,0%	33,1% - 67,0%	67,1 - 100%

- *Densidad poblacional por cuenca hidrográfica*; es la estimación del número de habitantes por km², agregado a nivel de cuencas. Se entiende éste como un indicador de uso y aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca hidrográfica; agua, suelo y bosque⁵. Se entiende que una alta ocupación territorial por concepto de asentamientos urbanos e industriales ejerce una fuerte presión por el cambio de uso de suelos dentro de la cuenca. Este indicador se clasificó en cuatro rangos de presión antrópica basado en la densidad poblacional por cuenca (tabla 16). Al año 2016, no se trabajó con proyecciones demográficas sino con las estadísticas nacionales oficiales del Instituto Nacional de Estadísticas, año 2002.

Tabla 16. Rangos de presión antrópica asignada a la densidad poblacional dentro de la cuenca.

	Rango de presión antrópica de la cuenca			
	Nulo (0)	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
Densidad poblacional por cuenca (hab./km ²)	Menor a 1,0	1,0 - 30,0	30,1 - 100,0	Mayor a 100

5 PNUD (2010): Informe sobre Desarrollo Humano, Perú 2009. Por una densidad del Estado al servicio de la gente. Parte II: una visión desde las cuencas.

6.2.2. Áreas de protección del bosque nativo adyacentes a los cursos naturales de aguas

La mayoría de las investigaciones relativa al ancho efectivo de las áreas de protección han sido aplicadas en Estados Unidos, Canadá y Australia, donde rigen variables edáficas, climáticas y vegetacionales que no representan la fisiografía ni las particularidades de Chile, por lo cual no es recomendado adoptar los estándares normativos de tales países, pero sí las variables que determinan sus procesos naturales. La investigación respecto a las áreas de protección hace evidente la correlación positiva que existe entre el ancho de la áreas de protección y la habilidad de ésta para capturar sedimentos (Wenger, 1999). Las áreas de protección reducen la sedimentación de los cauces en bosques intervenidos y que su ancho es un factor determinante (Davis y Nelson, 1994). Se ha determinado empíricamente que un ancho de protección de 30 m fue capaz de minimizar los impactos del madereo. Ello concuerda con una revisión del uso de áreas de protección para mitigar los impactos del madereo sobre los cauces realizada por Clinnick (1985). En Chile, Ramírez de Orellana (2013), evaluó distintos anchos de zonas de protección con bosque nativo, el cual por sus características de dosel, densidad, materia orgánica, diversidad, etc. debería cumplir un rol de filtro para los sedimentos provenientes de zonas cosechadas. La investigación definió tres situaciones de pendiente (<30%, 30-45% y >45%), junto con distintas longitudes de zonas de protección (0,5 y 30 metros), para evaluar los sedimentos que pueden llegar a un cauce por medio de parcelas de escorrentía y trampas de sedimentos Gerlach. Adicionalmente, se implementaron dos modelos de predicción de sedimentos basados en SIG, que emplearon en su fase de calibración los datos de las parcelas. Los modelos utilizados corresponden a los conocidos WEPP y USPED. Los resultados indicaron que un ancho superior a 5 m no generaría disminuciones adicionales en los sedimentos que pueden llegar a un curso de agua desde una zona cosechada, sin importar el grado de la pendiente. Si bien, los resultados de los modelos de predicción de sedimentos sobreestiman la carga entregada, éstos permiten generar escenarios más exigentes de buffer que pueden asesorar otras actividades aportantes de sedimentos como los caminos. Por lo tanto, de las múltiples funciones que pueden cumplir las franjas de protección, la regulación de sedimentos que llegan a los cauces no son las que determinan el ancho máximo si se les compara con otras funciones como el aporte de materia orgánica, hábitat para la fauna o conectividad.

Por su parte Palone y Todd (1997) señalan que la mayoría de los estudios muestran que se requieren anchos de protección de 15 a 30 m para una remoción adecuada de sedimentos. Mientras áreas de protección pequeñas remueven pequeñas cantidades de sedimentos, la relación entre el ancho del área de protección y la remoción de sedimentos no es lineal. Para la obtención de remociones de sedimentos sobre un 80 % de eficiencia, los anchos de área de protección aumentan desproporcionadamente. No obstante, bajo condiciones de caudal excesivamente canalizado y de pendientes muy pronunciadas, anchos de áreas de protección sobre los 45 m no muestran retornos adicionales (Quiroz y Cavieres, 2009).

Little *et al.*, (2014) lograron determinar una relación de dependencia entre el área ocupada por bosque nativo en áreas aledañas a los cursos de agua y el coeficiente de escorrentía anual. Se determinó una relación significativa entre incremento de la producción de agua a escala de cuenca con valores cercanos al 14% de incremento del coeficiente de escorrentía anual por cada 10 metros de incremento del ancho ribereño a ambos lados de los cursos de agua.

La normativa chilena vigente en este tema se remite a la aplicación del Reglamento de suelos, aguas y humedales (ley 20.283 de bosque nativo), donde se definen dos zonas de protección adyacentes;

Zona de protección de exclusión de intervención: Corresponde a los 5 metros aledaños a ambos lados de cursos naturales de agua, cuya sección de cauce, delimitada por la marca evidente de la crecida regular, es superior a 0,2 metros cuadrados e inferior a 0,5 metros cuadrados. Tratándose de manantiales y cuerpos naturales de agua, esta zona tendrá un ancho de 10 metros. En cursos naturales de agua de sección de cauce mayor a 0,5 metros cuadrados, el ancho de esta zona será de 10 metros a ambos lados de éste. Las distancias previamente señaladas se miden en proyección horizontal en el plano, desde el borde del cauce, cuerpo de agua, o manantial y perpendicular al eje, o a la línea de borde de éstos.

Zona de protección de manejo limitado: Corresponde al área contigua a la zona de exclusión de intervención de cuerpo de agua, manantial y cursos naturales de agua de sección de cauce mayor a 0,5 metros cuadrados. Esta zona de manejo tiene un ancho de 10 metros para pendientes entre 30 y 45% y de 20 metros para pendientes superiores a 45%. Las distancias previamente indicadas, se miden en proyección horizontal en el plano desde el borde de la zona de exclusión y perpendicular a su eje.

Estas definiciones hidráulicas del lecho y del tipo de dren superficial, en la práctica, requieren de mayor investigación, o al menos de un protocolo estandarizado de medición. Por cuanto, la variabilidad temporal y espacial de los caudales y la configuración geométrica del lecho de un curso de agua, es superior al 62% (Flores, 2000). No se puede discernir donde

comienza o termina el área de protección, especialmente en sectores de pendiente abrupta, vegetación abundante o zonas de bifurcación de los meandros. La figura 36, muestra el resultado de la densificación del drenaje superficial para un sector de la X región. Por la escala del estudio (1:35.000) no es posible definir cartográficamente un ancho de protección estándar.

Por lo tanto, este estudio presenta una representación espacial de los anchos de protección adyacentes a los cursos de aguas naturales basados solamente en la pendiente media lateral del curso superficial de agua y que cumpla con los anchos de protección expuestos en la literatura nacional e internacional. Para el caso chileno, se requirió homologar las densidades de drenaje superficial, densificar la red hidrográfica existente y lograr una escala de semi-detalle (1:35.000) con la información disponible, para ocho regiones del país.

6.2.3. Áreas de protección del bosque nativo según la ley 20.283

Little (2015) indica que los bosques nativos, así como cualquier uso de suelo, tiene una serie de efectos sobre el balance hídrico en general y las características estructurales de estos bosques modifican los patrones hidrológicos en cuencas hidrográficas. La presencia de bosques nativos en cuencas forestales destaca por su relación positiva con la provisión de agua en términos de calidad y cantidad como servicio ecosistémico. En este apartado se incluye la asesoría la Universidad de Chile para la espacialización y el establecimiento de zonas de protección según la normativa vigente. Se presentan cuatro zonificaciones de conservación y/o protección del recurso suelo, indicados en el reglamento de suelos, aguas y humedales.

En primer lugar, en bosque nativo ubicados en la Región de Valparaíso y Metropolitana de Santiago, prohíbase el descepa de árboles, arbustos y suculentas de formaciones xerofíticas en áreas con pendiente entre 10 y 30% que presenten erosión moderada, severa y muy severa; como en aquellas con pendientes superiores al 30%.

En segundo lugar, se zonifica; (i) para los tipos forestales esclerófilo o palma chilena con pendientes menores a 45% se debe dejar una cobertura arbórea y arbustiva mínima de 20%, (ii) para los restantes tipos forestales presentes (Roble-Hualo, Roble-Raulí-Coihue y Siempreverde) se debe dejar una cobertura arbórea y arbustiva mínima de 30%, y (iii) todos los tipos forestales ubicados en pendientes superiores a 45% se deben dejar una cobertura arbórea y arbustiva mínima de 40%.

En tercer lugar se zonifica el bosque nativo de los tipos forestales esclerófilo y palma chilena ubicados en pendientes superiores a 45% y suelos de origen graníticos se debe dejar una cobertura arbórea y arbustiva mínima de 60%.

Y cuarto lugar, se desarrolla un análisis crítico de la información geolocalizada referente a suelos disponible en el CIREN, de manera de ofrecer una propuesta para determinar los bosques nativos ubicados en suelos muy delgados (Art. 9º.- En suelos con profundidad menor a 20 centímetros se prohíbe la corta de bosques nativos. Excepto para la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, esta restricción regirá para suelos cuya profundidad sea menor a 10 cm o cuando los bosque de Lengua y Coigüe en estado adulto no superen los 8 metros de altura).

7. Discusión y resultados territoriales del estudio

El deterioro del ambiente físico de las cuencas que hoy se percibe en la zona centro-sur de Chile, no es resultado de un proceso reciente, como se ha mencionado anteriormente, si no que se inicia en la época colonial, se acelera en el siglo antepasado y continúa hasta la década de 1970, cuando los usos tradicionales de la tierra ven deteriorada sus condiciones de intercambio, prevalecen procesos de desertificación (Alfaro, 2014), y se suma ahora, un escenario de cambio climático global. A continuación, se revisa los principales resultados del estudio; (i) re-delimitación de la red hidrográfica para las cuencas entre las regiones V y X de Chile, (ii) mapas de fragilidad físico-biológica y otros indicadores de paisaje en áreas con bosque nativo, (iii) las áreas de protección del bosque nativo adyacentes a los cursos naturales de aguas (iv) las áreas de protección en función de los tipos forestales, la pendiente, erosión y origen o formación de suelo y (v) la revisión de la hidrografía superficial modelada.

7.1. Re-delimitación de la red hidrográfica de Chile

Chile, no tiene un sistema de manejo integrado de información o de monitoreo de cuencas hidrográficas, pero sí dispone de forma dispersa, gran cantidad de datos e información territorial, en torno a estas unidades. La recopilación e integración de este conocimiento puede aportar favorablemente a la gestión pública actual para aminorar, retrasar o mitigar el proceso de degradación o sobreexplotación de los recursos naturales de una cuenca (Francke, 2009). Un importante avance es la incorporación del concepto de cuenca hidrográfica y caudal superficial en el texto legal de la ley de bosque nativo 20.283.

La nueva codificación de las unidades hidrográficas regionales viene dada por el sistema de codificación y los criterios del estudio "Clasificación de cuencas hidrográficas de Chile" DGA de 1978, la cual tiene una correspondencia con el sistema Banco Nacional de Aguas (BNA), que almacena toda la información de la red hidrométrica nacional. La nueva red hidrográfica nacional actualizó el trazado de las cuencas a la escala del proyecto y aumentó los niveles de jerarquía de las cuencas, unificó el criterio de delimitación de las cuencas y homologó los registros de la base de datos del BNA en una geodatabase única, que reemplaza los tres archivos vectoriales relacionales (cuencas, subcuencas y sub-subcuencas).

Las mejoras de la base de datos actual de las coberturas de la red de cuencas hidrográficas de Chile se estructuraron conforme a los lineamientos de la Dirección General de Aguas, con los siguientes campos de información; (a) Tipología de desembocadura principal, (b) Tipología de cuencas; (c) Régimen de alimentación, (d) N° de estaciones de mediciones (fluviométricas y pluviométricas que contienen), (e) Precipitación media anual, (f) Temperaturas medias, mínimas y máximas, (g) Pendiente media (h) Superficie por unidad hidrográfica.

El presente estudio está contenido en 621 unidades hidrográficas entre las regiones de Valparaíso y los Lagos. Las tablas 17 y 18, indican el código y el nombre de las unidades hidrográficas, junto a algunas características climáticas, demográficas y dimensionales.

Tabla 17. Caracterización de las nuevas unidades hidrográficas para las regiones V, RM, VI, VII y VIII de Chile (DGA, 2014).

Región	Código y Nombre Unidad Hidrográfica	Número de Subcuencas	Temperatura Media (°C)	Temperatura Media (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación Media Anual (mm)	Número de Estaciones Fluviométricas	Número de Estaciones Pluviométricas	Población (INE, 2002)	Superficie Cuenca (Km ²)
Valparaíso	0500 Cuencas Costeras entre Río Quilimarí y Río Petorca	3	15,8	26,8	6,6	294,3	0	1	s.i	331,2
	0501 Río Ligua	11	12,6	27,7	-2,9	287,1	13	27	60.343	3.971,4
	0502 Cuencas Costeras entre Río Ligua y Río Aconcagua	4	14,8	26,4	5,4	373,7	1	2	44.395	848,6
	0503 Río Aconcagua	15	9,2	28,0	-10,0	352,5	48	25	485.108	7.322,9
	0504 Cuencas Costeras entre Río Aconcagua y Río Maipo	6	14,2	27,6	5,0	548,3	2	6	850.959	2.314,4
Metropolitana	0505 Cuencas Costeras entre Río Maipo y Río Rapel	3	16,5	29,5	6,7	475,6	0	1	14.967	1.072,5
	1300 Río Maipo	30	9,7	30,3	-11,3	493,8	61	61	6.158.272	15.205,1
	0600 Río Rapel	36	11,2	29,8	-10,0	714,4	32	32	729.054	13.769,1
	0601 Cuencas Costeras entre Estero Alhué y Quebrada del Espino	4	15,1	28,6	5,3	604,6	0	0	5.422	682,6
	0602 Cuencas Costeras Sector Pichilemu	2	14,6	27,9	5,2	650,2	0	1	s.i	407,3
O'Higgins	0603 Estero Nihlahue	5	14,0	29,0	2,8	775,8	1	4	9.633	1.777,0
	0604 Río Paredones	2	14,5	28,2	4,7	757,9	0	0	6.695	553,6
	0700 Cuencas Costeras Maule Norte	3	13,8	28,3	4,0	811,5	0	0	4.916	620,2
	0701 Río Mataquito y afluentes	29	10,0	29,6	-7,5	879,4	16	15	249.949	6.324,0
	0702 Cuencas Costeras Talca	4	12,8	26,9	2,7	902,7	0	2	s.i	1.089,8
Maule	0703 Río Maule	47	11,2	30,0	-6,6	943,3	74	45	655.986	21.149,1
	0704 Cuencas Costeras entre Río Maule y Río Reloca	2	12,0	23,8	3,6	915,5	1	0	s.i	503,1
	0705 Río Reloca	3	12,7	25,0	3,1	876,9	0	0	4.225	628,2
	0706 Cuencas Costeras Chanco	4	12,6	24,3	3,5	878,4	0	0	9.457	1.992
	0707 Cuencas Costeras Maule Sur	4	12,1	24,0	3,6	905,1	0	0	s.i	566,6
Biobío	0800 Costeras entre límite Región y Río Itata	3	12,2	23,3	4,1	980,9	0	0	5.687	547,8
	0801 Río Itata	27	11,4	28,0	-4,6	1.155,2	42	36	422.343	11.443,2
	0802 Costeras e Islas entre Río Itata y Río Biobío	6	12,1	23,8	3,8	1.283,2	6	5	358.981	1.500,3
	0803 Río Biobío	48	10,4	28,1	-3,6	1.433,1	66	37	857.166	24.332,1
	0804 Arauco	9	11,3	23,5	1,5	1.430,2	2	1	179.490	1.923,7
Araucanía	0805 Costeras entre Punta Lavapié y Río Lebu	8	11,5	23,3	2,1	1.501,7	3	2	75.610	1.200,8
	0806 Costeras entre Lebu y Trilúa	11	11,2	24,6	1,5	1.537,9	11	4	46.772	3.062,5

Tabla 18. Caracterización de las nuevas unidades hidrográficas para las regiones IX, XIV y X de Chile (DGA, 2014).

Región	Código y Nombre Unidad Hidrográfica	Número de Subcuencas	Temperatura Media (°C)	Temperatura Media (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación Media Anual (mm)	Número de Estaciones Fluviométricas	Número de Estaciones Pluviométricas	Población (INE, 2002)	Superficie Cuenca (Km ²)
La Araucanía	0900 Río Imperial	43	11,0	25,8	-0,4	1.467,5	27	26	551.964	12.667,5
	0901 Cuencas Costeras entre límite Región y Río Imperial	1	11,6	22,8	4,0	1.346,3	0	0	s.i	51,7
	0902 Cuencas Costeras entre Río Imperial y Río Toltén	3	12,6	24,2	4,6	1.336,5	0	0	s.i	661,3
	0903 Río Toltén	30	9,7	24,4	-1,3	1.780,1	18	21	187.197	8.516,6
	0904 Río Queule	2	11,4	22,9	3,6	1.923,5	0	0	s.i	697,4
	1400 Cuencas Costeras Los Ríos Norte	4	10,6	22,3	2,6	2.010,5	0	0	s.i	727,9
	1401 Río Valdivia	34	10,0	23,6	-1,5	2.007,2	17	17	257.580	10.339,4
	1402 Cuencas Costeras entre Río Valdivia y Río Bueno	4	9,3	20,0	2,2	2.243,5	0	0	5.463	764,3
	1403 Río Bueno	42	10,0	23,5	-2,6	1.730,5	22	15	336.755	15.183,8
	1000 Cuencas Costeras entre Río Bueno y Río Maullín	9	9,4	18,2	2,4	1.924,0	4	2	s.i	4.106,3
Los Ríos	1001 Río Maullín	15	10,7	20,8	3,3	1.829,6	4	3	76.449	3.873,5
	1002 Cuencas Costeras e Islas entre Río Maullín y Río Chamiza	8	10,8	19,7	4,0	2.036,2	0	2	175.938	639,8
	1003 Cuencas Costeras entre Río Chamiza y Río Petrohué	7	8,7	19,7	-0,1	2.300,4	6	1	s.i	1.383,6
	1004 Río Petrohué y Lago Todos Los Santos	6	7,7	20,2	-2,3	2.212,1	1	0	s.i	2.658,0
	1005 Cuencas Costeras entre Río Petrohué y Río Puelo	3	7,4	19,9	-1,8	2.179,9	0	0	4.363	477,7
	1006 Río Puelo	8	5,2	20,2	-5,5	1.418,3	6	1	s.i	9.190,8
	1007 Cuencas Costeras entre Río Puelo y Río Yelcho	17	7,9	20,2	-2,0	2.027,0	0	2	15.455	5.883,1
	1008 Río Yelcho	9	5,2	18,3	-4,5	1.427,0	7	5	1.826	11.403,8
	1009 Cuencas Costeras entre Río Yelcho y límite Regional	9	8,0	18,4	-1,3	2.326,1	0	0	s.i	2.713,9
	1010 Cuencas Islas Chiloé y Circundantes	34	9,9	19,3	3,7	2.169,3	2	9	145.790	9.291,3
Los Lagos	1100 Río Palena y Costera hasta límite Decima Región	4	5,9	18,1	-4,6	1.457,8	1	5	1.690	13.732,0

* Considérese que en la región de Los Lagos hay tres unidades hidrográficas compartidas con la República de Argentina, las subcuencas de código BNA 10060000, 1006020002 y 1008010000.

7.2. Fragilidad físico-biológica y otros indicadores de paisaje en áreas con bosque nativo.

Los resultados espacializados de la fragilidad del bosque nativo (V a X región) fueron integrados a nivel de cuenca hidrográfica, como se muestra en la figura 32, por cuanto la literatura señala que los niveles de degradación en la zona centro sur de Chile son altos, o al menos ha tenido un impacto visual notorio en el paisaje rural de los pequeños propietarios forestales. Por ejemplo, Lara *et al.* (2003) sugieren que los bosques nativos ubicados en las cuencas andinas y costeras, constituidos por la vegetación, la fauna y el suelo, funcionan como una “esponja” capaz de acumular y entregar gradualmente agua a arroyos y ríos, evitando crecidas importantes en invierno y asegurando la mantención de un cierto nivel de caudales y de las napas freáticas en verano, época cuando la escasez de agua se hace crítica. En este contexto, desconocemos el impacto de la degradación del bosque nativo sobre el balance hídrico de las cuencas andinas y costeras de la zona central de Chile.

A priori, los resultados indican que 13 de 621 subcuencas se consideran con riesgo físico-biológico muy alto, es decir, son cuencas que tienen un alto índice de ocupación con especies declaradas con problemas de conservación en sitios con erosión severa y muy severa. La subcuencas aludidas están ubicadas en la región del Maule (Río Bullileo), del Biobío (Río Lolco y Río Lonquimay), de La Araucanía (Río Maichín, Río Trafultraful, Río Zahuelhue, Río Guallerrupe, Lago Caburgua y Río Blanco) y Los Lagos (cuenca del Río Lenca, cuencas costeras entre Punta Tentelhue y Río Negro, las cuencas costeras entre Río Lenca y Río Chilco, la Quebrada sin nombre hacia Río Corcovado y las cuencas costeras entre Río Puelo y Punta Trentelhue). El resto de las cuencas se consideran que tienen un riesgo medio (163 subcuencas), bajo (64 subcuencas) y 381 subcuencas no tienen categoría de fragilidad.

Actualmente, se dispone de cartografía de algunos indicadores de paisaje en áreas con bosque nativo que podrían ser interesantes de relacionar geográficamente con los resultados entregados de fragilidad físico-biológica del bosque nativo. Por ejemplo se dispone información espacializada de la degradación del bosque nativo como también mapas de índices de continuidad espacial de la vegetación nativa (fragmentación) para las regiones de Valparaíso a Los Lagos (OTERRA, 2016). Estos antecedentes fueron entregados en el marco del estudio denominado “*Causales de degradación, deforestación y no aumento de existencia de Carbono*”, ejecutados por el consorcio OTERRA, Basler & Partner, Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo y CIREN. Esta asesoría es parte de la iniciativa “Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV)” que lidera la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2016).

La figura 32, muestra el mapa de fragilidad físico-biológica del bosque nativo para las regiones entre Valparaíso y Los Lagos.

Los resultados indican que el riesgo alto de incendios forestales histórico de CONAF se posiciona en tres regiones del país; Biobío, La Araucanía y Valparaíso. De acuerdo a las estadísticas de la temporada 2013-2014 y sobre la base de una superficie afectada de 92.000 hectáreas, el riesgo alto de incendios forestales se concentra en las regiones del Biobío, Maule, La Araucanía y el límite regional entre la Valparaíso y la Región Metropolitana (figura 33). A nivel de cuencas, preocupa el alto índice de incendios forestales y quemas agrícolas en las cuencas del río Imperial, río Itata, costeras de Talca, Río Maule, costeras entre Punta Lavapié y río Lebu, río Biobío y río Maipo y las cuencas costeras del río Aconcagua y el río Maipo, en la zona norte del área de estudio.

La figura 34, señala que hay 19 subcuencas con un alto índice de ocupación (sobre el 76%) de áreas silvestres protegidas por el Estado, estas cuencas se concentran principalmente, en las regiones de Los Ríos y Los Lagos. La región de O´Higgins contiene una unidad hidrográfica con el índice más alto de ocupación de área silvestre protegida del área estudio, y corresponde a la cuenca del Río Cipreses que mantiene a la reserva natural del mismo nombre en la comuna de Machalí. Por su gran extensión los Parques nacionales Corcovado, Vicente Pérez Rosales y Puyehue, involucran a varias subcuencas en su administración territorial, como por ejemplo, las cuencas costeras entre el río Yelcho y límite regional, la cuenca del río bueno y la cuenca del río Petrohué y Lago todos los Santos. Es también importante destacar que hay 483 unidades hidrográficas entre la V y X región que no tienen área silvestre SNASPE, esto se hace más evidente hacia la costa y la zona norte del área de estudio.

En cuanto al indicador de presión antrópica de recursos naturales y/o cambios de uso del suelo (figura 35), hay 45 subcuencas entre las regiones de Valparaíso y los Lagos, que tienen una densidad demográfica sobre 100 habitantes por kilómetro cuadrados. La mayoría de estas se localizan por el valle central de Chile y representan a las grandes ciudades y capitales regionales del país. Son ejemplos de cómo los ejes de desarrollo industrial atraen la población. Las cuencas con menor densidad de población son aquellas en las que el sector secundario no se ha desarrollado y predomina el primario (agricultura, forestal y ganadería fundamentalmente). En lo que se refiere al uso de los bosques nativos, destacan principalmente la obtención de madera para la industria de aserrío y leña para calefacción domiciliar e industrial. Esta presión antrópica ha acelerado los procesos degradación forestal, derivada en parte por aspectos socioeconómicos, junto a los incendios forestales, el ingreso de ganado y ramoneo persistente sobre la regeneración -con importantes consecuencias en la estructura del suelo- son las causas más relevantes que conducen a una pérdida de los atributos originales del bosque y potenciales efectos en la provisión de agua en calidad (Oyarzún, 2011) y cantidad (Pizarro *et al.*, 2006), tema que ha sido escasamente estudiando en Chile y el mundo (Little, 2015).

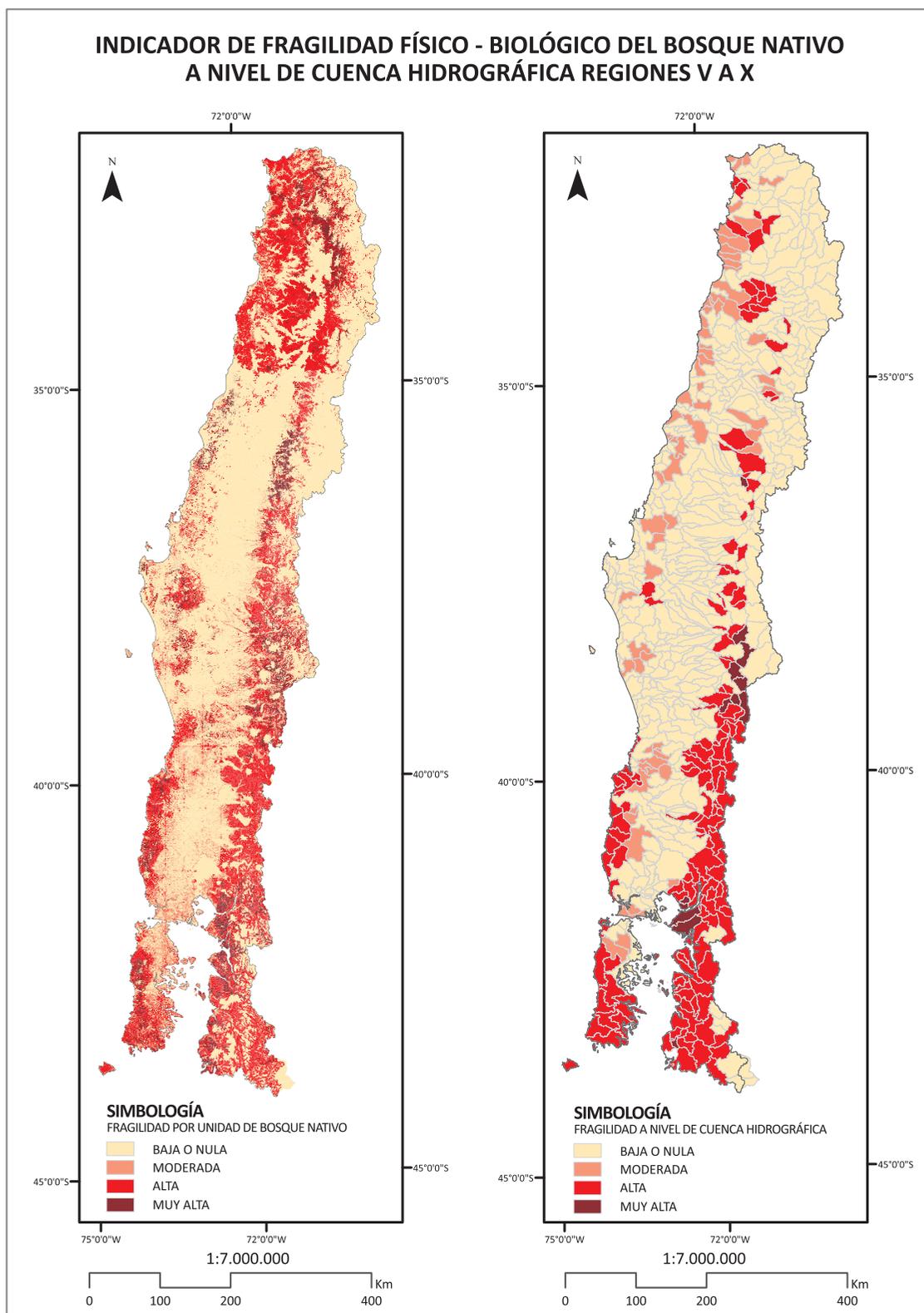


Figura 32. Representación de la fragilidad del bosque nativo a nivel de cuencas hidrográficas.

Es esperable poder contar, a futuro, con información socioeconómica a nivel de cuenca y sus subunidades hidrográficas, como por ejemplo, estimar el índice de desarrollo humano o índices de servicios ecosistémicos o de paisaje (fragmentación del bosque nativo). En la actualidad sólo contamos con información a nivel comunal del índice de desarrollo humano (PNUD y MIDEPLAN, 2003)⁶.

6 PNUD y MIDEPLAN. 2003. Las trayectorias del desarrollo humano en las comunas de Chile (1994-2003). 150p.

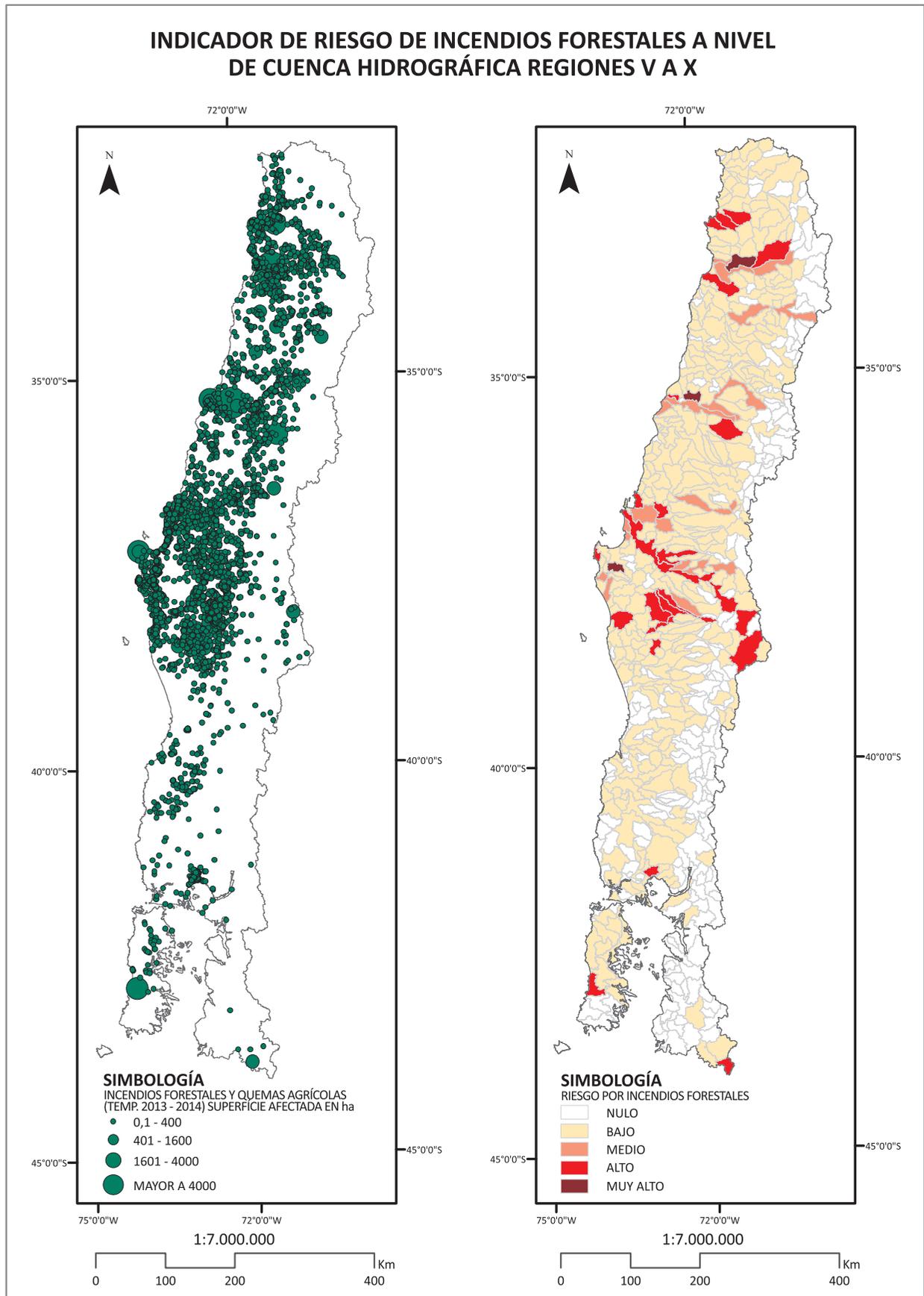


Figura 33. Indicador de riesgo de incendios forestales y quemas agrícolas a nivel de cuenca hidrográfica. Regiones V a X.

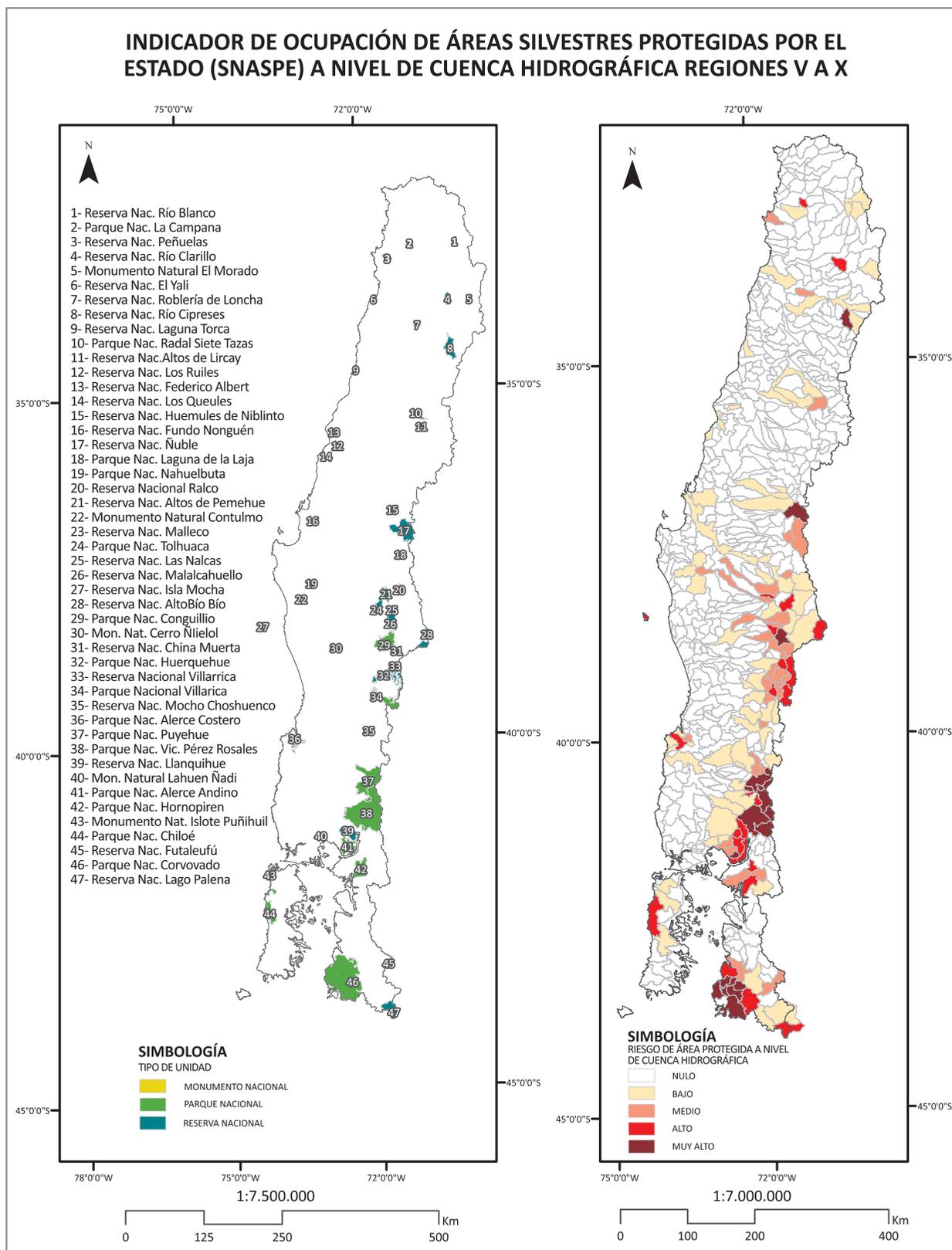


Figura 34. Indicador de ocupación (%) de áreas silvestre protegidas (SNASPE) a nivel cuenca hidrográfica. Regiones V a X.

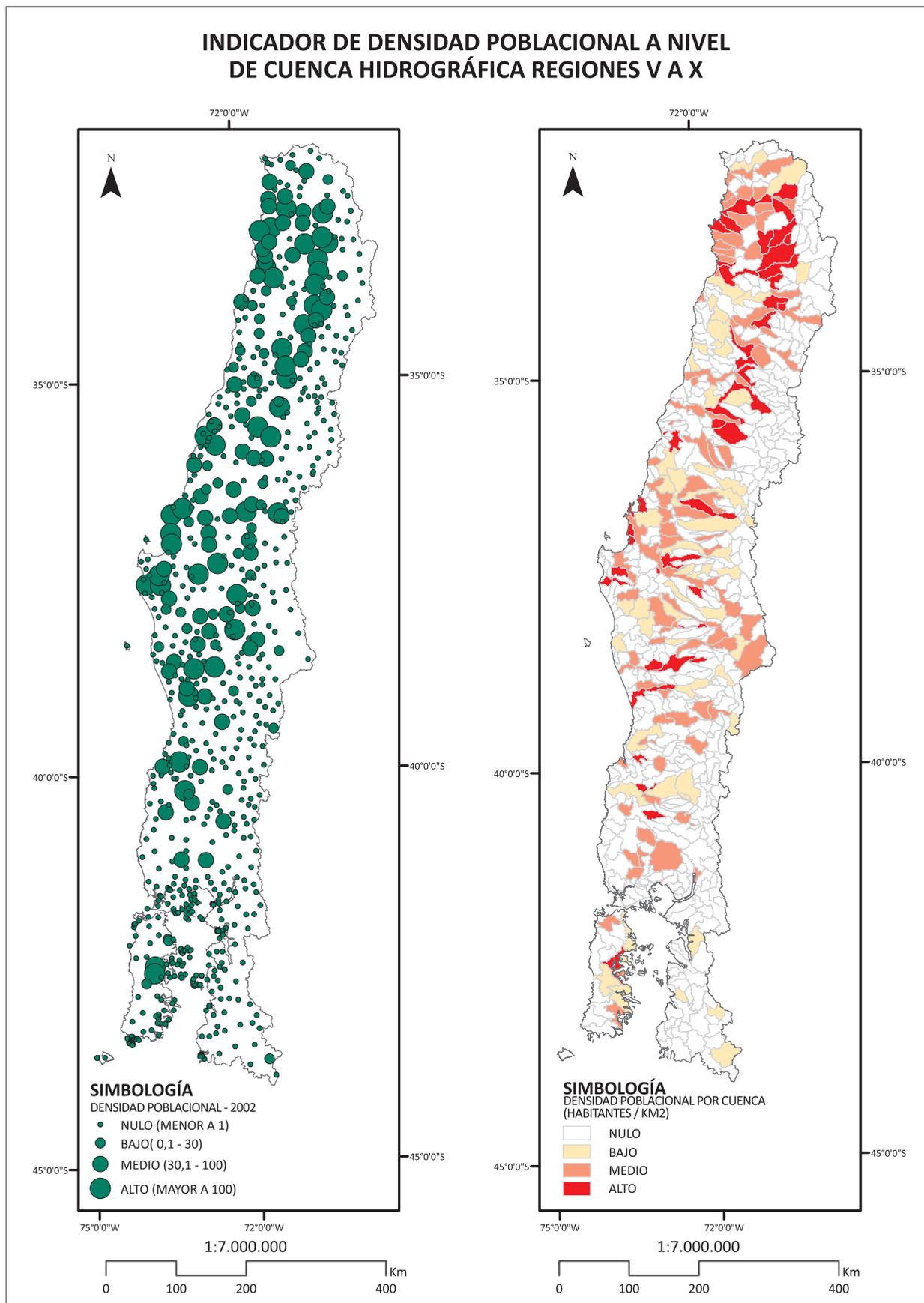


Figura 35. Indicador de densidad demográfica (hab./km²) a nivel de cuenca hidrográfica. Regiones V a X.

7.3. Resultados de las áreas de protección del bosque nativo adyacentes a los cursos naturales de aguas

La cartografía resultante de la densificación del drenaje superficial fue dividida en tres macrozonas; la zona 1 de la región de Valparaíso a la región del Maule (constituida por 217 subcuencas), la zona 2 corresponde las regiones entre Biobío y Los Lagos (constituida por 370 subcuencas) y la zona 3 corresponde a la provincia de Chiloé (constituida por 34 subcuencas). El área total estimada de protección asociada a los cursos naturales de agua (río, estero y quebrada) alcanza los 717, 1.520 y 186 millones de m², por macrozona 1, 2 y 3, respectivamente.

La figura 36, muestra una comparación gráfica entre la red superficial existente y la propuesta de un sector de bosque nativo de la región de Los Lagos. Al comparar un área de 63.000 m² (carta IGM G-28) se informa que se aumentó de 17,8 m/ha a 44 m/ha el trazado de los cursos de aguas. Se pretendió dibujar todo el drenaje superficial modelado para cuencas superior a 100 hectáreas. Las quebradas intermitentes más pequeñas no pudieron ser discriminadas por la imagen satelital Landsat 8 (escala 1:35.000). La incorporación de imágenes y modelos de elevación de alta resolución especial, permitirán resolver esta limitación.

La figura 37, muestra una representación gráfica y matemática del cálculo de densidad drenaje para un sector de la comuna de Pumanque (Región de O'Higgins). En este caso, la grilla IGM seleccionada fue la F-22 con una superficie de 63.260,6 metros cuadrados. Se logró incrementar la densidad de drenaje superficial en las áreas con bosque nativo de 23, 2 a 30, 3 m/ha. Además esta nueva información vectorial tiene una escala de dibujo cartográfico 1:35.000, y está ajustada a la imagen Landsat 8.

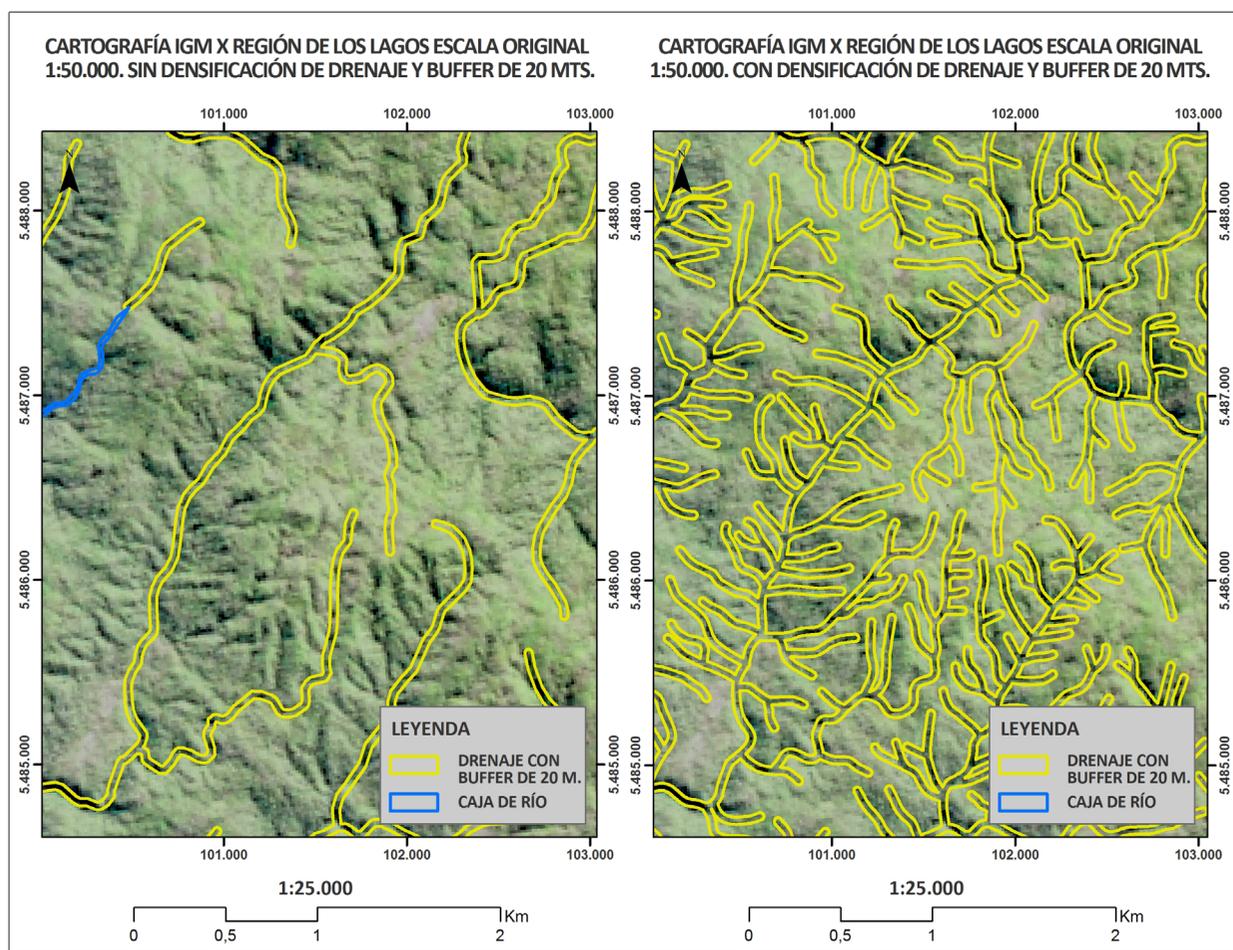
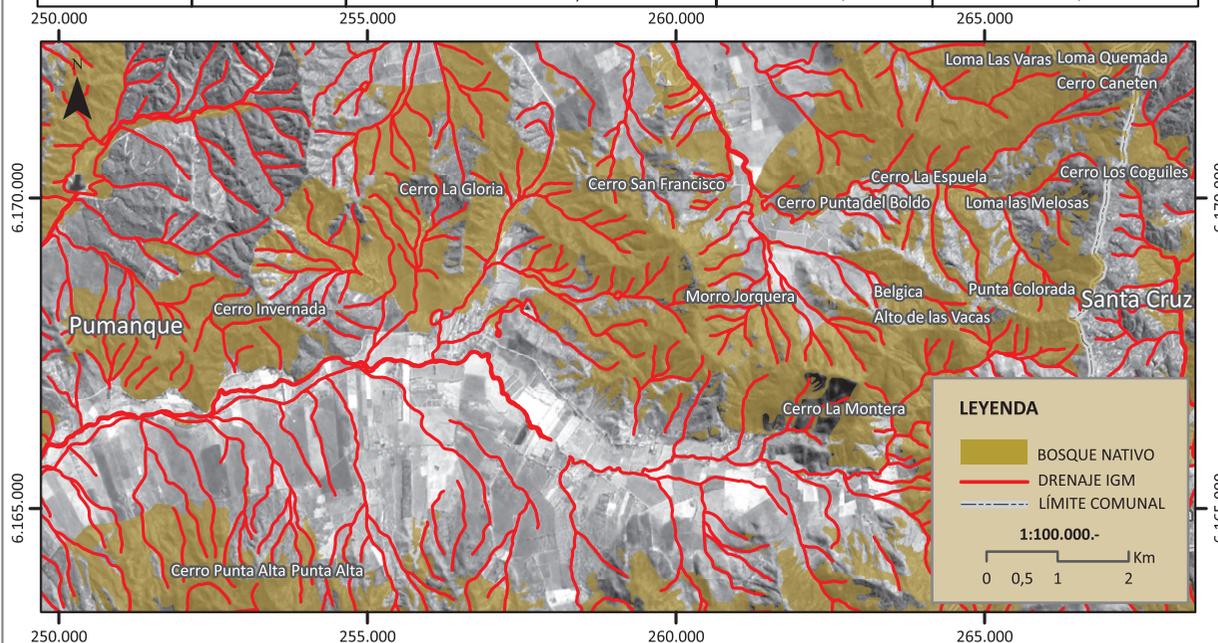


Figura 36. Comparación gráfica entre la red superficial existente (IGM) y la propuesta de un sector de bosque nativo de la región de Los Lagos.

CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE DRENAJE SUPERFICIAL POR CARTA IGM PARA ÁREAS CON BOSQUE NATIVO COMUNA DE PUMANQUE - VI REGIÓN DEL LIB. GENERAL BDO. O'HIGGINS

DRENAJE IGM 1:50.000 (FUENTE: IDE MINAGRI, 2014)

REGIÓN	N° CARTA IGM	LONGITUD DE LA RED DE DRENAJE (m)	ÁREA GRILLA IGM	DEN. DE DRENAJE (m/ha)
VI	F22	1.478.678,8	63.620,6	23,2



DRENAJE HIDROFOR 1:35.000 (FUENTE: CIREN, 2016)

REGIÓN	N° CARTA IGM	LONGITUD DE LA RED DE DRENAJE (m)	ÁREA GRILLA IGM	DEN. DE DRENAJE (m/ha)
VI	F22	1.919.857,3	63.620,6	30,2

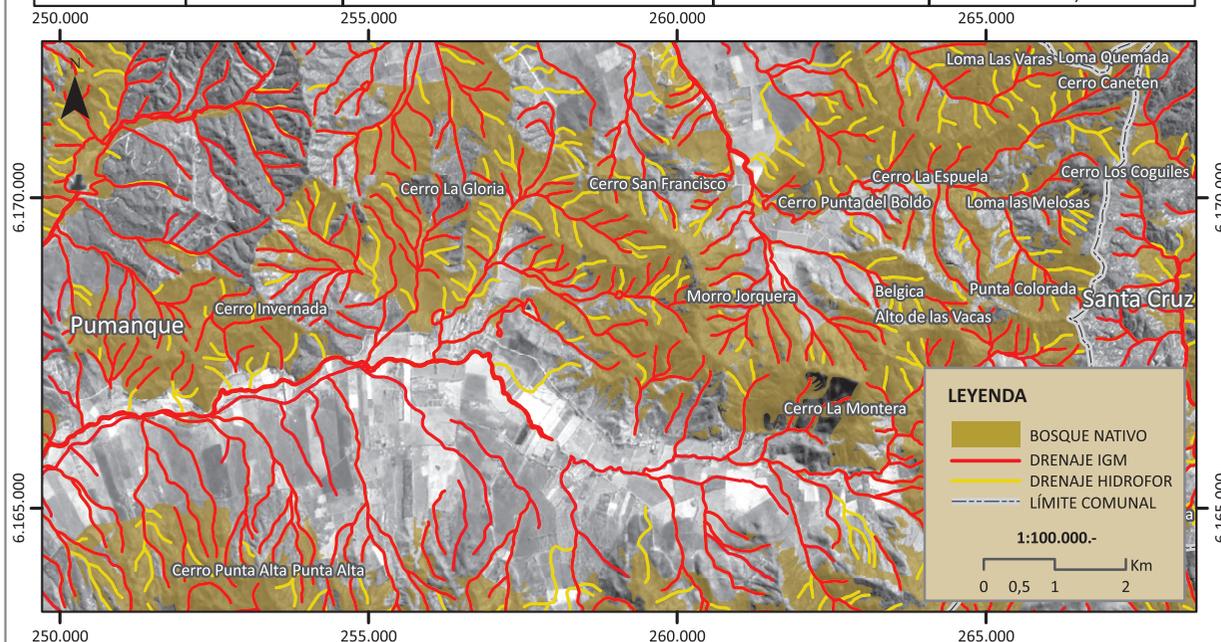


Figura 37. Cálculo de la densidad de drenaje superficial en un sector con bosque nativo de la región de O'Higgins.

Numéricamente, se realizó una comparación las densidades de drenaje superficiales por carta IGM Las cartas seleccionadas en el área de estudio, fueron: V región (carta E29), RM (carta E50), VI región (carta F22), VII región (carta F47), VIII región (carta G20), IX región (carta G95), XIV región (carta H2), y en la X región (carta H30). La figura 38, muestra a nivel regional, el valor estimado de densidad de la red de drenaje original proporcionada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) a una escala 1:50.000 y el valor de la densidad de drenaje lograda con este estudio a una escala 1:35.000. Anótese, que ambas cartografías cumplen su rol a la escala que fueron diseñadas, siendo su utilidad complementaria.

Es importante, destacar que en las áreas con bosque nativo se pudo alcanzar una densidad de drenaje mucho mayor a la del IGM (figura 38), cercana a los 30 m/ha. Este valor de densidad fue regular en las otras regiones de estudio (V a IX región de Chile). En las regiones de Los Ríos y los Lagos, se pudo lograr una densidad de drenaje mayor a 30 m/h, en torno a los 44 m/ha. Esto último se debe a la fisiografía, el relieve y el clima presente entre los 39° y 44° de latitud sur.

La nueva cartografía de drenaje superficial en áreas cubiertas por bosque nativo, fue cotejada con información cartográfica digital (*.shp) proveniente de la Biblioteca del Congreso Nacional, que dispone de un archivo vectorial (modificado de la información original del IGM) de los cursos y cuerpos naturales de agua. En este caso, se pudo revisar y corregir la atribución de estero y quebradas, principalmente.

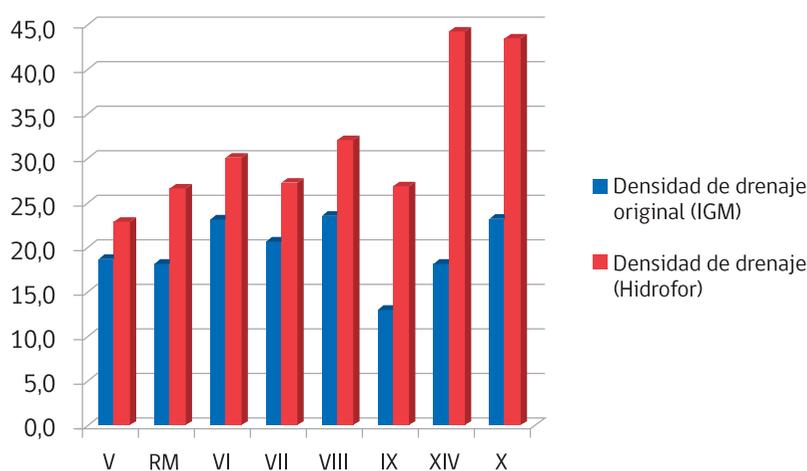


Figura 38. Comparación de densidades de drenaje existente (IGM) y la propuesta por el estudio hidrofor, para las regiones del centro y sur de Chile.

A partir de este nuevo trazado hidrográfico con densidades de drenaje más denso y regular entre las regiones y con un mejor dibujo a una escala 1:35.000, este estudio propone que en las zonas adyacentes a los cursos naturales de aguas (río, estero y quebradas) se pueda asignar un ancho de protección y/o conservación del bosque nativo, por cada tipo de dren, en base al ángulo de inclinación de las laderas, como se especifica en la tabla 5. En un futuro, se sugiere que este indicador debe integrar no sólo la topografía local, como único criterio de protección, sino que se debe considerar la pluviometría, la fragilidad y erodabilidad de los suelos del área a intervenir. Las siguientes figuras 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 y 47, muestran el drenaje segmentado por pendiente (%) para cada una de las regiones del estudio.

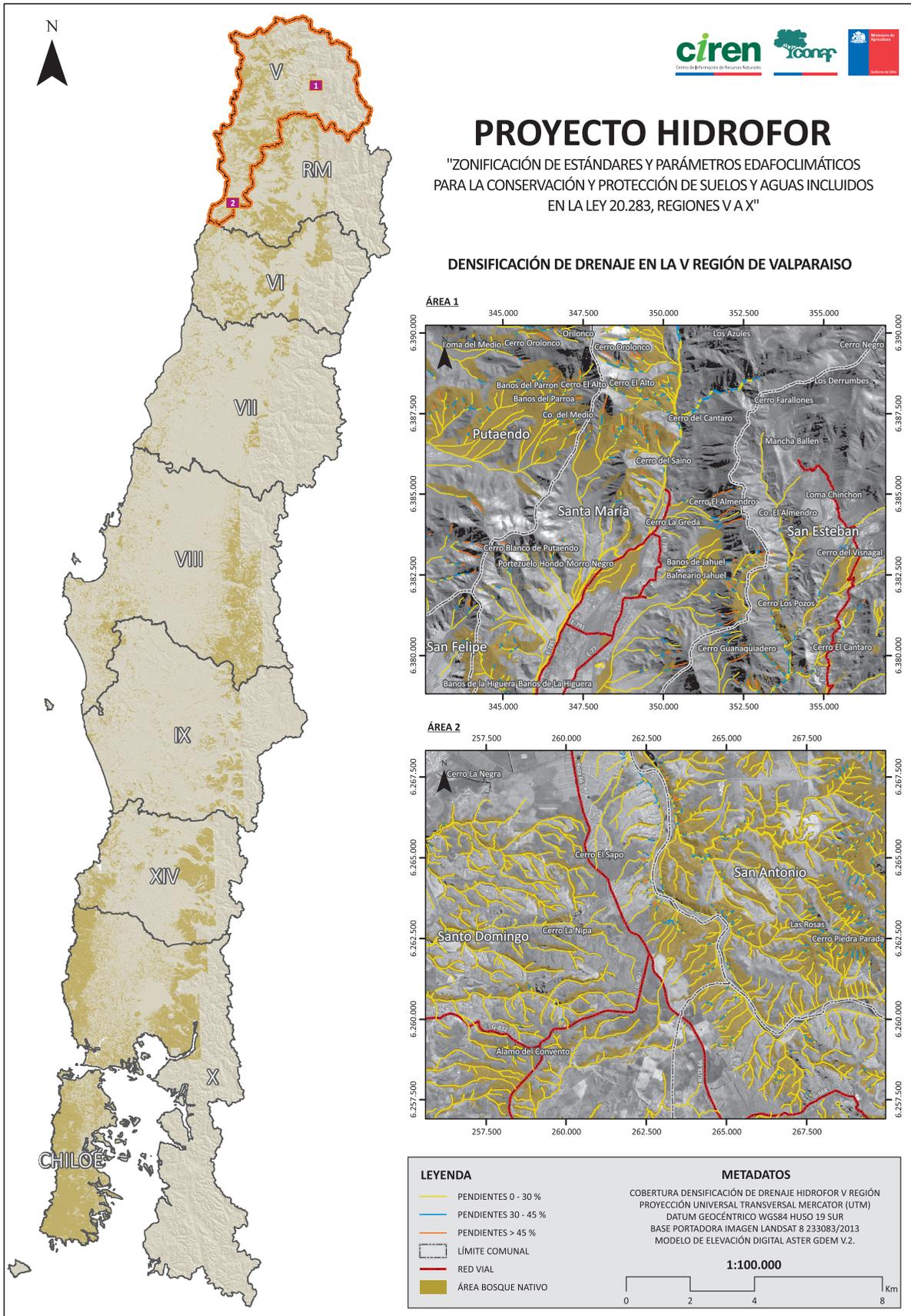


Figura 39. Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de Valparaíso.

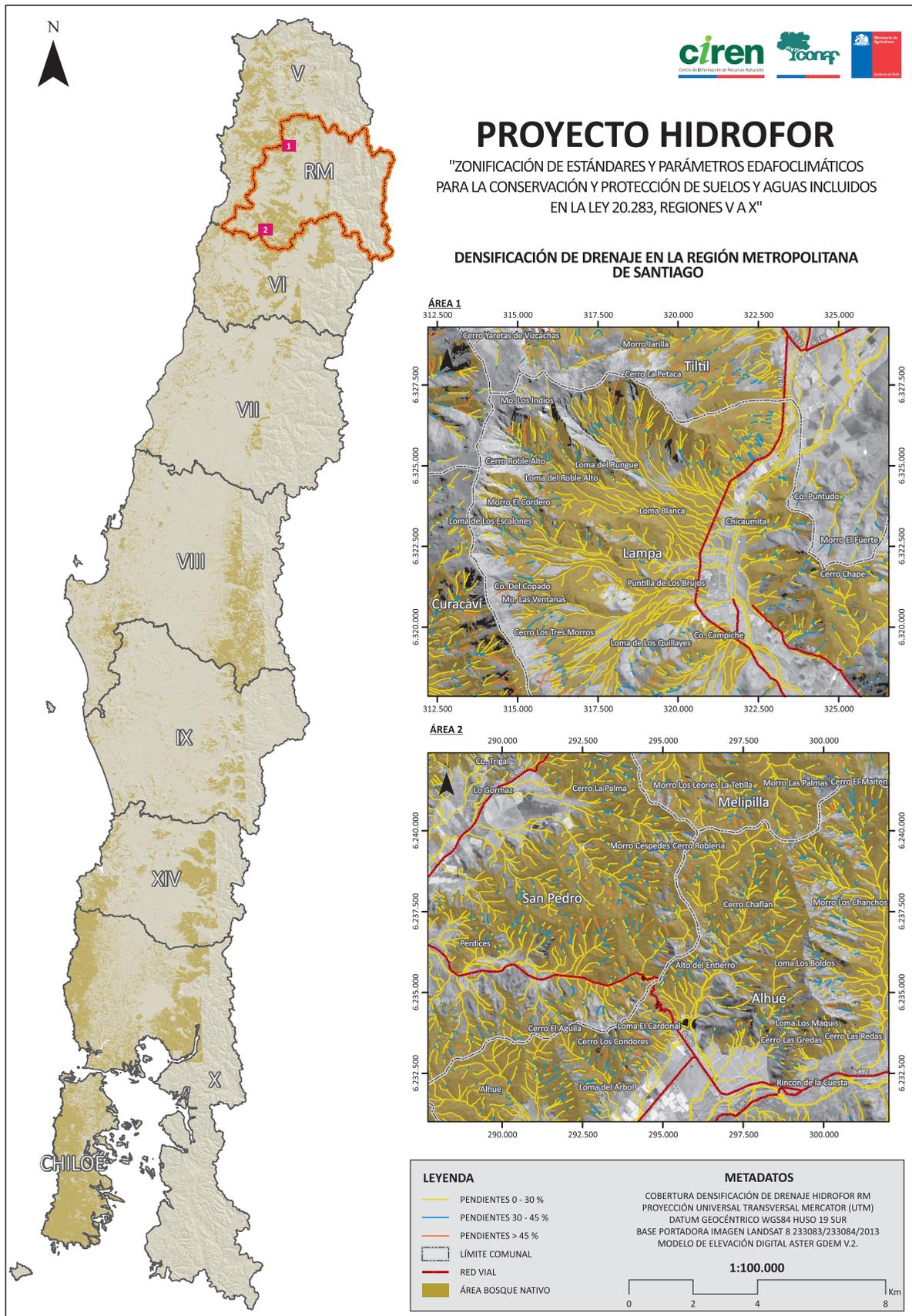


Figura 40. Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región Metropolitana.

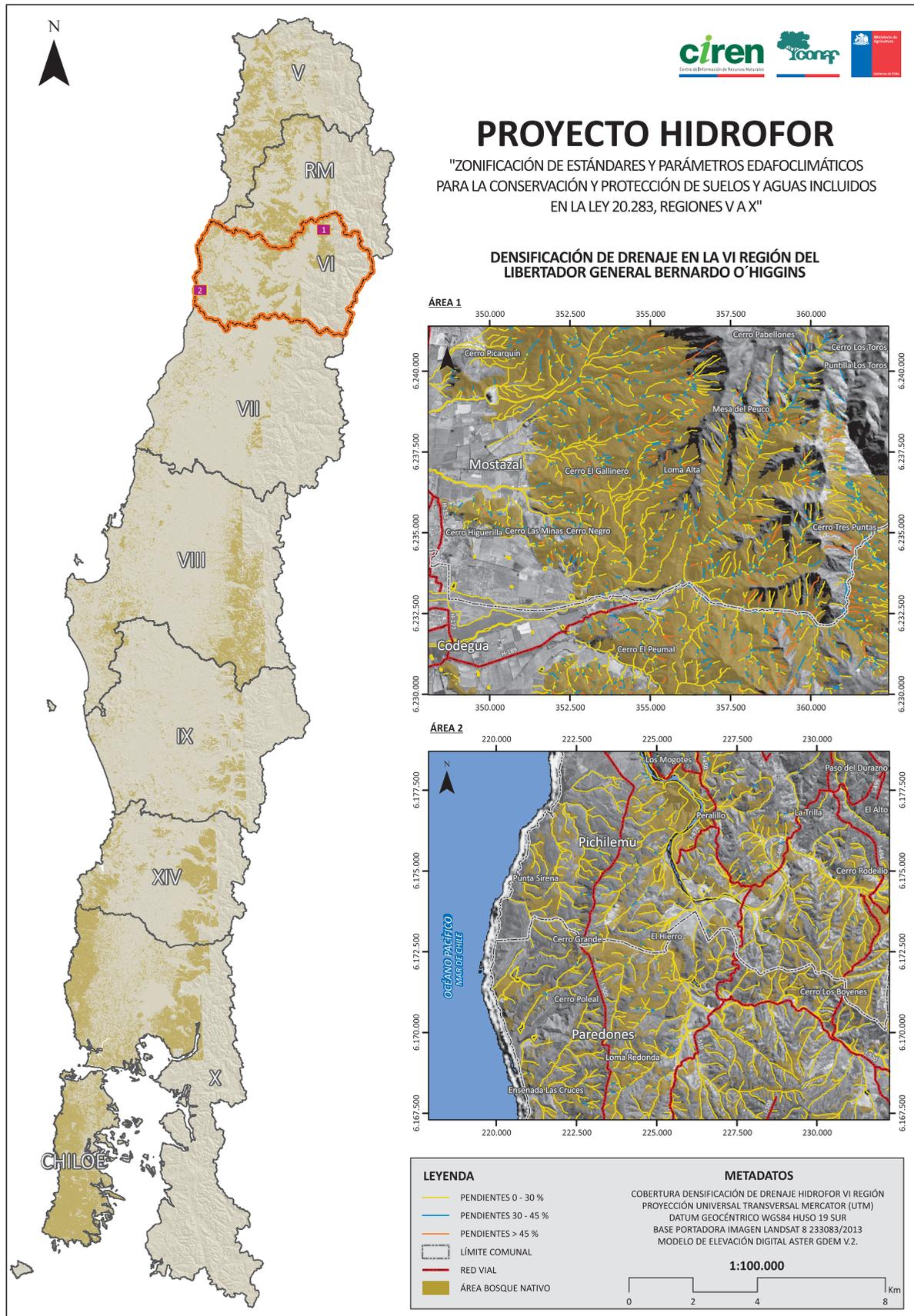


Figura 41. Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de O'Higgins.

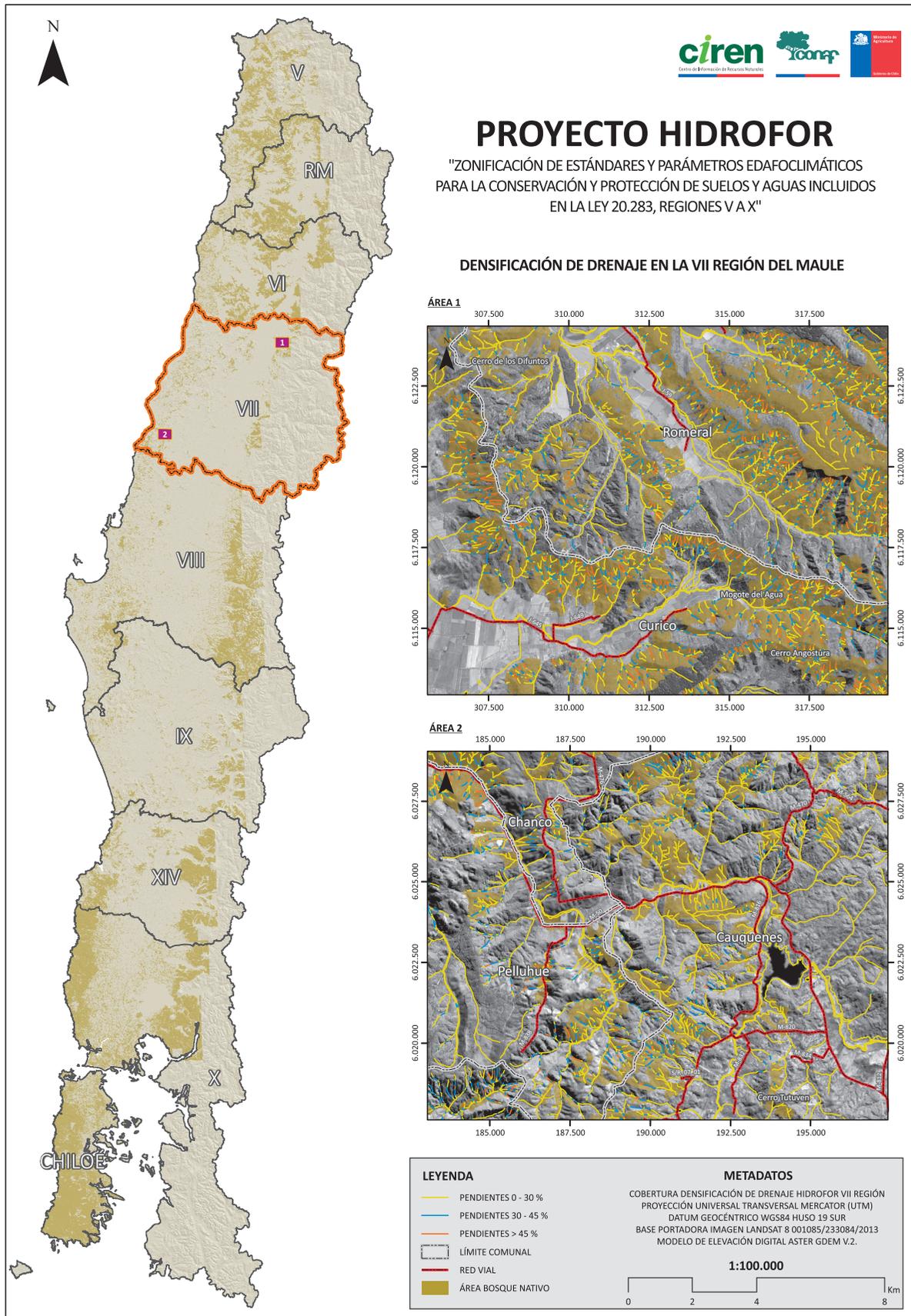


Figura 42. Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región del Maule.

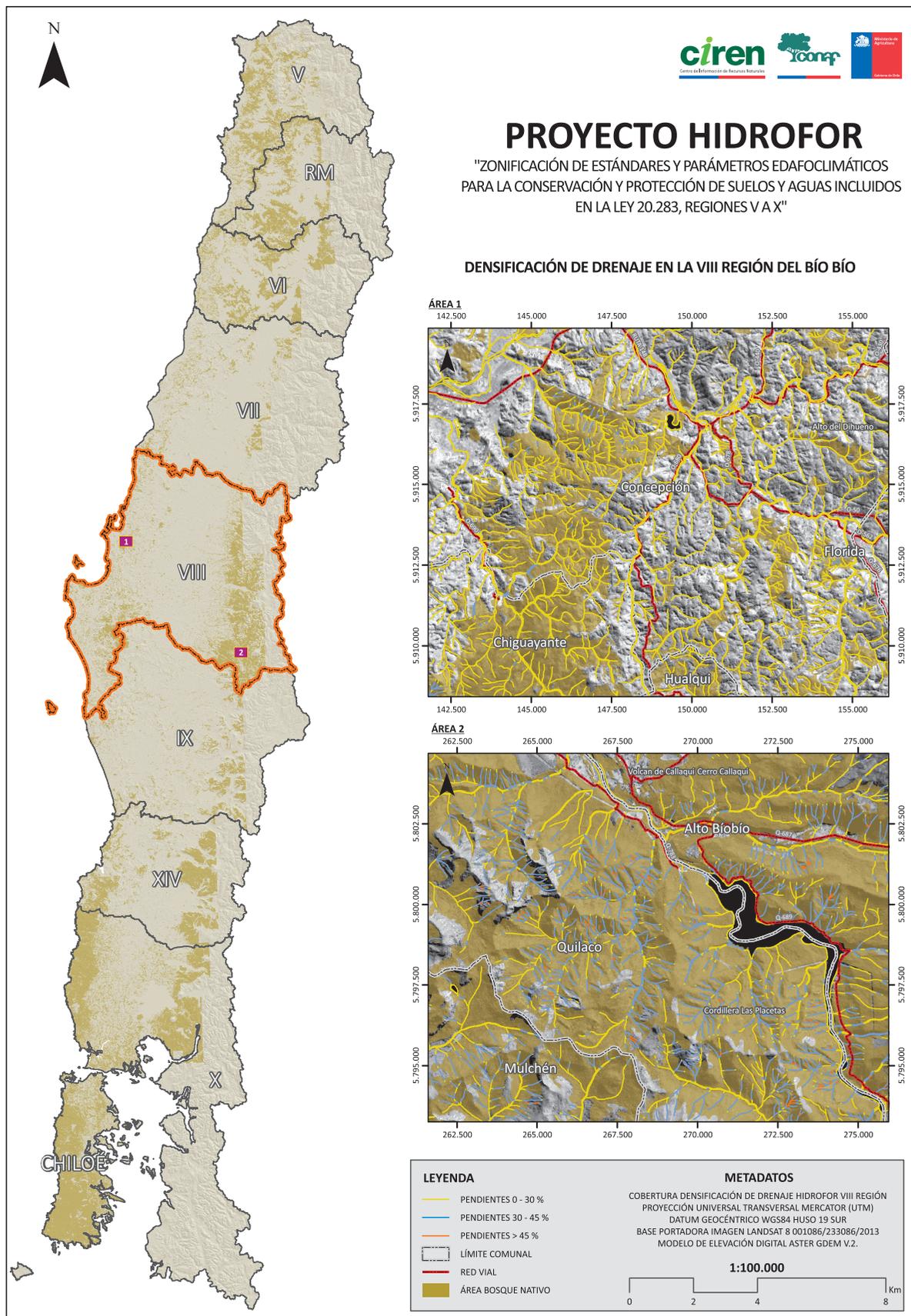


Figura 43. Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región del Biobío.

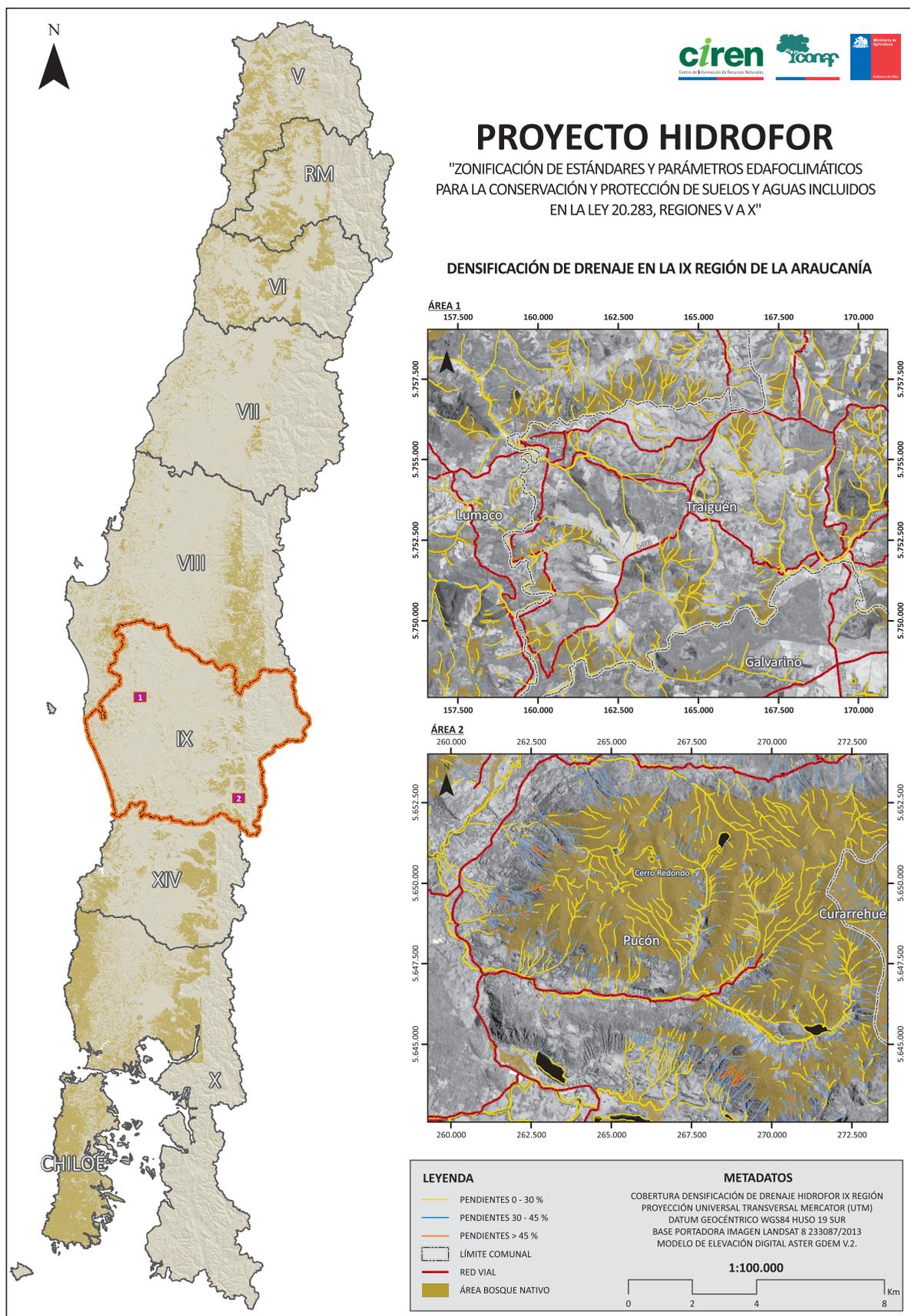


Figura 44. Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de La Araucanía.

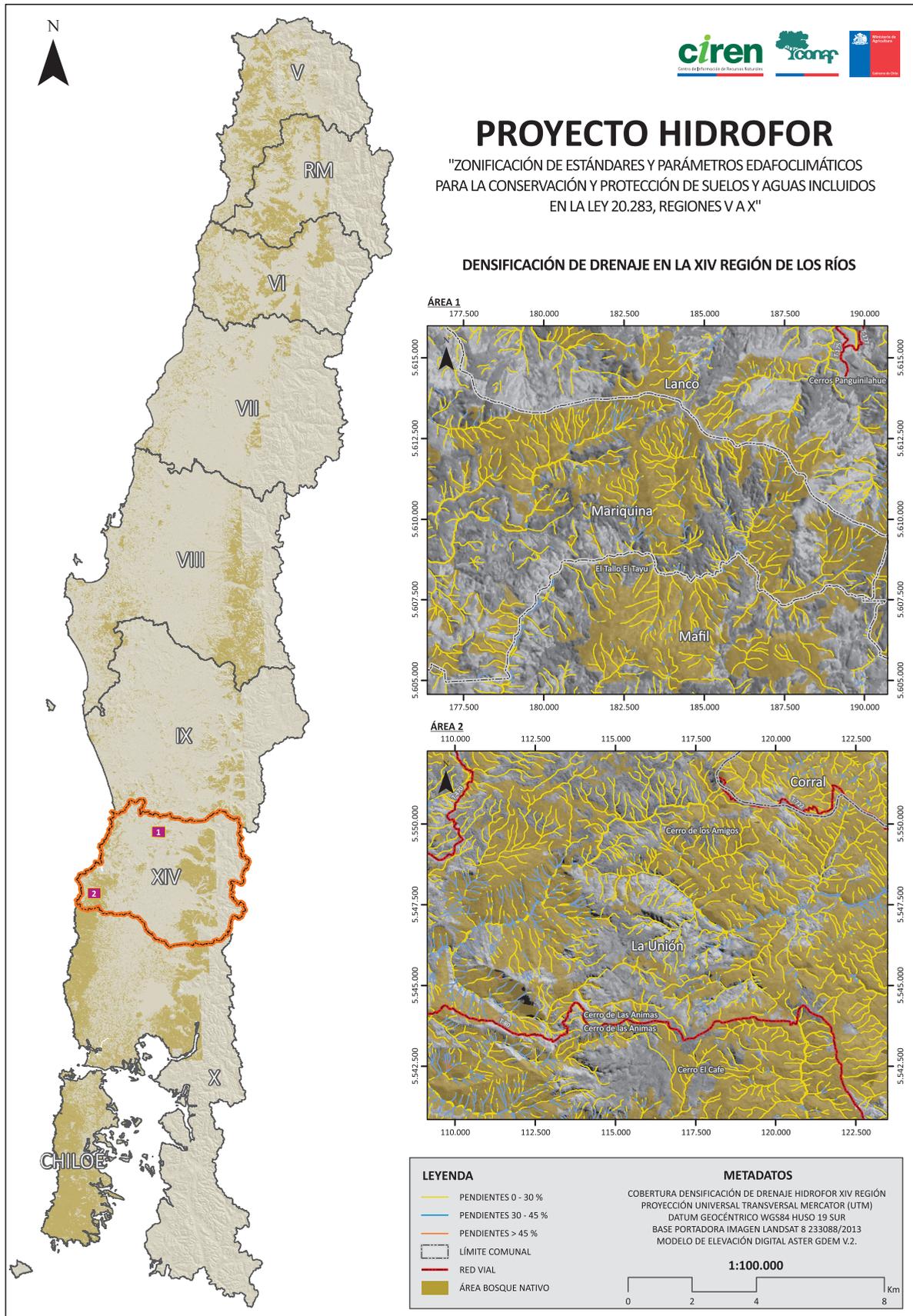


Figura 45. Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de Los Ríos.

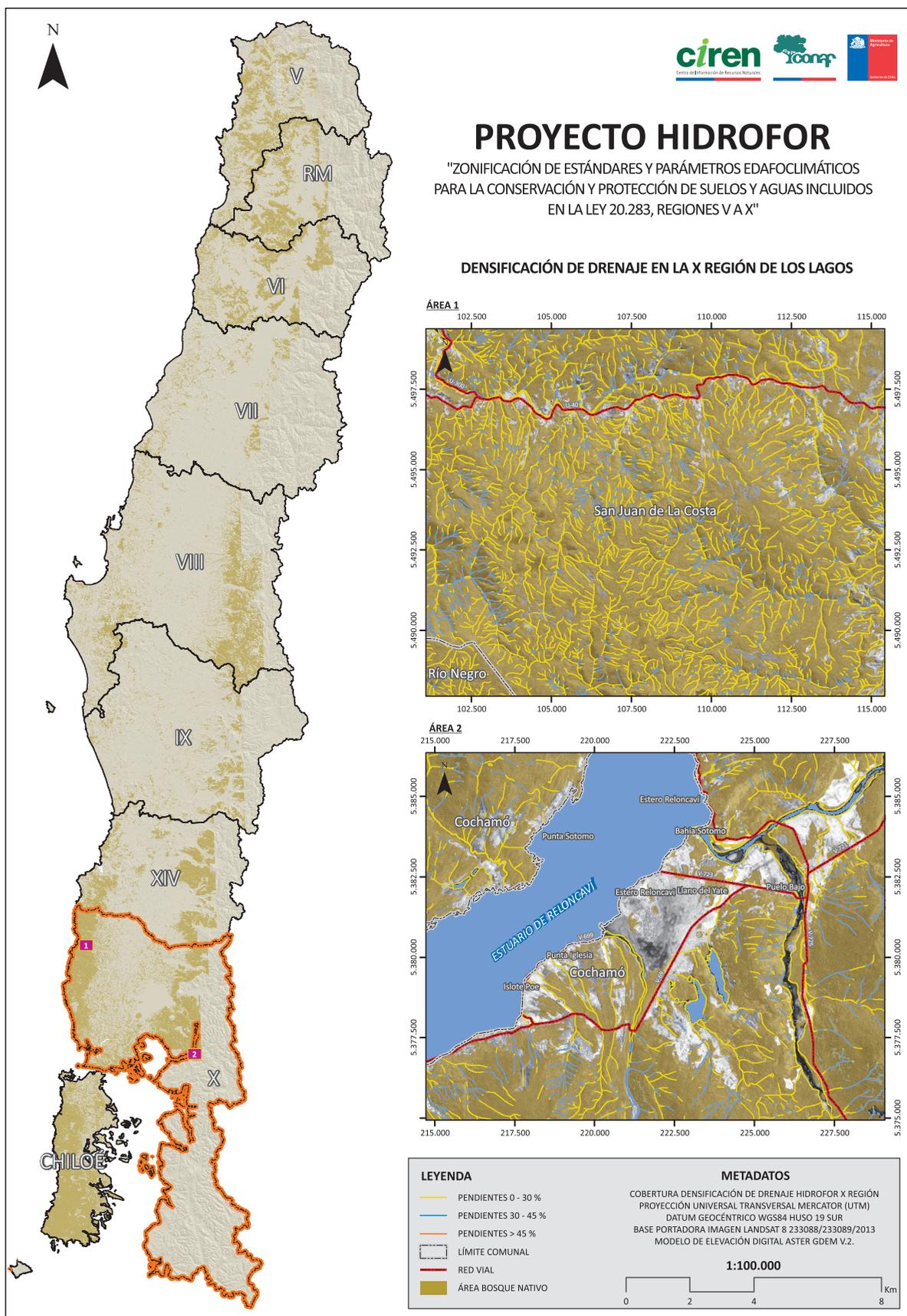


Figura 46. Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de Los Lagos.

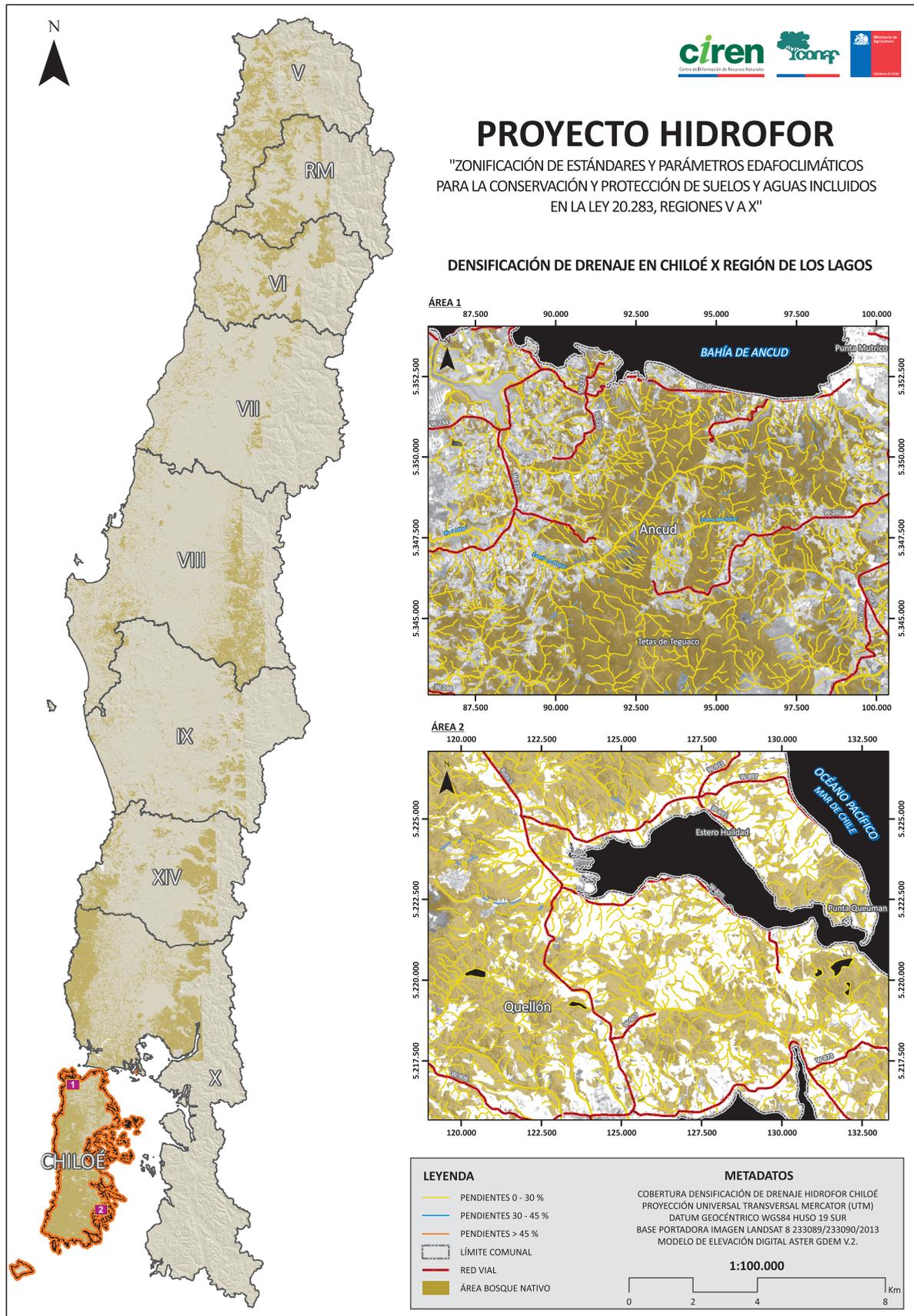


Figura 47. Mapa de los cursos naturales de agua, segmentado por la pendiente lateral del terreno, en áreas con bosque nativo de la región de Los Lagos (Chiloé).

7.4. Resultados de las áreas de protección del bosque nativo según la ley 20.283

En primer lugar, en bosque nativo ubicados en la Región de Valparaíso y Metropolitana de Santiago, prohíbase el descepa de árboles, arbustos y suculentas de formaciones xerofíticas en áreas con pendiente entre 10 y 30% que presenten erosión moderada, severa y muy severa; como en aquellas con pendientes superiores al 30%. Para el área de estudio de la región V y RM hay una superficie de bosque nativo de 605.145 ha correspondiente a los tipos forestales Esclerófilo (583.630 ha), Palma Chilena (9.953 ha), Roble-Hualo (10.625 ha) y rezagos de Ciprés de la cordillera (23 ha).

En esta zona el cambio de uso del suelo provocado preferentemente por la extensión urbana ha sido notable en las últimas décadas y se pone énfasis en el consumo de suelo agrícola debido a su importancia económica, y también a su mayor escasez en el contexto del territorio nacional (CIREN, 2013). En la región de Valparaíso, las principales causas de cambio de uso de suelos son las plantaciones forestales (eucaliptos) y la agricultura (cultivo de paltos). El resultado más notable en la región Metropolitana fue el aumento de la categoría de uso del suelo áreas urbanas e industriales en 18.247 ha, con un promedio de 3.649 ha/año. Dicho aumento ocurrió por la disminución de 14.838 ha de terrenos de uso agrícola, y de 3.167 ha de praderas y matorrales, más otros usos en cantidades significativamente menores. El uso áreas urbanas e industriales experimentó el mayor aumento en la Provincia de Santiago con 5.609 ha, seguida de Chacabuco con 4.356 ha; Maipo, con 2.930 ha y Talagante con 2.152 ha. Los aumentos menos significativos ocurrieron en las provincias de Cordillera y Melipilla (Martínez y Flores, 2012)⁷.

El bosque nativo esclerófilo está altamente presionado, por el aumento de los monocultivos agrícolas en laderas y a favor de la pendiente del terreno, lo que trae consigo pérdida de suelos y de la biodiversidad local. Los resultados del estudio hidrofor en las áreas de vegetación nativa, clasificada como bosque indican que la superficie con prohibición de descepa es de 514.211 ha, desglosado con 322.081 (suelos con erosión moderada, severa y muy severa y pendiente entre 10 y 30%) y 192.131 (suelo con inclinación sobre el 30% de pendiente), según lo indicado en el artículo 6 del RSAH, respectivamente. Un 88% de la superficie con bosque esclerófilo (V y RM) cuenta con la protección y/o conservación estipulado en el artículo 3 del reglamento de suelos, aguas y humedales. El estado de conservación de la vegetación predomina en buen estado sólo 96.105 ha presentan problemas de conservación en áreas de suelos altamente degradados (sobre las 77 mil hectáreas).

La figura 48, muestra un mapa de las áreas con prohibición de descepa de vegetación nativa, según condiciones de erosión del suelo y pendiente del terreno, para las regiones de Valparaíso y Metropolitana, según lo indicado en el artículo 3, del reglamento de suelos, aguas y humedales.

En segundo lugar, el total bosque nativo del área de estudio corresponde a 4.647.132 ha, mientras que la superficie de bosque esclerófilo y palma chilena menores a 45% son 739.969 ha. Para otros tipos forestales presentes la superficie de bosque en áreas con pendientes menores a 45% son 2.641.590 ha. La superficie de bosque nativo esclerófilo y palma chilena con pendiente menor a 45% es de 294.934 ha. Mientras que la superficie para el resto de tipos forestales en áreas con pendiente mayores a 45% son 729.091 ha, entre las regiones V y X de Chile.

La tabla 19, muestra las estadísticas de superficie con limitación de manejo forestal para los tipos forestales esclerófilo o palma chilena con pendientes menores a 45%, en este caso, se debe dejar una cobertura arbórea y arbustiva mínima de 20%, según lo indicado en el artículo 7 del reglamento de suelos, aguas y humedales. Se indica que hay un total de 743.325 hectáreas de bosque nativo del tipo forestal esclerófilo y palma chilena, que están localizados en suelos de cerros con predominante clase de erosión moderada y de capacidad de uso tipo VII.

⁷ Martínez, E. y Flores, J. 2012. Sistematización de información para el diagnóstico del estado actual del bosque esclerófilo en Chile. Centro de Información de Recursos Naturales. Chile, Santiago, 99 p.

PROYECTO HIDROFOR

"ZONIFICACIÓN DE ESTÁNDARES Y PARÁMETROS EDAFOCLIMÁTICOS PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE SUELOS Y AGUAS INCLUIDOS EN LA LEY 20.283, REGIONES V A X"



ÁREAS DE VEGETACIÓN NATIVA CON PROHIBICIÓN DE DESCEPADO DE ÁRBOLES, ARBUSTOS Y SUCULENTAS DE FORMACIONES XERÓFITAS, INCLUIDOS EN LA LEY 20.283. REGIONES V Y RM.

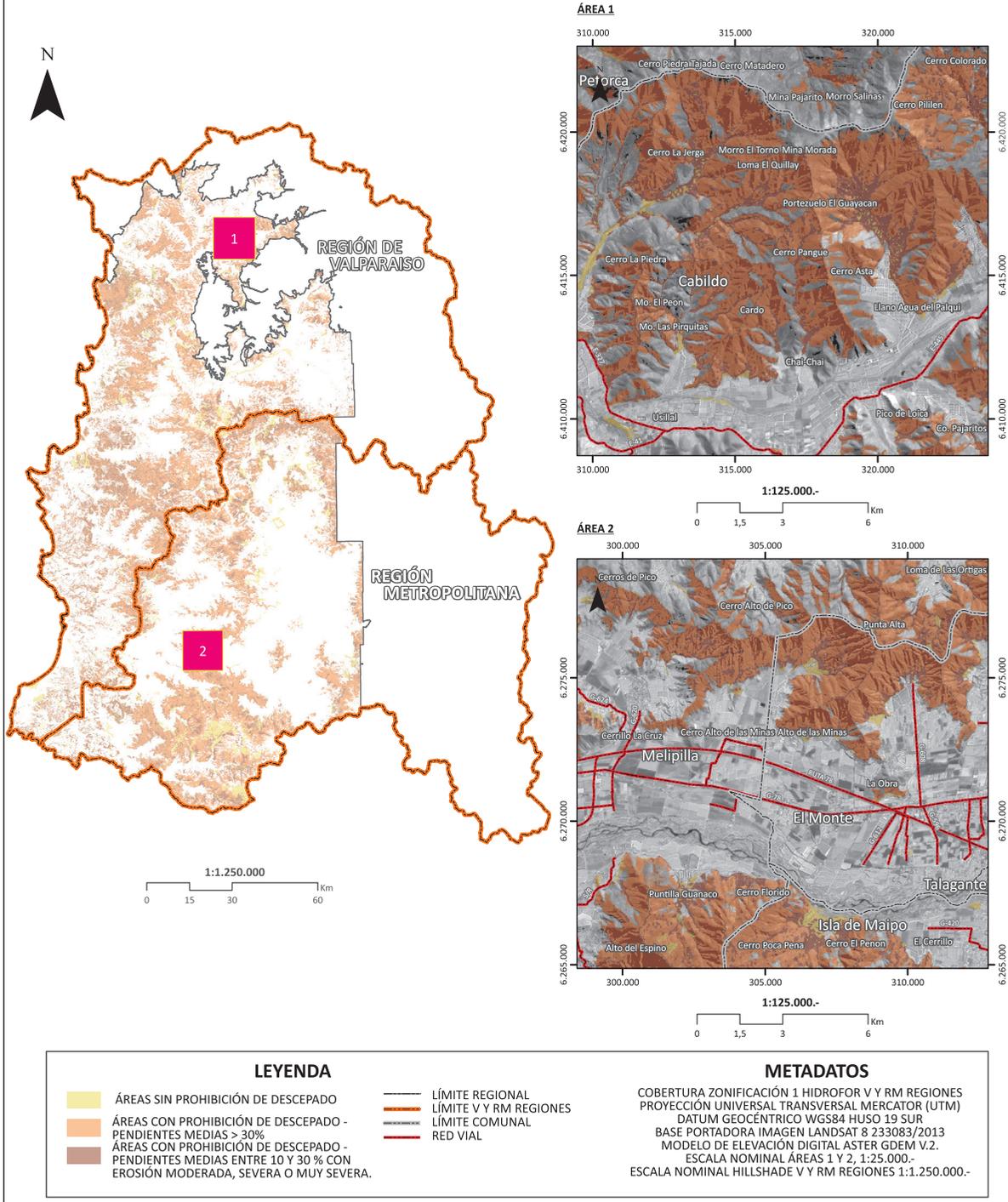


Figura 48. Zonas de prohibición de descepeado de vegetación nativa, según de erosión del suelo y pendiente del terreno, para las regiones V y RM de Chile.

Tabla 19. Superficie con limitación de manejo forestal para los tipos forestales esclerófilo y palma chilena, en sectores con pendiente menores a 45%, según el reglamento de suelos aguas y humedales.

Región	Superficie bosque nativo regional (ha)	Superficie de bosque nativo estudiada (ha)		Superficie con limitación de manejo forestal dentro del área de estudio (ha)
		nativo	mixtos	
Valparaíso	484.116	347.516	723	253.031
Metropolitana	363.955	310.608	207	196.268
Lib. Gral. Bernardo O'Higgins	459.309	355.341	546	244.550
Maule	384.714	124.461	18.685	31.189
Biobío	768.553	584.417	56.709	17.323
La Araucanía	964.153	632.301	47.402	606
Los Ríos	908.531	652.877	17.737	187
Los Lagos	2.827.436	1.402.094	13.832	171
Total	7.160.767	4.409.615	155.841	743.325

La tabla 20, muestra las superficies con limitación de manejo forestal para los restantes tipos forestales presentes; se debe dejar una cobertura arbórea y arbustiva mínima de 30%, según lo indicado en el artículo 8 del reglamento de suelos, aguas y humedales. En este caso, la superficie de bosque nativo alcanza una superficie de 2,64 millones de hectáreas, que van cambiando su formación vegetal desde el bosque mediterráneo, el bosque maulino y los bosques de la cordillera de Nahuelbuta en la zona central de Chile, la superficie con manejo forestal acogido al reglamento RSAH es de 451.086 ha. Más al sur del Biobío hay una vegetación relativamente densa preferentemente en las Cordilleras de los Andes y de la Costa. En el litoral se mezcla el bosque nativo de quebrada con el matorral costero (olivillo, canelo, maqui y copihue). En la precordillera y cordillera andina, hay presencia de especies coníferas (araucaria) en bosques puros y/o asociado con otros árboles (mañío, el ñirre, la lenga, el coigüe y el raulí). En los sectores más húmedos, existen olivillos, canelos y ulmos, y a mayor altura (sobre los 1200 m.) el roble es reemplazado por alerces, lengas, coigües, mañíos y cedros. Si hay manejo de bosque nativo en esta zona (mínimo 30% de cobertura), la superficie afecta es de 497.952 ha aprox. Y en la región de Los Ríos y Los Lagos se presenta en zonas de lomajes una cubierta vegetal de bosques higromórfica, de gran variedad de especies, agrupadas en formaciones puras o mixtas, representado por los bosques templados lluviosos y la selva valdiviana. En estos casos de bosque nativo en pendientes menor a 45%, y una vez realizadas las actividades de intervención según lo contemple el plan de manejo, se debe dejar una cobertura arbórea y arbustiva mínima de 30%. La superficie afecta de bosque nativo a esta condición limitante es de 1,7 millones de hectáreas.

Tabla 20. Superficie con limitación de manejo forestal para el bosque nativo, en sectores con pendiente menores a 45%, según el reglamento de suelos aguas y humedales (no incluye tipo esclerófilo y palma chilena).

Región	Superficie bosque nativo regional (ha)	Superficie de bosque nativo estudiada (ha)		Superficie con limitación de manejo forestal dentro del área de estudio (ha)
		nativo	mixtos	
Valparaíso	484.116	347.516	723	473
Metropolitana	363.955	310.608	207	4.816
Lib. Gral. Bernardo O'Higgins	459.309	355.341	546	10.093
Maule	384.714	124.461	18.685	63.549
Biobío	768.553	584.417	56.709	372.155
La Araucanía	964.153	632.301	47.402	497.952
Los Ríos	908.531	652.877	17.737	494.545
Los Lagos	2.827.436	1.402.094	13.832	1.191.884
Total	7.160.767	4.409.615	155.841	2.635.467

La tabla 21, muestra las superficies con limitación de manejo forestal para todos los tipos forestales ubicados en pendientes abruptas superiores a 45%, que corresponde a 1.023.028 de hectáreas. En este caso, posterior a la intervención indicada en el plan de manejo forestal, se deben dejar una cobertura arbórea y arbustiva mínima de 40%.

Tabla 21. Superficie con limitación de manejo forestal para el bosque nativo, en sectores con pendiente abrupta (mayores a 45%), según el reglamento de suelos aguas y humedales.

Región	Superficie bosque nativo regional (ha)	Superficie de bosque nativo estudiada (ha)		Superficie con limitación de manejo forestal dentro del área de estudio (ha)
		nativo	mixtos	
Valparaíso	484.116	347.516	723	98.569
Metropolitana	363.955	310.608	207	106.012
Lib. Gral. Bernardo O'Higgins	459.309	355.341	546	98.334
Maule	384.714	124.461	18.685	29.651
Biobío	768.553	584.417	56.709	194.466
La Araucanía	964.153	632.301	47.402	132.855
Los Ríos	908.531	652.877	17.737	157.771
Los Lagos	2.827.436	1.402.094	13.832	205.370
Total	7.160.767	4.409.615	155.841	1.023.028

Cabe considerar, según Quiroz y Cavieres (2009) que los bosques productivos (o cosechables), se encuentran sobre 45 % de pendiente. Aquí las principales causas de la erosión del suelo, por sobre las precipitaciones, son las labores de madereo en el sentido de la máxima pendiente, el madereo no planificado que altera gran superficie del suelo, el madereo en temporada húmeda, el empleo de maquinaria pesada que genera remoción del suelo y la construcción de caminos y canchas de acopio, sin las consideraciones básicas del artículo 17 del reglamento de suelos, aguas y humedales.

Una tercera zonificación extraída del RSAH corresponde al bosque nativo de los tipos forestales esclerófilo y palma chilena ubicados en pendientes superiores a 45% y suelos de origen graníticos se debe dejar una cobertura arbórea y arbustiva mínima de 60%. La superficie de suelos de origen graníticos (entre la región de Valparaíso y Los Lagos) mencionados en los estudios agrológicos de CIREN y que están localizados en laderas sobre 45% de pendiente media corresponden a 403.000 ha. Esta cifra se concentra en 237 tipos de suelos (asociaciones y series de suelos). La mayor representación se encuentra en la macrozona central de Valparaíso, Metropolitana y Lib. Gral. Bernardo O'Higgins (273.552 ha). Las principales series o asociaciones graníticas del área de estudio con pendiente superior a 45% es la serie Lo Vásquez (89.304 ha), y las asociaciones de suelos La Lajuela (65.157 ha), Sierra Bellavista (43.038 ha), Caburga (30.386 ha), y Mansel (25.795 ha). Las tipologías graníticas con pendientes abruptas se distribuyen en los tipos forestales esclerófilo (266.271 ha), palma chilena (3.453 ha), roble-hualo (26.805 ha), roble-raulí-coihue (79.570 ha) y siempreverde (26.901 ha). La figura 49, muestra el bosque nativo en suelos de origen y/o formación granítica ubicados terrenos con pendiente igual o superior a 45%, según lo indicado en el artículo 7 del reglamento de suelos aguas y humedales.

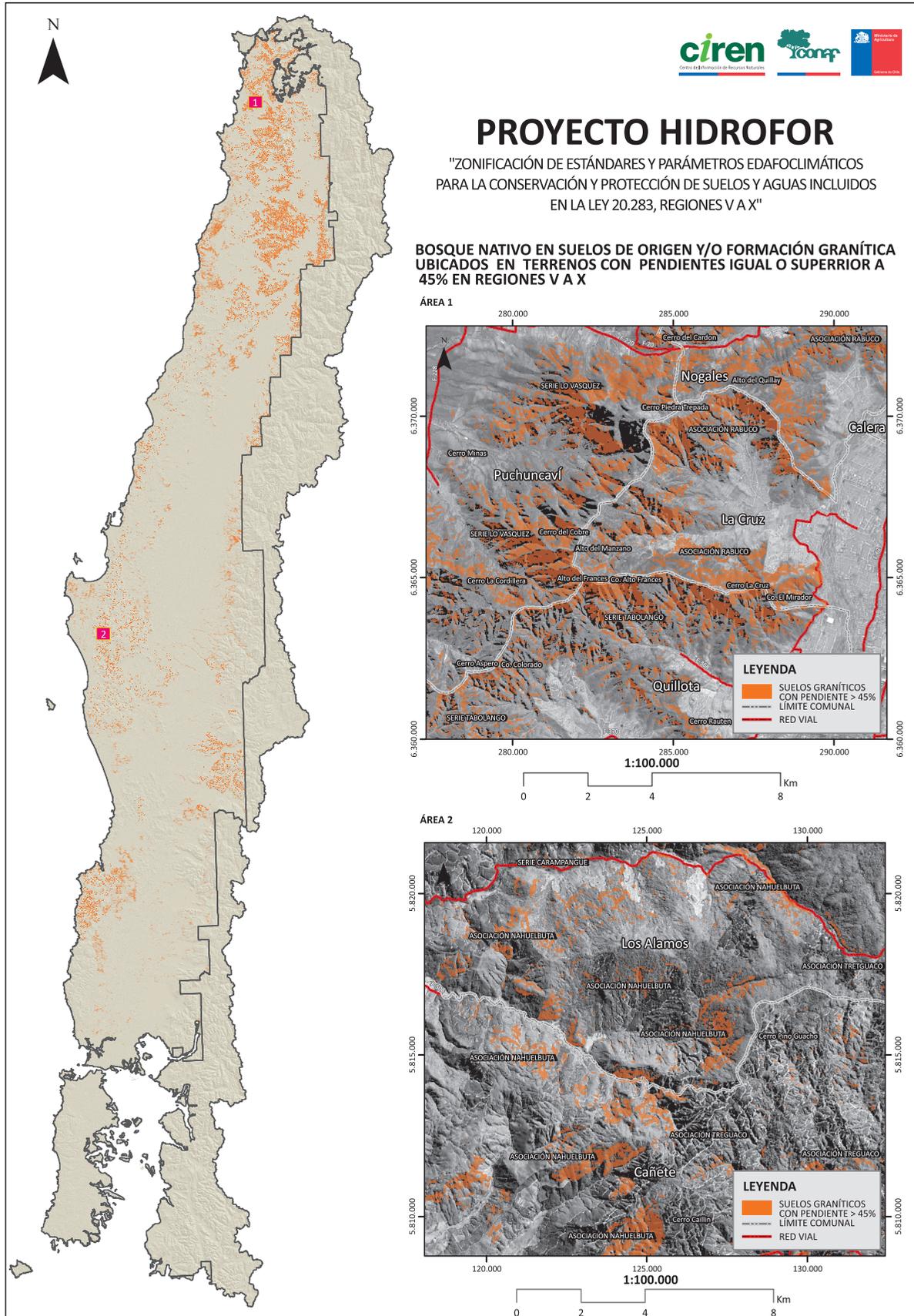
Para la protección del recurso suelo es mucho más importante las propiedades físicas, químicas y biológicas de éste (y que deben ser diagnosticadas en terreno) que la formación y/o el origen del suelo. Quiroz y Cavieres (2010), señalaron de la importancia de proteger también los suelos volcánicos, trumaos, rojos arcillosos, y otros que se consideren frágiles en el contexto del paisaje y la vegetación presente. En este sentido, la clase textural, en particular el contenido relativo de arcilla, y el contenido de materia orgánica del suelo. Estos dos elementos son los principales responsables de la estabilidad estructural del suelo, que favorecen la cohesión entre las partículas y por consiguiente, aumentan la resistencia del suelo a su desprendimiento. Otro elemento descriptivo es la profundidad del suelo y cómo éste interviene en el proceso erosivo por cuanto entrega una aproximación a la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, luego suelos más delgados se saturan más rápido que suelos profundos. En suelos saturados el agua se mueve internamente a una velocidad muy similar a la conductividad hidráulica saturada. Sin embargo, a saturación la diferencia de potenciales entre dos puntos adyacentes en profundidad se hace cercana a cero. Siguiendo el modelo de flujo estacionario de Darcy, se tiene que a saturación el movimiento resultante es nulo o cercano a cero, en especial en aquellos en que el subsuelo es impermeable o presenta dis-

continuidades texturales importantes (caso ñadis). Lo anterior se condice con la relación positiva entre escorrentía y erosión. Si la velocidad de infiltración de agua en el suelo es menor que la intensidad de precipitación, llega un momento en que toda el agua escurre. En consecuencia un suelo con alta permeabilidad y/o profundo ofrece mayor resistencia al escurrimiento que uno lentamente permeable y/o delgado, debido a que el primero, permitiría el libre desplazamiento del agua dentro del perfil, junto con proporcionar un mayor volumen de almacenamiento de agua antes de alcanzar el estado de saturación, retardando o disminuyendo el escurrimiento superficial. En lo posible realizar pruebas de permeabilidad para estimar la capacidad del suelo para permitir el movimiento de un fluido dentro del mismo, reflejando el comportamiento hidráulico del suelo (Flores *et al.*, 2010).

El artículo 9 del RSAH indica que en suelos con profundidad menor a 20 centímetros se prohíbe la corta de bosques nativos. Excepto para la región de Magallanes y de la Antártica Chilena, esta restricción regirá para suelos cuya profundidad sea menor a 10 cm o cuando los bosques de Lengua y Coigüe en estado adulto no superen los 8 metros de altura. Para conocer las características edáficas en las zonas con bosque nativo, siempre es recomendable realizar el estudio local de suelos con elaboración de una o varias calicatas representativas. Por otra parte, una de las principales fuentes de información de suelos en el país (información muy utilizada en los planes de manejo forestal), son los estudios agrológicos de CIREN, cuyo objetivo principal es proporcionar, de manera fácilmente accesible, información agronómica utilitaria, tanto básica como interpretativa, a los usuarios que la requieran. La información agronómica que se proporciona, además de ser útil en el campo del conocimiento, uso y manejo del recurso suelo constituye una herramienta de análisis importante en el planteamiento y estudio de proyectos de inversión y de planificación territorial. Cabe destacar que los estudios agrológicos en zonas de bosque nativo son de reconocimiento y de escala generalizada. En consideración a que el RSAH, en la zona de estudio de este trabajo, considera restricciones de uso cuando el bosque se encuentra en suelos de profundidad menor a 20 cm y en circunstancias que la información georreferenciada de los estudios agrológicos de CIREN se agrupan en rangos de profundidad cuyo rango menor corresponde a "muy delgados" cuando se tienen menos de 25 cm, se decidió ocupar este último rango para homologar lo establecido en el RSAH y ser una base referencial para estudios de manejo forestal en bosque. Sin embargo, se debe nuevamente indicar que será el análisis local de los suelos será quien caracterice de mejor forma la zona de intervención con bosque nativo, porque la variabilidad espacial de las características edáficas de la zona centro sur de Chile es muy alta. Existe una probabilidad del 50% que la descripción agrológica *in situ* no corresponda a la presentada en el estudio.

En este marco, se desarrolla un análisis crítico de la información geolocalizada referente a suelos disponible en el Centro de Información de Recursos Naturales, de manera de ofrecer una propuesta para determinar los bosques nativos ubicados en suelos muy delgados, en el marco del estudio "Zonificación de estándares y parámetros edafoclimáticos para la conservación y protección de suelos y aguas incluidos en la Ley 20.283. Regiones V-X". El trabajo se realizó por regiones de manera independiente ya que no existe continuidad de coberturas a nivel nacional, evidenciándose descalces y cruces entre las coberturas de suelo de regiones adyacentes.

La superficie total de estudio corresponde a 4.6 millones de hectáreas de bosque nativo y la superficie total de bosque nativo asociada a suelos muy delgados corresponde a 1.383.651 ha (tabla 22). Esto representa un 30% de la superficie total de bosque nativo estudiado entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos. Por ejemplo, la superficie de estudio de suelos realizada por CIREN en la región de Valparaíso (940.418 ha) ocupa el 58,8% de la superficie regional. Se seleccionaron polígonos de suelo con base de datos "muy delgado" que corresponde a menos de 25 cm. (33.818 ha) y se sumaron a estas áreas las cajas de estero y de río, las zonas misceláneas (aluvial, escarpe, quebrada, río, suelo) y los terrenos rocosos, que por su pendiente, posición en la ladera, exposición y niveles de degradación física es altamente probable que presenten suelos muy delgados y potenciales de protección según lo establecido por el reglamento de suelos, aguas y humedales. La superficie de bosque nativo con suelos delgados alcanza a 118.930 ha. La figura 50, muestra la ubicación del bosque nativo con suelos predominantemente delgados en las regiones V y X de Chile, según los estudios agrológicos de CIREN



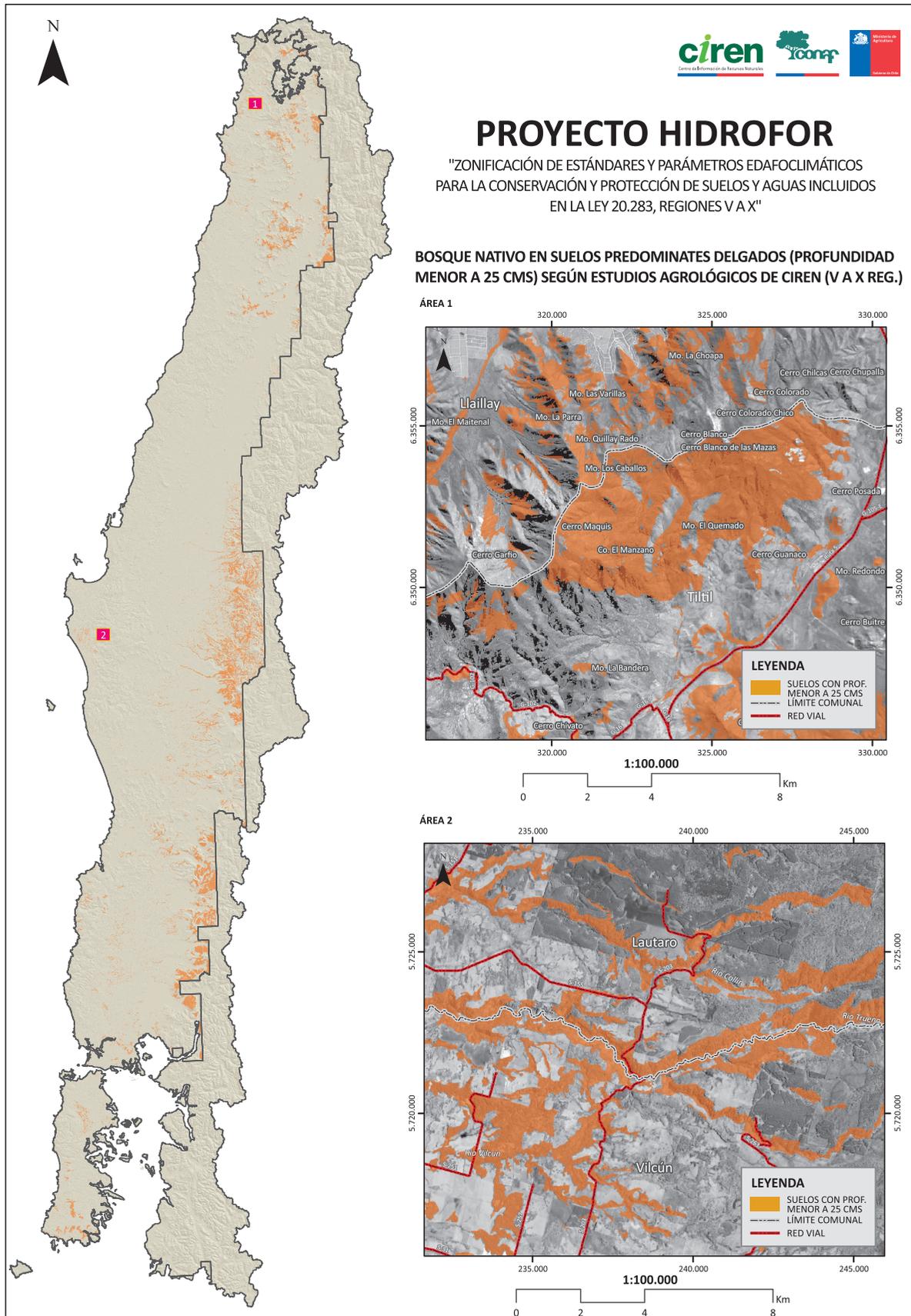


Figura 50. Bosque nativo en suelos predominantemente delgados en las regiones V y X de Chile, según los estudios agrológicos de CIREN.

Tabla 22. Superficie de bosque nativo ubicado en suelos predominantemente delgados (menor a 25 cm de profundidad) entre las regiones V y X.

Región	Superficie bosque nativo regional (ha)	Superficie de bosque (nativo + nativo) estudiada (ha)	Superficie de bosque nativo con suelos delgado dentro del área de estudio (ha)
Valparaíso	484.116	348.240	118.930
Metropolitana	363.955	310.816	133.221
Lib. Gral. Bernardo O'Higgins	459.309	355.887	109.486
Maule	384.714	143.145	92.822
Biobío	768.553	641.126	343.178
La Araucanía	964.153	679.703	211.754
Los Ríos	908.531	670.614	185.510
Los Lagos	2.827.436	1.415.926	188.750
Total	7.160.767	4.565.456	1.383.651

Las coberturas digitales adicionales de los estudios agrológicos denominadas "parametrías tipo 2", que corresponden a suelos incluidos en las asociaciones pero sin diferenciación cartográfica con respecto al suelo predominante, no cumplen la condición de pertenecer a la clase de profundidad muy delgado, por consiguiente, se descontaron de las áreas de protección. Por ejemplo, (i) en la región de La Araucanía las áreas ocupadas por los edificios volcánicos Tolhuaca, Lonquimay, Sierra Nevada, Sollipulli y flanco norte del Villarrica, (ii) en la región de los Ríos se excluyeron las zonas volcánicas del Cordón Caulle y Mocho Choshuenco, por no considerarse como suelo y estar desprovistas de vegetación (tefra y lava) o nieve y glaciares y (iii) en la región de Los Lagos se excluyeron la zona volcánica del grupo Antillanca, Puntiajudo - Cordón de Cenizas y el Osorno no se interpreta como suelo con aparición temporal de nieve y está desprovista de vegetación nativa.

El estudio hidrofor visitó un sector con presencia de vegetación nativa en cada una de las regiones (entre la V y X región). La actividad consistió en revisar *in situ* una guía práctica de elementos técnicos de temáticas de suelos y aguas, describiendo características morfológicas de los perfiles, principalmente de cortes de camino. Estas descripciones se centraron en: (i) clase textural, (ii) Estructura, (iii) color, (iv) poros, (v) profundidad, (vi) erosión de suelo y (vii) clase de capacidad de uso (según los estudios agrológicos de CIREN).

Las figuras 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57 y 58, presentan un resumen de la descripción agrológica de un perfil de suelo (corte de camino) para cada una de las regiones visitadas ente la región de Valparaíso y Los Lagos.

Región de Valparaíso



Suelo descrito en la Reserva Nacional Peñuelas (Conaf). Se observó un suelo en posición de cerros, profundo, granítico, con estructura de bloque subangulares finos a medios fuertes en superficie a macizo en profundidad, de texturas Franco arcillo arenosa en superficie a Franco arcillosa en profundidad, presencia de cuarzo en todo el perfil. Rasgos de erosión por flujo precanalizado con zonas donde el primer horizonte fue decapitado por la erosión. Se definió con Clases de Capacidad de Uso del Suelo (CCUS) VIII.

Referencia: Serie Lo Vásquez (LVZ), V región.

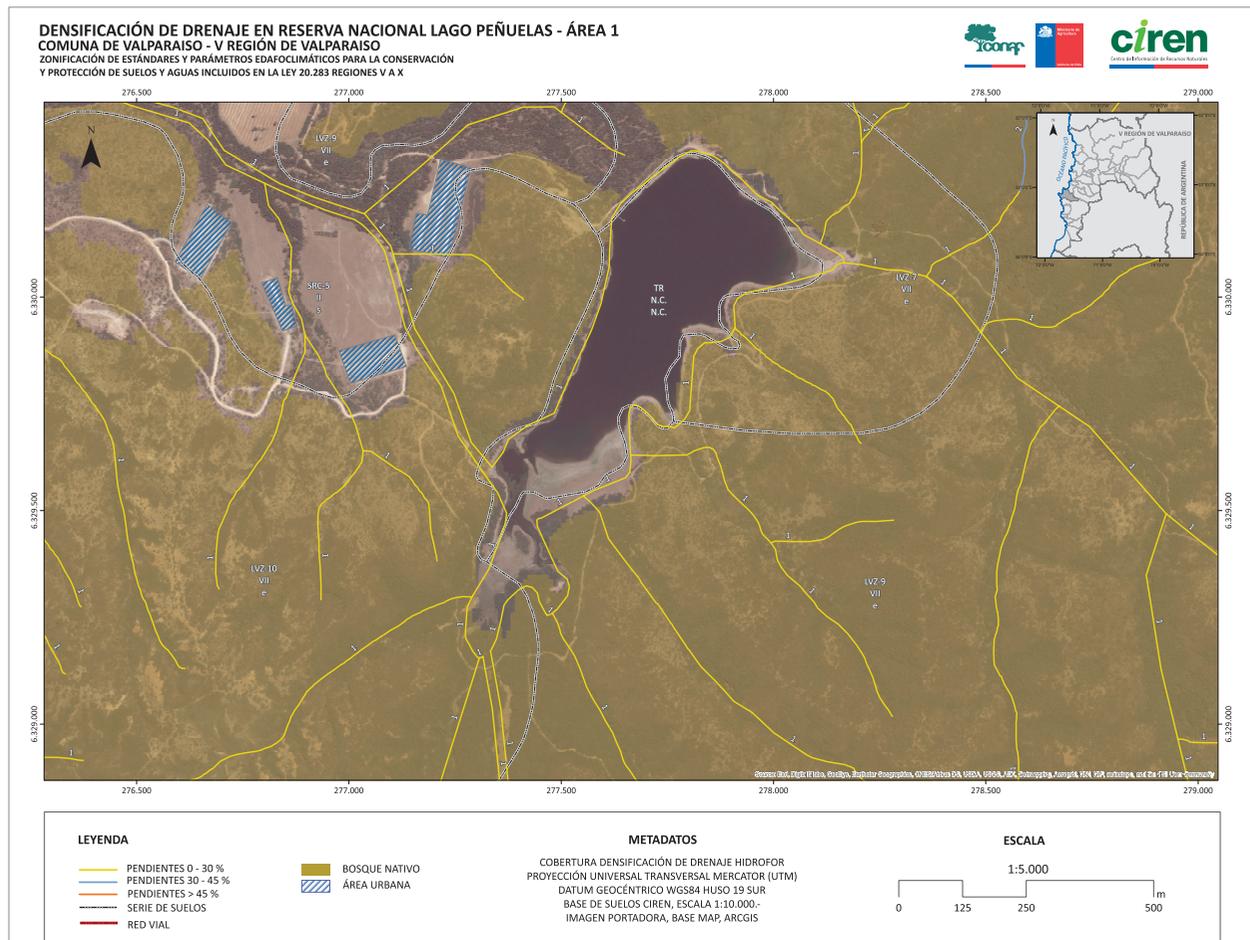


Figura 51. Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de Valparaíso.

Región Metropolitana



Suelo descrito en el Parque Aguas de Ramón, ubicado en la Quebrada de Ramón. Se describió un suelo en posición de cerros, profundo de origen coluvial sobre el batolito andesítico, presencia de guijarros en todo el perfil, con texturas Franco arenosa a franco arcillo arenosa en profundidad, estructura de bloque subangulares finos a medios fuertes en superficie. Se definió con CCUS VIII.

Referencia: Asociación Chally (CHL), Región metropolitana.

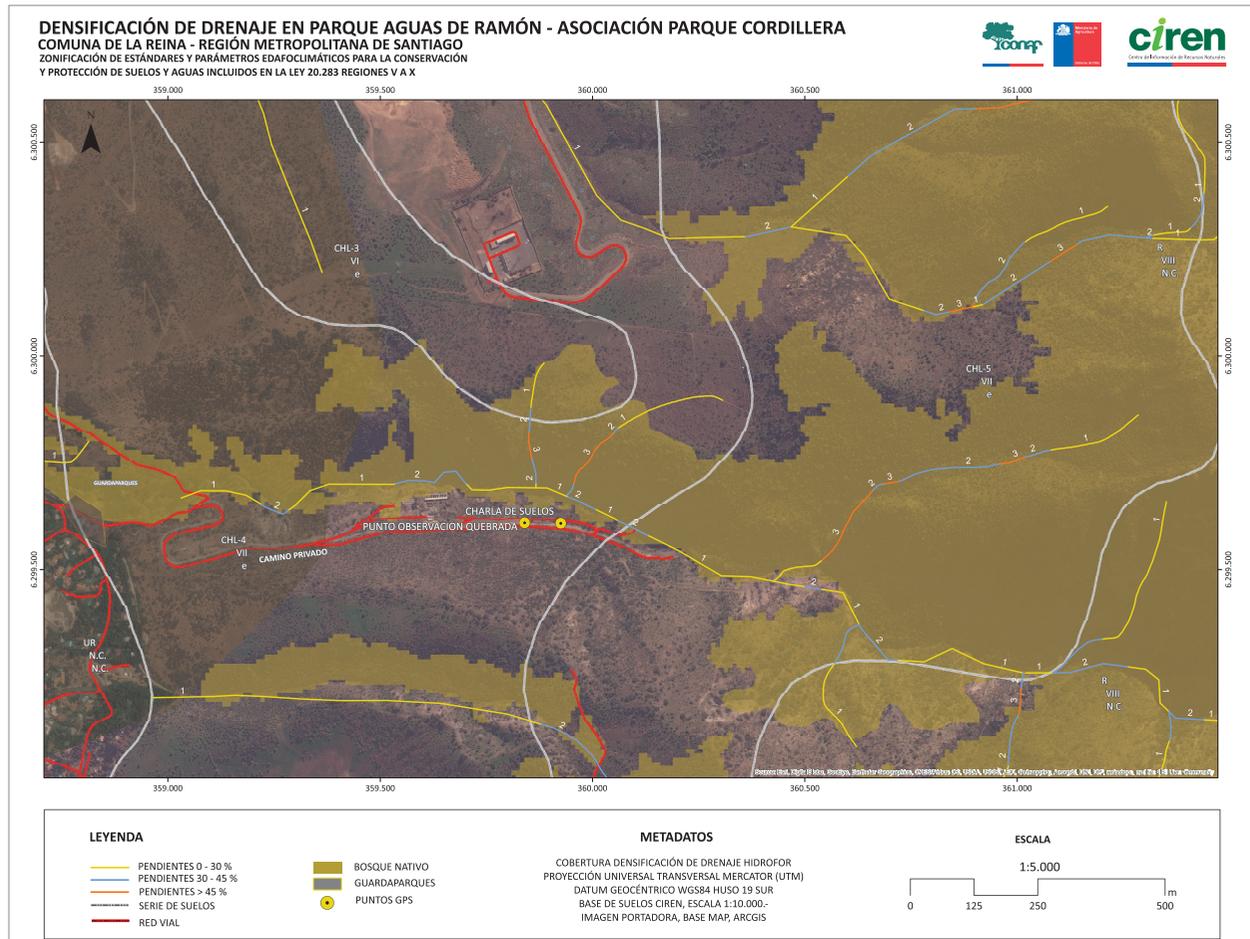


Figura 52. Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la Región Metropolitana.

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins



Suelo descrito en el camino que une Machalí con Coya. Suelo en posición de cerros, profundo, formado a partir de la meteorización de la roca de composición principalmente andesítica, con texturas franco arcillo arenosa a franco arcillosa en profundidad, bloques subangulares finos a medio fuertes en superficie a macizo en profundidad. Se definió con CCUS VIII.

Referencia: Asociación Sierra Bellavista (SRB), VI región.

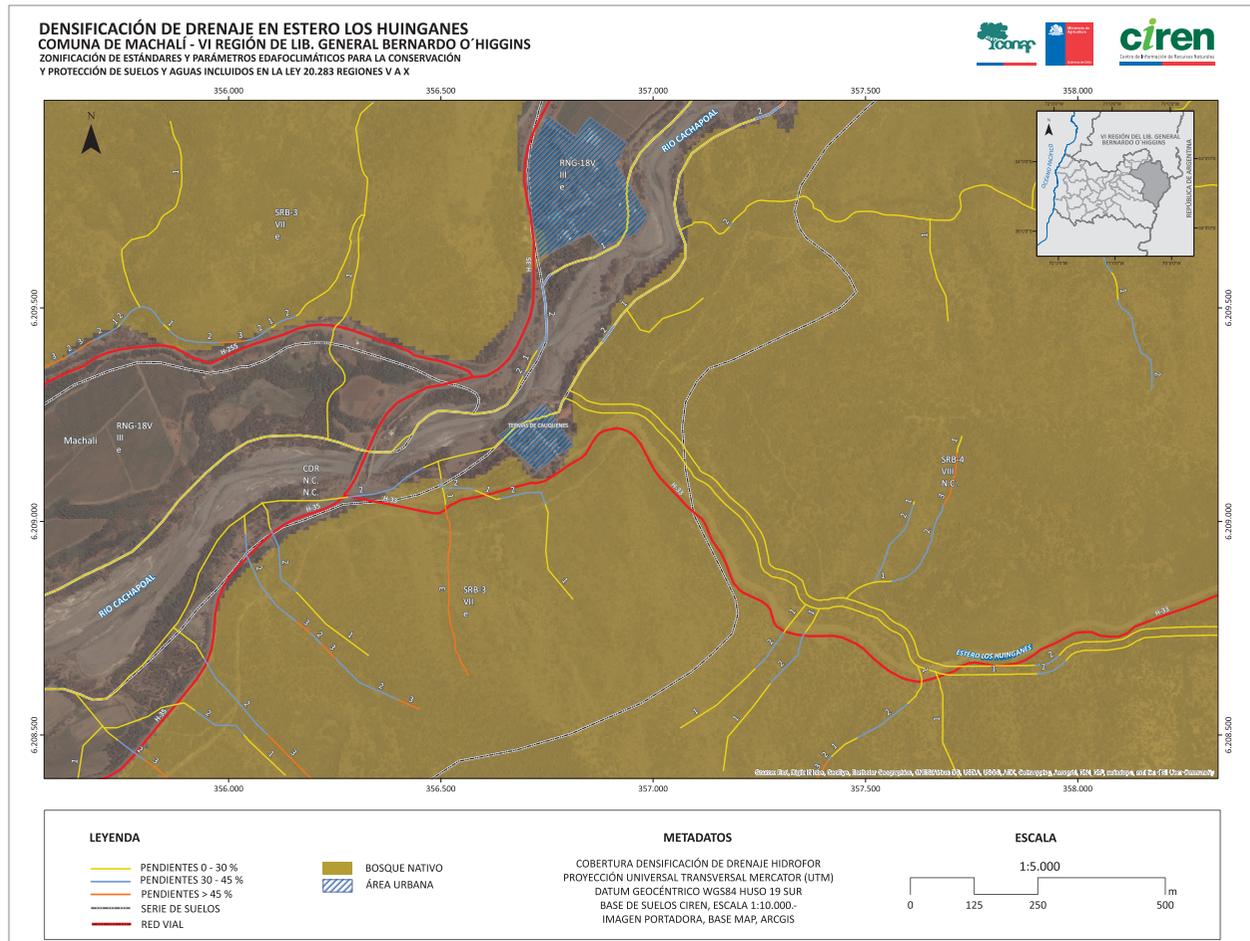


Figura 53. Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins.

Región del Maule



Suelo descrito al noroeste de la ciudad de Talca. En posición de antigua terraza aluvial con topografía ondulada, profundo, formado a partir de arenas graníticas, texturas gruesas en todo el perfil, franco arenosa en superficie a areno francosa en profundidad, pobre desarrollo estructural con presencia de bloque subangulares finos débiles a grano simple en superficie, masiva en profundidad. Su CCUS, se definió como Ive.

Referencia: Serie Pocillas (PO), VII región.

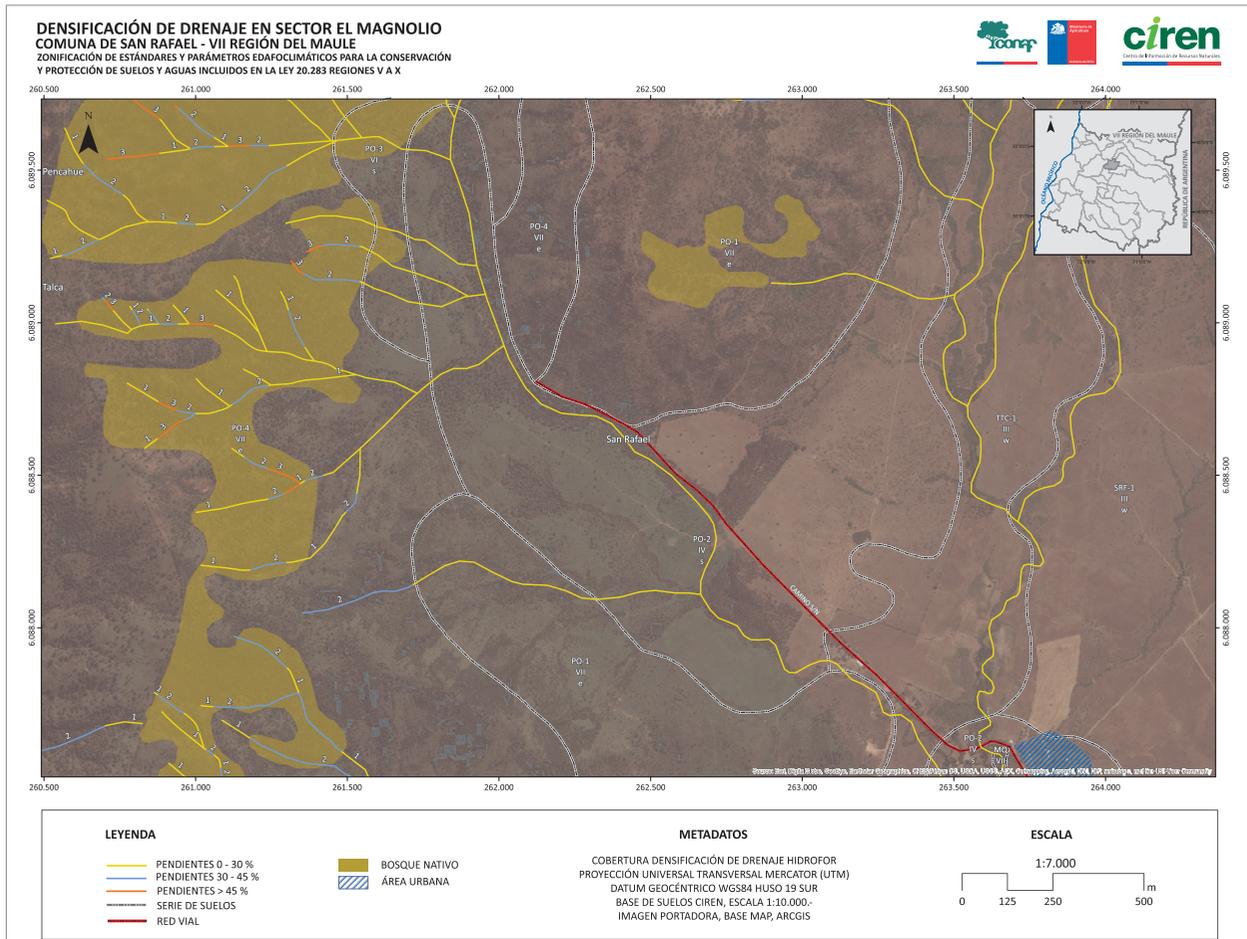


Figura 54. Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región del Maule.

Región del Biobío



Suelo descrito en los alrededores de la ciudad de Concepción en la Reserva Nacional Nonguén. Suelo en posición de cerros, de origen granítico, con presencia de texturas Franco arcillo arenosa en superficie a arcillo arenosa en profundidad, presencia de un horizonte O en los primeros 5 cm, con estructura granular fina fuerte en superficie con bloque subangulares finos a medios fuertes a maciza en profundidad. Su CCUS, se definió como VIII.

Referencia: Serie Treguaco (TG), VIII región.

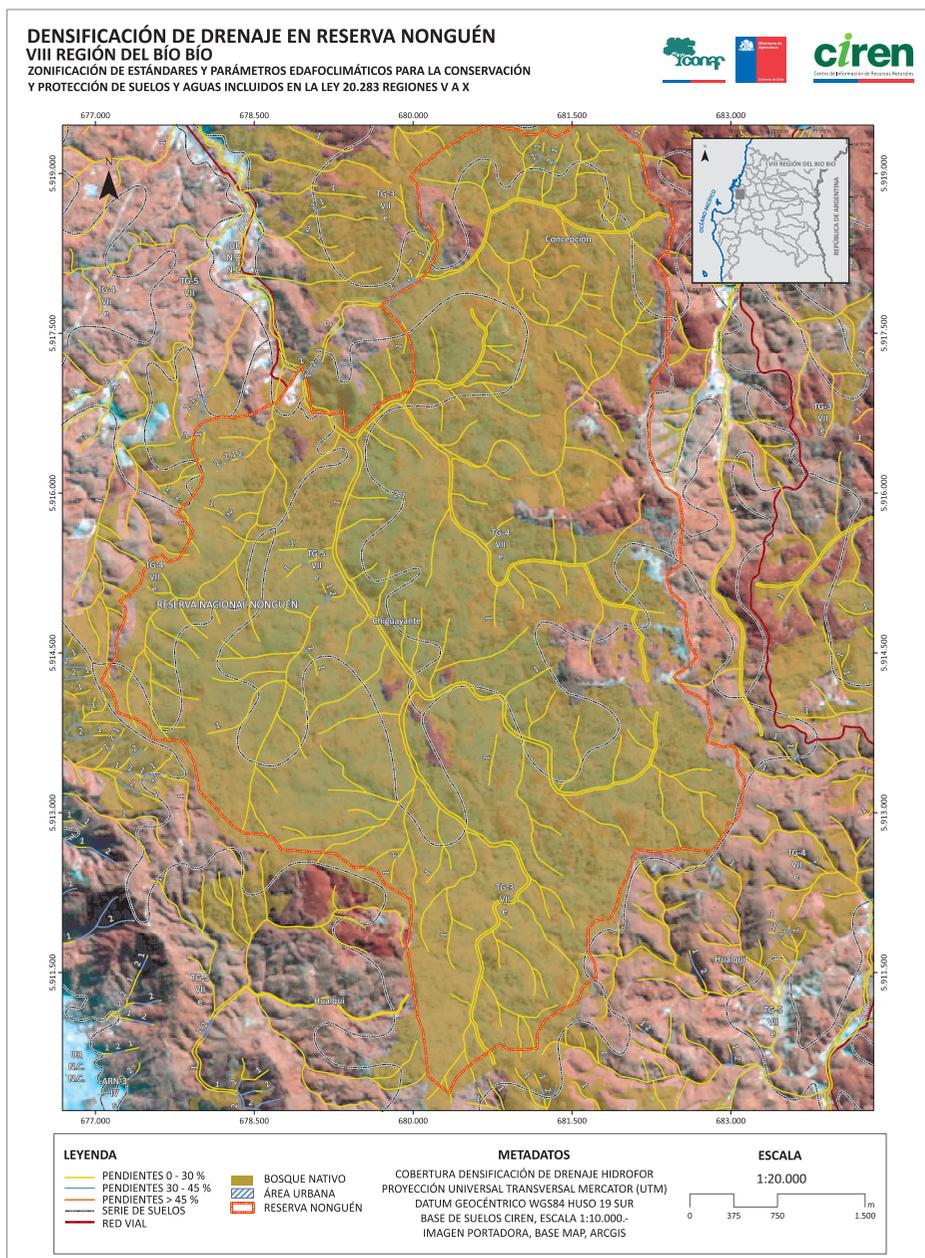


Figura 55. Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de Biobío.

Región de La Araucanía



El suelo descrito se presenta en el sector de Niágara en la comuna de Vilcún, lo que se observó fue un corte de camino de cerro, bajo una cobertura vegetal de Bosque. Se clasificó el suelo con VII de CCUS dado por pendiente. Mientras que en el paisaje en el cual se encuentra el cerro, se observa que la quebrada presenta una CCUS VIII, encontrándose terrenos bajos y planos, y sectores con una pendiente mucho menor a la que presenta el suelo descrito.

Referencia: Serie Pemehue (PEH) y sector de terrazas aluviales de cenizas volcánicas (TV), IX región.

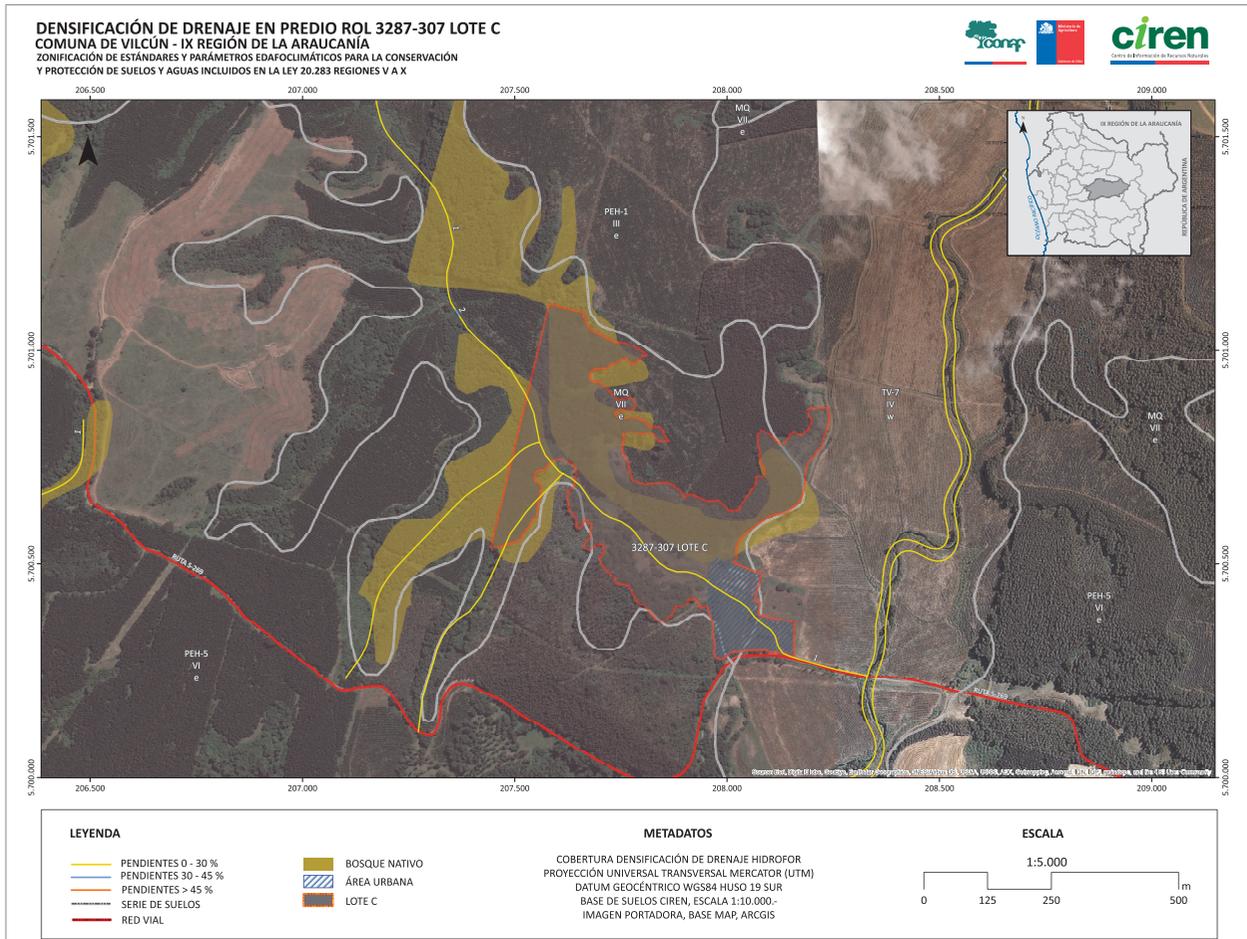


Figura 56. Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de La Araucanía.

Región de Los Ríos



Suelo descrito al este de la ciudad de Valdivia. En posición de cerros, derivado de cenizas volcánicas sobre el batolito metamórfico de la Cordillera de la Costa, con texturas franco limosa a franco arenosa en superficie, estructura granular fina fuerte a bloque subangulares finos a medios fuertes en superficie. Se definió con CCUS VIIe.

Referencia: Serie Los Ulmos (ULM), XIV región.

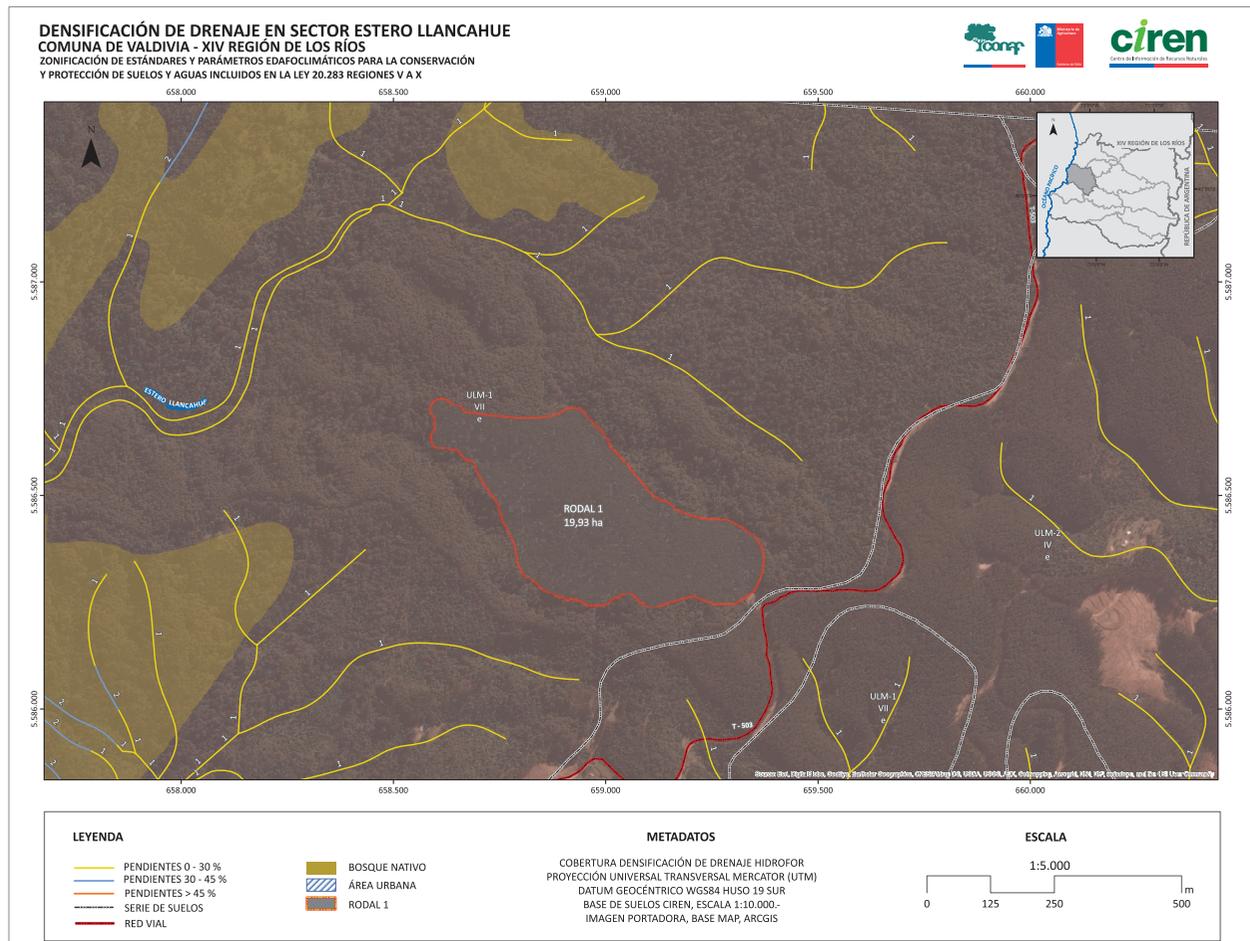
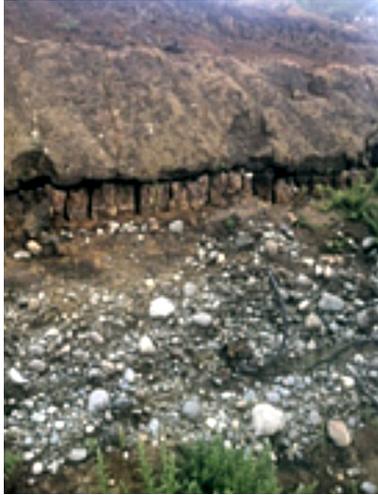


Figura 57. Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de Los Ríos.

Región de Los Lagos



Suelo ñadi del norte de la ciudad de Puerto Montt. En posición plana, derivado de cenizas volcánicas, sobre un substrato morrénico, suelo ligeramente profundo, con presencia de fierrillo (horizonte plácico) a los 70 cm, estructura de bloques subangulares finos a muy finos fuertes en superficie, de textura franco arenosa en superficie. Bajo el fierrillo se observó un depósito de cenizas volcánicas silíceas muy compactada, debajo de este depósito hay un horizonte enterrado derivado de cenizas volcánicas ácidas, de estructura prismática gruesa fuerte. Su CCUS se determinó como VIIw.

Referencia: Serie Alerce (ALC) y sector de terrazas aluviales de cenizas volcánicas (TV), V región.

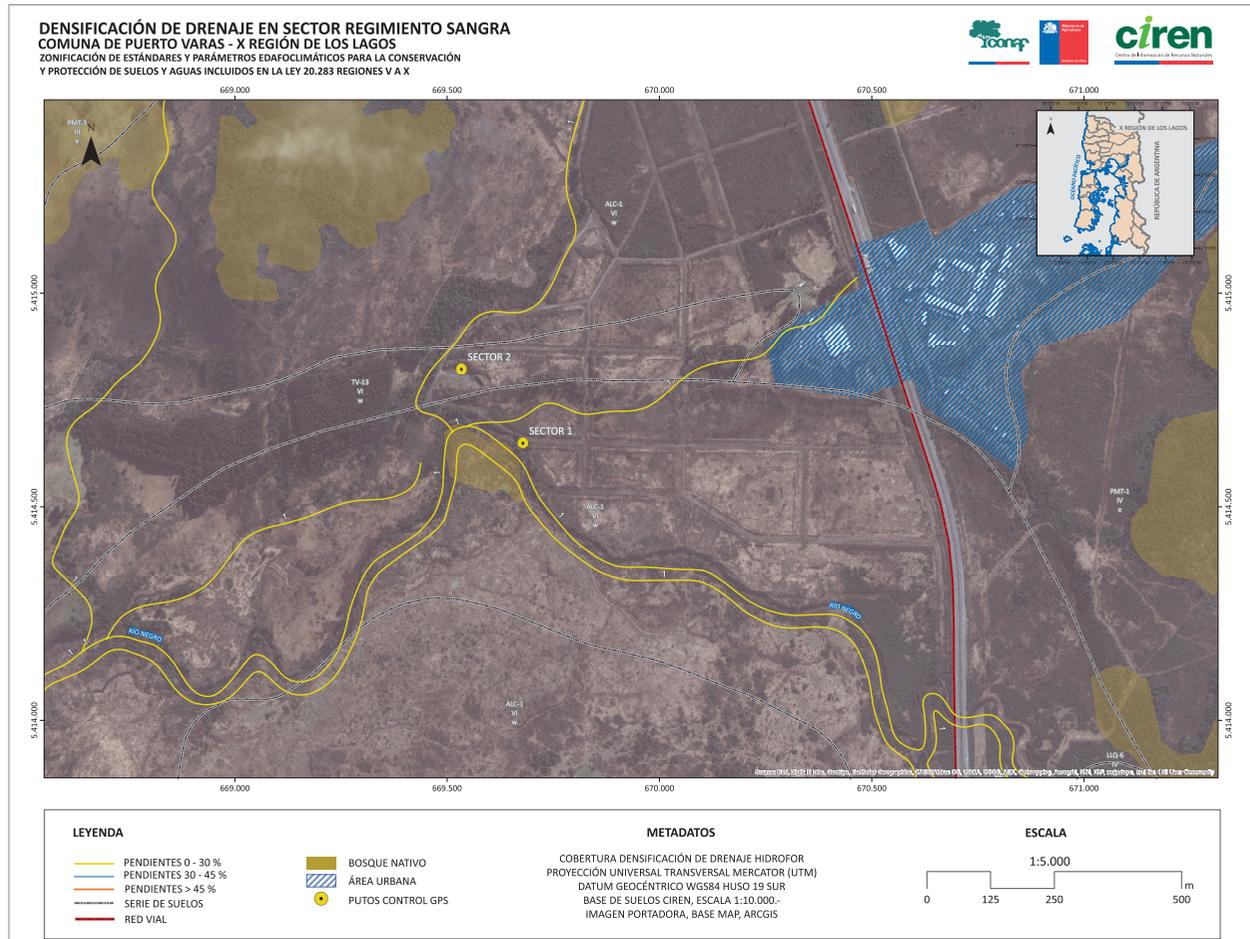


Figura 58. Mapa de referencia de terreno para la descripción agrológica de suelos en la región de Los Lagos.

7.5. Revisión de la hidrografía superficial modelada

Se realizó una comparación entre la hidrografía superficial modelada en gabinete y la presente en el territorio. El sector elegido fue la Quebrada Ramón perteneciente a la Asociación de Parques Cordillera, organismo sin fines de lucro que agrupa a siete municipios con territorios montañosos (Lo Barnechea, Las Condes, La Reina, Peñalolén, La Florida, San José de Maipo y Colina). Álvarez (2008) caracterizó esta zona de matorrales y bosque esclerófilo mediterráneo, y en altura, la estepa altoandina. Los bosques son escasos, reducidos a fondos de quebradas y laderas bajas de exposición sur. Dentro de las especies dominantes de las comunidades vegetales, las más frecuentes son *Lithrea caustica*, *Colliguaja odorífera*, *Baccharis paniculada*, *Kageneckia oblonga* y *Quillaja saponaria*. La prospección de terreno permite identificar un total de 368 especies de flora, de las cuales un 13% corresponde a especies introducidas. La vegetación de los pisos altitudinales inferiores se origina por modificación de las comunidades originales, por intervención antrópica y la colonización de especies introducidas y naturalizadas, particularmente *Acacia caven*. Las actividades de extracción de vegetación leñosa, el despeje para habilitación agrícola y los incendios forestales son los principales factores de modificación del paisaje. Los pisos altitudinales superiores conservan en mayor medida las características originales de estructura y composición florística.

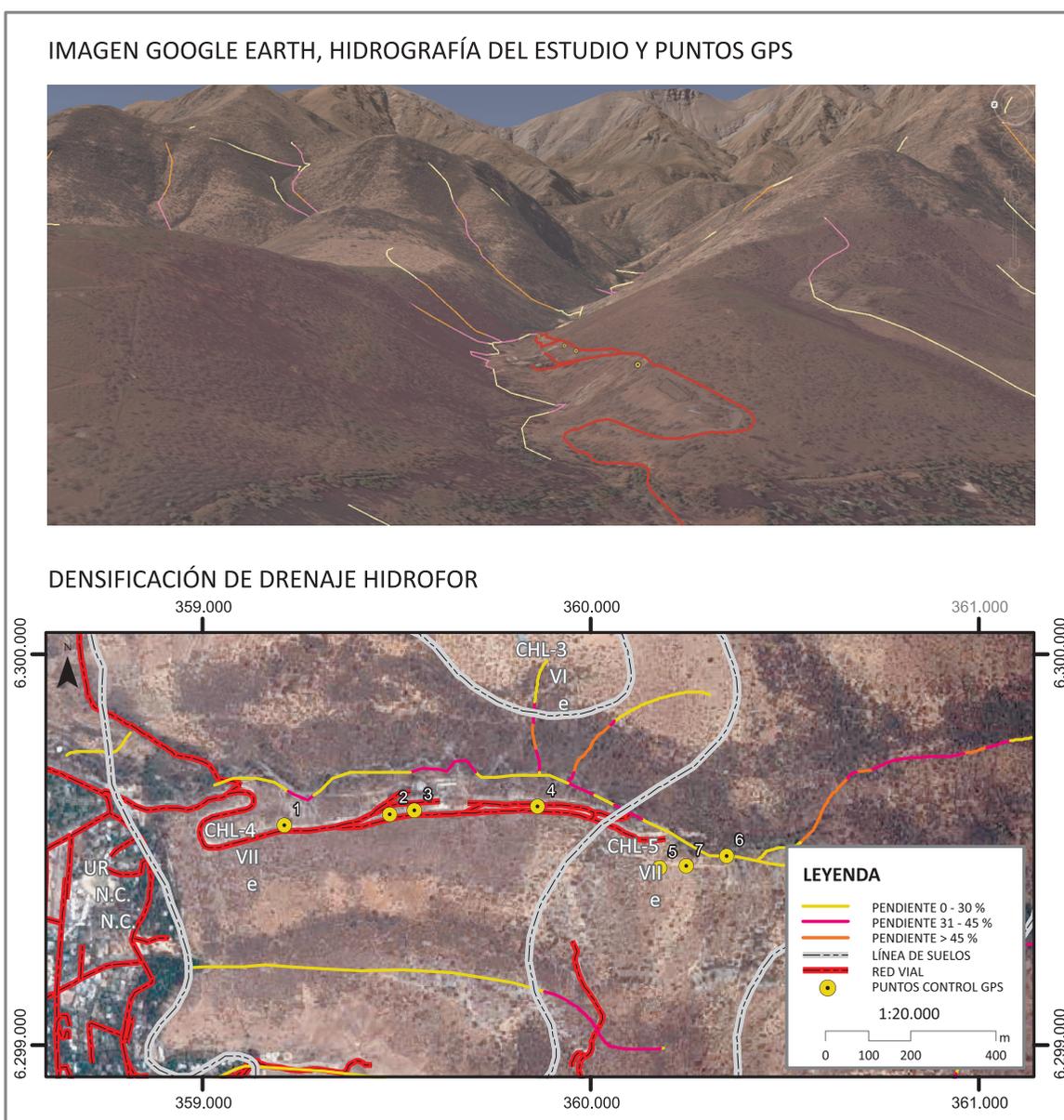


Figura 59. Puntos de muestreos en la quebrada Agua de Ramón (Región Metropolitana) para la comparación de la hidrografía levantada y la existente.

La validación de la información cartográfica consistió en comprobar *in situ* el trazado de la hidrografía escala 1:35.000 en gabinete. La figura 59 muestra el área de estudio con una imagen satelital del servidor WMS de Google Earth® con el trazado vectorial de la hidrografía segmentado por pendiente del terreno (color amarillo: < 30%, verde: 30-45% y rojo:>45%), con una grilla de 100 m y con coordenadas UTM, para la ubicación con GPS. Se realizó un recorrido de más de 2 km tomando 7 puntos con un navegador GPS, para la revisión de la cartografía de drenaje superficial. La ubicación de los puntos de terreno fueron: punto 1 (359.209, 6.299.564), punto 2 (359.482, 6.299.594), punto 3 (359.545, 6.299.602), punto 4 (359.862, 6.299.613), punto 5 (360.176, 6.299.455), punto 6 (360.348, 6.299.485) y el punto 7 (360.244, 6.299.460).

La revisión de terreno pudo verificar que el trazado de los cursos de aguas permanentes, estaban completamente representados, inclusive las quebradas temporales que tienen un área de aportación de mayor de 100 ha. No se pudo visualizar pequeñas quebradas, con superficies de aportación específica menores a 50 ha, por la escala de trabajo (1:35.000), para lo cual se requiere insumos de mayor resolución temporal (imagen satelital y dem de alta resolución).

Para alcanzar mejores resultados en la precisión cartográfica requiere de una evaluación "costo-beneficio" de los insumos y tecnología para desarrollar y evaluar cartografías viables. Por ejemplo, la selección y análisis de resultados de distintos modelos digitales de elevación (figura 60) para el modelación hidrológica y el trazado del flujo superficial de las quebradas no permanentes de la zona centro sur de Chile sugiere distintos niveles de detalle de la información ¿cuál usar? El modelo de elevación elaborado con el sensor LIDAR (de 1 m de pixel de resolución) tiene un costo económico alto⁸. Por otra parte, se pueden obtener buenos resultados de trazado hidrográfico (a escala 1:35.000) con el modelo DEM Aster (de 30 m de pixel), que está disponible en forma gratuita en la web. Se probó el modelo de elevación proveniente del sensor LIDAR, para el modelar el drenaje superficial en una superficie de 2.000 ha. El sector seleccionado corresponde a la comuna de Marchigüe (de coordenadas UTM 244.600, 6.197.000; 246.200,6.196.500) de la VI región de Chile, y que está caracterizado por la presencia de vegetación nativa predominantemente esclerófila, en suelos de clase capacidad de uso VII correspondiente a la Asociación Alto Colorado (ALT) y Lo Vásquez (LVZ). Se obtienen excelentes resultados en la precisión geográfica del curso de agua (temporal) a escala de detalle (1:5.000) e idéntica todas quebradas esporádicas, incluso regueros y cárcavas. Sin embargo, se notó que la parametrización del modelamiento del drenaje (ensenada, salida y rama y tamaño de cuenca), deben realizarse por cada microcuenca, ya que al ejecutar el algoritmo de representación de drenajes propuesto por el software TNTmips®, a nivel regional, tiende a trazar líneas de drenajes artificiales no deseadas, en zonas de lomajes o planiformes.

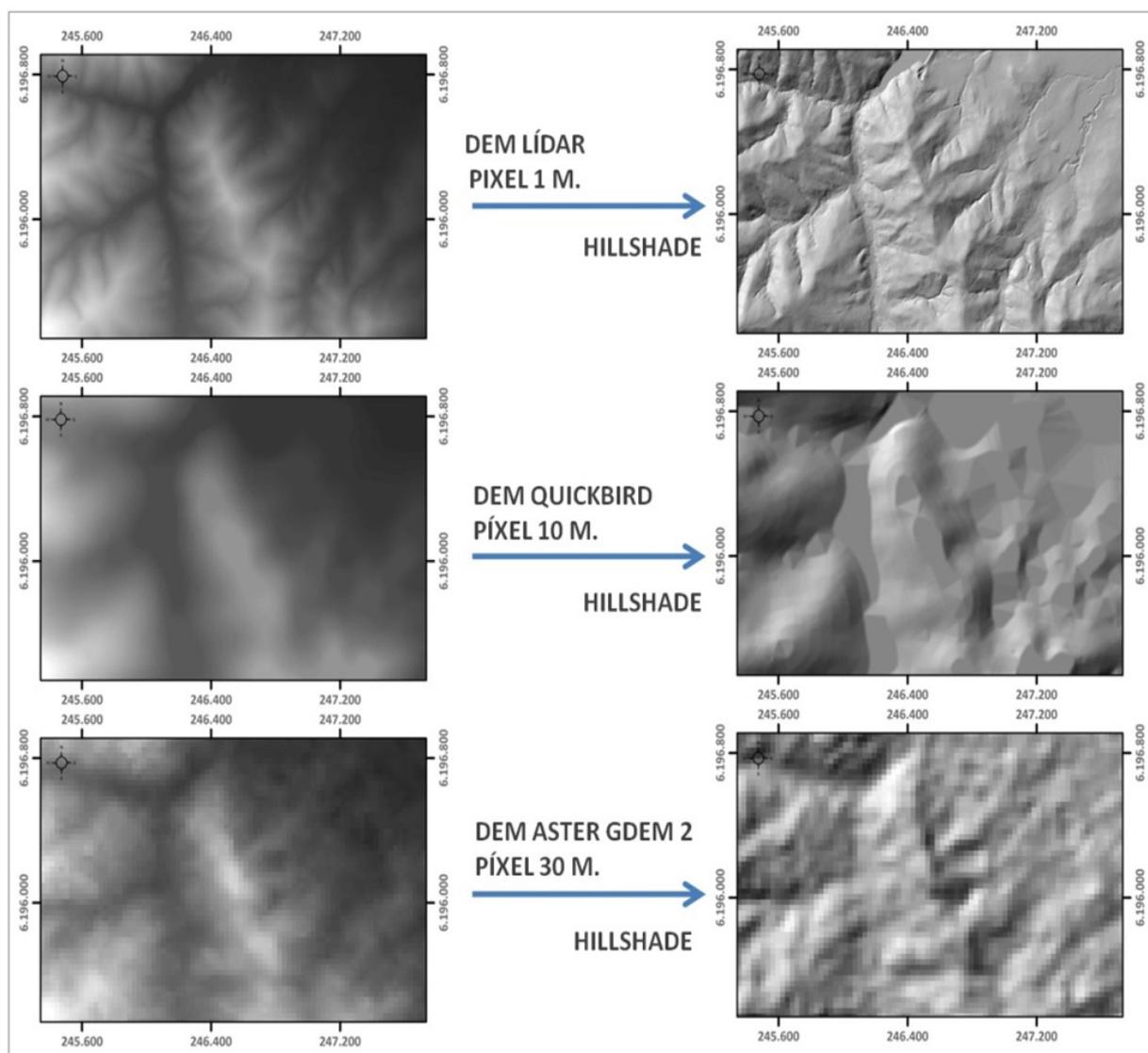


Figura 60. Representación de tres modelos de elevación del terreno (dem) para un sector de la comuna de Marchigüe (Región de O'Higgins). Fuente: CIREN y la información Lidar, Gentileza de Digimapas Chile Ltda.

Muñoz *et al.*, (2009) estableció la escala máxima de uso del dem aster, y lo comparó con curvas de nivel 1:10.000 (curvas cada 10 m.) y luego con curvas de nivel 1:50.000 proveniente del IGM (curvas cada 50 m.). Para mejorar la visualización, se le aplicó la función "sombreado de relieve" para dar la sensación de 3D (figura 61). Se utilizó una sección de la Provincia de Petorca (V región de Chile). Logró verificar que el dem aster no entrega la precisión cartográfica del modelo con curvas cada 10 metros, pero representa de forma fidedigna el relieve en escalas intermedias, entre el 1:10.000 y el 1:50.000. Por lo tanto, se recomienda su uso, como máximo, a escalas entre 1:25.000 y 1:30.000.

DEM con curvas de nivel cada 10 metros

Aster DEM

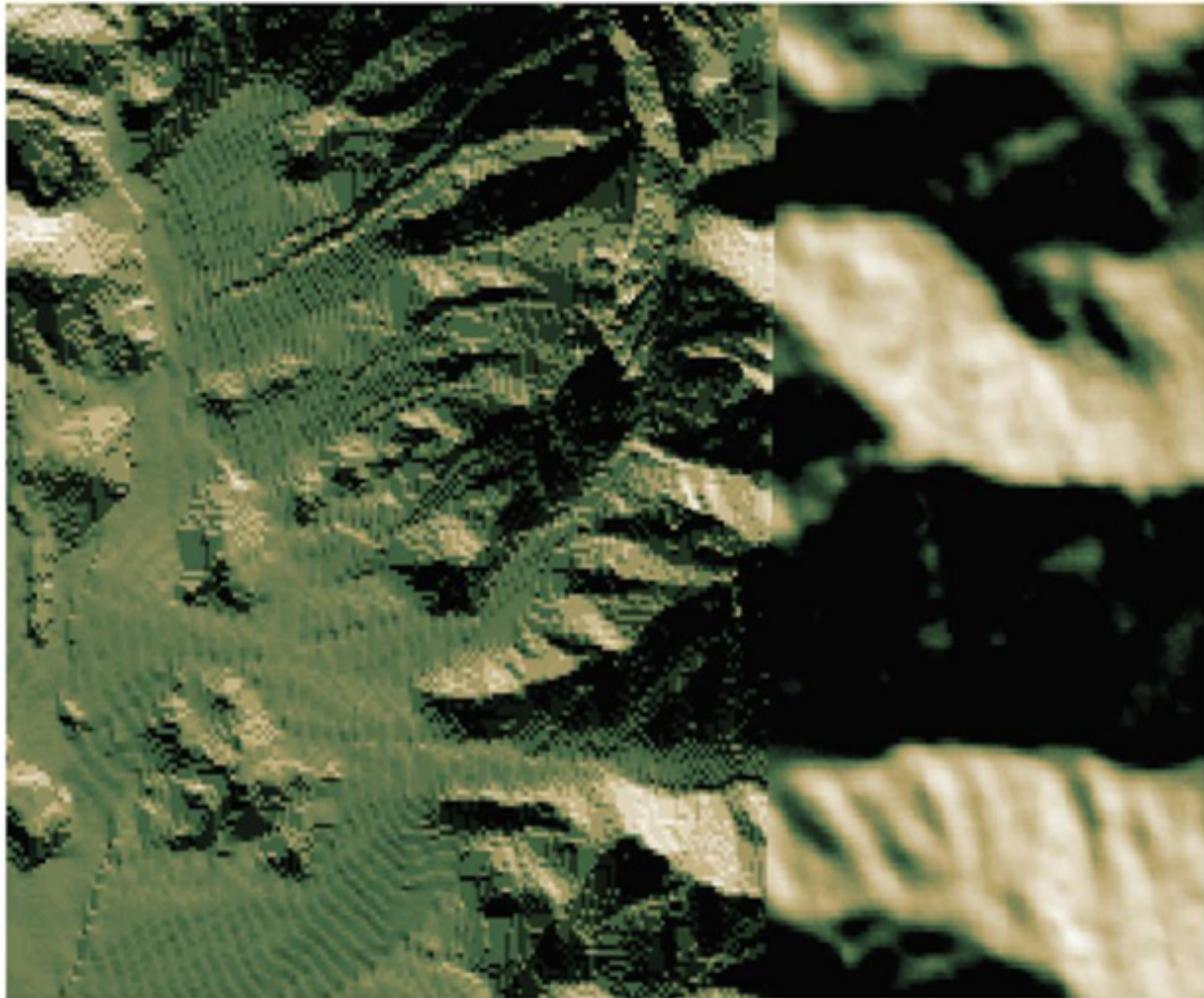


Figura 61. Comparación entre dos modelos de elevación del terreno en la V región de Chile. (izquierda) dem con curvas de nivel cada 10 m y (derecha) dem aster con resolución de 30 m. Fuente: Muñoz *et al.* (2009).

Sobre la disponibilidad de información gráfica vectorial y georreferenciada de curvas de nivel, al año 2016, el Instituto Geográfico Militar posee cobertura nacional de las cartas 1:50.000. Las curvas de nivel cada 10 metros, disponibles en el Centro de Información de Recursos Naturales CIREN, son: (i) los valles de la región de Atacama, (ii) los valles de la región de Coquimbo y (iii) los valles de la región de Valparaíso (hasta la cota 2.000 m) y (iv) para las zonas de la región del Lib. Gral Bernardo O´Higgins, hasta la cota 2.000 m.s.n.m.

8. Conclusiones

El estudio pudo zonificar áreas de conservación de aguas y suelos, para una superficie cercana a los 4,6 millones de hectáreas de bosque nativo, a partir de los artículos normativos que están indicados en el reglamento de suelos, aguas y humedales (RSAH) y la ley 20.283. Se entregan estándares y resultados espaciales a nivel de cuenca (unidades > 100 ha), drenaje superficial, pluviometría, erodabilidad y degradación física del suelo, para ser utilizados como guía para la toma de decisiones de los planes de manejo forestal sustentable en bosque nativo. Si bien es cierta la información territorial disponible se encuentra a escala de semi-detalle, es la observación local *in situ* que proporcionará mayor detalle del fenómeno analizado. Se confirma los antecedentes entregados en Quiroz y Cavieres (2009), la zonificación de estándares debe ser establecida por zona biogeográfica o por grandes cuencas hidrográficas, que es la unidad básica donde ocurre el ciclo de nutrientes y el intercambio de energía. La conceptualización de la administración de recursos técnicos y financieros de la conservación y/o protección de los recursos naturales de suelos, aguas y vegetación nativa no deberían responder a la división política-administrativa actual, por cuanto nuestro territorio presenta una variabilidad espacial y temporal de los fenómenos naturales, hay zonas solapadas hidrográficamente, y finalmente están siendo afectados procesos degradativos antrópicos y se hace presente un escenario de variabilidad climática y cambio climático global.

La metodología utilizada en este estudio contempló una mejora en la escala cartográfica de 1:50.000 a 1:35.000 con el uso de imágenes Landsat 8, que permitió interpretar los cursos del drenaje superficial, usando un pixel de 15 m. para toda el área de estudio y el uso y procesamiento del Modelo Digital de Elevación de 30 m elaborado por Japón a partir de imágenes ASTER, con información regular para toda el área de estudio (V a X región). Asimismo, permitió aumentar la densidad de drenaje superficial y homologar su trazado entre las ocho regiones del país. Se logró determinar y atribuir anchos de protección de los cursos naturales de aguas (ríos, esteros y quebradas), elemento que es de interés para la corporación nacional forestal (CONAF), en términos, de poseer información georreferenciada de referencia para la zonificación de conservación y/o protección de la vegetación nativa ribereña. Se requiere más estudios e investigaciones que permitan integrar, además de la topografía y la configuración hidráulica del lecho, variables biogeoquímicas del sistema terrestre-acuático asociado a los cursos naturales de aguas, como por ejemplo, indicadores de biodiversidad, composición y distribución florística, el monitoreo de especies animales y otros sistemas vivos, entre muchos indicadores de paisajes.

Todo proyecto o estudio de recursos naturales que abarque más de una región de Chile (en este caso 8 regiones de la zona centro sur) la información territorial necesariamente requiere de procesos de ajuste cartográfico y de sistematización de las bases de datos, por cuanto los estudios temáticos han sido realizados por diferentes autores, años de elaboración, métodos y tecnologías dispares. En el anhelo de protocolos institucionales de la infraestructura de los datos espaciales y la elaboración del metadato de la información, cada proyecto se enfrenta costes previos de construcción y elaboración del estudio. En este estudio se pone a disposición cartografía regional ajustada. Se resolvieron descalces y superposiciones cartográficos en los límites regionales, por consiguiente se realizaron re-interpretación de la información o el fenómeno, para que tuviera un sentido de continuidad territorial.

La modelación hidrográfica de las cuencas se basó en la modelación matemática de la topografía y el cálculo las direcciones locales del flujo y la gradual acumulación de agua moviéndose hacia abajo por las laderas a través del paisaje. Hasta hace poco la única fuente de información disponible en CIREN para el trazado de cuencas y divisorias de aguas eran las curvas de nivel del Instituto Geográfico Militar (1:50.000) o el modelo de elevación del terreno SRTM de 90 metros de resolución. En este estudio fue posible realizar una delimitación vectorial de cuencas de mayor precisión utilizando el DEM ASTER, llegando a una escala 1:35.000. Es así como se pudieron trazar las divisorias de aguas por las líneas de cumbre, disminuyendo el error horizontal de 50 m a 30 m.

Al igual a lo indicado por Bren (2005), una herramienta básica de manejo de cauces lo constituye la exclusión de la vegetación alrededor de los cauces o zonas buffer, ya que, evita la alteración ambiental como consecuencia de diversos usos de la tierra. Se concluye que la determinación de longitudes de amortiguamiento o anchos de protección de cauces (ríos, esteros y/o quebradas) asociados al bosque nativo chileno requiere de la incorporación de otras variables adicionales a la topografía. Asimismo, se acuerda que la protección de los cursos naturales de agua debería incluir criterios hidrológicos, hidráulicos y ecológicos de la masa boscosa intervenida.



9. Equipo de trabajo

Coordinación Institucional (CIREN)

Fernando Mercado, Gerente de estudios y proyectos

Sergio Maldonado, Gerente de Geomática

Investigador Responsable

Juan Pablo Flores Villanelo, Ing. For, Dr.

Investigadores Asociados

Pedro Muñoz Aguayo, Geógrafo

Eduardo Martínez Herrera, Ing. For. Dr.

Carlos Torres Miranda, Cartógrafo

Héctor Sáez Campos, Cartógrafo, MSc.

Alex Fernández Muñoz, Geógrafo, MSc.

Isaac Ahumada, Ing. For. MBA

Marcelo Retamal, Cartógrafo.

Claudio Olguín Morales, Cartógrafo

Verónica Poblete Muñoz, Bibliotecóloga

Consultores

Especialistas en suelos

Gerardo Reyes, Ing. Agrónomo

Gonzalo Gajardo, Ing. Agrónomo

Patricio Torres, Ing. Agrónomo, MSc.

Especialistas en hidrología

Roberto Pizarro, Ing. For. Dr.

Claudia Sangüesa, Ing. For. MSc.

Ejecutivos de proyecto (CIREN)

Gustavo Figueroa, Project management office

Leonor Villablanca, Ejecutiva financiera

Coordinadores regionales - CONAF

V región de Valparaíso

Santiago Huaquino,

santiago.huaiquino@conaf.cl

3 Norte 541, VIÑA DEL MAR

Región Metropolitana

Carlos Ravanal, carlos.ravanal@conaf.cl

Pío X 2475, PROVIDENCIA

VI región de Lib. Gral. Bernardo O'Higgins

Jorge Caviedes (Q.E.P.D)

Felipe Sandoval, felipe.sandoval@conaf.cl

Cuevas 480, RANCAGUA

VII región del Maule

Jorge Gándara, jorge.gandara@conaf.cl

Mauricio Aguilera, mauricio.aguilera@conaf.cl

4 Norte 1673, TALCA

VIII región del Biobío

Rafael Carrasco, rafael.carrasco@conaf.cl

Barros Arana 215, CONCEPCIÓN

IX región de La Araucanía

Rafael Bahamondes, rafael.bahamondes@conaf.cl

Francisco Bilbao 931, TEMUCO

XIV región de Los Ríos

Juan Pablo Garcinuño Oporto,

juan.garcinuño@conaf.cl

Víctor Rodríguez, victor.rodriguez@conaf.cl

Héctor Lobos, hector.lobos@conaf.cl

Esmeralda 415, LA UNIÓN

X región de Los Lagos

Jaime Garrido Herrera, jaime.garrido@conaf.cl

Marco Ormeño, marco.ormeno@conaf.cl

Ochagavía 458, PUERTO MONTT

Fondo de Investigación del bosque nativo (CONAF)

Carmen Gloria Quezada, investigacion@conaf.cl

Katherina Monje, sgd@conaf.cl



HIDROFOR

108

Equipo de trabajo

10. Referencias

- ALFARO, W. 2014. Monitoreo de los recursos hídricos en el sector forestal. Seminario internacional. Instituto Forestal. Valdivia, Chile. 19 - 20 noviembre 2014. 27 p. Disponible en http://www.infor.cl/downloads/Seminario%20Recursos%20Hdricos/2._w_alfaro.pdf
- BENOIT I. 1989. Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile. Corporación Nacional Forestal. 157 pp.
- BERTONI, J. y LOMBARDI NETO, F. 1990. Conservação do solo. Piracicaba, Ícone, 355p.
- CIREN. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Ministerio de Agricultura de Chile. Chile.
- CIREN. 2013. Monitoreo de cambios, corrección cartográfica y actualización del catastro de bosque nativo en las regiones de V, RM y VI. Informe final. Centro de Información de recursos Naturales. Ministerio de Agricultura de Chile. Santiago. 133 p.
- CLINNICK, P. F. 1985. Buffer strip management in forest operations: A Review. *Australian Forestry* 48 (1): 34 - 45.
- DATTA, P. S. y SCHACK-KIRCHNER, H. 2010. Erosion Relevant Topographical Parameters Derived from Different DEMs—A Comparative Study from the Indian Lesser Himalayas. *Remote Sensing*, 2, pp. 1941-1961.
- DAVIES, P. E. y NELSON, M. 1994. Relationships between riparian buffer widths and the effects of logging on stream habitat, invertebrate community composition and fish abundance. *Australian Journal of Marine and Freshwater Resources* 45: 1289 -1305.
- DE COS GUERRA, O. 2007. SIG y evaluación multicriterio: propuesta metodológica para cuantificar el grado de metropolización en el territorio. *Mapping Interactivo Revista Internacional de Ciencias de la Tierra [Revista en línea]*. N° 116. Disponible en: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1371 [Consulta:2011, febrero 17].
- ETIENNE, M. y PRADO C. 1982. Descripción de la vegetación mediante la cartografía de ocupación de tierras. *Conceptos y manual de uso práctico*. *Ciencias Agrícolas* N° 10. 120p.
- FAO. 1995. Impacto ambiental de las prácticas de cosecha forestal y construcción de caminos en bosques nativos siempre verde de la X Región de Chile.
- FLORES, J. 2000. Aplicación de la ecuación de Manning para la estimación de caudales instantáneos en el río Maule (Estación Forel, VII Región). Tesis Ingeniería Forestal. Universidad de Talca. 103 p.
- FLORES J; MARTÍNEZ, E y ESPINOSA, M. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de Chile (Determination of current and potential Chilean soil erosion) pp: 368-374. In: Casanova *et al.* Eds. ISCO (International Soil Conservation Organization) Congress Chile. Proceeding, Contributions in extenso. 529p.
- FLORES, J. 2016. Diseño de zanjas de infiltración en cuencas sub-húmedas de Chile Central. Tesis de grado de Doctor. Programa Dinámica de flujos biogeoquímicos y sus aplicaciones. Universidad de Córdoba, España. 271 p
- FRANCKE. 2009. Gestión Ambiental e Integrada de Cuencas Hidrográficas: un enfoque viable y sostenible. Seminario Silvotecna. Concepción, Chile. 19 de noviembre 2009. 56 p. Disponible en <http://es.slideshare.net/foroabierto/samuel-francke>
- GAJARDO R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y Distribución geográfica. Ed. Universitaria. Santiago. 165 pp.
- GAYOSO J. y A. IROUMÉ. 1995. Impacto del manejo de plantaciones sobre el ambiente físico. *Bosque*, 16 (2): 3-12
- GAYOSO J. y ALARCÓN, D. 1999. Guía de Conservación de Suelos Forestales. Proyecto Certificación del Manejo Forestal en las Regiones Octava, Décima y Duodécima. 91p.
- GAYOSO, J.; SCHLEGEL, B. y M. ACUÑA. 2000. Guía de conservación de agua. Proyecto de Certificación del Manejo Forestal en las Regiones Octava, Décima y Duodécima. 50 p.
- GAYOSO, J y Gayoso, S. 2003. Diseño de Zonas Ribereñas requerimientos de un ancho mínimo. Universidad Austral de Chile. 12p.
- GAYOSO, J y GAYOSO, S. 2008: Guía de buenas prácticas para minimizar la generación de sedimentos por operaciones forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile 72 pág.
- GAYOSO, J. 2009. Tala Rasa: una razón para mejores prácticas. En *Tala rasa: Implicaciones y desafíos*. 58-73 p.
- HUBER, A. y TRECAMAN, R. 2001. Efecto de la forestación de suelos arcillosos sobre el recurso hídrico en la zona de Collipulli, IX Región, Chile. *Terra Australis* 45(1): 49-60.
- HUBER. 2003. Cambios en el balance hídrico provocados por la forestación con *Pinus radiata* en el secano interior del centro de Chile. Valdivia, Chile. *Gestión ambiental* 9: 57-66.
- HUBER, A. y TRECAMAN, R. 2004. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque* 25(3): 33-43.
- HUBER, A., IROUMÉ, A y BATHURST, J. 2007. Effect of *Pinus radiata* plantations on water balance in Chile. *Hydrol. Proc.* 22: 141-148.
- HUBER, A., IROUME, A., MOHR, C y FRENE, C. 2010. Efecto de plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Chile. *Bosque* 31(3): 219-230.
- LAL, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International* 29(4): 437-450.

LARA A, SOTO, D, ARMESTO, J., DONOSO, P., WERNLI, C., NAHUELHUAL, L. y SQUEO, F (Eds). 2003. Componentes científicos clave para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos chilenos. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 134 p. (Iniciativa Científica Milenio de Mideplan).

LITTLE, C., CUEVAS, J., LARA A, PINO, M y SCHOENHOLTZ, S. 2014. Buffer effects of streamside native forests on water provision in watersheds dominated by exotic forest plantations. *Ecohydrology*, DOI: 10.1002/eco.1575

LITTLE. 2015. Bosques Nativos y Agua: Documentos borrador para ser discutido en la Comisión temática Agua-Bosque-Plantaciones del Consejo de Política Forestal. Instituto Forestal. Valdivia. Chile 5p. MARANGUNIC, C. 1979. Inventario de Glaciares. Hoya del río Maipo. Dirección General de Aguas, Publicación G-2, Santiago.

MORGAN R.P., 1996: Erosión y conservación del suelo. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 343 p.

MUÑOZ, P., SAEZ, H. y VOJKOVIC, E. 2009. Evaluación Modelo Digital de Elevación Global Aster GDem. Centro de Información de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura de Chile. Santiago. 9p.

OTERRA. 2016. Apoyo en la generación y análisis de las causas de la deforestación, degradación forestal y no aumentos de existencias de carbono forestal, identificándose opciones estratégicas para enfrentarlas en el marco de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) de Chile. Informe Final. Centro de estudios de Recursos Naturales. Universidad Mayor. Santiago 178 p.

OYARZÚN, C. 1993. Estimación de los procesos de erosión en un ambiente montañoso de la cuenca del Río Biobío, IX Región, Chile. Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales, Escuela de Graduados de la Universidad de Concepción. 150p.

OYARZÚN C. 2011. Servicios ecosistémicos de los bosques nativos del centro-sur de Chile: cantidad y calidad de agua. En: Aguas, suelos y vegetación en cuencas iberoamericanas. Alexandre Marco da Silva, Griselda Galindo y José Luis Fernández Turiel eds. 215-231.

PALONE, R. S. y A. H. TODD (ed.). 1997. Chesapeake Bay riparian handbook: a guide for establishing and maintaining riparian forest buffers. USDA Forest Service. NA-TP-02-97. Radnor, PA.

PÉREZ, C. y GONZÁLEZ J. 2001. Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA Nº 15, 194 p.

PINAR, A. LOBOS P. y BARRUETO, H. 2010. Plan de acción provincial Cardenal Caro. Informe Proyecto de Gestión Territorial. Provincia de Cardenal Caro. CONAF.

PIZARRO, R., SANGÜESA, C., FLORES, J. y MARTÍNEZ, E. 2005. Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola. Universidad de Talca. Chile. 179 p.

PIZARRO, R., ARAYA, S., JORDÁN, C., FARIAS, C., FLORES, J.P y BRO, P. 2006. The effects of changes in vegetative cover on river flows in the Purapel river basin of central Chile. *J. Hydrol.* (327)1-2: 249-257.

PIZARRO R., CORNEJO F., GONZÁLEZ C. y MACAYA, K. 2008. Análisis del comportamiento y agresividad de las precipitaciones en la zona central de Chile. *Ingeniería Hidráulica en México*, Abr. /Jun.; XXII (2), 91-109.

QUIROZ I. y CAVIERES A. 2009. Impacto de las actividades forestales en la calidad de los suelos y aguas del bosque nativo. Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura de Chile. 55p.

QUIROZ I. y CAVIERES A. 2010. Nueva propuesta de reglamento de suelos, aguas y humedales, validada por los expertos en bosque nativo en las regiones de La Araucanía, Aysén y Magallanes. Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura de Chile. 41p.

RAMÍREZ DE ARELLANO, P. 2013. Determinación de distancias óptimas para protección de cauces con bosque nativo utilizando modelos de predicción de sedimentos en SIG. Fondo de Investigación de la Ley de Bosque Nativo.
http://www.conaf.cl/wpcontent/files_mf/1370531676Proyecto0412010_PRamirezdeArellano_Bioforest.pdf

RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., McCOOL D.K. y YODER, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equations (RUSLE). *Agriculture Handbook* 703. U.S. Department of Agriculture, Washington DC.

RIVERA, A., GIANNINI, A., QUINTEROS, J. y SCHWIKOWSKI, M. 2000. Ice thickness measurements on the glacier of Cerro Tapato, Norte Chico, Chile. In: Annual Report 1999, Labor für Radio- und Umweltchemie der Universität Bern und des Paul Scherrer Instituts, Switzerland, Villigen: 38.

RODRIGUEZ, R. 2015. Agua y bosques plantados. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 17p. Disponible en: <http://www.certfor.org/userfiles/files/Rolando%20Rodriguez%20-%20Perspectiva%20Ambiental%20-%20Agua%20%28Universidad%20de%20Concepcion%29.pdf>

WILDNER, L., DO PRADO y VEIGA, M. 1994. Erosión y pérdida de fertilidad del suelo: Relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo. En: *Erosión de suelos en América Latina*. FAO. Santiago de Chile.

WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* No. 573, U.S. Department of Agriculture, Science and Education Administration, Washington, DC.

11. Anexos

Anexo 1.

Resumen estadístico de la superficie de planes de manejo forestal aprobados en bosque nativo, por región, año y tipo forestal (Periodo 2011 - marzo 2016).

Anexo 2.

Definiciones generales, clasificación por temporalidad del flujo superficial y definiciones del artículo 2 del Decreto 82 del Ministerio de Agricultura de Chile

Anexo 3.

Creación y mejoras al subsitio <http://bosques.ciren.cl> que da la estructura y soporte informático para poner a disposición los resultados finales del proyecto "Zonificación de estándares y parámetros edafoclimáticos para la conservación y protección de suelos y aguas incluidos en la ley 20.283 Regiones V - X".

Anexo 1

Cuadro 1. Resumen estadístico de la superficie de planes de manejo forestal aprobada en bosque nativo, por región, año y tipo forestal (Periodo 2011 - marzo 2016).

Región	Tipo Forestal Y/O Asociaciones	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Valparaíso	Coigue, Raulí, Tepa		1					1
	Esclerófilo	309	406	580	672	280	124	2.370
	Formaciones Xerofíticas	75	13	521	339	98		1.045
Metropolitana	Coigue, Raulí, Tepa - Esclerófilo				8			8
	Esclerófilo	426	552	644	302	631	110	2.667
	Formaciones Xerofíticas	47	0	5		14		66
	Siempreverde	9						9
Lib.Gral. Bernardo O'higgins	Esclerófilo	1.226	2.555	2.099	1.547	2.352	308	10.088
	Formaciones Xerofíticas	0	2	0	3	11		17
Maule	Ciprés de La Cordillera	5		11	21			37
	Esclerófilo	658	522	285	537	302	70	2.374
	Roble Hualo	1.287	808	936	791	410	24	4.256
	Roble Hualo - Esclerófilo			13				13
	Roble Hualo - Roble, Raulí, Coigue		14	86				100
	Roble, Raulí, Coigue	546	57	83	524	235		1.446
	Roble, Raulí, Coigue - Esclerófilo					147		147
Biobío	Esclerófilo	131	56	196	242	107	19	751
	Formaciones Xerofíticas	4						4
	Roble Hualo	15	37	12				64
	Roble Hualo - Roble, Raulí, Coigue		9					9
	Roble, Raulí, Coigue	2.669	1.894	2.697	1.862	1.425	94	10.641
	Roble, Raulí, Coigue - Ciprés de La Cordillera			34				34
	Roble, Raulí, Coigue - Esclerófilo	65		14	-			78
	Roble, Raulí, Coigue - Lenga			-				-
	Roble, Raulí, Coigue - Roble Hualo		63	13		15		91
	Roble, Raulí, Coigue - Siempreverde		61	49	6			116
La Araucanía	Siempreverde	17	48	29	83	62		238
	Araucaria	137		1	8	0		147
	Araucaria - Roble, Raulí, Coigue		77					77
	Ciprés De La Cordillera					1		1
	Coigue, Raulí, Tepa	212	166	1.270	252	22	85	2.007
	Coigue, Raulí, Tepa - Roble, Raulí, Coigue	187			405	56		648
	Coigue, Raulí, Tepa - Roble, Raulí, Coigue - Araucaria	1.007						1.007
	Coigue, Raulí, Tepa - Siempreverde			53				53
	Esclerófilo	3						3
	Lenga	70	14	141	9	22		257
	Lenga - Araucaria			-				-
	Lenga - Roble, Raulí, Coigue			-	7	43	25	75
	Roble, Raulí, Coigue	3.956	4.244	3.764	2.812	4.921	562	20.258
	Roble, Raulí, Coigue - Coigue, Raulí, Tepa	82						82
	Roble, Raulí, Coigue - Lenga	5	32					37
	Roble, Raulí, Coigue - Roble Hualo		92					92
	Roble, Raulí, Coigue - Siempreverde	30	20	32	195	86		363
Roble, Raulí, Coigue			27				27	
Siempreverde	143	164	160	117	170		753	
Los Ríos	Ciprés De La Cordillera	2						2
	Ciprés De Las Guaitecas - Siempreverde					4		4
	Coigue De Magallanes				10			10
	Coigue, Raulí, Tepa	285	194	133	315	247	15	1.189
	Coigue, Raulí, Tepa - Lenga					44		44
	Coigue, Raulí, Tepa - Roble, Raulí, Coigue	112		159				271
	Coigue, Raulí, Tepa - Roble, Raulí, Coigue - Siempreverde		147					147
	Coigue, Raulí, Tepa - Siempreverde	40			34			74
	Esclerófilo							-
	Lenga	11		12		2		25
	Roble, Raulí, Coigue - Siempreverde			5				5
	Roble, Raulí, Coigue	2.235	1.800	1.213	1.024	1.144	125	7.542
	Roble, Raulí, Coigue - Coigue, Raulí, Tepa	85		-				85
Roble, Raulí, Coigue - Lenga			-				-	
Roble, Raulí, Coigue - Siempreverde	473	165	416	457	516	9	2.037	
Siempreverde	1.426	1.302	683	759	1.178	146	5.493	
Siempreverde - Roble, Raulí, Coigue	16	55	208				279	
Los Lagos	Alerce	5		3	-			7
	Ciprés de La Cordillera		3	27		2	6	37
	Ciprés de Las Guaitecas					2		2
	Coigue, Raulí, Tepa		2					2
	Esclerófilo		9					9
	Lenga		1		7	4	6	17
	Roble, Raulí, Coigue	323	156	340	160	248	9	1.236
	Roble, Raulí, Coigue - Siempreverde	21	65	12	-	27		125
	Siempreverde	3.723	4.166	3.270	2.883	2.008	276	16.327
	Siempreverde - Coigue, Raulí, Tepa	25						25
Siempreverde - Roble, Raulí, Coigue	46	4					49	
Total General		31.315	24.882	27.013	22.218	24.097	2.568	132.093

Anexo 2

Definiciones generales

Cauce o lecho fluvial: es la parte de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confin físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas.

Río: es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. Se consideran ríos aquellos así clasificados en la cartografía oficial del IGM.

Estero: río pequeño o arroyo; voz aplicada especialmente en el centro del país. V. gr. estero El Arrayán, estero Nilahue. 2) En la zona austral se usa como sinónimo de estuario o entrada o brazo de mar. V. gr. estero Comau⁹.

Quebrada: Lecho seco o de escurrimiento esporádico y efímero, por lo general de gran pendiente.

Protección de cuencas y cursos de agua: Porción de terreno cuyo fin es la protección de los recursos suelo y agua, para lo cual debe dejar una faja de vegetación idealmente nativa a lo largo de estas, de ancho correspondiente de al menos a lo que exija la ley vigente.

Clasificación por temporalidad del flujo superficial.

Curso Permanente: los que presentan un flujo durante todo el año, incluso en la temporada seca, y la cantidad de agua no depende exclusivamente de las precipitaciones, hay existencia de flujo subsuperficial y recarga desde la napa freática.

Curso Temporal: los que presentan un flujo durante la época húmeda del año (4 a 8 meses según la Región).

Curso Esporádico: los que presentan flujo sólo como consecuencia de las lluvias.

Definiciones del artículo 2 del Decreto 82 del Ministerio de Agricultura de Chile¹⁰

- a) Área afecta: Superficie de un predio sujeta a acciones de corta o aprovechamiento, según lo definido en el plan de manejo, plan de trabajo, o autorización simple de corta.
- b) Área alterada: Superficie del área afecta que, durante o al término de las actividades de intervención de bosque nativo o formaciones xerofíticas, presenta:
 - i) Huellas visibles o remoción de suelo, con una profundidad superior a los 15 centímetros, originada por arrastre de trozas y por tránsito de maquinarias, caballos y bueyes.
 - ii) Suelo mineral a la vista.
- c) Área ocupada por estructuras: Superficie del área afecta de un predio que, durante o al término de las actividades de intervención, se encuentra ocupada por obras necesarias para el desarrollo de dichas actividades, que hayan implicado ahuellamiento o remoción igual o superior a 25 centímetros de profundidad del suelo, tales como caminos, vías de saca, canchas de acopio, pozos de lastre, campamentos, entre otros. Sólo para calcular el porcentaje establecido en el artículo 15 de este Reglamento, el área ocupada no considera las obras que existan en el predio, con anterioridad a la entrada en vigencia de este Reglamento, salvo que ellas sean reutilizadas.
- d) Caminos: Rutas que permiten el tránsito al interior del área afecta, como así también aquellas de acceso, que unen dichas áreas con caminos públicos. Pueden tener obras civiles o de arte y haber significado movimiento de tierra.
- e) Cauce: Curso de agua conformado por un lecho de sedimentos, arena o rocas, delimitado por riberas definidas, por el cual escurre agua en forma temporal o permanente.
- f) Cobertura: Porcentaje promedio del área afecta de un terreno que está cubierta por la proyección vertical uniforme de las copas de árboles y arbustos, si se trata de bosque nativo, o la proyección vertical de las copas de árboles, arbustos y suculentas, cuando se trata de formaciones xerofíticas.
- g) Corporación: La Corporación Nacional Forestal.
- h) Cuerpos de agua: Lagos y lagunas naturales, delimitados por el nivel máximo que alcanzan las aguas.

9 Glosario con los principales términos geológicos y geomorfológicos. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

10 www.bcn.cl - Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

- i) Erosión moderada: Aquella en que los suelos presentan signos claros de movimiento y arrastre laminar o de manto de nivel medio, o en surcos, o de canalículos, pudiéndose identificar uno o más de los siguientes indicadores:
 - i) presencia del subsuelo en un área menor al 15% de la superficie;
 - ii) presencia de pedestales y pavimentos de erosión en al menos el 15% de la superficie;
 - iii) pérdida de suelo original entre el 20 y 60%;
 - iv) presencia de surcos o canalículos, de profundidad menor a 0,5 metros; y
 - v) pérdida de más de un 30% del horizonte A (orgánico-mineral).
- j) Erosión severa: Aquella en que los suelos presentan un proceso activo de movimiento y arrastre de partículas laminar o de manto intensiva, o de zanjas o cárcavas, pudiéndose identificar uno o más de los siguientes indicadores:
 - i) presencia del subsuelo en un área entre 15 y 60% de la superficie;
 - ii) presencia de pedestales y pavimentos de erosión entre el 15 y 60% de la superficie;
 - iii) pérdida del suelo original entre el 60 y 80%;
 - iv) presencia de zanjas o cárcavas de profundidad de 0,5 a 1 metro, encontrándose a un distanciamiento medio de 10 a 20 metros; y
 - v) pérdida de hasta un 30% del horizonte B.
- k) Erosión muy severa: Aquella en que los suelos presentan un proceso muy acelerado de movimiento y arrastre de partículas laminar o de manto, o de cárcavas, pudiéndose identificar uno o más de los siguientes indicadores:
 - i) se presenta a la vista el subsuelo y se encuentra visible el material de origen del suelo, en más del 60% de la superficie;
 - ii) presencia de pedestales y pavimentos de erosión, en más del 60% de la superficie;
 - iii) pérdida de suelo original en más del 80% y hasta 100%;
 - iv) presencia de cárcavas de profundidad mayor a 1 metro, encontrándose a un distanciamiento medio de 5 a 10 metros; y
 - v) pérdida de más del 30% del horizonte B.
- l) Humedales: Ecosistemas asociados a sustratos saturados de agua en forma temporal o permanente, en los que existe y se desarrolla biota acuática y, han sido declarados Sitios Prioritarios de Conservación, por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, o sitios Ramsar. Para efectos de delimitación, se considerará la presencia y extensión de la vegetación hidrófila. Tratándose de ambientes que carezcan de vegetación hidrófila se utilizará, para la delimitación, la presencia de otras expresiones de biota acuática.
- m) Ley: Ley N° 20.283, sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.
- n) Maquinarias y equipos: Aquellos con los que se realiza actividades de corta, destrucción, eliminación o extracción en bosque nativo o formaciones xerofíticas y construcción de caminos.
- o) Vegetación hidrófila: Vegetación azonal que está vinculada a disponibilidad permanente de agua.
- p) Zona de protección de exclusión de intervención: Corresponde a los 5 metros aledaños a ambos lados de cursos naturales de agua, cuya sección de cauce, delimitada por la marca evidente de la crecida regular, es superior a 0,2 metros cuadrados e inferior a 0,5 metros cuadrados.
Tratándose de manantiales y cuerpos naturales de agua, esta zona tendrá un ancho de 10 metros. En cursos naturales de agua de sección de cauce mayor a 0,5 metros cuadrados, el ancho de esta zona será de 10 metros a ambos lados de éste. Las distancias previamente señaladas se miden en proyección horizontal en el plano, desde el borde del cauce, cuerpo de agua, o manantial y perpendicular al eje, o a la línea de borde de éstos.
- q) Zona de protección de manejo limitado: Corresponde al área contigua a la zona de exclusión de intervención de cuerpo de agua, manantial y cursos naturales de agua de sección de cauce mayor a 0,5 metros cuadrados. Esta zona de manejo tiene un ancho de 10 metros para pendientes entre 30 y 45% y de 20 metros para pendientes superiores a 45%. Las distancias previamente indicadas, se miden en proyección horizontal en el plano desde el borde de la zona de exclusión y perpendicular a su eje.

Anexo 3

Creación y mejoras al subsitio <http://bosques.ciren.cl> que da la estructura y soporte informático para poner a disposición los resultados finales del proyecto "Zonificación de estándares y parámetros edafoclimáticos para la conservación y protección de suelos y aguas incluidos en la ley 20.283 Regiones V - X".

Este trabajo fue realizado en conjunto con el centro de documentación CEDOC de CIREN y la empresa Prodigio Consultores Ltda.

Para poder alcanzar los objetivos propuestos en este estudio, se planteó efectuar una actualización y mejora a las capacidades disponibles del subsitio, de modo que permitiera en su arquitectura de información integrar una nueva colección digital, que difundiera y dejara accesible para todo tipo de público, los diferentes objetos de información resultantes del proyecto, tales como documentos, informes, presentaciones, imágenes, entre otros.

La metodología y actividades seguidas para el desarrollo e implementación de esta renovada Biblioteca Digital de Bosques, consideró los siguientes aspectos:

- a) Como estrategia se continuó con la metodología de trabajo utilizada en los servicios de información documental de CIREN, que es el "Diseño Centrado en el Usuario".
- b) Análisis a nivel general de la "Arquitectura de información e Indagación de campo" del subsitio para conocer en detalle la cantidad, naturaleza, disponibilidad de contenidos y así definir la nueva estructura de comunidades y colecciones de documentos digitales a incluir en la Biblioteca Digital y en particular en la nueva colección HIDROFOR.
- c) Inclusión de nuevos espacios visuales con gráficas e interfaces que incluyeran capacidades y metáforas de búsquedas temáticas, geográficas, índices, que posibilitaran descubrir en forma más eficiente y directa la información por parte del usuario.
- d) El rediseño se conceptualizó como un servicio integrado a la plataforma Biblioteca Digital de CIREN, de modo de poder potenciar la accesibilidad, usabilidad y la búsqueda de los recursos de información
- e) Incorporación de componentes de la web 2.0 tales como, servicios de difusión de novedades mediante alertas automáticas, servicio de consulta al bibliotecario, posibilidad de compartir recursos o enviar a un amigo, correo de contacto y formulario para consultas.
- f) Desarrollo e implementación de una versión apta para dispositivos móviles, sitio de tipo *responsive*.
- g) Nuevo sistema de métrica más potente, que permita conocer el comportamiento de los usuarios y generar reportes estadísticos diarios y mensuales.

El plan de trabajo seguido para cumplir con la metodología y requisitos que debía tener la nueva biblioteca digital bosques fueron:

- Etapa 1- Diseño conceptual del servicio.
- Etapa 2- Definir componentes estratégicos.
- Etapa 3- Estructurar nuevas comunidades y colecciones.
- Etapa 4- Definir índices de búsquedas.
- Etapa 5- Establecer metáforas de uso en la navegación.
- Etapa 6- Definir aspectos de diseño gráfico.
- Etapa 7- Establecer acciones estratégicas que permitan la escalabilidad del servicio.
- Etapa 8- Definir flujos internos de gestión de información digital, con un potente sistema de métrica y
- Etapa 9. Implementación del servicio

Finalmente, los resultados de este servicio de información denominado "Biblioteca Digital de Bosques" quedó conformado por las siguientes colecciones; (i) Proyecto Hidrofor, (ii) Proyecto Catastro de bosque nativo para la macro-zona central V-RM-VI y (iii) el Proyecto Bosque esclerófilo. Todas colecciones están integradas en su totalidad a la plataforma central de la Biblioteca digital de CIREN. Este rediseño e integración va en directo beneficio de los consumidores de información y datos, tanto nacionales como internacionales. Los beneficios más destacables de esta implementación son:

- Aumento de accesibilidad al incorporar versión de la biblioteca para dispositivos móviles.
- Nuevo metabuscador, que integra resultados de búsqueda unificados de todas las colecciones digitales con acceso a texto completo.
- Sistema de recuperación de información más potente al contar con nuevos filtros, navegadores y metáforas de búsquedas.
- Desde el punto de vista de la difusión de los recursos de información disponibles, se optimizó al incluir, opciones de compartir los contenidos mediante las redes sociales, generación de "Alerta Informativa", mediante suscripciones y visualización de novedades automático a nivel general y de cada colección.
- Desde el punto de vista de la administración de la plataforma se unificó el sistema de estadísticas y métricas de uso, que permite la generación de reportes automatizados y con mayor detalle, incorporándose además funcionalidades de control de acceso y administración de usuarios con privilegios y roles.

Todas las innovaciones incorporadas con este proyecto permiten aumentar la visibilidad y difusión de los recursos de información disponible.

The screenshot shows the homepage of the CIREN digital library. At the top, there is a navigation bar with the CIREN logo (Centro de Información de Recursos Naturales) and the text "Biblioteca digital CEDOC-CIREN". A search bar is present with the placeholder text "Para resultados más específicos pruebe por ejemplo 'Bosque Nativo'" and a search icon. Below the search bar, there is a horizontal menu with the following items: Inicio, Recursos Naturales, Geomática, Explotación de Recursos, Medio Ambiente, Riego - Infraestructura, and Conservación de recursos. The main content area is titled "Colecciones" and features a sub-menu with the following items: Información Recursos Naturales IREN-CIREN, Humedales Altoandinos, Riego y Drenaje - CNR, Biblioteca Digital de Bosques (highlighted in green), Recursos Hídricos-DGA, and Catálogo de Servicios. Below the sub-menu, there are three featured collection cards: "Proyecto HIDROFOR" (with a map of Chile and a photo of a landscape), "Bosque Esclerófilo" (with a photo of a forest), and "Catastro de Bosque nativo" (with a photo of a forest).

Agradecimientos

Agradecer a todas las personas que facilitaron y trabajaron en el desarrollo de este estudio, en especial, a los profesionales y funcionarios de CIREN. Al equipo de profesionales temáticos y cartógrafos del proyecto que aportaron su experiencia y detalle al trabajo presentado. A Forestal Mininco S.A, Digimapas S.A y la Asociación Parque Cordillera por las facilidades entregadas a este estudio. A los Coordinadores regionales de CONAF, por su colaboración y apoyo



CIREN

Centro de Información de Recursos Naturales

Manuel Montt 1164, Providencia.

Fono: (56) 2 2200 8900

www.ciren.cl

