



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y SU MEDIO**  
**AMBIENTE**

---

**DETERMINACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA**  
**FISCALIZACIÓN DE CORTAS NO AUTORIZADAS DE BOSQUE**  
**NATIVO, EN LA REGIÓN DEL MAULE**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**IVÁN ALEJANDRO CASTILLO OYARCE**

Profesor Guía: Sr. Miguel Eduardo Castillo Soto. Doctor en Recursos Naturales y  
Sustentabilidad.

---

Santiago, Chile  
2018

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y**  
**DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y SU MEDIO**  
**AMBIENTE**

---

**DETERMINACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA**  
**FISCALIZACIÓN DE CORTAS NO AUTORIZADAS DE BOSQUE**  
**NATIVO, EN LA REGIÓN DEL MAULE**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**IVÁN ALEJANDRO CASTILLO OYARCE**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Miguel Castillo Soto	7,0	.....
Prof. Consejero Sr. Horacio Bown Intveen	7,0	.....
Prof. Consejero Sr. Gustavo Cruz Madariaga	6,6	.....

*A José Feliciano y Enriqueta.*

## AGRADECIMIENTOS

Sir Isaac Newton dijo: “*Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes*”, haciendo referencia a los descubrimientos de los científicos anteriores a él y en cuyo trabajo se sentaron las bases de su obra. Yo también quiero agradecer a todos los gigantes que me ayudaron a ver más lejos, Gracias a Dios terminé esta memoria de título; gracias a Miguel, por su amistad, ayuda y confiarme este tema de memoria; a Gonzalo Tapia de CONAF, por facilitar la información y responder correos electrónicos desde Australia para contestar consultas de perogrullo; gracias a los profesores Horacio Bown, Andrés Plaza y Gustavo Cruz, por su buena disposición en revisar este estudio; y sobre todo gracias a quienes me acompañaron, soportaron, ayudaron y dieron cariño en este proceso de formación profesional: familia y a mis buenas (y malas) juntas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Referencias Generales del Estudio.....	1
1.2. Análisis Multicriterio como Apoyo a la Fiscalización.....	3
1.3. Referencias del estado actual de la Fiscalización Forestal.....	4
2. MATERIALES Y MÉTODO.....	6
2.1. Materiales.....	6
2.1.1. Área de Estudio.....	6
2.1.2. Coberturas del Área de estudio.....	7
2.1.3. Información no espacial de instituciones públicas.....	7
2.1.4. Software y Sistema de información geográfica.....	7
2.2. Método.....	8
2.2.1. Evaluación Multicriterio por Jerarquías Analíticas de Saaty (JAS).....	9
2.2.1.1. Variables Propuestas e Índice de Prioridades de Fiscalización (IPF).....	12
2.2.1.2. Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal (IPCV).....	15
2.2.1.3. Índice de Prioridad por Degradación (IPD).....	21
2.2.1.4. Índice de Prioridad por Presión de Uso (IPPU).....	23
2.2.1.5. Medidas de Consistencia de los Juicios a las Variables Propuestas.....	25
2.2.2. Capas finales y Definición de prioridades.....	26
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1. Descarte y Selección de Variables y Factores Propuestos.....	27
3.2. Índice de Prioridades de Fiscalización (IPF).....	28
3.2.1. Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal (IPCV).....	31
3.2.1.1. Índice de Fragmentación.....	33
3.2.1.2. Subtipo Forestal.....	36
3.2.1.3. Especies en Categoría de Conservación.....	38
3.2.1.4. Áreas Protegidas.....	40
3.2.2. Índice de Prioridad por Degradación (IPD).....	43
3.2.2.1. Áreas de protección por Erodabilidad.....	47
3.2.2.2. Áreas de protección por Erosividad.....	49
3.2.2.3. Áreas de Protección por Desertificación.....	51
3.2.3. Índice de Prioridad por Presión de Uso (IPPU).....	53
3.2.3.1. Actividad Extractiva Formal.....	56
3.2.3.2. Actividad Extractiva Informal.....	58

3.2.3.3. Cercanía de Caminos.....	60
3.2.3.4. Índice de Desarrollo Humano.....	63
3.2.4. Síntesis de resultados.....	65
3.3. Prioridades de Fiscalización.....	66
4. CONCLUSIONES.....	71
5. BIBLIOGRAFÍA.....	72
6. ANEXO.....	77
ANEXO 1.....	77
7. APÉNDICE.....	78
APÉNDICE 1.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cartografía del Área de Estudio.....	6
Figura 2: Diagrama de Modelo Propuesto de Prioridades de Fiscalización.....	13
Figura 3: Distancia desde las Cortas no Autorizadas (CNA) hasta las Áreas Protegidas.....	20
Figura 4: Distancia mínima desde las Corta no Autorizada (puntos) hasta la Red caminera (líneas).....	24
Figura 5: Índice de Prioridades de Fiscalización.....	30
Figura 6: Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal en la Región del Maule.....	32
Figura 7: Índice de Fragmentación SHAPE con Valores Normalizados en la Región del Maule.....	35
Figura 8: Cartografía de Índice de Subtipo Forestal.....	37
Figura 9: Cartografía de puntaje normalizado de las Especies en Categoría de Conservación (ECC) en la Región del Maule.....	39
Figura 10: Número de Cortas no Autorizadas encontradas en las Zona Aledaña de las Áreas Protegidas.....	41
Figura 11: Cartografía de Área de Influencia de las Áreas Protegidas de las CNA.....	42
Figura 12: Histograma de valores de la capa del Índice de Prioridades por Degradación (IPD).....	45
Figura 13: Cartografía de Índice de Prioridades por Degradación de la Región del Maule.....	46
Figura 14: Erodabilidad en la Región del Maule con valores normalizados.....	48
Figura 15: Erosividad en la Región del Maule con valores normalizados.....	50
Figura 16: Desertificación en la Región del Maule con valores normalizados.....	52
Figura 17: Índice de Prioridades por Presión de Uso (IPPU).....	55
Figura 18: Distribución espacial de la cantidad de Planes de Manejo (PM) y Normas de Corta (NC) en la Región del Maule en un puntaje normalizado.....	57
Figura 19: Cortas no Autorizadas (CNA) por Comuna en la Región del Maule en Puntaje Normalizado.....	59
Figura 20: Incremento de Cortas no Autorizadas detectadas desde el camino.....	61
Figura 21: Área de Influencia de Caminos en la detección de Cortas no Autorizadas en la Región del Maule.....	62
Figura 22: Distribución espacial del Índice de Desarrollo Humano (IDH) en Puntaje Normalizado.....	64
Figura 23: Histogramas de IPF, IPCV, IPD, IPPU.....	65
Figura 24: Gráfico de Porcentaje de Prioridades insertas en cada comuna de la Región del Maule.....	68
Figura 25: Cortas no Autorizadas detectadas al interior de las Prioridades de Fiscalización de la Región del Maule.....	69

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Matriz de comparación por pares para tres factores.....	10
Cuadro 2: Matriz de comparación con valores normalizados y puntaje final de cada factor. .....	11
Cuadro 3: Resumen de variables propuestas con el aporte matemático que tiene cada variable y sus factores.....	14
Cuadro 4: Códigos de Coberturas de Suelo en LandCover.....	16
Cuadro 5: Puntaje asignado para valorizar las categorías de conservación.....	18
Cuadro 6: Puntajes asignados para valorar el nivel de Erodabilidad.....	22
Cuadro 7: Puntajes asignado para valorar el nivel de Erosividad.....	22
Cuadro 8: Puntajes asignado para valorar el nivel de Desertificación.....	22
Cuadro 9: Valor del índice aleatorio según el orden matricial de la matriz de comparación. .....	26
Cuadro 10: Variables y Factores del Modelo Final de Prioridades de Fiscalización.....	28
Cuadro 11: Pesos calculados para cada variable del modelo multicriterio de prioridades de fiscalización.....	28
Cuadro 12: Pesos calculados para cada factor del IPCV.....	31
Cuadro 13: Subtipos Forestales en la Región del Maule.....	36
Cuadro 14: Conteo de Cortas no Autorizadas (CNA) al interior de cada área de influencia calculada.....	40
Cuadro 15: Pesos calculados para cada factor del IPD.....	44
Cuadro 16: Valores de Grado de Erodabilidad dentro de la Región del Maule.....	47
Cuadro 17: Valores de Grado de Erosividad dentro de la Región del Maule.....	49
Cuadro 18: Valores de Grado de Desertificación dentro de la Región del Maule.....	51
Cuadro 19: Pesos calculados para cada factor del IPPU.....	53
Cuadro 20: Influencia de los Caminos en la detección de Cortas no Autorizadas.....	60
Cuadro 21: Resumen de Consistencias y Pesos obtenidos a través de las Jerarquías Analíticas del modelo de prioridades de fiscalización.....	66
Cuadro 22: Criterio de séptimos para Prioridades de Fiscalización de Ley 20.283.....	66
Cuadro 23: Prioridades de Fiscalización por comuna en hectáreas.....	67



## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un modelo de Prioridades de Fiscalización de la Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal (Ley 20.283) aplicado a la Región del Maule, mediante el empleo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permitió determinar la ubicación espacial de zonas prioritarias al interior de la región mediante el método de Evaluación Multicriterio de Jerarquías Analíticas de Saaty. Este análisis consistió en la definición de tres variables principales, que en su conjunto dieron una razón de consistencia de 0,01577. Estas variables fueron: Índice de Prioridad Vegetacional, con una razón de consistencia de 0,07676, compuesto por la Fragmentación del Bosque Nativo, el Subtipo Forestal, las especies en Categoría de Conservación y la zonas aledañas a las Áreas Protegidas; El Índice de Degradación, con una razón de consistencia de 0,04622, compuesto por la Erodabilidad, la Erosividad y la Desertificación; y por último el Índice de Presión por Uso, con una razón de consistencia de 0,07788, compuesto por la Actividad Extractiva Formal, la Actividad Extractiva Informal, la Cercanía de los Caminos y el Índice de Desarrollo Humano (IDH). Como resultado el modelo presentó a la variable Presión de Uso como con la mayor ponderación en el modelo de prioridades, donde el factor de mayor preponderancia en su interior fueron las zonas con la Actividad Extractiva Informal. En segundo lugar de importancia estuvo el Índice de prioridad Vegetacional, donde el factor más importante fue la Fragmentación del Bosque Nativo; y finalmente el Índice de Prioridad por Degradación, donde el factor más importante fue el nivel de Desertificación en el área de estudio.

Este orden jerárquico se explicó en función de las necesidades y herramientas que entrega la Ley 20.283 para realizar las actividades de fiscalización de las cortas no autorizadas. La metodología aquí aplicada constituye una referencia inicial que puede ser mejorada en la medida de disponer de mayor y mejor calidad en la información, para aumentar la precisión en el cálculo de las áreas y ajustes al modelo de prioridades.

Palabras Claves: Ley 20.283, SIG, Evaluación Multicriterio, Jerarquías Analíticas, Prioridad Vegetacional, Prioridad por Degradación, Prioridad por Presión de Uso.

## ABSTRACT

In the present work was realized a model of Priorities of Control of the Law on Recovery of the Native Forest and Forest Development (Law 20.283) applied to the Maule Region, through the use of a Geographic Information System (GIS) using the Multi-Criteria Assessment method of Analytical Hierarchies Process. This analysis consisted in the definition of three main variables, which together gave a consistency ratio of 0.01577. These variables were: Vegetational Priority Index, with a consistency ratio of 0.07676, composed of the Fragmentation of the Native Forest, the Forest Subtype, the species in the Conservation Category and the areas surrounding the Protected Areas; The Degradation Index, with a consistency ratio of 0.04622, composed of Erodability, Erosivity and Desertification; and finally, the Use Pressure Index, with a consistency ratio of 0.07788, composed of the Formal Extractive Activity, the Informal Extractive Activity, the Proximity of Roads and the Human Development Index (HDI). As a result, the model presented to the variable Pressure of Use as the highest weighting in the priority model, where the factor of greatest preponderance in its interior were the areas with the Informal Extractive Activity. Second of importance was the Vegetational Priority Index, where the most important factor was the Fragmentation of the Native Forest; and finally the Priority Index for Degradation, where the most important factor was the level of Desertification in the study area.

This hierarchical order was explained according to the needs and tools provided by Law 20,283 to carry out the audit activities of unauthorized fellings. The methodology available here is an initial update that can be improved to the extent of having the highest and best quality information, to increase the accuracy in the calculation of areas and adjustments to the priority model.

Key Words: Law 20,283, GIS, Analytical Hierarchies Process, Multi-criteria assessment, Vegetational Priority, Degradation Index, Pressure of Use.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Referencias Generales del Estudio

El bosque nativo chileno ha sido afectado en su superficie y estructura por cambios cuyo origen ha sido principalmente climático, como glaciaciones; geológicas, como erupciones volcánicas; y otros eventos de origen antrópico, especialmente los asociados al cambio en la composición del territorio. Marcado por su aislamiento -debido al desierto de Atacama y a la cordillera de los Andes- el bosque nativo posee una gran cantidad de especies endémicas, llegando a un 15% del total de géneros que sólo se encuentran en esta región del planeta (Armesto *et al.*, 1994).

En Chile desde la colonización en adelante, ha habido una permanente presión sobre el bosque nativo, en un comienzo con el fin de implementar la agricultura y ganadería a distintas escalas. Posteriormente se consideró al recurso forestal como una fuente inagotable de recursos, donde se obtuvo la madera del bosque principalmente mediante el floreo. Con el tiempo el cultivo de secano, fundamentalmente trigo, durante la fiebre de oro en California, EE. UU. degradó severamente los suelos, por lo que se tomó como medida la reforestación con especies como el Pino Insigne (*Pinus radiata* D. Don), pero posteriormente con el desarrollo industrial y a los buenos rendimientos de productos obtenidos del Pino Insigne se procedió a la sustitución de aproximadamente el 10% de los bosques nativos por plantaciones de dicha especie (Armesto *et al.*, 1994).

Es por ello que en el año 1992 se iniciaron las gestiones para el proyecto de Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal (Ley 20.283), la que entró en vigencia el año 2008. El objetivo de esta Ley es “la protección, recuperación y mejoramiento de los bosques nativos con el fin de asegurar la sustentabilidad forestal y la política ambiental” (Chile, 2008). La Ley faculta a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) velar por el acatamiento de esta, desarrollando estrategias y acciones de fiscalización, administrando los sistemas de información necesarios y generando las estadísticas para retroalimentar y mejorar el desempeño de las actividades de fiscalización que debe efectuar CONAF (CONAF, 2017).

La fiscalización está definida como las acciones que realiza CONAF en el uso de sus facultades, buscando que se cumplan las normas legales y técnicas referidas al uso, aprovechamiento, conservación y protección de los recursos forestales y el medio ambiente asociado, cuando se desarrollan actividades productivas o extractivas (Retamal, 2014). Estas actividades de fiscalización requieren recursos que obligan a CONAF a utilizar métodos para optimizar su desarrollo, llevando a precisar y actualizar modelos para determinar áreas que dadas sus características técnicas resultan prioritarias para cumplir su objetivo de asegurar el uso sustentable y protección de los recursos forestales. Para lograr esto, CONAF en el año 2001 acuñó el concepto de “Áreas Prioritarias de Fiscalización”, y lo definió como: “Los sitios en donde hay presencia de bosques o en donde existe alta probabilidad de encontrar especies nativas en algún estado de amenaza y que para el país sea prioritario proteger y resguardar, a través, de la fiscalización forestal y ambiental” (CONAF, 2011a). Este concepto inicial fue desde donde se empezaron a desarrollar diferentes modelos de prioridades de fiscalización, que con posterioridad se fueron alejando

desde el foco de considerar prioritarias las zonas con presencia o ausencia de especies en categoría de conservación, añadiendo otras variables que resultan de interés para determinar la priorización de zonas para el desarrollo de las actividades de fiscalización.

Para elaborar un modelo de prioridades para la fiscalización de la Ley 20.283, hay que considerar que el problema de optimizar esta actividad no es sencillo de abordar. Dada la necesidad de consensuar las diversas variables territoriales que permiten establecer medidas sobre el uso del suelo, particularmente la gestión en la utilización de los bosques nativos es que se hace necesario la formulación de estrategias para aplicar acciones de monitoreo y evaluación de estos recursos forestales, desde el punto de vista de su extracción, cuantía, calidad, distribución y protección. En este aspecto, la localización de las áreas más sensibles frente a intervenciones es un factor clave y necesario para formular estrategias de monitoreo, especialmente en zonas con alto potencial de fragmentación. Por ejemplo, pueden haber situaciones donde los parches de bosque nativo más fragmentados contengan en su interior especies en categoría de conservación más cercano al peligro de extinción; si se analiza desde el punto de vista de la resiliencia del bosque nativo, los parches menos fragmentados tienen mayor capacidad de mantenerse en el tiempo por lo que serían prioritarios; en cambio si se analiza desde el punto de vista de la preservación de especies en categoría de conservación, entonces tendrían prioridad los parches de bosque nativo que contengan en su interior especies en categoría de conservación, sin importar el tamaño o forma del parche.

Es por ello que es necesario aplicar un método distinto a lo que ofrece la simple caracterización de un fragmento de bosque nativo por la presencia o ausencia de alguna especie en categoría de conservación, o el subtipo forestal que se encuentre estandarizado para la zona, tal como sugiere la definición de prioridades de fiscalización. Para lograr esto, se debe realizar una valoración que permita priorizar las zonas a fiscalizar por parte de CONAF.

En este sentido, CONAF en 2007 logró desarrollar un modelo de prioridades de fiscalización mediante una Evaluación Multicriterio (EMC) que permitió priorizar las áreas de fiscalización de Cortas no Autorizadas (CNA) de bosque nativo, y así resguardar el objetivo de protección del recurso perseguido por la ley 20.283. Esta metodología se aplicó en las regiones de Arica y Parinacota, El Maule, y los Ríos, teniendo la flexibilidad de considerar y añadir variables propias a cada región, según las características intrínsecas de cada área de estudio. Estas zonas se identificaron espacialmente a través de variables que posteriormente se valorizaron por medio de un puntaje normalizado, expresado en coberturas digitales que logran resumir la información territorial necesaria. Para establecer una mayor o menor prioridad de fiscalización, se emplearon tres índices, donde cada uno de estos índices a su vez agrupan otras variables específicas de acuerdo con cómo se valora el recurso boscoso (CONAF, 2007a):

- Índice de prioridad vegetacional: Valora el recurso a proteger considerando su importancia. Este índice está compuesto por dos variables: el subtipo forestal y las especies en categoría de conservación.
- Índice de prioridad posicional: Valora el recurso considerando la ubicación espacial que tiene. Este índice está compuesto por las siguientes variables: áreas especiales

de protección (donde se incluyen las áreas aledañas al SNASPE), áreas de protección establecidas por legislación, áreas de protección especial, áreas de protección de masas o cursos de agua y áreas de protección en terreno con una pendiente superior al 60%.

- Índice de prioridad por presión de uso: Valora el recurso atendiendo variables que inducen a considerar la presión antrópica. Este índice está compuesto por las variables: actividad extractiva formal o informal; cercanía a caminos públicos y rurales; densidad poblacional y pobreza rural.

## **1.2. Análisis Multicriterio como Apoyo a la Fiscalización**

La Evaluación Multicriterio (EMC) se encuentra inserta al interior de las teorías de decisión y permite investigar un número de alternativas por medio de múltiples criterios y objetivos en conflicto, presentándose como una alternativa a la optimización de funciones de utilidad (Gómez y Barredo, 2005a). Dentro de esta materia se suele definir dos tipos de métodos de decisión, la Pasiva y la Normativa; la primera dice relación con la “elaboración de una serie de construcciones teóricas y articulación lógicas que pretenden explicar y predecir el comportamiento de los agentes de decisión reales” (Gómez y Barredo, 2005b), buscando especificar las razones por las cuales las decisiones son tomadas de una forma determinada. Por otro lado, la Normativa comienza por definir la racionalidad de los agentes económicos (administración razonable de recursos) en base a una serie de supuestos justificables intuitivamente. Seguidamente se realizan una serie de operaciones lógicas, para deducir el comportamiento óptimo de los agentes de decisión como aquel que es compatible con la racionalidad previamente establecida, la que puede ser basada en una evaluación objetiva o subjetiva (Gómez y Barredo, 2005b). La evaluación objetiva dice relación en comparar los costos de implementar una decisión con sus respectivos beneficios netos; en cambio una evaluación subjetiva está enfocada en ayudar a los centros decisión a ordenar sus ideas expresando juicios consistentes eligiendo racionalmente (Gómez y Barredo, 2005b).

Según Gómez y Barredo (2005c), la EMC en torno a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) consta de los siguientes componentes:

- Objetivos y alternativas: Los objetivos dicen relación con la función a desarrollar, en determinados casos de planificación puede haber múltiples objetivos, los que a su vez podrían complementarse o entrar en conflicto para un mismo estudio. Estos objetivos se plantean sobre un elemento determinado, lo que se conoce como alternativas. Estas se definen como “las zonas del territorio que son susceptibles a ser evaluadas y sobre las que se realizará la selección final, cada alternativa está caracterizada o definida por distintos criterios o factores que intervienen en la evaluación”. En términos más sencillos se podría aseverar que los objetivos están estrechamente relacionados con las capas al interior de un SIG, mientras que las celdas de una capa ráster o los polígonos en una capa vectorial serían las alternativas a evaluar.
- Los criterios: Son el punto de referencia para tomar una decisión, la cual se verá directamente afectada en la forma en que se mida o caracterice las alternativas insertas en el proceso. Los criterios pueden ser de dos naturalezas: a) factor o b)

limitante. “Los factores son criterios que realzan o retractan la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración”; los criterios limitantes restringen alternativas en función de la actividad evaluada, generando una capa binaria con valores que representan la disponibilidad o no de ser considerada una alternativa factible. Una vez que las capas temáticas correspondientes a los criterios han sido generadas, pueden ser combinadas a través de la regla decisión para lograr una posterior evaluación.

- La regla de decisión: Es el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular, pudiendo también comparar a través de ella distintas evaluaciones con el fin de variar alguno de sus aspectos en caso de que sea necesario. Las reglas de decisión pueden seguir dos tipos de procedimientos, la función de decisión y la decisión heurística; “el primer procedimiento intenta clasificar las alternativas en función de una característica medible, que usualmente es el valor de capacidad de acogida, mientras que la selección heurística específica un procedimiento a seguir, en vez de una función a evaluar, por lo que persigue obtener una selección de sólo algunas alternativas del conjunto global de estas”.
- Evaluación: Es el proceso de aplicar la regla de decisión que ha sido estructurada sobre las capas-criterios, y que será el que producirá finalmente el modelo de decisión.
- Matrices; es una representación de la relación entre los criterios y las alternativas.

Existen distintos métodos o técnicas de EMC. Esto se ven diferenciados en los procedimientos que se realizan sobre las matrices de evaluación. En general se diferencian dos grupos: Compensatorias y No compensatorias. Las técnicas compensatorias tienen como supuesto que los valores extremos de una variable se compensarían entre sus alternativas. Las técnicas No Compensatorias por su parte suponen que un valor bajo en un criterio no puede ser compensado o equilibrado por un valor alto en otro criterio. Aquí las alternativas son comparadas en todos los criterios sin realizar operaciones entre los mismos. En términos comparativos se afirma que las técnicas compensatorias demandan un mayor proceso cognitivo, debido a que se necesita que el centro de decisiones especifique los pesos de los criterios como valores cardinales o funciones de prioridad. Por su parte las No compensatorias demandan un menor proceso cognitivo del centro de decisiones, ya que estas por lo general requieren una jerarquización ordinal de los criterios basada en las prioridades del centro de decisiones (Malczewski, 2000).

### **1.3. Referencias del estado actual de la Fiscalización Forestal**

Para aplicar este modelo de prioridades de fiscalización se implementaron estrategias y acciones de fiscalización en las que incurre CONAF, tales como los controles para el cumplimiento de planes de manejo, los controles carreteros, y los controles a los centros de acopio” (CONAF, 2011). Estas actividades están en función del tipo de recurso forestal que se requiere proteger, los recursos técnico-económicos y los instrumentos legales disponibles para tal efecto. En el año 2013, la mayoría de las actividades de fiscalización se concentraron en el bosque nativo, representando el 71,2% del total de fiscalizaciones (4.705 actividades), mientras que las plantaciones forestales contaron con el 20,8% (1.377

actividades). La menor cantidad de actividades de fiscalización fueron realizadas a las formaciones xerofíticas, con apenas el 2.1% a nivel nacional (135 actividades) (CONAF, 2014). Durante el mismo año, en la Región del Maule se realizaron 662 actividades de fiscalización, las cuales se distribuyen de la siguiente forma: 296 actividades en bosque nativo, dos en formaciones xerofíticas y 362 actividades en plantaciones forestales. De estas acciones la siguiente cantidad de faltas según el tipo de recurso forestal asociado fueron: 47 en plantaciones y 71 en bosque nativo, no encontrando faltas en formaciones xerofíticas (CONAF, 2014).

Hoy en día con el avance de la investigación científica y el desarrollo tecnológico se revela la necesidad de replantear el modelo actual de prioridades fiscalización, proponiendo otro que abarque de mejor manera la problemática de las Cortas no Autorizadas de bosque Nativo, entregando una dirección más adecuada en la que deberían difundir las actividades de fiscalización realizadas por CONAF, modificando las variables que se vean involucradas en el sistema de fiscalización actual, intentando de obtener una medida lo más consistente posible a través de un método de Evaluación Multicriterio adecuado para dicho objetivo, siendo replicado para los distintos contextos regionales a lo largo de Chile.

En virtud de lo anterior, la presente Memoria de Título tiene por objetivo general proponer una metodología para la determinación de Áreas Prioritarias de Fiscalización en el contexto de aplicación de la Ley de Fomento Forestal y Recuperación del Bosque Nativo (Ley 20.283), presentando como caso de estudio la Región del Maule.

Los objetivos específicos son:

- a) Identificar y proponer variables que permitan priorizar y optimizar la asignación de recursos para la fiscalización forestal en la zona de estudio.
- b) Generar una cobertura georeferenciada que identifique las zonas de interés para el ámbito de la fiscalización forestal, catalogadas según grado de importancia.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

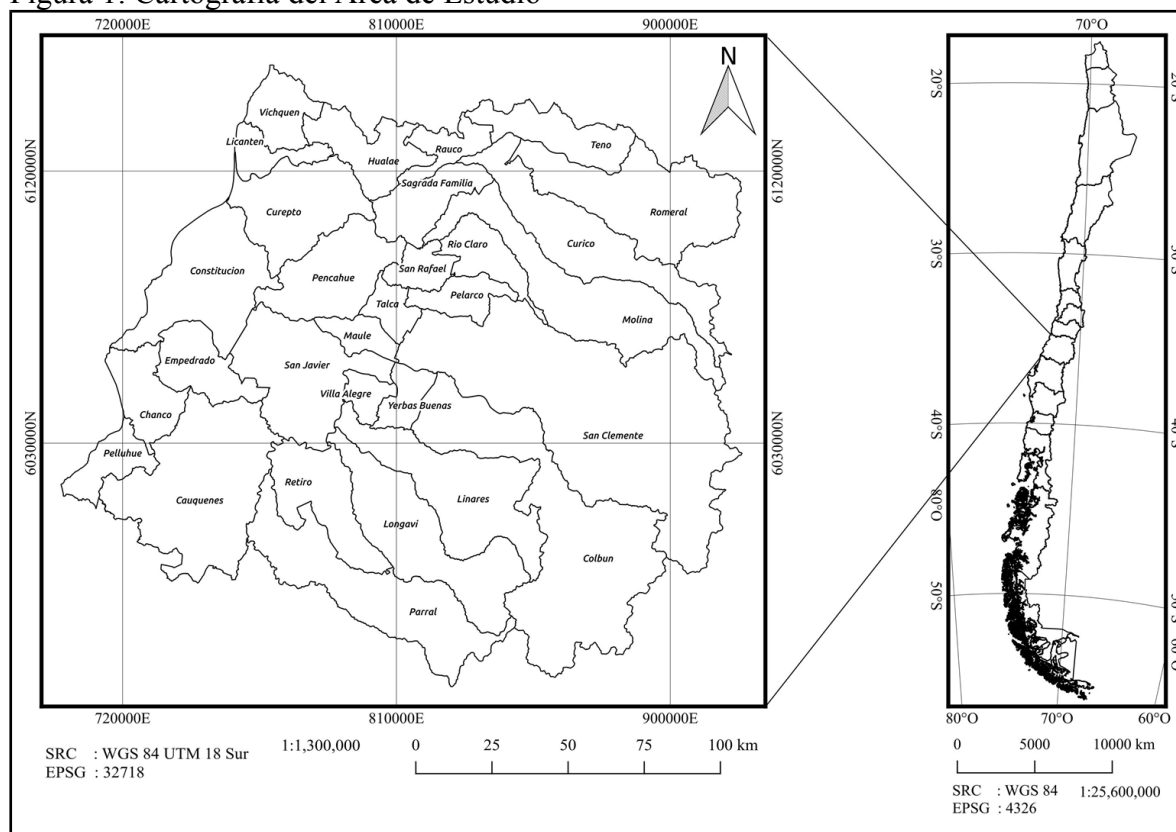
### 2.1. Materiales

Los materiales utilizados para el desarrollo de la memoria de título se pueden clasificar en los siguientes elementos: el Área de estudio, Coberturas del Área de estudio, Información no espacial de instituciones públicas, Software y Sistema de Información Geográfica

#### 2.1.1. Área de Estudio

Este estudio comprende la zona de la Región del Maule, ubicada en la zona central de Chile continental. La región está compuesta por 30 comunas (Figura1), y posee una superficie total de 3044 Km<sup>2</sup>. Según el Catastro de Bosque Nativo proporcionado por CONAF la Región del Maule cuenta con seis tipos: Ciprés de la Cordillera (89,11 Km<sup>2</sup>), Esclerófilo (511,45 Km<sup>2</sup>), Lengua (86,97 Km<sup>2</sup>), Roble-Raulí-Coigüe (1536,79 Km<sup>2</sup>), Roble-Hualo (1622,42 Km<sup>2</sup>), Siempreverde (7,59 Km<sup>2</sup>). Con relación a las Áreas Protegidas, la región cuenta con un Parque Nacional y seis Reservas Nacionales, las cuales son: Parque Nacional Radal Siete Tazas, Reserva Nacional Laguna Torca, Reserva Nacional Altos de Lircay, Reserva Nacional Los Ruiles, Reserva Nacional Federico Albert, Reserva Nacional Los Queules, Reserva Nacional Los Bellotos del Melado.

Figura 1: Cartografía del Área de Estudio



Se determinó trabajar a una escala regional en virtud de que las oficinas de fiscalización donde se toman las determinaciones sobre la asignación de recursos para la detección de



Cortas no Autorizadas trabajan a nivel regional, de esta forma la metodología sería más adecuada para una posterior implementación.

### **2.1.2. Coberturas del Área de estudio**

Las capas de información geográfica del catastro de bosque nativo de la Región del Maule, cuerpos de agua e hidrografía, reservas de la biósfera y áreas pertenecientes al SNASPE, se obtuvieron del Sistema de Información Territorial (SIT), de CONAF. Adicionalmente se obtuvieron capas de información geográfica de Comunas de Chile, Inventario de Humedales, Sitios Ramsar, Sitios Prioritarios para la Conservación, Áreas Silvestres Privadas, Parques Marinos, Grado de Erosividad, Grado de Erodabilidad y Grado de Desertificación de la Infraestructura de Datos Espaciales de Chile (IDE Chile), a cargo del Ministerio de Bienes Nacionales. Además, se obtuvo de la plataforma Open Street Maps la red caminera de Chile. De la infraestructura de datos espaciales del Ministerio de Obras Públicas se obtuvo la capa de glaciares de la zona de la región del Maule. También se obtuvo del Laboratorio de Geomática y Ecología del Paisaje (GEP) de la Universidad de Chile la capa ráster Land Cover de Chile Continental.

### **2.1.3. Información no espacial de instituciones públicas**

Se solicitó a CONAF la ubicación de Cortas no Autorizadas (CNA) detectadas en la Región del Maule en el quinquenio entre el año 2011 y 2015, entregando una planilla la cual contenía 401 registros de Cortas no Autorizadas de la región del Maule, de los cuales se descartaron los datos relacionados con cortas no autorizadas en plantaciones forestales de especies exóticas (*Pinus radiata* D Don.) y ubicaciones de lugares que no daban cuenta de la ubicación de la corta fiscalizada (entradas de predios, caminos de referencia, cercos, entre otros) dejando 219 registros en total. Además, se solicitó a CONAF la cantidad a nivel comunal de Planes de Manejo Forestal y Normas de Corta en el mismo periodo para la Región del Maule con un total de 584. Ambas fuentes de información se hicieron llegar en una hoja de cálculo en formato xls para el desarrollo de este estudio.

Se utilizó también la información a nivel poblacional de Índice de Desarrollo Humano (IDH), proporcionado por el Instituto de Desarrollo Humano (INE) facilitado a través del documento “Trayectoria del Desarrollo Humano en las Comunas de Chile (1994-2003)”, realizado en conjunto del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Ministerio de Planificación y Cooperación (MIDEPLAN).

### **2.1.4. Software y Sistema de información geográfica**

Se utilizó el sistema de información de geográfica Quantum GIS (QGIS) en su versión 2.14. Software de Licencia Pública General GNU (GPL) que permite la descarga del módulo de trabajo “Easy AHP”, con el cual se realizaron los análisis de jerarquías analíticas, entregando los pesos de asociados a cada variable e índice de consistencia pertinente. Además, se usó el software “Fragstats” para hacer análisis de fragmentación de parches de bosque nativo a nivel de paisaje en área y forma.

Por otro lado, se utilizó el software LibreOffice Writer para la redacción del documento y LibreOffice Calc para el cálculo de aporte matemático de cada una de las variables independientes en el modelo, análisis de consistencias, sumas acumuladas de Cortas no Autorizadas detectadas en un área determinada y la elaboración de gráficos explicativos. Adicionalmente se utilizó el Software estadístico R, para la elaboración de Histogramas de las imágenes ráster generadas durante el procedimiento, utilizando los paquetes “raster” y “sp”.

## 2.2. Método

Existen variadas metodologías para realizar una Evaluación Multicriterio, que pueden ser utilizadas en función de las necesidades y posibilidades del usuario. En términos generales, la forma más correcta y lógica de aplicación de la EMC en un SIG se estructura en el siguiente proceso (Gómez y Barredo, 2005d):

- a) Definición del problema: Existe un estado actual y un estado deseado y la diferencia entre los dos se formula como un problema de decisión.
- b) Búsqueda de alternativas y selección de criterios: Se plantean las posibles alternativas o potenciales soluciones al problema (en un caso de planificación, el territorio potencial donde desarrollar la actividad propuesta) y se establecen los criterios mediante los cuales se evaluarán dichas alternativas.
- c) Evaluación de las alternativas: Se calcula el nivel de adecuación e impacto de cada alternativa en función de los criterios establecidos.
- d) Selección de alternativas: Una vez realizado el cálculo anterior, se ordenan las alternativas de la más deseable a la menos deseable y se realiza la selección final.
- e) Análisis de sensibilidad: En principio el usuario no debería considerar el resultado final propuesto en una primera instancia, puesto que el proceso se basa en asignaciones subjetivas, por lo que se debería realizar modificaciones sobre los componentes del modelo para comprobar cómo es de estable el proceso y en qué medida estas modificaciones alteran el resultado final.

El procedimiento antes descrito puede variar en términos de las características intrínsecas de un método de Evaluación Multicriterio, como lo métodos que cuentan mecanismos de autovalidación.

Dentro de las metodologías más importantes destacan la suma lineal ponderada, donde simplemente mediante algún consenso entre expertos se determinan la importancia relativa entre cada uno de los factores, para luego aplicarlo mediante ponderación a las alternativas de los factores en estudio. Para aplicar este método existen muchas técnicas como el método Delphi, o métodos estadísticos que minimicen las variaciones entre los juicios numéricos. Estos métodos suelen ser muy engorrosos en términos de la gran cantidad de reuniones para determinar los pesos, por lo que logísticamente se vuelve poco viable para este estudio (Santé y Crecente, 2005).

Otra técnica muy utilizada es el Análisis del Punto Ideal (API) que busca determinar un modelo que minimice la distancia lineal desde un estado actual del territorio hacia un punto que se define como una situación ideal a considerar inalcanzable, por lo que el grado de importancia de cada alternativa estaría dado en función de la distancia entre la situación ideal y la actual; a modo de ejemplo, se podría determinar que una situación ideal como un área basal ideal de un rodal de algún tipo forestal a definir, donde todos los rodales del mismo tipo forestal que se encuentren en una situación más cercana a esa área basal ideal tendrían una mayor importancia sobre el resto. Este método pudiera ser aplicado si se tuviera al alcance información suficientemente precisa, tanto en los puntos ideales como actuales o los recursos para determinarlos (Santé y Crecente, 2005).

Para el desarrollo de este estudio se utilizó el método de Jerarquías Analíticas de Saaty (JAS). Este método está basado en una comparación de jerarquía o importancia entre factores de una variable, calculando mediante un procedimiento algebraico el peso de cada factor y permitiendo determinar una medida de consistencia de los juicios numéricos emitidos, validando así el procedimiento realizado (Gómez y Barredo, 2005e).

### 2.2.1. Evaluación Multicriterio por Jerarquías Analíticas de Saaty (JAS)

Las Jerarquías Analíticas de Saaty (JAS), es un método de evaluación multicriterio que se ubica dentro de las técnicas compensatorias aditivas. “Determina la importancia relativa de los elementos de cada jerarquía a partir del método de comparación por pares” (Gómez y Barredo, 2005e). Esta comparación busca determinar a través de un método aritmético el peso que tendría un criterio en una sumatoria lineal ponderada. Este método de evaluación multicriterio se utiliza para variadas disciplinas como economía, salud, política, planificación urbana, entre otras. El método está basado en la descomposición de variables, juicio experto comparativo y síntesis de las prioridades del problema de decisión, lo cual presenta una ventaja por sobre otros métodos de evaluación multicriterio debido a que “permite subdividir un atributo complejo en un conjunto de atributos más sencillos y determinar cómo influyen cada uno de esos atributos individuales en el objetivo de la decisión” (Berumen y Llamazares, 2007).

$$R_i = \sum_{k=1}^{k=n} \beta_k \cdot r_{ik} \quad [1]$$

- $R_i$  = Puntuación total de la alternativa “i”.
- $r_{ik}$  = Valor de la alternativa “i” al interior del factor “k”
- $\beta_k$  = Peso del factor “k” obtenido mediante el método de jerarquías analíticas.

Se identificaron los criterios de decisión (factores y limitantes) los que están asociados a entidades geográficas, de modo tal que se puedan representar en forma de capas temáticas. Se buscó que los criterios fuesen según lo que la teoría de decisiones expresamente manifiesta para la evaluación multicriterio, siendo criterios (Malczewski, 2000):

- a) Completos: Que cubra todos los aspectos del problema.

- b) Operacionales: Significativos para el análisis. Que tengan una relación real con el problema que se busca resolver en el método.
- c) Descomponibles: De modo tal que permita simplificar el proceso.
- d) No redundantes: Las variables en estudio no deberían estar relacionadas en cada par de atributos.
- e) Mínimos: Usar la menor cantidad de variables posibles, de modo tal que se reduzca el proceso de recolección de datos.

Una vez determinados los criterios a utilizar se establecieron las jerarquías de las variables a través de una comparación por pares en una matriz cuadrada de criterios, donde se determinó el peso relativo que tiene cada criterio y sus componentes ( $A_{ij}$ ). Para ello, a través de una matriz de comparación por pares se valorizaron los factores dando un valor numérico entre 1 y 9, si se considera que la variable en análisis tiene mayor importancia con relación a la que es comparada, donde el valor 1 denotará una misma importancia y el valor 9 si la variable en análisis tuviese una importancia fuertemente superior con relación a la variable que es comparada. Por otro lado, si la variable en análisis tuviese una importancia relativa inferior con relación a la que es comparada, entonces se utilizan valores racionales para denotar su grado de menor importancia, desde 1/9 hasta 1, siendo 1 la expresión de una misma importancia entre variables y 1/9 si la variable de análisis es fuertemente menos importante que la variable con la que es comparada. Cabe mencionar que los valores del triángulo superior a la diagonal de la matriz con valor 1 serán los inversos multiplicativos a los de valores del triángulo inferior (Cuadro 1) (Berumen y Llamazares, 2007).

Cuadro 1: Matriz de comparación por pares para tres factores.

n=3	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Factor 1	1	1/A <sub>21</sub>	1/A <sub>31</sub>
Factor 2	A <sub>21</sub>	1	1/A <sub>32</sub>
Factor 3	A <sub>31</sub>	A <sub>32</sub>	1

Posteriormente se determinó el eigen vector o vector propio de la matriz, el cual representa el orden de prioridad de los factores. Para calcular el valor del eigen vector primero se deben normalizar los valores de los juicios realizados anteriormente, mediante la división entre cada valor de la matriz de comparación con la suma total de los valores de la columna donde este ubicado el valor a normalizar (Gómez y Barredo, 2005e).

$$N(A_{ij}) = \frac{A_{ij}}{\sum_{j=1}^n A_{ij}} \quad [2]$$

$N(A_{ij})$  = Valor normalizado del juicio en la matriz de criterios de la fila “i” en la columna “j”.

$A_{ij}$  = Valor del juicio en la matriz de criterios de la fila “i” en la columna “j”.

Posteriormente se sumaron las filas de valores normalizados, obteniendo el eigen vector principal (Gómez y Barredo, 2005e).

$$\text{Eigenvector principal} = \sum_{i=1}^{i=n} N(A_{ij}) \quad [3]$$

$N(A_{ij})$  = Valor normalizado del juicio en la matriz de criterios de la fila “i” en la columna “j”.

Finalmente se normaliza el eigen vector principal dividiendo el resultado en la cantidad de criterios en la matriz como muestra la Expresión [4] (Gómez y Barredo, 2005e). Este último resultado se considera el valor del peso o ponderadores escalares de cada factor de las variables (Cuadro 2).

$$\text{Eigenvector principal normalizado} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N(A_{ij})}{n} \quad [4]$$

$N(A_{ij})$  = Valor normalizado del juicio en la matriz de criterios de la fila “i” en la columna “j”.

n = Número de factores de la matriz de comparación.

Cuadro 2: Matriz de comparación con valores normalizados y puntaje final de cada factor.

n=3	N (Factor 1)	N(Factor 2)	N(Factor 3)	Peso final
Factor 1	N(1)	N(1/A <sub>21</sub> )	N(1/A <sub>31</sub> )	$\sum N(A_{1i})/n = \beta_1$
Factor 2	N(A <sub>21</sub> )	N(1)	N(1/A <sub>32</sub> )	$\sum N(A_{2i})/n = \beta_2$
Factor 3	N(A <sub>31</sub> )	N(A <sub>32</sub> )	N(1)	$\sum N(A_{3i})/n = \beta_3$

Estos valores fueron los que finalmente se multiplicaron con el valor numérico de cada alternativa dentro del factor en estudio (valores del ráster). Como característica principal estos valores calculados deben entregar valores entre 0 y 1 y la suma total de todos los pesos calculados debe ser igual a 1 (Berumen y Llamazares, 2007).

Luego de calculados los juicios, se normalizaron los valores de capa ráster para ser ingresados en el modelo polinómico de jerarquías analíticas mediante el siguiente algoritmo en la calculadora ráster de QGIS:

$$\text{Valor Normalizado} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad [5]$$

$X_i$  = Valor de la variable.

$X_{\min}$  = Valor mínimo que toma la variable.

$X_{\max}$  = Valor máximo que toma la variable.

El método de normalización de datos expuesto en la Expresión [5] suele no respetar la proporcionalidad, debido a que realiza los valores extremos tomando valores 0 y 1, siendo que no siempre los valores extremos de la capa suelen ser los valores máximos dentro del universo de posibilidades (Barba-Romero y Pomerol, 1997). Pero si se examina la disyuntiva desde el punto de priorizar los valores de fiscalización, de modo que todas las variables se vean correctamente representadas en sus valores máximos y no sean absorbidas por la vecindad de celdas, estas presentarían la tendencia a compensar un valor alto por otro del entorno, debido a que se utiliza un método compensatorio para esta evaluación multicriterio. Entonces finalmente resultaría conveniente este efecto de la normalización para cumplir con el objetivo de optimizar los recursos enfocados a la fiscalización. De todos modos, esta problemática se zanja con la determinación de Prioridades por el método de priorización que se utilizó luego de obtener la capa final de Índice de Prioridades de Fiscalización.

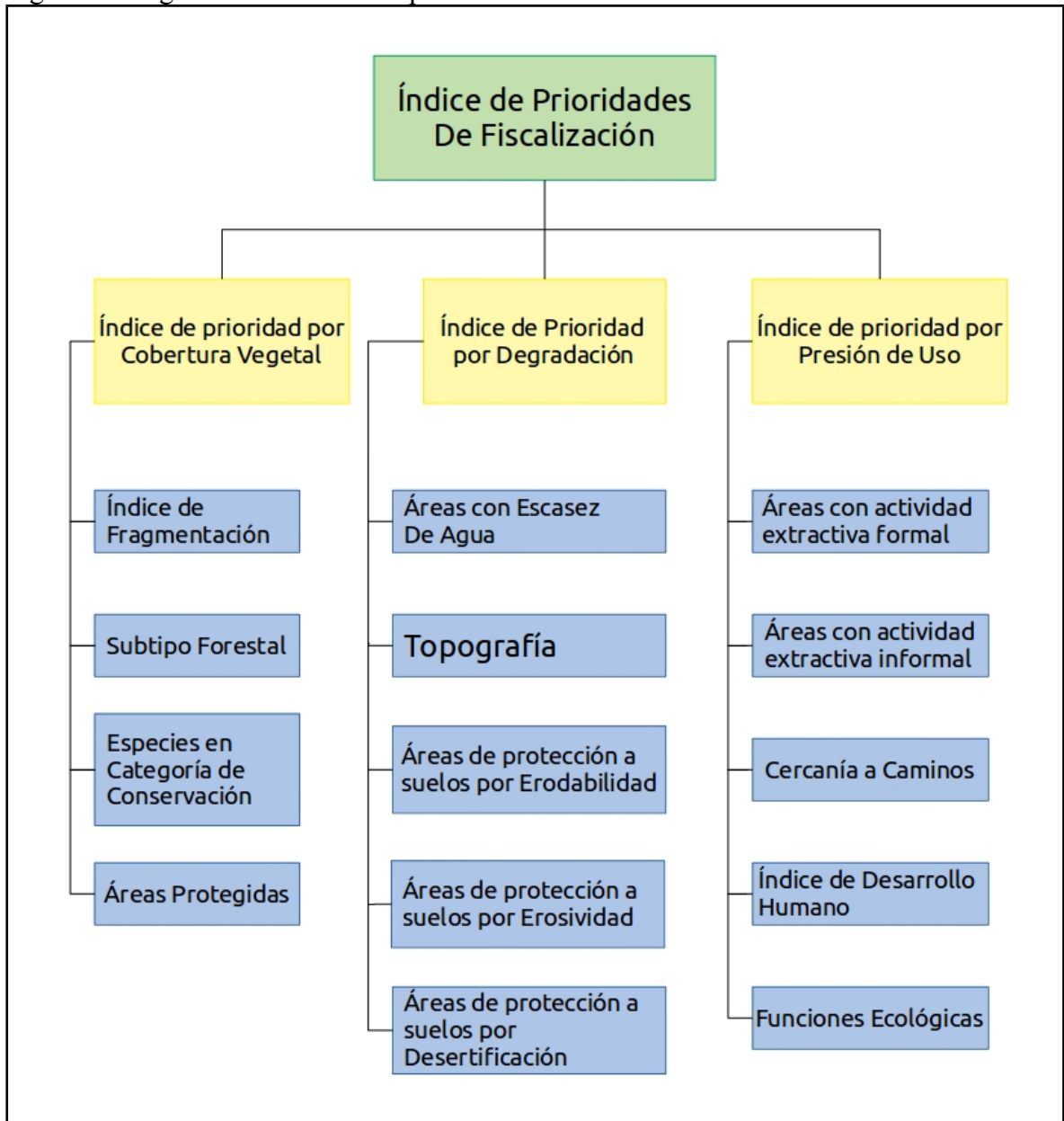
Finalmente, una vez normalizadas las capas y determinados los pesos de cada criterio, se procede a la suma ponderada de los criterios normalizados con los valores de los pesos calculados para cada criterio de cada variable.

#### **2.2.1.1. Variables Propuestas e Índice de Prioridades de Fiscalización (IPF)**

En reuniones con personeros del Departamento de Fiscalización Forestal de CONAF se concluyó que existen variables en la metodología que CONAF usó el año 2007 que se enfocan netamente en la ocupación territorial existente en las unidades geográficas, tales como el Índice de Prioridad Vegetacional y el Índice de Prioridad Posicional. No consideran aspectos de la situación medioambiental de la zona a fiscalizar, lo cual es necesario para tener una mayor consideración sobre la importancia a la hora de proteger una unidad geográfica por sobre otra. Por ejemplo, el grado de degradación que pueda presentar una unidad de bosque nativo o la fragilidad del paisaje por el avance de la desertificación, erosión, entre otras amenazas. Esto hace que las variables descritas en la metodología del año 2007 no sean completas, ya que no consideran los aspectos mencionados.

El modelo de determinación de áreas prioritarias de fiscalización propuesto consiste en una evaluación multicriterio, basado en el cálculo de la suma de tres variables propuestas (Expresión 6): Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal (IPCV), Índice de Prioridad por Degradación (IPD), Índice de Prioridad por Presión de Uso (IPPU). Cada una de estas variables estuvieron compuestas por factores que mediante un proceso interno de evaluación se lograron determinar sus ponderadores que permitieron obtener el Índice que alimenta al Índice de prioridades de Fiscalización de acuerdo con la metodología de la evaluación multicriterio de Jerarquías Analíticas de Saaty.

Figura 2: Diagrama de Modelo Propuesto de Prioridades de Fiscalización.



En la Figura 2, se puede observar la relación de dependencia que existe entre cada variable con los factores que la componen en su interior, en donde cada uno de estos factores (ubicados en la parte inferior del diagrama en color azul claro), formaron la capa de cada variable mediante la valuación multicriterio, las que a su vez alimentaron mediante un procedimiento de Evaluación Multicriterio a una variable superior, que corresponde al Índice de Prioridades de Fiscalización.

El método de Evaluación multicriterio utilizado en ambos niveles de trabajo fue el de Jerarquías Analíticas de Saaty, tanto para determinar las variables como para el Índice de Prioridades de Fiscalización. Este método determinó el peso de cada uno de los factores para posteriormente realizar la suma ponderada entre la capa y el peso específico calculado.

Los pesos específicos calculados no pueden tener una suma superior o inferior a 1, ya que representa una mayor o menor importancia relativa de cada una de las capas en comparación a las otras (Malczewski, 2000). Previamente a realizar la sumatoria lineal ponderada, se normalizaron las capas para que también tengan valores entre 0 y 1, para así asegurar que la sumatoria ponderada entre los pesos específicos y las capas no tengan un valor superior a 1. En consecuencia, cada capa obtuvo un valor máximo que fue dado por el peso específico calculado para cada elemento de análisis (Cuadro 3).

Cuadro 3: Resumen de variables propuestas con el aporte matemático que tiene cada variable y sus factores.

Índice Final	Variable	Peso	Factores	Peso
Índice de Prioridad de Fiscalización	Índice de prioridad por cobertura vegetal	$\beta_{1j}$	Índice Fragmentación	$\beta_{11}$
			Subtipo forestal	$\beta_{12}$
			Especies vegetales en categoría de conservación	$\beta_{13}$
			Zonas aledañas a áreas protegidas	$\beta_{14}$
	Índice de prioridad por degradación	$\beta_{2j}$	Áreas de escasez de agua	$\beta_{21}$
			Topografía	$\beta_{22}$
			Áreas de protección por Erodabilidad	$\beta_{23}$
			Áreas de protección por Erosividad	$\beta_{24}$
			Áreas de protección por Desertificación	$\beta_{25}$
	Índice de prioridad por presión de uso	$\beta_{3j}$	Áreas con actividad extractiva formal	$\beta_{31}$
			Áreas con actividad extractiva informal	$\beta_{32}$
			Cercanía a caminos públicos y rurales	$\beta_{33}$
			Índice de Desarrollo Humano	$\beta_{34}$
			Función Ecológica	$\beta_{35}$

En síntesis se puede afirmar que las variables e índices del modelo de prioridades se distribuyeron de forma tal que en primer lugar se determinaron los parámetros que se relacionan con los bienes que el modelo de prioridades busca proteger (Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal), posteriormente se buscó modelar efectos en el medio ambiente que son externos a la vegetación que se ven acentuados por las Cortas no Autorizadas (Índice de Prioridad por Degradación), y finalmente modeló la presión que ejerce la demanda antrópica sobre el recurso forestal (Índice de Prioridad por Presión de Uso).

Para calcular el Índice de Prioridades de Fiscalización se ingresaron las medidas de jerarquización al módulo de trabajo de QGIS “Easy AHP”, donde se calcularon los vectores principales de cada factor y posterior a ello el vector propio máximo de la matriz de medidas de consistencia de los juicios de valor, resultando el modelo de prioridades de fiscalización que muestra la siguiente expresión:

$$IPF = \beta_{1j} \cdot IPCV + \beta_{2j} \cdot IPD + \beta_{3j} \cdot IPPU \quad [6]$$

- IPF = Índice de prioridad de fiscalización.
- IPCV = Índice de prioridad por cobertura vegetal.
- IPD = Índice de prioridad por degradación.
- IPPU = Índice de prioridad por presión de uso.



$\beta_{1j}, \beta_{2j}, \beta_{3j}$  = Ponderadores escalares calculados por el método de JAS.

### 2.2.1.2. Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal (IPCV)

El cálculo de esta variable general estará definido por la suma de los pesos que se le asigne a cada una de sus variables específicas como muestra la siguiente expresión:

$$\text{IPCV} = \beta_{11} \cdot \text{IF} + \beta_{12} \cdot \text{SF} + \beta_{13} \cdot \text{ECC} + \beta_{14} \cdot \text{AP} \quad [7]$$

IPCV = Índice de prioridad por cobertura vegetal.

IF = Índice Fragmentación.

SF = Subtipo forestal.

ECC = Especies vegetales en categoría de conservación.

AP = Zonas aledañas a áreas protegidas.

$\beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{14}$  = Ponderadores escalares calculados por el método de JAS.

**Índice Fragmentación (IF):** Una de las características más importantes de los bosques es la resiliencia, o la capacidad del bosque de recuperarse tras fenómenos importantes de perturbación. Pero cuando los bosques se ven sometidos a constantes y prolongados procesos de perturbación suelen caer en puntos sin retorno, o puntos donde el ecosistema pierde su resiliencia, más conocidos como puntos de inflexión (Thomson, 2011). Uno de estos procesos a nivel de paisaje se denomina Fragmentación Forestal, y se define como: “Un proceso en virtud del cual el bosque continuo termina abriéndose debido a las múltiples perturbaciones que lo han afectado” (Thomson, 2011). En general un bosque puede tolerar un cierto grado de merma de continuidad espacial y mantener sus especies y funciones, pero un mayor nivel de fragmentación puede llevar a un punto de inflexión que conlleva la pérdida de biodiversidad, funcionalidad y una menor producción de bienes y servicios del bosque (Thomson, 2011).

Para determinar este índice primeramente se realizó una acotación de la información proporcionada por LandCover, dejando solo la cobertura que se circunscribe a la Región del Maule. Para ello se usó la herramienta “Clipper” del módulo “SEXTANTE” inserto en QGIS, en donde se ingresaron como parámetros la capa continental de “Landcover” y la capa vectorial de límites comunales de la Región, entregando así el ráster de uso de suelo. Posteriormente con la herramienta “r.reclass” del módulo de “GRASS 7” inserto en QGIS se reclasificaron los códigos de usos de suelos asociados al bosque nativo:

Cuadro 4: Códigos de Coberturas de Suelo en LandCover.

Cobertura	Código
Bosque nativo de hoja ancha	210
Bosque nativo de hoja ancha Primario	211
Bosque nativo de hoja ancha Renoval	212
Bosque nativo de coníferas	220
Bosque nativo de coníferas Primario	221
Bosque nativo de coníferas Renoval	222
Matorrales	410
Matorrales arborescentes	420
Suculentas	430
Plantación de matorrales	440
Otros matorrales áridos	450

Fuente: Zhao et al., 2016.

A todos los códigos descritos en el Cuadro 4 se les asignó el valor 1, y los demás usos de suelo el valor 0. Posteriormente se modificó el tamaño del píxel de 30 metros a 40 metros, de modo tal que coincidiera con la definición de Bosque entregado por la Ley 20.283. Luego se utilizó Fragstat para calcular el índice de fragmentación SHAPE (Expresión 8), donde los valores mayores de cada parche fueron más prioritarios que los de valor inferior.

$$\text{SHAPE} = \frac{0,25 \cdot P}{\sqrt{A}} \quad [8]$$

P = Perímetro en metros del parche de Bosque Nativo.

A = Área en metros cuadrados del parche de Bosque Nativo.

Finalmente, se normalizaron los datos con la calculadora ráster usando el algoritmo de la expresión [5].

**Subtipo forestal (SF):** Los tipos y subtipos forestales, son formas sistemáticas de clasificación de los bosques según las especies que las componen, cobertura y ubicación. Esta variable refleja la prioridad del recurso bosque nativo en función de la abundancia relativa de los distintos subtipos forestales al área, concediendo mayor prioridad a aquellos subtipos forestales que se encuentran menos representados (CONAF, 2007b). Para lograr esto se utilizó la herramienta del módulo de SAGA inserto en QGIS “Polygondissolve (byattributes)” para disolver los polígonos del catastro de bosque nativo proporcionado por CONAF según su subtipo forestal. Posteriormente se calculó el área de cada figura y estimó su presencia relativa (PR) mediante el cociente entre el área de cada subtipo forestal y la suma total de las áreas de todos los tipos forestales de la Región del Maule menos 1 (expresión [9]). Finalmente, la capa se normalizó utilizando el algoritmo de la expresión [5].

$$\text{Presencia relativa inversa} = 1 - \frac{A_i}{\sum_{i=1}^{i=n} A_i} \quad [9]$$

A<sub>i</sub> = Área del tipo forestal “i” en la Región del Maule.

**Especies vegetales en categoría de conservación (EC):** Esta variable refleja la prioridad del recurso dependiendo si el parche de bosque está dominado por una especie vegetal en categoría de conservación. La mayor prioridad estará dada por la sola presencia de alguna de estas especies. Esta variable está reflejada en un puntaje dado según la importancia que genera la categoría de conservación dada por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2010).

- a) Extintas: son las especies que en exhaustivas prospecciones realizadas en sus hábitats conocidos o esperados, efectuadas en las oportunidades apropiadas y en su área de distribución histórica no se hayan detectado algún individuo en estado silvestre. Tampoco subsisten en cautiverio o cultivos.
- b) Extintas en el estado silvestre: Son aquellas especies que solo sobreviven en cultivos, en cautiverio o como población (es) naturalizadas completamente fuera de su hábitat conocido o esperado, efectuadas en el momento apropiadas.
- c) En Peligro Crítico: Son aquellas que cumplen los criterios técnicos proporcionados por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) para estar en Peligro Crítico. Esto significa que la probabilidad de que desaparezca a corto plazo es muy alta.
- d) En Peligro: Se considera que una especie está en peligro cuando no pudiendo ser clasificada como “En Peligro Crítico” enfrenta un riesgo muy alto de extinción, es decir que la probabilidad de que la especie desaparezca al mediano plazo es alta. Los parámetros técnicos para determinar esta categoría de conservación fueron establecidos por la UICN.
- e) Vulnerable: Es una especie vulnerable cuando no pudiendo ser clasificada como en peligro la mejor evidencia disponible indica que cumple con los criterios establecidos por la UINC para tal categoría y por consiguiente se considera que está enfrentando un riesgo algo de extinción en estado silvestre.
- f) Casi amenazada: Es una especie que siendo evaluada no cumple los requisitos para ser considerada en peligro crítico, en peligro o vulnerable; pero está próximo a satisfacer los criterios de estos últimos o posiblemente los satisfaga en un futuro cercano.
- g) Preocupación menor: Son las especies que habiendo sido evaluados no cumple con ninguno de los criterios que las definen en Peligro crítico, en Peligro, Vulnerable o Casi amenazada. Se incluyen en esta categoría especies abundantes y ampliamente distribuidas, y que por lo tanto pueden ser identificadas como de preocupación menor.
- h) Datos deficientes: En estricto rigor no corresponde a una categoría de conservación, se les aplica a las especies que no pueden ser clasificadas en alguna categoría de conservación por falta de datos o información.

Estas categorías se valorizan utilizando un método no compensatorio lexicográfico, jerarquizando en grado de prioridad de mayor a menor gravedad como lo muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 5: Puntaje asignado para valorizar las categorías de conservación.

Categoría de conservación	Puntaje
Datos deficientes	1
Preocupación menor	2
Casi amenazada	3
Vulnerable	4
En Peligro	5
En Peligro Crítico	6
Extinta en Estado Silvestre	7
Extinta	8

La asignación de este puntaje consideró al polígono de bosque nativo prioritario independientemente de si se encuentra dominado por especies nativas dentro de alguna categoría de conservación, esto es debido a que el objetivo principal del estudio es la priorización del bosque nativo por sobre otras coberturas de ocupación territorial, iniciando así la asignación de puntajes desde el valor uno en adelante (Cuadro 5), reservando el valor cero para las coberturas sin bosque nativo. Posteriormente estos valores se normalizaron utilizando el algoritmo de la expresión [5]. Finalmente, se rasterizó con la herramienta de GDAL “Rasterize (Vector to raster)” inserto en QGIS, tomando como valor la columna de atributos con los puntajes normalizados.

**Áreas Protegidas (AP):** Esta variable buscó dar prioridad de fiscalización a la cobertura vegetal que se encuentra aledaña a áreas protegidas por legislación nacional y acuerdos internacionales. Las áreas protegidas son las formas más comunes de conservación *in situ* (MMA, 2011). En relación con esto el Artículo 2° del Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (CBD, por sus siglas en inglés), define por “conservación *in situ*”, a “la conservación de los ecosistemas y los distintos hábitats naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y, en el caso de las especies domesticadas y cultivadas, en los entornos en que hayan desarrollado sus propiedades específicas” (ONU, 1992). El entorno inmediato al límite de las áreas protegidas es una zona desprovista de vigilancia, a diferencia del interior que está permanentemente siendo resguardada por el personal de la institución a cargo.

Se asume que independientemente de la clasificación de las áreas protegidas, se trabajaron de manera equivalente dentro de la región. Es entonces que las áreas protegidas a considerar prioritarias son las siguientes:

- Áreas aledañas al SNASPE.
- Áreas aledañas a monumentos nacionales.
- Área aledaña a protección especial (sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad, reservas de la biósfera, sitios Ramsar y otros humedales).

Adicionalmente se agregaron las zonas de protección que figuran en el Artículo 17 de la Ley 20.283: Las zonas de protección a 500 metros planos de los glaciares que figuran en el Inventario de Glaciares de la Dirección General de Aguas (DGA) y las zonas de protección

de los recursos hídricos descritos en la ley 20.283. En el Artículo segundo el Reglamento de Suelos, Agua y Humedales de la mencionada Ley se define Cauce como “el 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”; y los Cuerpos de Agua como los “Lagos y lagunas naturales, delimitados por el nivel máximo que alcanzan las agua” (Chile, 2008). En el mismo Artículo del reglamento definen a las áreas de protección para los recursos hídricos como:

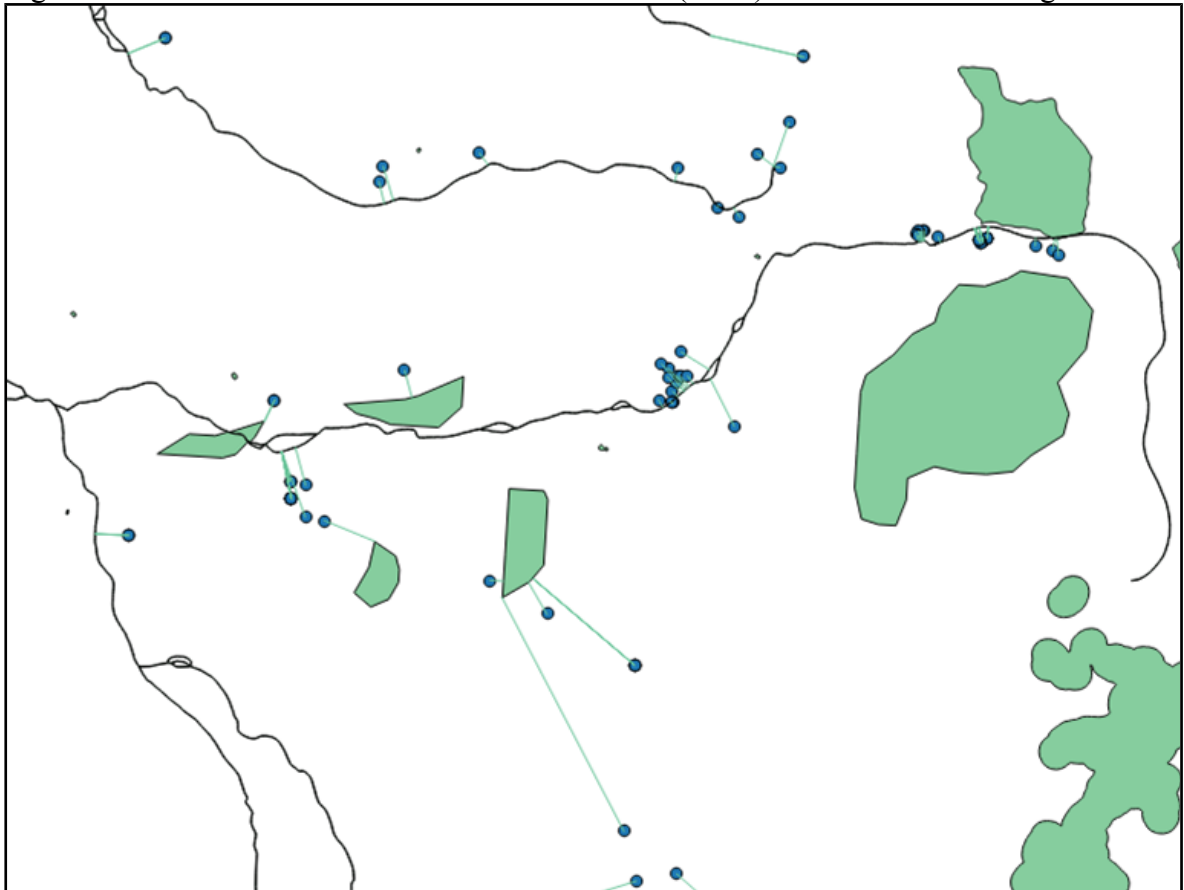
- Zonas de protección de exclusión de intervención: “Corresponde a los 5 metros aledaños a ambos lados de cursos naturales de agua, cuya sección de cauce delimitada por la marca evidente de la crecida regular es superior a 0,2 metros cuadrado e inferior a 0,5 metros cuadrados. Tratándose de manantiales y cuerpos naturales de agua, esta zona tendrá un ancho de 10 metros. En cursos de naturales de agua de sección de cauce mayor a 0,5 metros cuadrados, el ancho de esta zona se define en 10 metros a ambos lados de este. Las distancias indicadas 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 estos” (Chile, 2008).
- Zonas de protección de manejo limitado: “Corresponden al área contigua a la zona de exclusión de intervención del 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 indicadas se miden en proyección horizontal en el plano desde el borde de la zona de exclusión y perpendicular a su eje” (Chile, 2008).

Para calcular esta zona de protección se utilizó la herramienta “Buffer” del módulo “SEXTANTE” de la caja de herramientas de QGIS a 20 metros de los cursos y cuerpos de agua; y a 500 metros de los glaciares. Posteriormente se juntaron espacialmente las capas resultantes del Buffer con las capas de las áreas protegidas, con la herramienta “Union” -también inserta en el módulo de “SEXTANTE” de la caja de herramientas de QGIS.

Una vez obtenidas las capas de áreas protegidas se procedió a calcular las distancias en las que se ubica cada Corta No Autorizada (CNA) hasta el límite del área protegida, con el fin de determinar una zona en torno a las áreas protegidas donde se ubiquen la mayoría de las cortas a fiscalizar. Para ello fue necesario adaptar el uso de la herramienta de “SEXTANTE”: “Distancia al eje más próximo”. Esta herramienta permite determinar la menor distancia de una capa de puntos de origen hacia una capa de puntos de destino, calculando su distancia en línea recta y en metros planos, entregando un archivo shape con el nombre del punto de origen, la distancia y el nombre del punto más cercano. Para hacer uso de la herramienta “Distancia al eje más próximo” se debe convertir el formato de la capa vectorial de polígonos a puntos, pasando antes por el formato vectorial de líneas con la herramienta “Convert polygons to lines” y posteriormente a puntos cada 5 metros al interior de la línea resultante con la herramienta “Convert lines to point”, ambas herramientas pertenecen al módulo de SAGA inserto en la caja de herramientas de QGIS. A esta capa resultante se le quitaron atributos innecesarios para el análisis con el fin que el proceso sea lo más expedito posible, y solo se dejó con un identificador para cada punto, obtenido mediante el algoritmo “\$id” en la calculadora de campos de la tabla de atributos. Luego se

ingresaron las capas de puntos de Cortas no Autorizadas y de puntos de Áreas Protegidas a la herramienta, y se solicitó que entregue una capa vectorial de líneas. Para corroborar la distancia entregada por la herramienta a la medición se insertó en las tablas de atributo una columna que recalcula el largo de la línea obtenida mediante el algoritmo “\$length”.

Figura 3: Distancia desde las Cortas no Autorizadas (CNA) hasta las Áreas Protegidas.



En la Figura 3, los puntos representan la ubicación de las CNA y los polígonos la capa de AP en formato poligonal y las líneas la distancia mínima entre las capas antes mencionadas. Luego se calculó la desviación estándar de las distancias obtenidas, la cual se utilizó como unidad de medida que permitió determinar el radio que abarque en su interior la mayor cantidad de Cortas no Autorizadas detectadas en las zonas aledañas a las Áreas Protegidas. Para ello se utilizó la herramienta del módulo de GRASS inserto en QGIS “v.buffer.distance”, con la que se calculó una zona a un radio del valor de la desviación estándar antes mencionada, luego otra zona con el doble del valor de la desviación estándar, luego con el triple del valor de la desviación estándar y finalmente con el cuádruple del valor de la desviación estándar. Luego con la herramienta del módulo de SEXTANTE en QGIS “Contar puntos en polígono” se observó cómo incrementaron los valores de las cortas insertas en zonas aledañas de las áreas protegidas. Eligiendo zonas de influencia final a la zona donde el incremento tenía un punto de inflexión y los incrementos posteriores a este punto fueron marginales con relación a los demás.

Luego de determinar el “buffer óptimo” de acaparamiento de Cortas no Autorizadas detectadas, se ingresó a la tabla de atributos el valor de 1 al polígono resultante, para posteriormente unirlo con la capa del límite de la Región del Maule. A la capa resultante se eliminaron los polígonos que se encontraban fuera del límite regional. Finalmente se transformó la capa final de polígono a ráster. En este caso no fue necesario normalizar la capa, debido a que los valores de las celdas no se vieron afectados por el algoritmo.

### 2.2.1.3. Índice de Prioridad por Degradación (IPD)

Esta variable busca concentrar los factores que influyen en el deterioro de áreas que están en constantes procesos de degradación, ya sea por causas antrópicas o naturales, afectando los valores que busca proteger la Ley. El cálculo de esta variable está dado por la suma de los pesos que se le asigne a cada una de las variables específicas componentes de la variable general y no debe exceder el peso total dado, como muestra la siguiente expresión:

$$IPD = \beta_{21} \cdot AEA + \beta_{22} \cdot T + \beta_{23} \cdot AER + \beta_{24} \cdot AES + \beta_{25} \cdot APD \quad [10]$$

IPD	= Índice de Prioridad por Inminente Degradación.
AEA	= Áreas de escasez de agua.
T	= Topografía.
AER	= Áreas de protección a suelos por erodabilidad.
AES	= Áreas de protección a suelos por erosividad.
APD	= Áreas de protección a suelos por desertificación.
$\beta_{21}, \beta_{22}, \beta_{23}, \beta_{24}, \beta_{25}$	= Ponderadores escalares calculados por el método de JAS.

**Áreas decretadas de Escasez de agua por la Dirección General de Aguas (AEA):** Este factor busca priorizar la fiscalización de Cortas no Autorizadas en las comunas declaradas de escasez de agua por la Dirección General de Aguas a través Ministerio de Obras Públicas por medio de un Decreto Supremo. Según Oyarzún (2005), “Bajo un escenario de cambio climático global, el abastecimiento de agua en cantidad y calidad se convierte en una de las principales funciones ecosistémicas de los bosques”.

**Topografía (T):** Este factor se propuso para proteger las zonas que tengan una pendiente predominante del terreno igual o superior al 60%. Según la ley vigente se prohíbe la corta de bosque nativo ubicado en zonas con pendientes superiores al 60% en una distancia mayor a 30 metros (CONAF, 2007c).

**Áreas de protección a suelos por Erodabilidad (APEd):** Esta variable priorizó la fiscalización a las zonas donde el recurso forestal está inserto en zonas donde presenta un grado de erodabilidad: Moderado, alto o muy alto. Estos parámetros se evaluaron utilizando un método no compensatorio, como muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 6: Puntajes asignados para valorar el nivel de Erodabilidad.

Nivel de Erodabilidad	Puntaje asignado
Muy Bajo	1
Bajo	2
Moderado	3
Alto	4
Muy Alto	5

Mediante la tabla de atributos se seleccionaron los atributos del nivel de erodabilidad, y con la Calculadora de campos se asignó el valor según muestra el Cuadro 6. Luego estos valores se normalizaron utilizando el algoritmo de la expresión [5]. Finalmente, se rasterizó con la herramienta de GDAL “Rasterize (Vector to raster)”.

**Áreas de protección de suelos por Erosividad (APEs):** Esta variable busca priorizar la fiscalización del recurso forestal cuando este se encuentra inserto en zonas donde se presenta algún grado de erosividad; moderado, alto o muy alto. Estos parámetros se evaluaron utilizando un método no compensatorio, como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 7: Puntajes asignado para valorar el nivel de Erosividad.

Nivel de Erosividad	Puntaje Asignado
Muy Bajo	1
Bajo	2
Moderado	3
Alto	4
Muy Alto	5

Mediante la tabla de atributos se seleccionaron los atributos del nivel de erosividad, y con la calculadora de campos se asignó el valor según muestra el Cuadro 6. Luego estos valores se normalizaron utilizando el algoritmo de la expresión [5] y finalmente se rasterizó con la herramienta de GDAL “Rasterize (Vector to raster)”.

**Áreas de Protección de suelos por desertificación (APD):** Esta variable priorizó la fiscalización a las zonas donde el recurso forestal está inserto en zonas donde presentan un grado de desertificación: No afectada, Leve, Moderada o Grave. Estos parámetros se evaluaron utilizando un método no compensatorio, como muestra el Cuadro 7:

Cuadro 8: Puntajes asignado para valorar el nivel de Desertificación.

Nivel de Desertificación	Puntaje Asignado
No Afectada	0
Leve	1
Moderado	2
Grave	3

**Áreas decretadas de escasez de agua (AEA):** El Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección General de Aguas tiene un registro de las comunas declaradas de escasez de agua mediante un decreto supremo. Según Oyarzún (2005): “Bajo un escenario de cambio



climático global, el abastecimiento de agua en cantidad y calidad se convierte en una de las principales funciones ecosistémicas de los bosques”. Se propone ponderar la prioridad de fiscalización a las comunas declaradas como zonas de escasez de agua.

#### 2.2.1.4. Índice de Prioridad por Presión de Uso (IPPU)

Este índice valorizó las áreas considerando variables que se relacionan con la presión antrópica sobre el recurso forestal, afectando su natural desarrollo o uso sustentable. El cálculo de esta variable está dado por la suma de los pesos que se le asigne a cada uno de los factores específicos, como parte de las componentes de la variable general, como muestra la siguiente expresión:

$$IPPU = \beta_{31} \cdot AEF + \beta_{32} \cdot AEI + \beta_{33} \cdot CC + \beta_{34} \cdot IDH + \beta_{35} \cdot FE \quad [11]$$

IPPU	= Índice de prioridad por presión de uso.
AEf	= Áreas con actividad extractiva formal.
AEi	= Áreas con actividad extractiva informal.
CC	= Cercanía a caminos públicos y rurales.
IDH	= Índice de Desarrollo Humano.
FE	= Función Ecológica.
$\beta_{31}, \beta_{32}, \beta_{33}, \beta_{34}, \beta_{35}$	= Ponderadores escalares calculados por el método de JAS.

**Áreas con alta actividad extractiva formal (AEf):** La presión sobre el recurso forestal, se estimó en función del número de Solicitudes de Planes de Manejo de Bosque Nativo, aprobadas por CONAF en cada comuna al interior de la región del Maule. Mediante la tabla de atributos se seleccionaron los nombres de las comunas, y utilizando la calculadora de campos se asignó el valor del número correspondiente de planes de manejo de bosque nativo aceptados por CONAF. Posteriormente, estos valores se normalizaron utilizando el algoritmo de la expresión [5]. Finalmente, se rasterizó con la herramienta de GDAL “Rasterize (Vector to raster)”.

**Áreas con alta actividad extractiva informal (AEi):** Esta presión sobre el recurso forestal se determinó en función al número de Cortas no Autorizadas detectadas por CONAF al interior de cada comuna de la Región del Maule. La información proporcionada por CONAF consta de las coordenadas de las ubicaciones de las Cortas no Autorizadas. Estas se cargaron al SIG y utilizando la herramienta de SEXTANTE “Contar puntos en polígono” inserta en QGIS se obtuvieron la cantidad de Cortas no Autorizadas por comuna. Luego estos valores se normalizaron utilizando el algoritmo de la expresión [5]. Finalmente, se rasterizó con la herramienta de GDAL “Rasterize (Vector to raster)”.

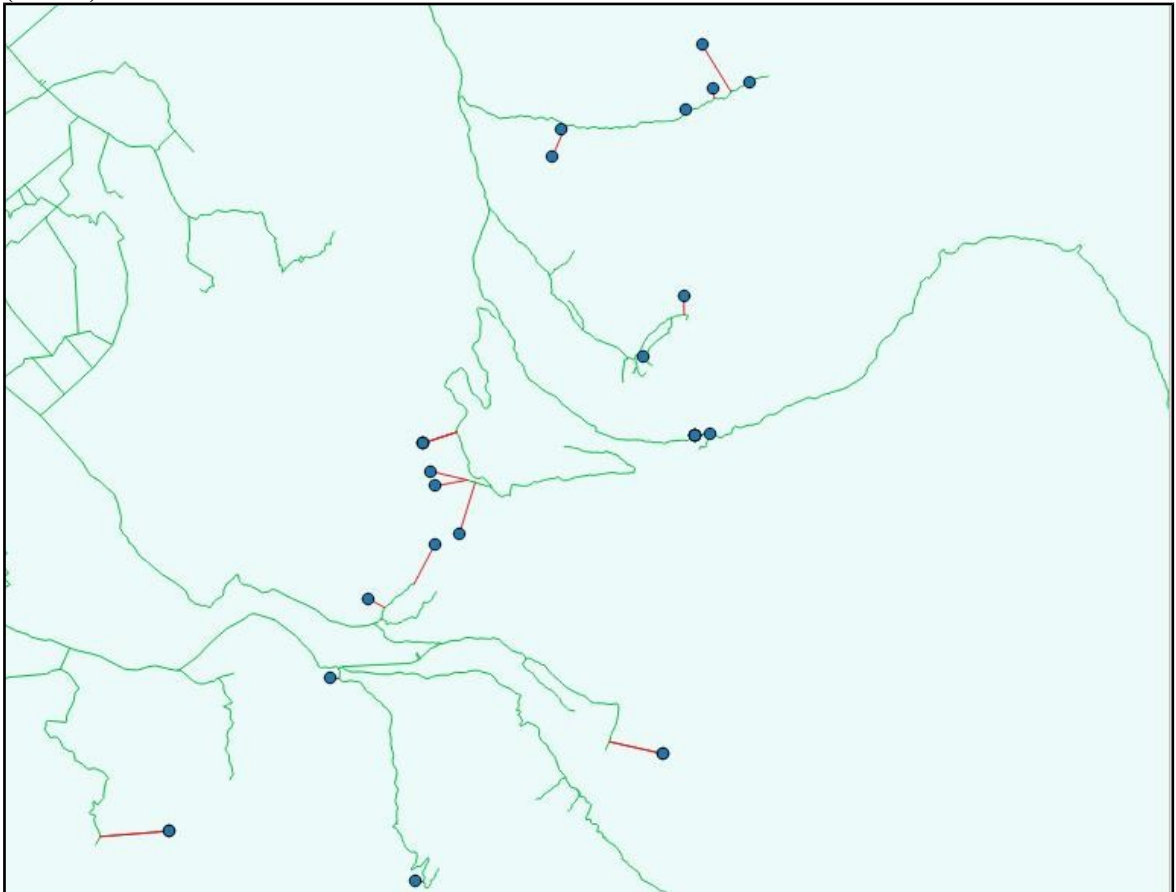
**Cercanía a caminos públicos y rurales (CC):** Esta variable refleja la prioridad de fiscalización al recurso forestal de acuerdo con el área de influencia que ejercen los caminos para la extracción informal del recurso.

Para determinar esta área de influencia se calculó la distancia más cercana desde cada punto de corta no autorizada hacia el camino, usando la herramienta de SEXTANTE “Distancia al Eje más Próximo” de QGIS. Esto implicó transformar la capa de la red caminera de la Región del Maule desde líneas a puntos utilizando la herramienta del módulo de SAGA,

“Convert lines to point” de QGIS. Se calculó la desviación estándar de las distancias anteriormente determinadas y se utilizó este parámetro como medida de la influencia inicial del camino mediante la herramienta del módulo de GRASS en QGIS “v.buffer.distance” de esta forma atenuar los valores residuales en torno a la media de distancias observadas entre la Corta no Autorizada y el camino. Posteriormente se utilizó el doble de la desviación estándar, luego el triple de la desviación estándar y el cuádruple de la desviación estándar. Finalmente se calculó la cantidad de Cortas no Autorizadas al interior de cada área de influencia con la herramienta del módulo de SEXTANTE inserto en QGIS “Contar puntos en polígono”.

Posteriormente, se estimaron los incrementos entre el conteo de los puntos contados al interior de cada polígono, quedando así en evidencia el punto de inflexión en donde los aportes del conteo de Cortas no Autorizadas de cada área de influencia pasan a ser marginales, y se seleccionó dicha área. Luego se hizo una unión de capas con el límite de la Región del Maule y se borraron los polígonos que salen de este límite. Luego mediante la tabla de atributos se seleccionaron los polígonos que están al interior del buffer de caminos, y utilizando la calculadora de campos se le asignó el valor 1 mientras que valor 0 a los demás valores. Esta capa al ser binaria no fue necesario normalizarla, por lo que finalmente se rasterizó con la herramienta de GDAL “Rasterize (Vector to raster)”.

Figura 4: Distancia mínima desde las Corta no Autorizada (puntos) hasta la Red caminera (líneas).



**Índice de Desarrollo Humano (IDH):** Según CONAF, “esta variable refleja que, a un mayor desarrollo humano, menor es la presión sobre los recursos naturales” (CONAF, 2007). Este índice entrega valores entre cero y uno, siendo los valores más cercanos a cero correspondiente a las áreas donde según CONAF se haría mayor presión al recurso forestal. Por medio de la tabla de atributos del archivo shape de las comunas de la Región del Maule se asignó el valor del IDH a cada comuna. Luego, se calculó la diferencia entre uno menos el valor del IDH, para tener el efecto de ponderar a la inversa el IDH, tal como menciona CONAF. Finalmente se normalizó según el algoritmo de la expresión [5].

**Función Ecológica (FE):** Se buscó mapear las funciones ecológicas que presten un servicio a las comunidades de la Región del Maule a través de la herramienta ECO-SER la cual se enfoca en la determinación de Servicios Ecosistémicos (SSEE) desde un perfil de la provisión potencial.

### 2.2.1.5. Medidas de Consistencia de los Juicios a las Variables Propuestas

Como medida de consistencia de los juicios, se calculó la Razón de Consistencia (RC), que es el cociente entre el índice de consistencia y el índice aleatorio. De este modo, si presenta valores superiores o iguales a 0,10 entonces los juicios de valor deben ser reevaluados porque no serían lo suficientemente consistentes para establecer un peso u otra razón puede ser que existan factores que sean redundantes, poco operativas, o no explican el problema por lo que deben ser sacados del análisis para obtener una consistencia aceptable. Por el contrario, si el valor de la razón de consistencia es inferior a 0,10 entonces los juicios numéricos y los factores involucrados se consideran adecuados, por lo que los valores que escalares obtenidos pueden ser aplicados al modelo de Evaluación Multicriterio (Berumen y Llamazares, 2007). La fórmula para el cálculo de la razón de consistencia es:

$$\text{Razón de consistencia} = \frac{\text{Índice de consistencia}}{\text{Índice aleatorio}} \quad [12]$$

El índice de consistencia (IC) se calcula a partir de la obtención del vector propio máximo y el número de factores que se consideran en el análisis de jerarquías, como muestra la siguiente expresión:

$$\text{Índice de consistencia} = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad [13]$$

$\lambda_{\max}$  = Valor propio máximo.

n = Número de factores de la matriz de comparación.

El vector propio máximo se obtiene a partir del producto del vector propio normalizado por la matriz de comparación de factores. El índice aleatorio es un índice tabulado que varía según el orden numérico de la matriz de comparación de jerarquías, como muestra el siguiente cuadro (Gómez y Barredo, 2005e):

Cuadro 9: Valor del índice aleatorio según el orden matricial de la matriz de comparación.

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I. A.	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Fuente: Márquez, H. 1999.

### 2.2.2. Capas finales y Definición de prioridades

Una vez de obtenida la capa del Índice de Prioridades de Fiscalización se debió tomar un criterio que determine las prioridades de fiscalización en términos discretos para facilitar la gestión de los fiscalizadores. Un método muy usado en CONAF para los estudios de evaluación multicriterio es del “Criterio de los Séptimos” propuesto por Julio (1992), para los estudios de Prioridades de Protección de Incendios Forestales. Este método que se basa en un criterio económico de oferta y demanda. En este caso la oferta está dada por los recursos que tenga CONAF para invertir en materia de fiscalización, y la demanda está dada por el monitoreo de las infracciones a la Ley 20.283, expresado espacialmente en la superficie forestal a ser resguardada. Este procedimiento “establece que la superficie total de la primera prioridad debe corresponder a la mitad del total de la segunda prioridad, la que a su vez equivale al 50% de la tercera prioridad; es decir, estas categorías 1/7, 2/7 y 4/7 del total de la superficie de la zona bajo protección.” (Julio, 1992).

Para aplicar el criterio de prioridades de “Los Séptimos”, se debió adaptar la capa de Índice de Prioridades de Fiscalización, pasando de una capa de tipo punto flotante de números reales entre 0 y 1 a una capa de números enteros entre 0 y 100. Para ello la capa de Índice de Prioridades de Fiscalización se multiplicó por 100 utilizando la “Calculadora Ráster”. El resultado entonces transformó de punto flotante de 32 bit (float32) a una capa de números enteros de 32 bit (Int32), utilizando la herramienta “Traducir” del módulo de GDAL/ORG inserto en QGIS.

Luego se obtuvieron las frecuencias de los valores de las celdas con la herramienta del módulo “r.report” de GRASS 7 inserto en QGIS, y se ordenaron los valores de celda de mayor a menor. Posteriormente se calcularon las sumas acumuladas de las áreas en hectáreas, para luego calcular el primer, el segundo séptimo del área total. Finalmente, el resto de las celdas se dejó para la tercera prioridad. Se consideró primera prioridad a los valores de celda de mayor a menor con área acumulada hasta el primer séptimo, la segunda prioridad hasta el segundo séptimo y el resto de los valores en la tercera prioridad

Por último, se exportaron capas geo-referenciadas en formato ráster (tif), y en .kmz (compatible con Google Earth).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Descarte y Selección de Variables y Factores Propuestos

Dentro de la labor que implica implementar un modelo de evaluación multicriterio, se debió cumplir con los requerimientos mínimos en torno a las variables escogidas para obtener un modelo definitivo (Márquez, 1999). Estas implicaron tomar decisiones en conjunto con personeros del departamento de Fiscalización de CONAF, considerando el punto de vista operativo en relación con la viabilidad de la aplicación de las variables propuestas o a la pertinencia en torno al objetivo del estudio; respetando los parámetros propios de una Evaluación Multicriterio tratados anteriormente (completos, operacionales, descomponible, no redundantes, mínimos). Adicionalmente la metodología tuvo una forma de autovalidación (Razón de consistencia) la cual entregó valores que determinan la salida de una variable del modelo, por razones de redundancia, poca relación con la problemática a resolver o una mala valoración (Marquez, 1999).

En conversaciones con el equipo de CONAF se resolvió la eliminación del factor “áreas declaradas en escasez hídrica”, inserto dentro de la variable Índice de prioridad por Degradación, porque se consideró que tenía poca relación con la labor de CONAF y la Ley 20.283. Si se considera la labor que la ley encomienda a CONAF, no discrimina en ninguna parte si esta área de fiscalización tiene mayor o menor escasez hídrica, por lo que no se justifica su inserción en el modelo. Dentro de la variable de Índice de Prioridad por Presión de Uso, se descartó la variable de Función Ecológica, debido a que la herramienta que se utilizó para su modelamiento no pudo ser alimentada correctamente debido a que la información geográfica solicitada en el complemento no se encontraba disponible para la región, lo que hace carecer de sentido el ingresarlo al modelo.

Al calcular la Razón de consistencia del Índice de Prioridad por Degradación, se obtuvo un valor de 0,124, valor que es mayor que 0,1 lo que, según la metodología anteriormente descrita, implica revisar el puntaje asignado a cada factor y reevaluarlo. Tras múltiples evaluaciones se resolvió por la eliminación del factor, debido a que es en parte redundante en el modelo ya que la pendiente es una componente de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (por su sigla en inglés “USLE”), por lo que, dado que la pendiente y la erodabilidad difunden hacia una misma dirección, se observó como redundante para el modelo.

Cuadro 10: Variables y Factores del Modelo Final de Prioridades de Fiscalización.

Índice Final	Variable	Factores
Índice de Prioridad de Fiscalización (Razón de consistencia = 0,01577)	Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal (Razón de consistencia = 0,07676)	Índice Fragmentación
		Subtipo forestal
		Especies vegetales en categoría de conservación
		Zonas aledañas a áreas protegidas
	Índice de Prioridad por Degradación (Razón de consistencia = 0,04622)	Áreas de protección por Erodabilidad
		Áreas de protección por Erosividad
		Áreas de protección por Desertificación
	Índice de Prioridad por Presión de Uso (Razón de consistencia = 0,07788)	Áreas con actividad extractiva formal
		Áreas con actividad extractiva informal
		Cercanía a caminos públicos y rurales
		Índice de Desarrollo Humano

En el Cuadro 10 se muestra el resumen de variables y factores que finalmente participaron en el modelo de Prioridades de Fiscalización, junto con los pesos específicos de cada Factor y la Razón de Consistencia de cada Variable. La razón de consistencia al ser menor que 0,1 en todos los casos permite concluir que los juicios entregados en la comparación en pares para cada uno de los procesos de evaluación multicriterio fueron consistentes los unos con los otros luego de descartar las variables Topografía, Función ecológica y Zonas de Escasez Hídrica.

### 3.2. Índice de Prioridades de Fiscalización (IPF)

Tras la aplicación de la metodología, las variables y factores que determinan el modelo de prioridades de protección, se obtuvieron los siguientes pesos para el modelo:

Cuadro 11: Pesos calculados para cada variable del modelo multicriterio de prioridades de fiscalización.

IPF	IPCV	IPID	IPPU	N(IPCV)	N(IPID)	N(IPPU)	$\beta_k$
IPCV	1	6	1/2	0,31579	0,66667	0,30769	0,34116
IPID	1/6	1	1/8	0,05263	0,11111	0,07692	0,06541
IPPU	2	8	1	0,63158	0,88889	0,61538	0,59343

En el Cuadro 11 se puede apreciar en color azul las columnas de los juicios realizados a través de la evaluación numérica, en verde los valores de los juicios normalizados y en amarillo los pesos finales reflejado por eigen vector principal normalizado, que entrega el valor del peso de cada factor. Visto de otro modo, la expresión matemática del Índice de Prioridades de Fiscalización (IPF) resultó como muestra la expresión:

$$IPF = 0,34116 \cdot IPCV + 0,06541 \cdot IPD + 0,59343 \cdot IPPU \quad [14]$$

- IPF = Índice de Prioridades de Fiscalización.  
 IPCV = Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal.  
 IPD = Índice de Prioridad por Degradación.  
 IPPU = Índice de Prioridad por Presión de Uso.

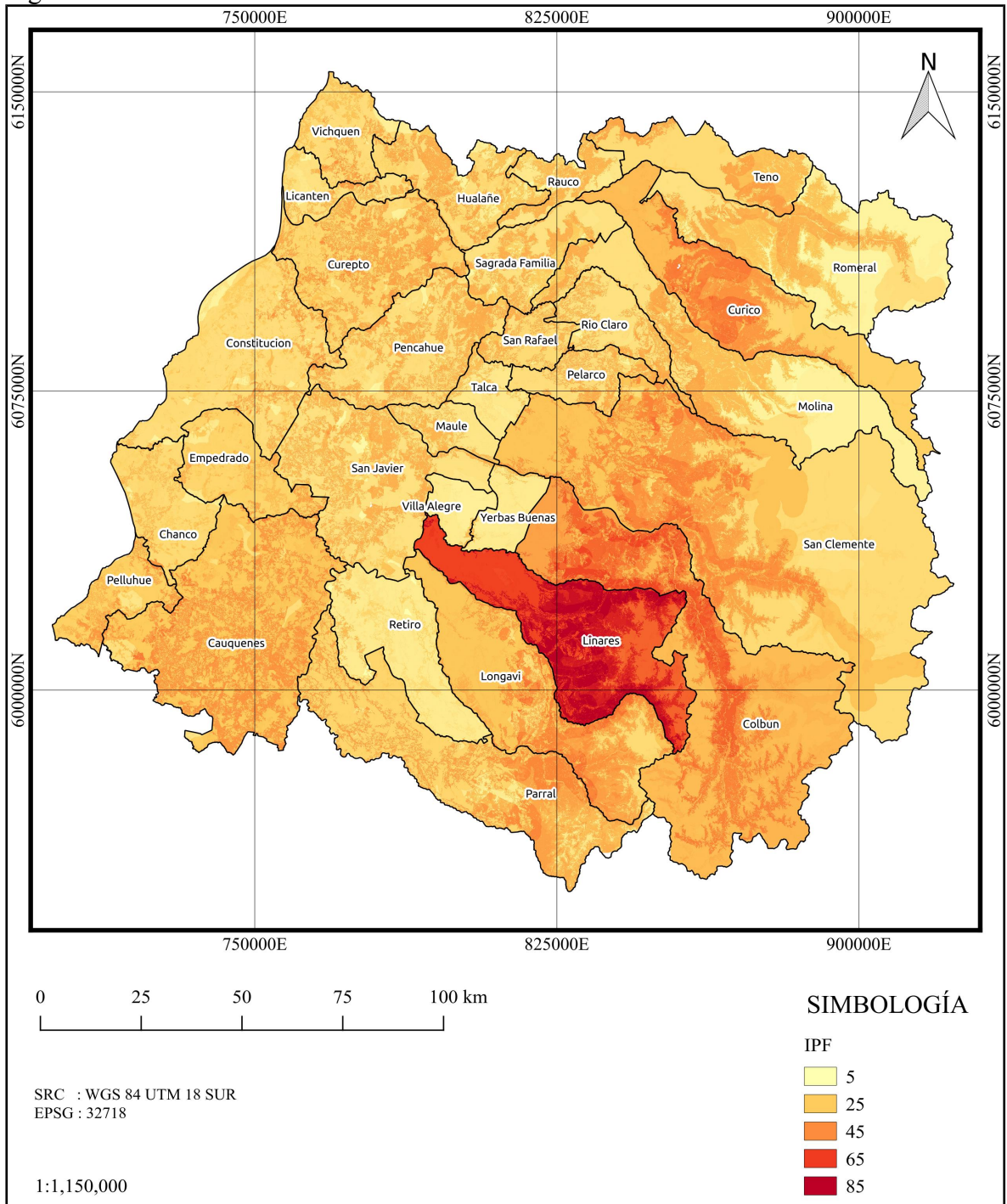
Se puede apreciar como resultado una mayor importancia del IPPU, por sobre el IPCV y el IPD, lo cual tiene sentido si se busca un modelo que pueda fiscalizar las Cortas no Autorizadas en un orden de prioridades, por lo que el modelo resultante se enfoca más en contrarrestar el efecto de esta actividad sobre el bosque nativo. En segundo lugar, queda el IPCV el que buscó modelar la prioridad de fiscalización en torno a la vegetación. Por último, el IPD queda relegado al tercer lugar de prioridad. Esto debido a que si bien la erosión y la desertificación son problemáticas ecológicas importantes tienen poca injerencia en la aplicación de fiscalizaciones de la Ley 20.283. El Índice en la región del Maule se muestra en la Figura 5.

En la Figura 5, se señala que el máximo valor obtenido fue 85 y el mínimo calculado fue 5. Esta valoración muestra que el efecto del método compensatorio de Jerarquías Analíticas de Saaty evita tomar los extremos posibles (0 a 100) (Gómez y Barredo, 2005e). Se puede apreciar a simple vista como los valores se ven concentrados especialmente en la zona de la comuna de Linares. Este efecto se debe a la alta ponderación que tiene el Índice de Prioridades por Presión de Uso, mayor a 0,59 donde Linares resultó siendo la comuna con mayor cantidad de Cortas no Autorizadas en su interior y mayor cantidad de autorizaciones de corta expresadas en planes de manejo de bosque nativo y normas de corta. No obstante, también se puede ver una fuerte tendencia hacia las comunas de Colbún, Curicó, Cauquenes y San Clemente, pero con mayor relación a otras variables del análisis.

Para lograr esta capa se debieron obtener previamente los distintos índices expresados en capas ráster que alimentaron al método, el Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal (IPCV), el Índice de Prioridad por Degradación (IPD) y el Índice de Prioridad por Presión de Uso (IPPU). Cada una de estas capas se crearon mediante otra Evaluación Multicriterio de Jerarquías Analíticas de Saaty, por lo que también se definieron criterios, se comprobaron sus consistencias, normalizaron valores de las capas y se multiplicaron por los ponderadores obtenidos para cada evaluación.



Figura 5: Índice de Prioridades de Fiscalización.





### 3.2.1. Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal (IPCV)

Tras la valorización de los juicios de criterios de fiscalización en torno a la vegetación expresada en factores que determinan el modelo resultó como muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 12: Pesos calculados para cada factor del IPCV.

IPCV	IF	SF	ECC	AP	N(IF)	N(SF)	N(ECC)	N(AP)	$\beta_k$
IF	1	7	1	8	0,44094	0,45652	0,42683	0,47059	0,44872
SF	1/7	1	1/7	3	0,06299	0,06522	0,06098	0,17647	0,09141
ECC	1	7	1	5	0,44094	0,45652	0,42683	0,29412	0,40460
AP	1/8	1/3	1/5	1	0,05512	0,02174	0,08537	0,05882	0,05526

Visto de otro modo, el modelo final quedaría como muestra la expresión:

$$\text{IPCV} = 0,4487 \cdot \text{IF} + 0,09141 \cdot \text{SF} + 0,40460 \cdot \text{ECC} + 0,05526 \cdot \text{AP} \quad [15]$$

IPCV = Índice de prioridad por cobertura vegetal.

IF = Índice Fragmentación.

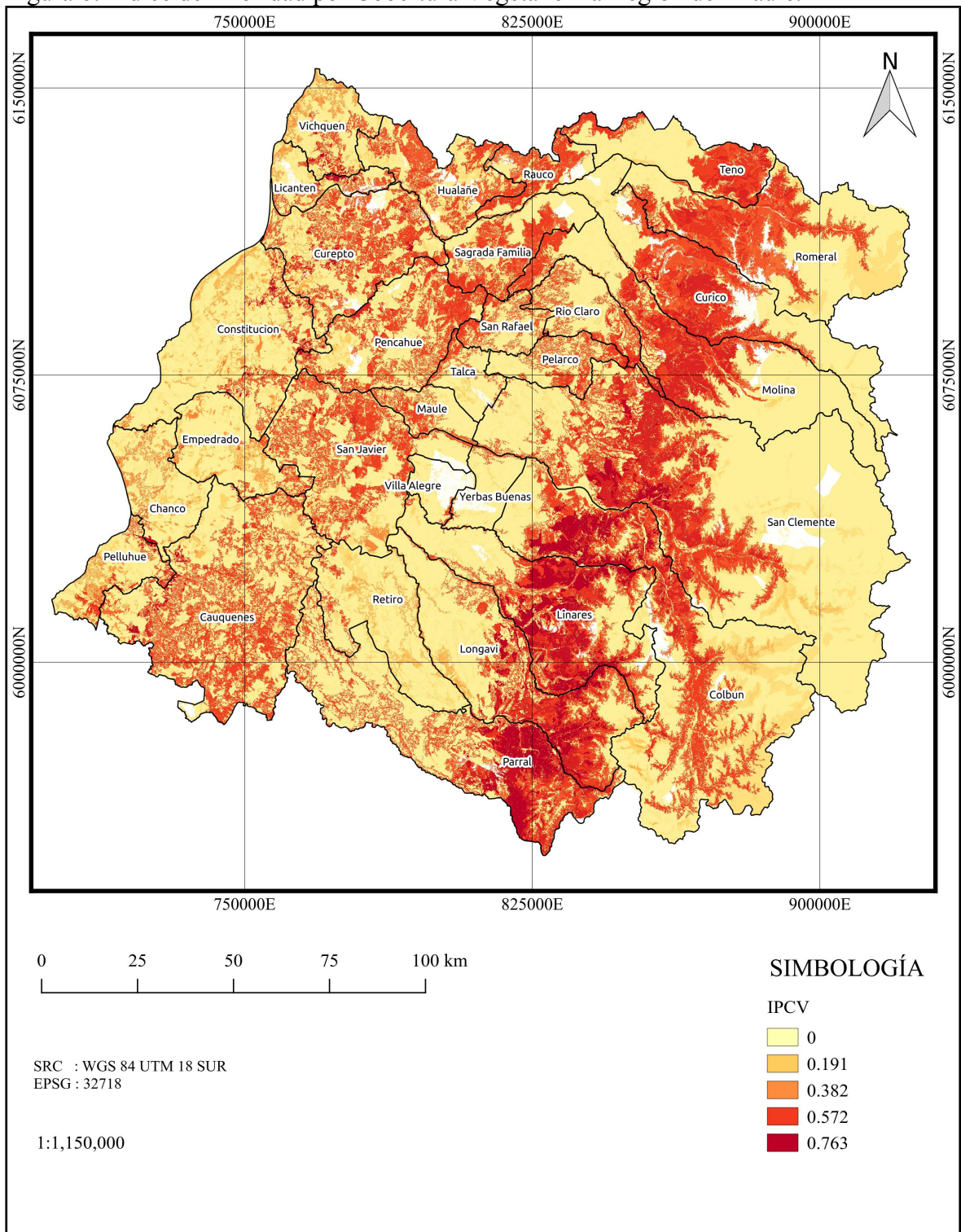
SF = Subtipo forestal.

ECC = Especies vegetales en categoría de conservación.

AP = Zonas aledañas a áreas protegidas.

En la cartografía de este índice (Figura 6), se puede apreciar que los valores máximos están dispersos por distintas partes de la región, donde los parches de bosque más fragmentados tienen una influencia que resulta muy importante para determinar este valor.

Figura 6: Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal en la Región del Maule.



Esta variable se obtuvo mediante las evaluaciones multicriterio de los siguientes factores:

### 3.2.1.1. Índice de Fragmentación

En la Figura 7 se puede apreciar el resultado del análisis del punto de vista de la fragmentación, utilizando el Índice SHAPE de forma de parches.

Según el manual de Fragstat, software utilizado para realizar esta medición, se podría tomar mayor consideración a otro tipo de mediciones de fragmentación que involucren efectos ecológicos distintos a los que los que pueda representar la forma. Un ejemplo mencionado por este manual cita un estudio de Robbins *et al.* (1989) que encontró una fuerte correlación existente entre la variedad, riqueza y frecuencia de individuos de aves en relación con el tamaño del parche de bosque en el que habitan, de lo que se desprende que “cada parche de hábitat individual debe ser mayor que el requisito de área mínima de la especie para que ocupe el parche” (McGarigal, 2015a).

A pesar de que esta afirmación resulta ser categórica, resulta poco útil al ser confrontada con la definición que presenta la Ley 20.283 sobre Bosque, afirmando que es un “sitio poblado con formaciones vegetales en las que predominan árboles y que ocupa una superficie de por lo menos 5.000 metros cuadrados, con un ancho mínimo de 40 metros, con cobertura de copa arbórea que supere el 10% de dicha superficie total en condiciones áridas y semiáridas y el 25% en circunstancias más favorables” (Chile, 2008). Esta definición entrega un espectro muy amplio sobre lo que es bosque, obteniendo una capa binaria sobre lo que es bosque (1) y no bosque (0). Este estudio al estar orientado a la fiscalización de la Ley obliga a que se tome esta escala de trabajo para los análisis a realizar, dejando fuera cualquier otra interpretación relacionada con los aspectos técnicos en ecología que pudiesen ser más robustos para su análisis.

Otro elemento de gran importancia para analizar sería la conectividad de los parches, por ser “un elemento de importancia vital en la estructura del paisaje” (Taylor *et al.*, 1993). Sin embargo, según McGarigal (2015a): “ha eludido una definición precisa y ha sido difícil de cuantificar e implementar en la práctica”. Además, no se puede utilizar una matriz de datos con una mayor variedad de tipos de cobertura para trabajar debido a la definición de bosque que hace la Ley, por lo que se hace difícil tener un análisis más acabado y preciso de la conectividad entre parches, en consecuencia, no sería adecuado su implementación para este estudio en particular.

Finalmente, un elemento que resulta importante para muchos fenómenos ecológicos es el borde de los parches. A modo de ejemplo, se han hallado diferencias en la intensidad de la luz y el viento que llegan desde el borde hacia el interior de un parche de bosque, alterando el microclima y las tasas de perturbación en el borde del fragmento. Estos cambios en combinación con cambios en la dispersión de semillas y herbivoría, pueden influir en la composición y estructura de la vegetación (Ranney *et al.* 1981); por lo que en consecuencia también afecta el hábitat de otras especies que dependen de ciertas especies vegetales. Independientemente del tipo de parche de bosque, estos efectos se manifestarán en función del efecto que la forma del parche pueda traer hacia la composición de especies, es entonces que hace más sentido utilizar una medida de la forma del parche de bosque para la problemática de este estudio.

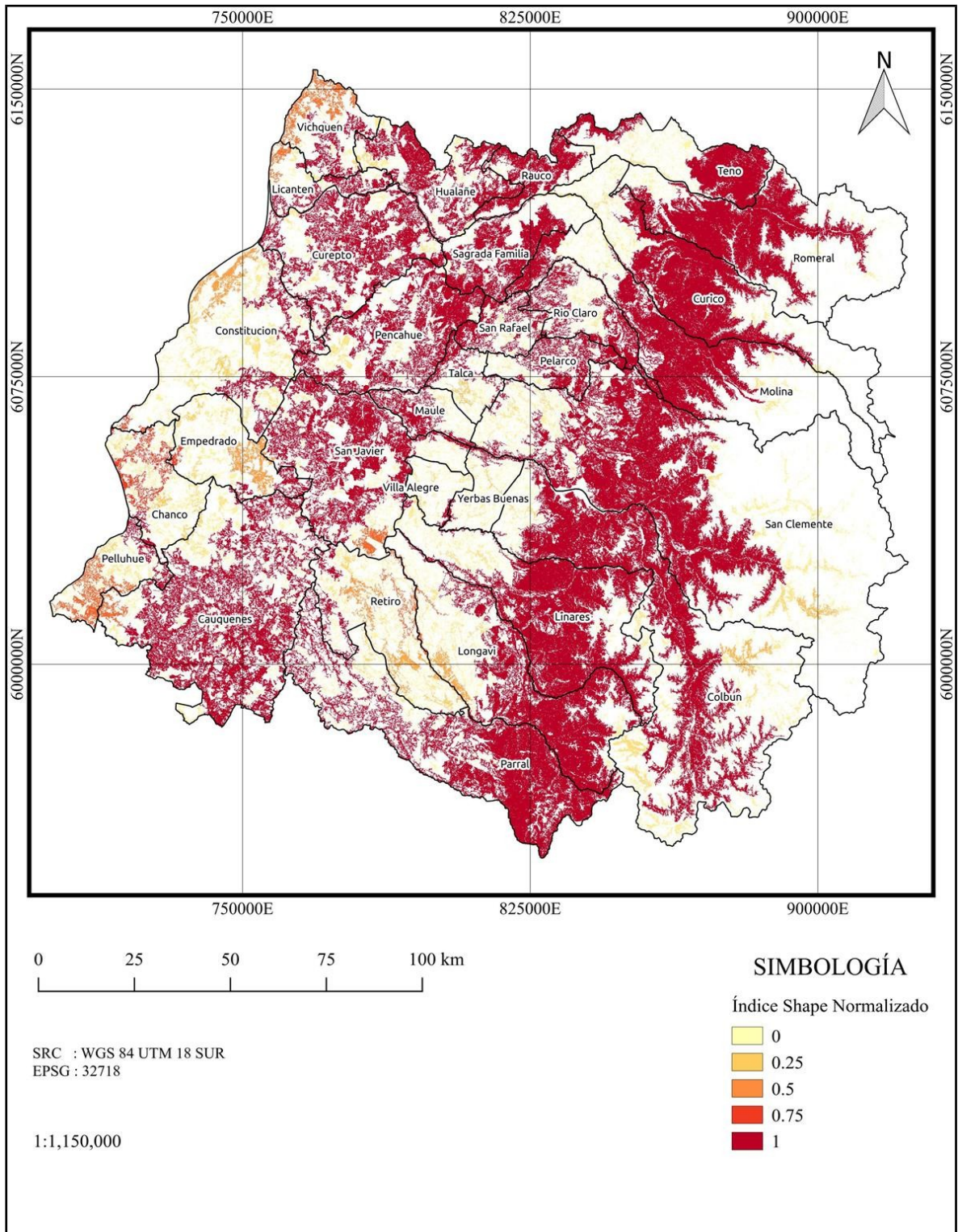
Las limitaciones de este método están relacionadas primeramente con el tipo de infraestructura de datos ingresados a la herramienta. Al ser celdas de una grilla de datos y tener forma cuadrada, provoca un sesgo hacia aumentar el perímetro, en proporción a la resolución del ráster de entrada y a la escala de trabajo. En segundo lugar, es un índice que es relativamente insensible a las diferencias en la morfología del parche, por lo que si dos parches tienen distinta forma, pero igual área y perímetro, el método los valoraría como iguales (McGarigal, 2015b).

Uno de los índices más sencillos para estudiar la forma de los parches es el PARA (Perimeter-Area Ratio) que es el cociente entre el perímetro en metros con el área en metros cuadrados; este índice presenta un problema con los parches de gran tamaño, donde al mantener la forma constante de un parche de bosque el índice disminuye, es por ello que se modificó estandarizándolo con un cuadrado del mismo tamaño, entonces así se alivió la dependencia del tamaño que presenta el PARA, siendo este nuevo índice “SHAPE” ampliamente utilizado en la investigación ecológica (ver expresión [10]) (McGarigal, 2015b).

En la Figura 7 se muestra el resultado del análisis de fragmentación en función de la forma del parche para la región del Maule. Se observa que gran cantidad de parches tienen este efecto borde al interior de la región y deben ser prioritarios para los efectos de fiscalización forestal dentro del Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal. El resultado del presente análisis fue hecho a gran escala, y a pesar de que está correctamente aplicado lo más probable es que no concuerde con un análisis desde un punto de vista biológico o ecológico de una gran cantidad de especies insertas al interior de la zona de estudio, por lo que resultaría muy provechoso disponer o desarrollar un estudio complementario que permita evaluar y caracterizar la fragmentación a distintas especies en categoría de conservación para alimentar esta variable y realizar un análisis que integre tanto el punto de vista técnico de la ley como el ecológico.



Figura 7: Índice de Fragmentación SHAPE con Valores Normalizados en la Región del Maule



### 3.2.1.2. Subtipo Forestal

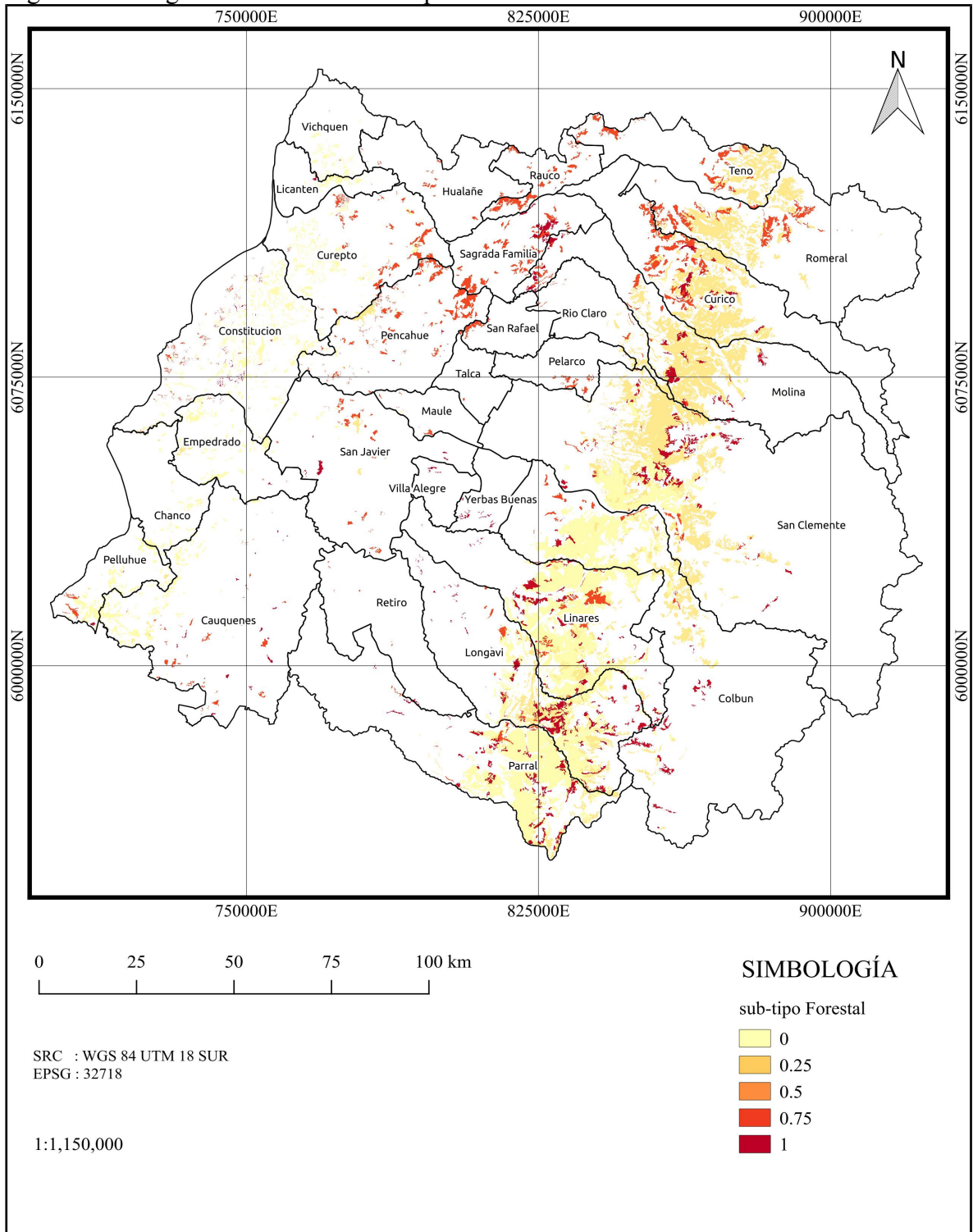
Según el Decreto Supremo 193, los Tipos Forestales corresponden “a una agrupación arbórea que crece en un área determinada, caracterizada por las especies predominantes en los estratos superiores del bosque o porque éstas tengan una altura mínima dada” (Chile, 2009). En consecuencia, el subtipo forestal de cada zona de bosque se erige como una variable que trata de analizar desde el punto de vista de cómo las especies interactúan en la composición de las formaciones boscosas de la región. Su abundancia relativa en el paisaje dice relación a como se distribuyen espacialmente y su prioridad en torno a su conservación en el tiempo. En estudios anteriores de CONAF relacionados con la Fiscalización se suelen hacer subdivisiones dentro de la variable de subtipo forestal en relación con la representación regional, nacional y si los distintos subtipos forestales se encuentran insertos en alguna área protegida. Para este estudio se consideró más apropiado usar solamente su abundancia regional debido a que resulta innecesario desde el punto de vista de la gestión regional tener la consideración nacional para priorizar la protección de una formación boscosa en comparación a las restantes. Además, existen otras variables dentro del índice de prioridades por cobertura vegetal que compensarían en caso de que existan especies en categoría de conservación para priorizar. Tampoco se estimó necesario considerar especialmente el subtipo forestal que esté inserto en un área protegida, considerando que las áreas protegidas tienen personal a cargo de resguardar la preservación de especies al interior, entonces resulta poco productivo fiscalizar estas áreas.

Cuadro 13: Subtipos Forestales en la Región del Maule.

Subtipos Forestales	Área (HA)
Ciprés de la Cordillera	8919,7
Coihue	3847,9
Esclerófilo	2064,3
Espino	2005,1
Mirtáceas	673,4
Peumo - Quillay - Litre	47053,5
Renoval de Canelo	78,8
Roble	145146,7
Roble - Rauli - Coihue	4798,8
Roble-Hualo	161856,5
Ñirre	8716,8

En la Figura 8 se muestra la distribución de datos del índice generado a partir de la abundancia relativa del subtipo forestal en la región. Se otorga mayor prioridad a los tipos forestales de menor abundancia relativa, siendo los renovales de canelo ubicados en la Cordillera de los Andes los más prioritarios.

Figura 8: Cartografía de Índice de Subtipo Forestal.



### 3.2.1.3. Especies en Categoría de Conservación

La capa de Especies en Categoría de conservación representa de manera similar a la abundancia de subtipos forestales en la Región del Maule. Se consideró solamente a la especie dominante al interior del polígono de bosque nativo como la portadora del peso asociado a la categoría de conservación. Puede darse la situación donde eventualmente existan especies en categoría de conservación que no sean dominantes, pero el criterio busca priorizar en término de la escala regional, por lo que esas especies deben ser priorizadas a una escala más cercana para tener un adecuado monitoreo.

Existen diversos estudios sobre prioridades de protección enfocados a las categorías de conservación, es el caso del estudio realizado por Vía et al., (2006) quienes realizaron la Evaluación Multicriterio de diversas especies en categoría de conservación, de la comunidad autónoma de Madrid, donde se utilizó el método no compensatorio de medias ponderadas, para que un grupo de expertos evaluase la flora y la vegetación de la zona de estudio (Vía et al., 2006). Los métodos no compensatorios no buscan determinar que una zona compense el contraste entre los distintos criterios de evaluación, sino que buscan realzar estos contrastes para así obtener una evaluación más clara y que muestre las diferencias entre las características en torno a las cuales se quiere decidir (Gómez y Barredo, 2005e).

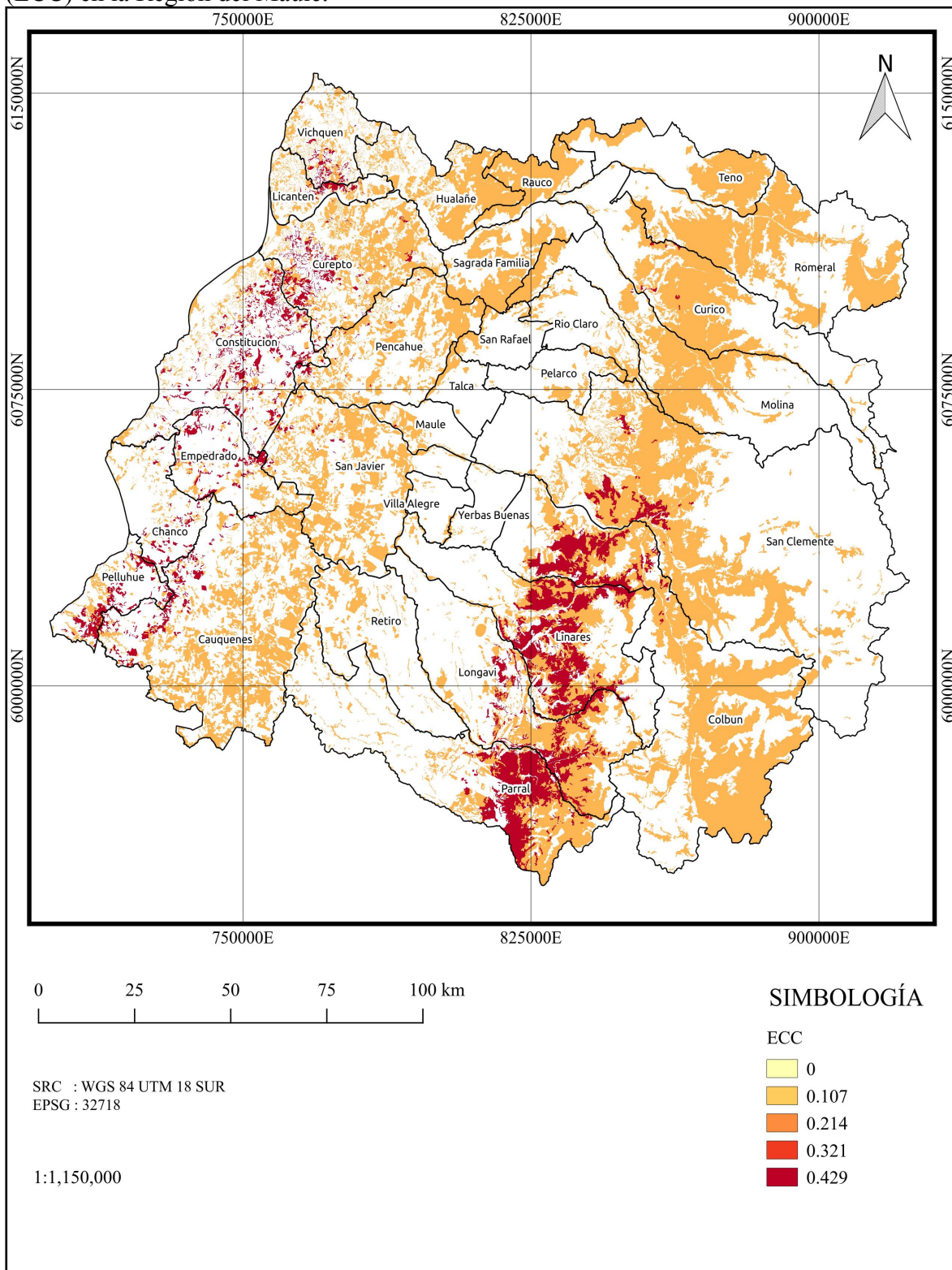
En este factor se decidió por optar por un método de valoración no compensatorio con el fin de realzar mediante una valoración jerárquica que entregan los distintos tipos de categorías de conservación proporcionadas por el Ministerio del Medio Ambiente, donde en cada una de las categorías hacen ver que los parámetros técnicos para determinar esta categoría de conservación fueron establecidos por la UICN. Es en este sentido que se decidió por simplemente evaluar cada uno de las categorías con un valor numérico que indique una escala jerarquizada entre categorías, siendo 1 el valor mínimo y 8 el máximo para priorizar la fiscalización en esas especies, método expuesto por Gómez y Barredo (2005e), para la Evaluación Multicriterio no compensatoria, debido a que escapa a los objetivos de este estudio el determinar si esta correcta o no la forma en que estas categorías están establecidas o si una categoría de conservación tiene prioridad sobre la otra.

En la Figura 9 se puede ver la cartografía que muestra la distribución del puntaje asignado para esta variable. En la simbología se puede observar que a diferencia de la mayoría de los índices que tienen como valor máximo 1, el máximo valor alcanzado por la capa es de 0,42, lo que se debe al tipo de valorización realizada que fue no compensatoria en función de la categoría de conservación, donde no aparecen especies que se encuentren en las categorías que jerárquicamente sean superiores, causando este efecto en la capa.

La especie dominante en los parches de bosque nativo que está en una categoría de conservación más alta es el *Nothofagus Glauca* (Phil.) Krasser (Hualo) la que se encuentra “Casi amenazada” obteniendo un puntaje de 3 en la escala de 1 a 8 antes mencionada.



Figura 9: Cartografía de puntaje normalizado de las Especies en Categoría de Conservación (ECC) en la Región del Maule.



### 3.2.1.4. Áreas Protegidas

Esta variable buscó proteger la zona alrededor de las áreas protegidas donde si bien cuenta con una zona de amortiguamiento se debe resguardar el uso razonable y dentro del marco de la legalidad del recurso forestal para evitar un mayor deterioro de las zonas de protección al interior del área protegida. El área de influencia para protección de las Áreas protegidas en estudios relacionados con la fiscalización suele determinarse por medio de valores constantes dados por la experiencia de los expertos encargados de los estudios de Prioridades de Fiscalización. En este estudio se buscó dar un matiz más objetivo de una medida cuantificable determinada por un método, tratando de observar el comportamiento de las distancias desde el área protegida hasta la ubicación de la corta no autorizada, tomando como unidad de medida la desviación estándar de dichas distancias para lograrlo.

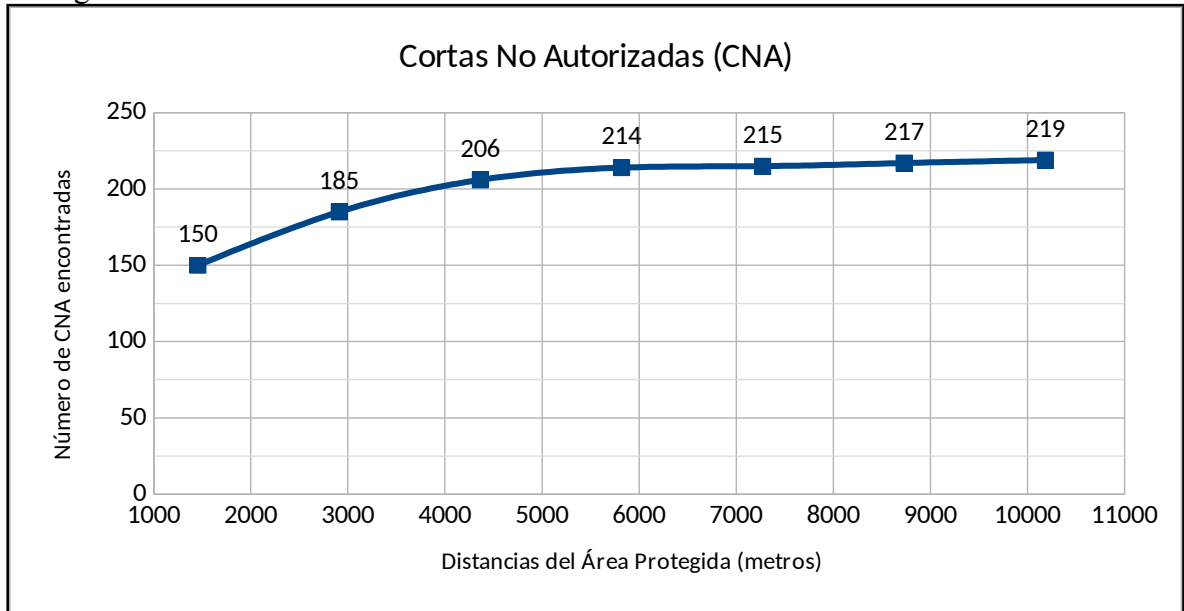
Las Cortas no Autorizadas detectadas en zonas aledañas de las áreas protegidas dieron el conteo presentado por el Cuadro 14.

Cuadro 14: Conteo de Cortas no Autorizadas (CNA) al interior de cada área de influencia calculada.

n	Distancia Buffer (metros)	Número de CNA detectadas	Diferencial	Porcentaje del diferencial en función del total de CNA	Porcentaje acumulado
Buffer 1	1454,82	150	150	68,49%	68,49%
Buffer 2	2909,64	185	35	15,98%	84,47%
Buffer 3	4364,46	206	21	9,59%	<b>94,06%</b>
Buffer 4	5819,28	214	8	3,65%	97,72%
Buffer 5	7274,10	215	1	0,46%	98,17%
Buffer 6	8728,92	217	2	0,91%	99,09%
Buffer 7	10183,74	219	2	0,91%	100,00%

De manera más gráfica se puede observar en la Figura 10 que el comportamiento del conteo de las Cortas no Autorizadas es creciente, teniendo como punto de inflexión las cortas detectadas hasta aproximadamente los 4,3 km de distancia, donde en adelante el incremento de Cortas no Autorizadas detectadas disminuye teniendo aportes marginales en adelante, por lo que en consecuencia se desecharon las demás áreas de influencia calculadas presentando una capa binaria donde se ve reflejada esta prioridad (Figura 11)

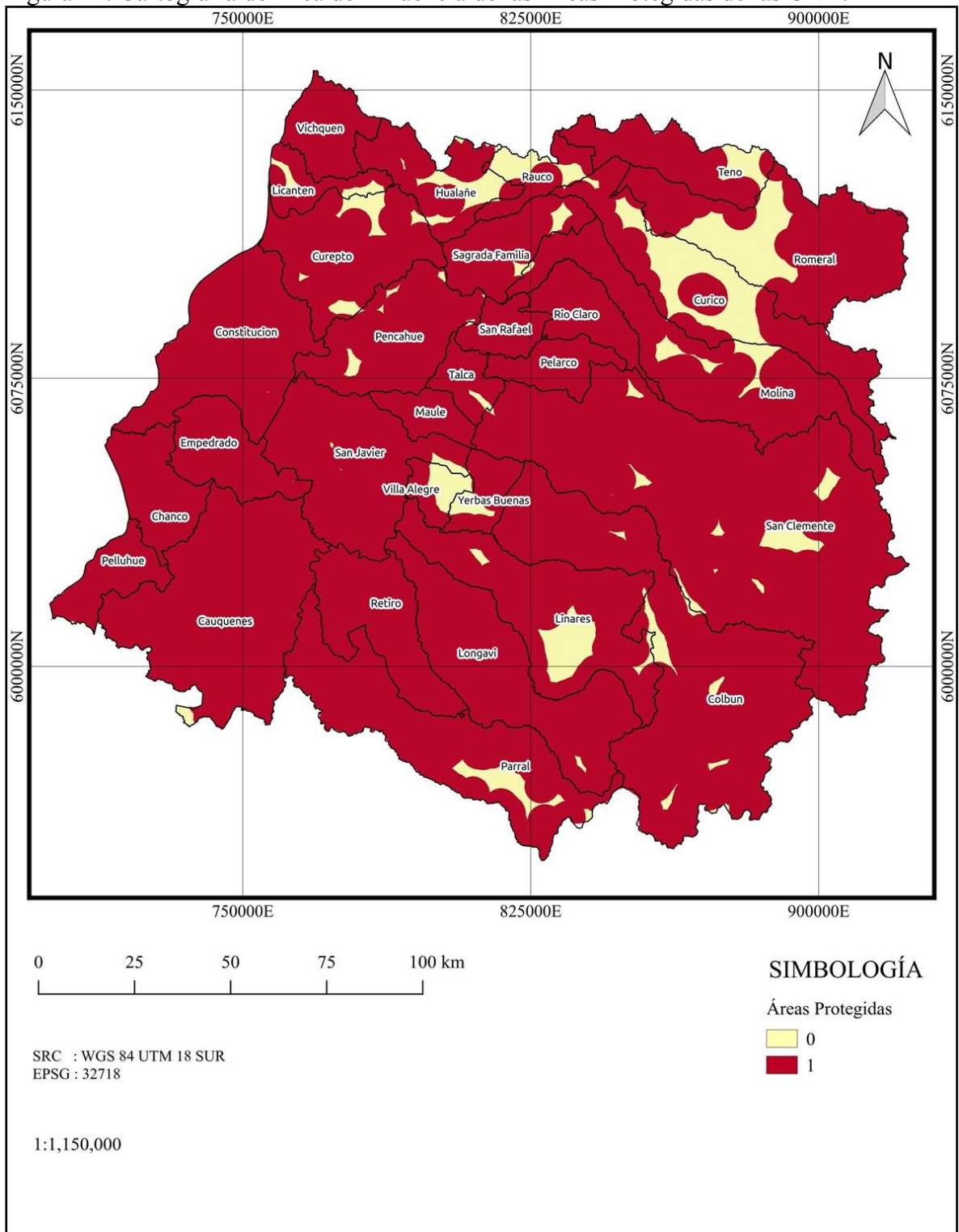
Figura 10: Número de Cortas no Autorizadas encontradas en las Zona Aledaña de las Áreas Protegidas.



En términos prácticos, la capa muestra que gran parte del área de la región está dentro de esta zona aledaña a las áreas protegidas, esto es debido a que el inventario de humedales de la región es muy detallado teniendo una gran cantidad de humedales pequeños al interior de la región, que al momento de calcular el área de influencia a una la distancia de 4,3km de radio entregó una capa binaria que priorizó una amplia zona de la Región del Maule, debido al solapamiento entre los radios del área de influencia. Este efecto se vio posteriormente balanceado por el método compensatorio en el que recaen las jerarquías analíticas, suavizando los valores extremos para la valoración general de la región.

Finalmente, el resultado de la evaluación multicriterio para esta variable se ve representado por la siguiente cartografía (Figura 11).

Figura 11: Cartografía de Área de Influencia de las Áreas Protegidas de las CNA.



### 3.2.2. Índice de Prioridad por Degradación (IPD)

Este índice buscó priorizar el recurso forestal inserto dentro de algunas áreas que mediante estudios realizados por diversos organismos se determinaron como zonas en procesos de degradación de los ecosistemas forestales. La intención detrás de esta variable se relaciona con que los factores modelados sean externos a las mediciones que se pudiesen hacer a la vegetación de la zona de estudio, dejando principalmente a los datos relacionados con el suelo como la principal fuente de información para alimentar esta variable, enfocándose principalmente en problemáticas de erosión y desertificación.

En relación a la erosión, dentro del marco de lo que era la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) se tuvo el compromiso de diseñar una Política Ambiental para el Uso Sustentable del Patrimonio Natural Renovable y para ellos se hizo el estudio: “Elaboración de Prediagnóstico Nacional del Componente Suelos para la Discusión Regional de la Política para la Sustentabilidad Ambiental del Patrimonio Natural Renovable” donde se analizó el Riesgo de Erosión basado en potencial degradación (definido en el documento como el efecto conjunto entre Erodabilidad y Erosividad) junto con el efecto amortiguador que presenta la cobertura vegetal a la erosión en análisis (Schaltterly Neira, 2002). De este estudio se desprendieron dos capas: Erosividad y Erodabilidad. En el año 2010 el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) desarrolló un modelo de Potencial de Erosión para el Territorio Nacional, donde se determinó el Riesgo de Erosión Actual a través de: Capas de Información Climática de Estaciones Meteorológicas, Modelos de Terreno, Estructura y Composición del Suelos y el Uso actual del Territorio. Esta capa entrega valores entre 1 y 5, donde los valores entre 1 al 4 indican valores de riesgo de erosión y 5 donde no habría riesgo de erosión debido a que el territorio estaría ocupado por cuerpos de agua, ciudades, ríos, entre otros usos del territorio (CIREN, 2010).

Este estudio se inclinó por utilizar la fuente de datos integrado a las capas desprendidas por el estudio realizado por CONAMA, debido a que conceptualmente se ajustan mejor a la naturaleza de esta variable. El Índice de Prioridad por Degradación, buscó determinar las zonas donde el efecto de una Corta no Autorizada podría perjudicar a bienes o servicios ambientales externos a la vegetación, y la capa Riesgo Potencial de Erosión Actual ya incluye una variable del cambio de la vegetación en el paisaje (Uso actual del Territorio), por lo que sería redundante para el modelo donde ya se incluyó una variable completa en él que abarca el efecto de las Cortas no Autorizadas en la Vegetación. Como se expuso con anterioridad, en los modelos de evaluación multicriterio las redundancias de variables traen inconsistencias en el desarrollo del modelo en estudio porque lo finalmente no se podría utilizar.

Por otro lado, en esta variable se estudió el efecto del factor desertificación en las prioridades de protección. La desertificación es un proceso que se incentiva por medio de la deforestación (Reynolds *et al.*, 2005), por lo que estaría directamente relacionada con las cortas de bosque nativo o plantación, sean autorizadas o no. Geist y Lambin (2004) analizaron 134 estudios relacionados con la desertificación, concluyendo que existen 4 causas principales que han provocado este fenómeno.

- a) Aumento en la aridez.
- b) Impactos de la actividad agrícola y ganadera.
- c) Extracción de madera y de otros componentes de la vegetación.
- d) Impactos del aumento en las infraestructuras, regadíos, carreteras, poblaciones e industria extractiva (minería, petróleo, gas).

En más del 60% de los casos estudiados, la desertificación fue causada por la combinación de tres o cuatro de las mencionadas razones (Geist y Lambin, 2004), por lo que resulta muy importante para el correcto desarrollo de las actividades sustentables, el fiscalizar el correcto desempeño de las actividades de extracción maderera en las zonas donde la desertificación tenga una alta valoración.

La Convención para la Lucha Contra la Desertificación y Sequía (CCD) es una convención auspiciada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), donde se busca crear instancias de consenso de políticos y científicos en el desarrollo de estrategias y actividades para actuar en los lugares afectados (Reynolds et al.,2005). La CCD desarrolló en cooperación con CONAF, la capa de información geográfica llamada Mapa preliminar de la desertificación en Chile, dando una apreciación preliminar con un carácter integral al estado de los procesos de desertificación desde los niveles comunal al nacional (CONAF, 1999).

El Índice de Prioridad por Degradación presentó la siguiente valorización (Cuadro 15), donde se puede observar que en grado de importancia de la ponderación de los pesos asociados a cada variable tuvo como el factor de mayor ponderación a la desertificación (DES), con un valor normalizado de aproximadamente 0,74 (Cuadro 15).

Cuadro 15: Pesos calculados para cada factor del IPD.

IPD	ERD	ERS	DES	N(ERD)	N(ERS)	N(DES)	$\beta_k$
ERD	1	2	1/6	0,13333	0,22222	0,12500	0,16019
ERS	1/2	1	1/6	0,06667	0,11111	0,12500	0,10093
DES	6	6	1	0,80000	0,66667	0,75000	0,73889

De forma lineal se puede apreciar el polinomio resultante de la valoración resultante en la expresión 16:

$$IPD = 0,16019 \cdot ERD + 0,10093 \cdot ERS + 0,73889 \cdot DES \quad [16]$$

- IPD = Índice de Prioridad por Degradación.
- ARD = Áreas de protección por Erodabilidad.
- ARS = Áreas de protección por Erosividad.
- APD = Áreas de protección por Desertificación.

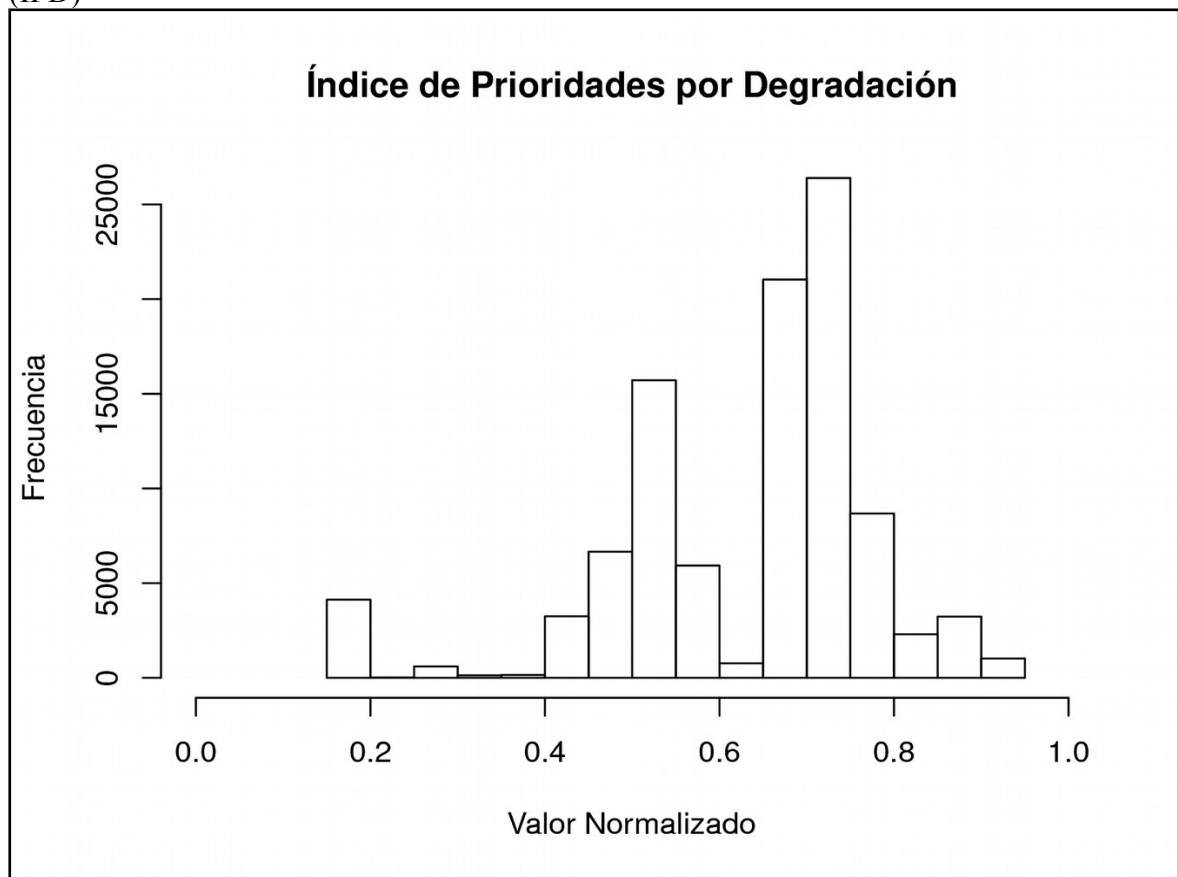
En este resultado se puede observar que la desertificación es el factor del modelo de prioridades por degradación que tiene mayor importancia en comparación con los factores erodabilidad y erosividad. Esto puede ser un efecto dado porque tanto la erodabilidad como la erosividad de los suelos son componentes dentro del mismo fenómeno denominado Erosión potencial, repartiendo el puntaje de este en dos variables. La desertificación en



cambio tiene el puntaje más alto del índice, esto se justifica dado al avance que ha tenido en el último tiempo.

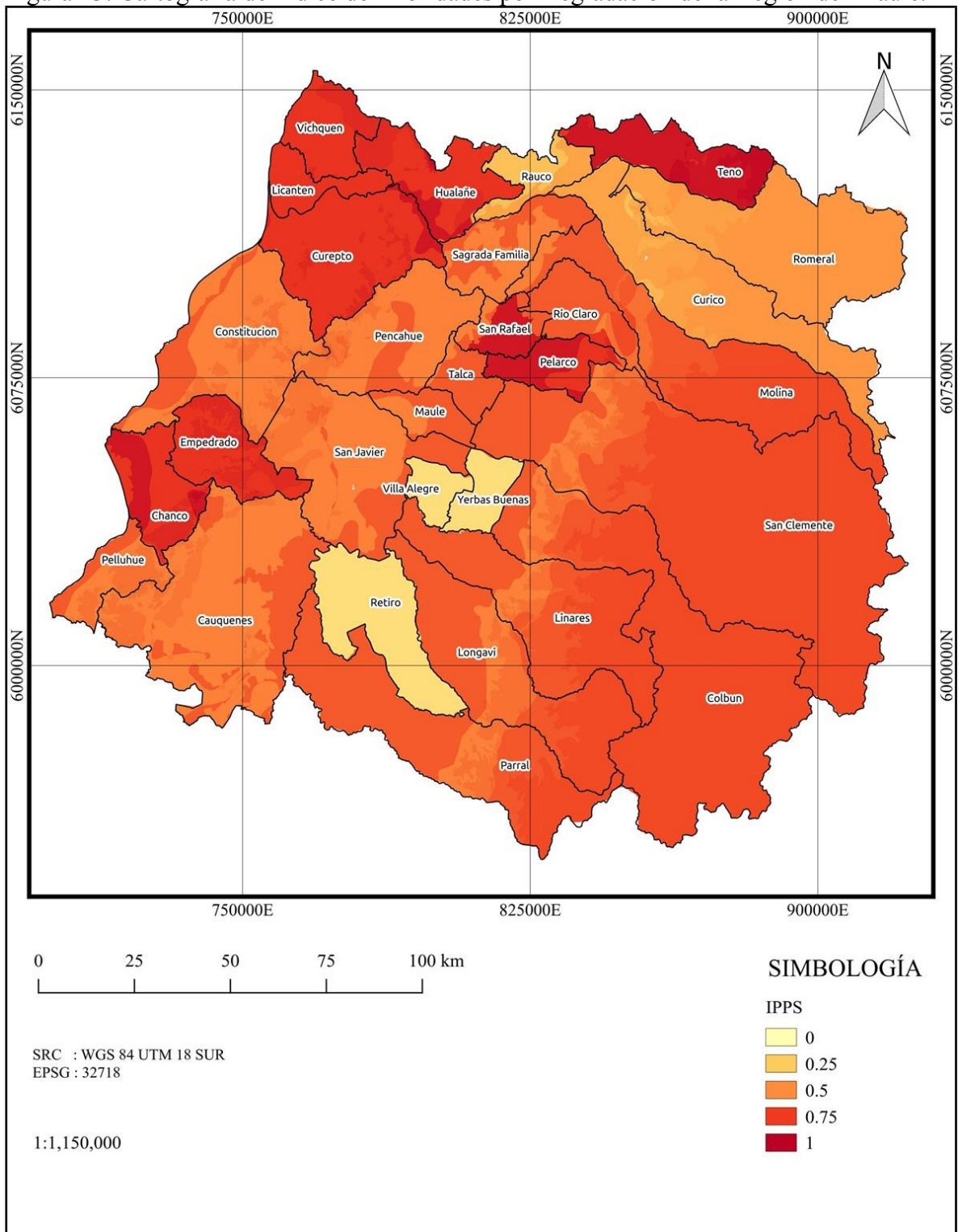
En la Figura 12, se puede ver la distribución de las frecuencias de los valores obtenidos del proceso de evaluación multicriterio. Este gráfico permite observar las particularidades del proceso posterior a la valorización no compensatoria, donde hay rangos en los que simplemente no hay frecuencias de datos. Este fenómeno se ve amortiguado por el método de jerarquías analíticas, donde ese efecto de saltos entre un valor a otro se ve compensado entre los valores obtenidos. Aun así, los valores obtenidos en la capa ráster se concentran en los rangos más altos de distribución, debido al efecto que tuvo la desertificación en la zona y a su alta ponderación en el modelo de degradación.

Figura 12: Histograma de valores de la capa del Índice de Prioridades por Degradación (IPD)



En la cartografía del IPD (Figura 13) de la capa se puede apreciar como los valores de las celdas del ráster se observan las concentraciones de puntajes altos alrededor de las zonas con mayor índice normalizado de desertificación.

Figura 13: Cartografía de Índice de Prioridades por Degradación de la Región del Maule.





### 3.2.2.1. Áreas de protección por Erodabilidad

El factor Erodabilidad dice relación con la susceptibilidad de los suelos a la degradación, definido por las características y propiedades del suelo, decisivos en su resistencia a la acción de los factores climáticos (Schlattery Neira, 2002). Los autores de esta capa la obtuvieron como el resultado de asociación entre dos elementos (Schlattery Neira, 2002):

- a) La documentación de los suelos de Chile, clasificados a través de su material de origen y en los lugares donde no hubo información confiable sobre el material de origen, se utilizó la información de los grandes grupos de suelos de Chile.
- b) Las pendientes del terreno clasificados en los siguientes rangos: menores a 15%, entre 15% y 30%, y los mayores a 30%.

Posteriormente estos datos fueron ponderados y reclasificados en cinco categorías, abarcando desde la menor a la mayor predisposición a ser afectado a la erosión.

En la Región del Maule, la capa de Erodabilidad se expresó en cinco rangos de evaluación, y cuya mayor presencia en relación al territorio, se concentran en las categorías “Muy Alto” (59,02%) y “Bajo (30,57%). (Cuadro 16).

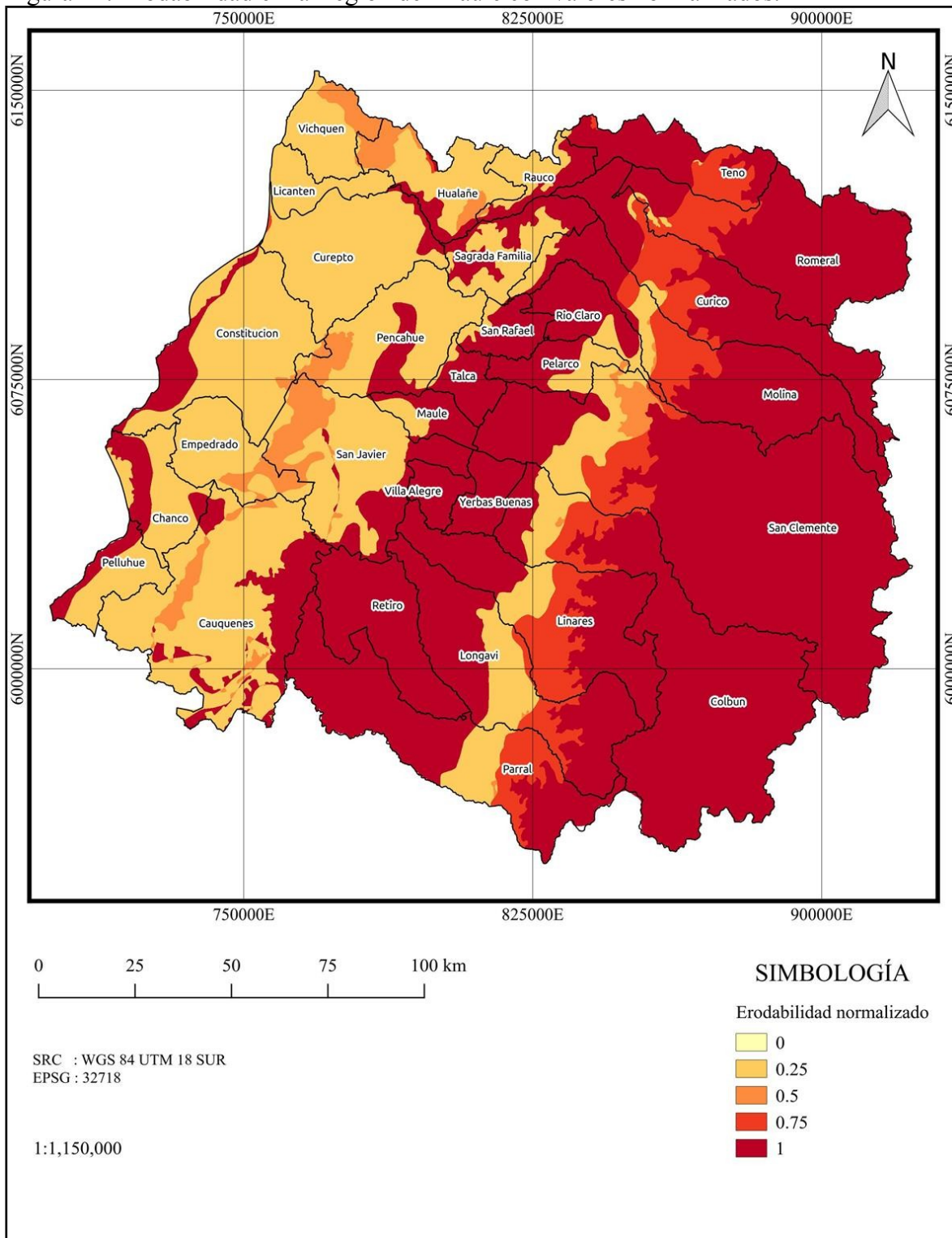
Cuadro 16: Valores de Grado de Erodabilidad dentro de la Región del Maule.

Grado de Erodabilidad	Área (ha)	Proporción en la Región
Muy alto	1793440,98	59,02%
Alto	218308,32	7,18%
Moderado	97643,34	3,21%
Bajo	928991,19	30,57%
Muy bajo	241,93	0,01%

Al efectuarse una valoración de parámetros de tipo no compensatoria, se obtuvo una variedad muy limitada de valores para celdas en el ráster normalizado debido a que es una variable de tipo discreta en el modelo de prioridades (Gómez y Barredo, 2005).

En la Figura 14 se observa cómo se distribuyó a través de un puntaje normalizado la erodabilidad en la región del Maule, donde los lugares más afectados se encuentran al interior del Valle Central y en los sectores de la Cordillera de los Andes de la Región.

Figura 14: Erodabilidad en la Región del Maule con valores normalizados.



### 3.2.2.2. Áreas de protección por Erosividad

La Erosividad es la energía de los factores climáticos, principalmente las precipitaciones, su intensidad y distribución; y el viento, su intensidad y frecuencia. Los autores de esta capa la desarrollaron en función de dos factores principalmente (Schlattery Neira, 2002):

- a) La precipitación: Se utilizaron datos pluviométricos anuales en su variación latitudinal y longitudinal, de días con precipitaciones sobre los 10 mm.
- b) La altitud: Está íntimamente relacionado con la intensidad y cantidad de las precipitaciones presentes, por lo que a mayor altitud mayor es la capacidad erosiva de las precipitaciones. La altitud se trabajó en 3 rangos, las altitudes menores a los 400 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), luego entre los 400 y 800 m.s.n.m., y superiores a los 800 m.s.n.m.

Posteriormente esta capa fue reclasificada en tres rangos (alto, moderado, y bajo) para representar de manera más simple el fenómeno a nivel regional.

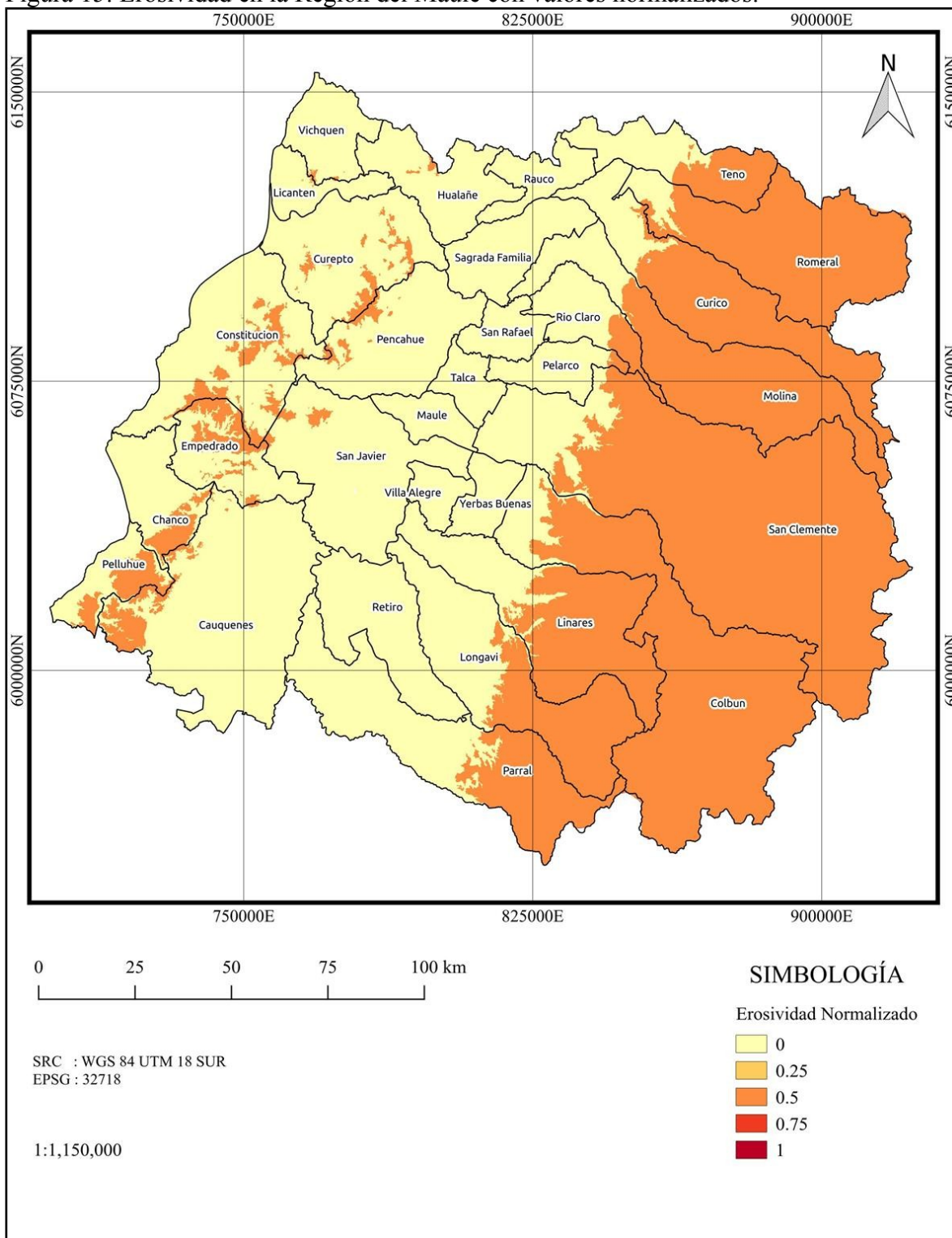
La erosividad en la zona de la Región del Maule está distribuida en 3 valores: 0; 0,5 y 1, resultando una valoración discreta en el factor de la variable, efecto que se ve reflejado también en el histograma del factor, basado en valores discretos.

Cuadro 17: Valores de Grado de Erosividad dentro de la Región del Maule.

Grado de Erosividad	Área (ha)	Proporción en la región
Alto	0,36	0,00%
Moderado	1413204,92	46,51%
Bajo	1625317,15	53,49%

En el Cuadro 17 se puede observar que dentro de la región se ve representada en su mayoría un grado de erosividad bajo con un total del 53,49% de la región. En la Figura 15, se puede apreciar que la erosividad afecta principalmente a las zonas cordilleranas de la Región del Maule, por lo que se puede dilucidar que la altitud tiene un afecto preponderante en la obtención de esta variable del modelo de Prioridades de Fiscalización.

Figura 15: Erosividad en la Región del Maule con valores normalizados.



### 3.2.2.3. Áreas de Protección por Desertificación

La desertificación se define como la degradación de tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultantes de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas (Emanuelli *et al.*, 2015). La capa de desertificación fue elaborada a base de un estudio de CONAF (1999), llamado “Mapa preliminar de la desertificación de Chile por comunas”. En este estudio la capa de desertificación fue elaborada a partir de cuatro factores:

- a) Régimen de aridez, compuesto por la longitud del periodo seco (cantidad de meses) y el Índice de xerofitismo (las precipitaciones menos la Evapotranspiración total (EVP), divididos por las precipitaciones).
- b) Erosión, incluido por su relación con la conservación de los RRNN y la potencialidad productiva de un ecosistema determinado.
- c) Pobreza, por su alta correlación el deterioro ambiental y la desertificación particular.
- d) Tendencia, este factor está compuesto por cuatro categorías que indican la evolución que ha experimentado la comuna en el avance de la desertificación en el mediano plazo (10 años), estas categorías son: progresivo (con connotación negativa), estable, regresivo (con connotación positiva), sin información. Este factor fue determinado por la opinión consensuada entre expertos de la comuna o región.

Luego los cuatro factores fueron clasificados en 5 categorías: Grave, Moderado, Leve, No afectada, Sin información. Para la región del Maule se obtuvo una desertificación moderada para la gran mayoría del territorio (69,8%), luego en segundo lugar estuvo la categoría grave (15,22%) y posteriormente leve con no afectada (10,77% y 4,21% respectivamente) (Cuadro 18), dejando entrever que en este estudio existió una tendencia hacia una desertificación importante para la región.

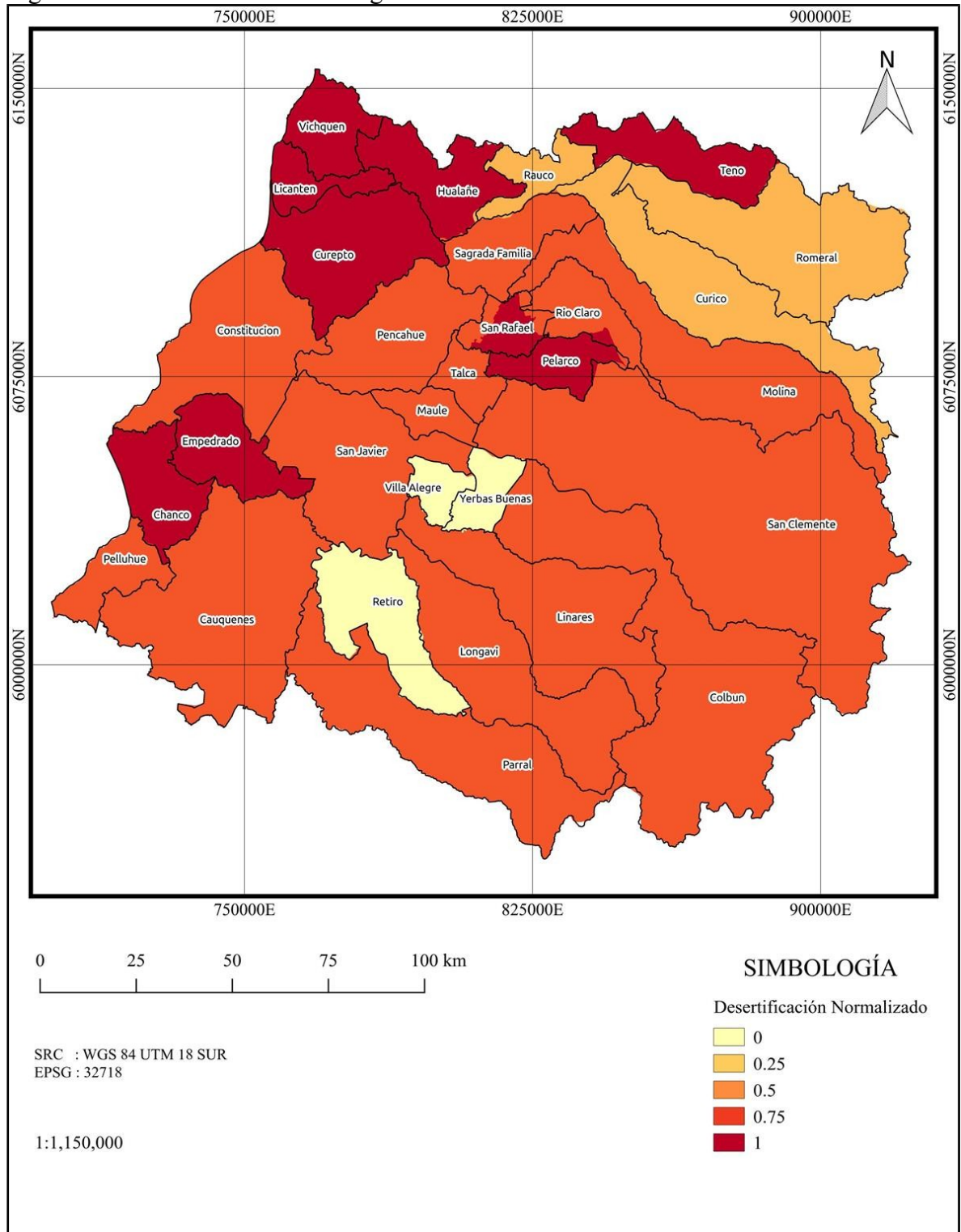
Cuadro 18: Valores de Grado de Desertificación dentro de la Región del Maule.

Grado de Desertificación	Área (ha)	Proporción en la Región
No afectada	128043,72	4,21%
Leve	327411,64	10,77%
Moderado	2121943,4	69,80%
Grave	462660,29	15,22%

En la Figura 16 se puede ver la distribución espacial de la desertificación en la Región del Maule. A pesar de que los resultados son categóricos, cabe destacar que se debe actualizar la capa para tener un resultado más apropiado para el estudio de Prioridades de Fiscalización. A través de encuestas de pobreza actualizadas, datos meteorológicos para precipitación, imágenes satelitales para la Evapotranspiración, o técnicas de teledetección empleadas para determinar la erosión; teniendo resguardo sobre el concepto de desertificación utilizado para determinar el fenómeno. Según Reynolds (2005) no hay mucho consenso en esta materia, existiendo más de cien definiciones distintas de desertificación, donde no todas apuntan a un concepto integrado de aspectos humanos, ecológicos y climáticos, como el que utiliza CONAF y CCD.



Figura 16: Desertificación en la Región del Maule con valores normalizados.



### 3.2.3. Índice de Prioridad por Presión de Uso (IPPU)

Esta variable buscó modelar la influencia de las actividades antrópicas relacionadas con el desarrollo de la actividad forestal en bosque nativo en el desarrollo del Índice de Prioridades de Fiscalización, a través de cuatro factores que lo componen.

Con relación a estudios anteriores realizados por CONAF en materia de Prioridades de Fiscalización (CONAF, 2007) el presente modelo deja fuera las variables: pobreza rural, la densidad poblacional y las áreas críticas de manejo del fuego. La pobreza rural se sacó de este modelo de prioridades a razón de que la pobreza rural no es sencilla de determinar y no hay datos lo suficientemente desagregados para focalizar los esfuerzos por cooperar con planes de manejo multiprediales en zonas donde la pobreza rural esté más concentrada, y así prevenir las Cortas no Autorizadas. Además, el IDH contiene un componente relacionado a los ingresos pecuniarios, por lo que en consecuencia sería redundante para el modelo la inclusión de este factor.

La densidad poblacional afirma que: “a mayor densidad poblacional rural mayor será la presión sobre el recurso forestal” (CONAF, 2007d). Según Vergara y Gayoso (2004), “Algunas variables biofísicas y un alto porcentaje de población rural son las variables que mejor explican la existencia de alteraciones en el bosque”. Pero no existe información oficial que este lo suficientemente desagregada para poder ser utilizada en este estudio debido a que se encuentra en términos porcentuales y/o a escala regional, por lo que se debió prescindir de esta variable.

Las áreas críticas de manejo del fuego fue un factor que se quitó de este análisis de presiones antrópicas en el modelo de prioridades, porque escapa de los objetivos de la detección de cortas no autorizadas.

Estos factores se compararon, luego se normalizaron y se obtuvo finalmente el aporte matemático que hace cada factor al cálculo del Índice de Prioridad por Presión de Uso (Cuadro 19).

Cuadro 19: Pesos calculados para cada factor del IPPU.

IPPU	AEf	AEi	CC	IDH	N(AEf)	N(AEi)	N(CC)	N(IDH)	$\beta_{3i}$
AEf	1	1/7	1/2	3	0,09677	0,10256	0,05000	0,21429	0,11591
AEi	7	1	8	8	0,67742	0,71795	0,80000	0,57143	0,69170
CC	2	1/8	1	2	0,19355	0,08974	0,10000	0,14286	0,13154
IDH	1/3	1/8	1/2	1	0,03226	0,08974	0,05000	0,07143	0,06086

Visto de otro modo, la ecuación que se desprende del análisis realizado quedó como muestra la Expresión [17]

$$\text{IPPU} = 0,11591 \cdot \text{AEf} + 0,69170 \cdot \text{AEi} + 0,13154 \cdot \text{CC} + 0,06086 \cdot \text{IDH} \quad [17]$$

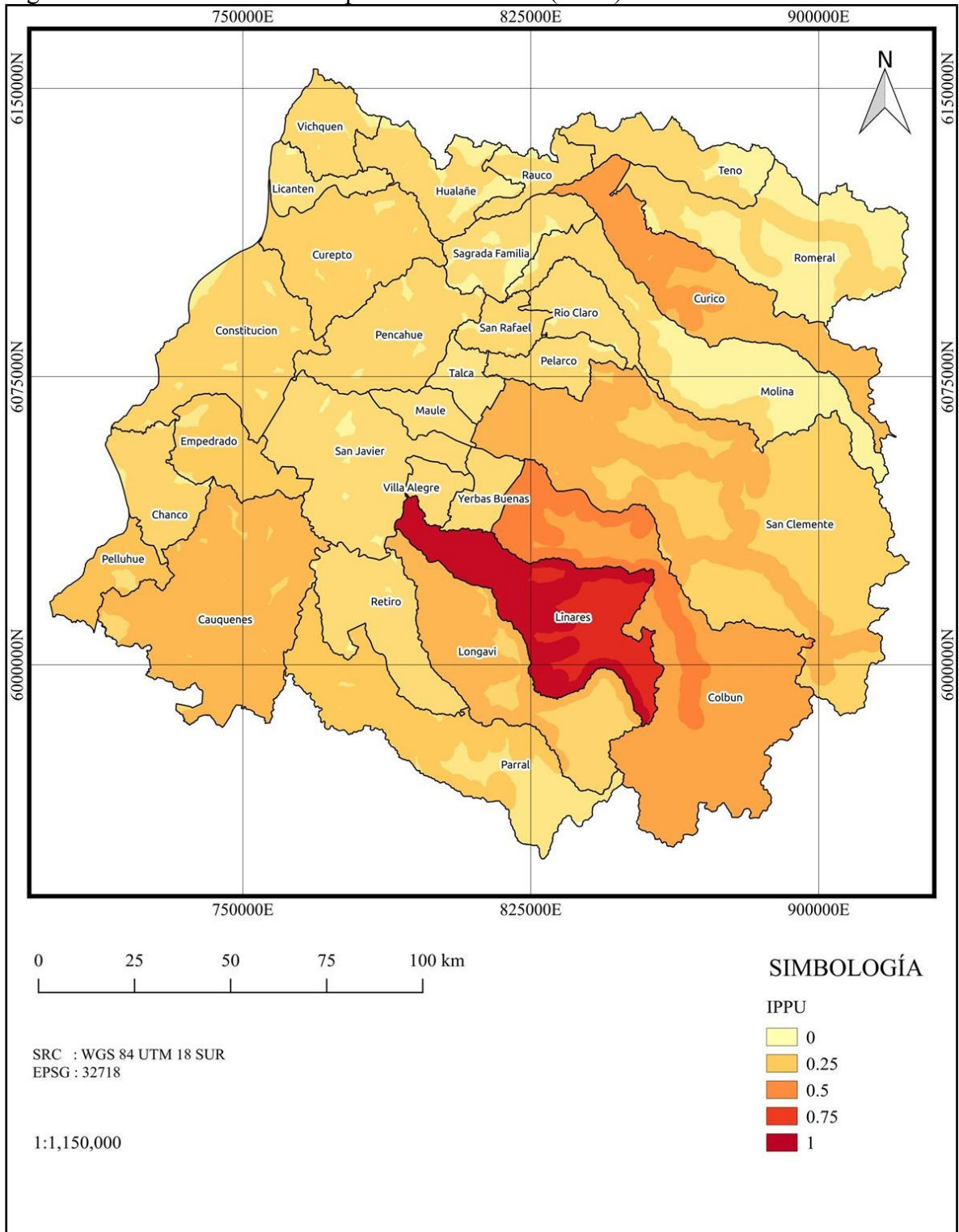
IPPU = Índice de Prioridad por Presión de Uso.  
 AEf = Áreas con actividad extractiva formal.  
 AEi = Áreas con actividad extractiva informal.

CC = Cercanía a caminos públicos y rurales.  
IDH = Índice de Desarrollo Humano.

Se puede observar que la actividad extractiva informal tiene una ponderación muy superior a los demás factores que componen el índice, luego la influencia de la cercanía de caminos, la Actividad extractiva formal, y finalmente el Índice de desarrollo humano. Esto tiene sentido porque la actividad extractiva informal es uno de los factores principales de todo el modelo al ser la actividad que se busca prevenir. Cada uno de estos factores se expresó en una capa de datos espaciales, cuyo resultado se expresa en la Figura 17. Este resultado fue obtenido por la interacción de las capas que a continuación se describen.



Figura 17: Índice de Prioridades por Presión de Uso (IPPU)

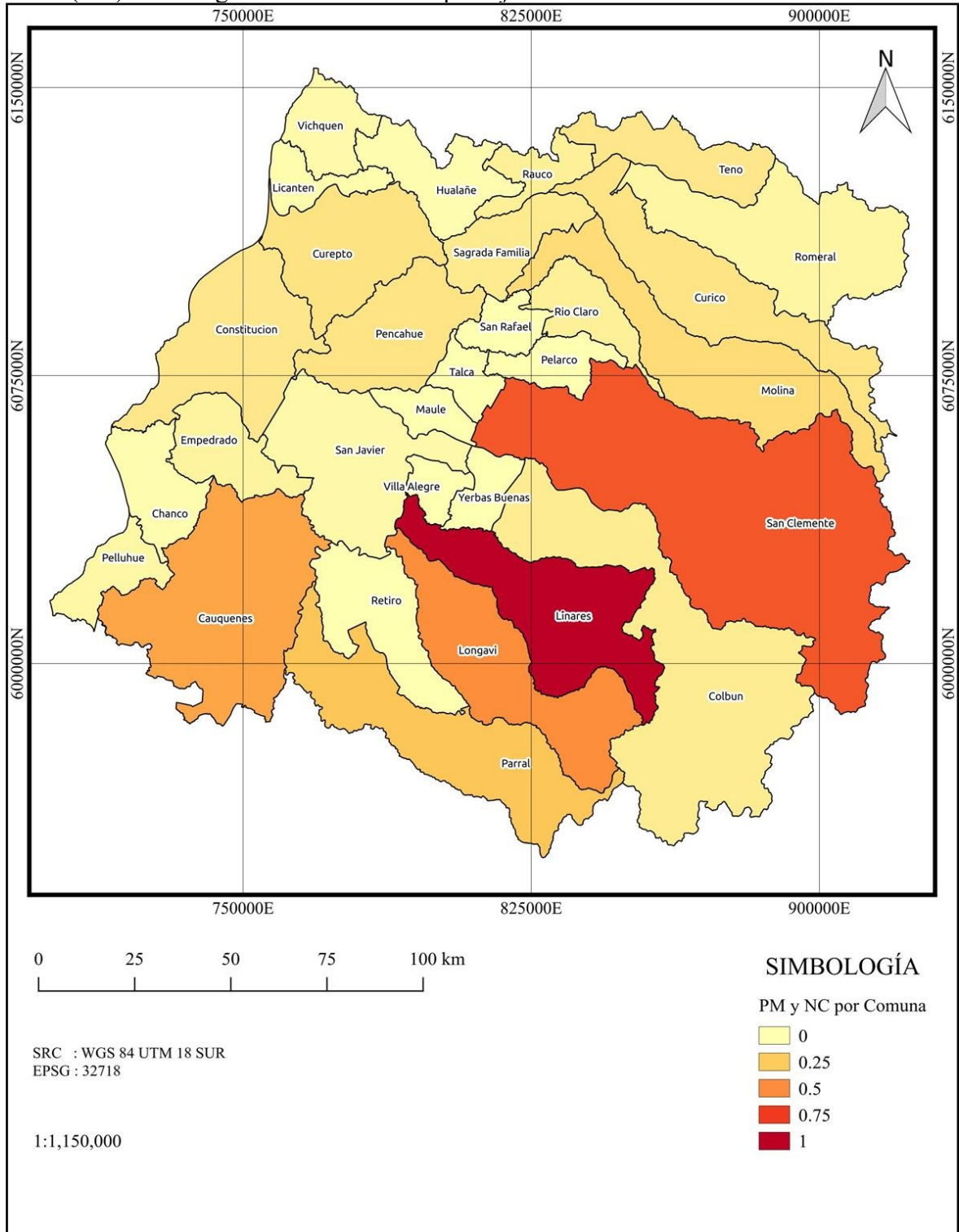


### **3.2.3.1. Actividad Extractiva Formal**

La actividad extractiva formal representa la demanda que tiene el recurso forestal por el total de Planes de manejo Forestal de Bosque nativo y Normas de Corta de Bosque Nativo, por cada comuna.

Esta variable se relaciona directamente con la presión realizada sobre el bosque nativo en cumplimiento de lo estipulado por la Ley 20283. Esta presión dice relación con la demanda del recurso en la zona de estudio, donde los propietarios o terceros pudiesen incurrir en el incumplimiento de Cortas Autorizadas, interviniendo el bosque de forma diferente a lo comprometido el plan de manejo autorizado por CONAF, cortando volúmenes de madera que en la mayoría de los casos resultan excesivos, afectando el correcto desempeño de la actividad forestal. Estas actividades son fiscalizadas en los controles de transporte maderero en carreteras, o con actividades de fiscalización en terreno, verificando que el área basal o el volumen remanente se encuentren dentro de lo que figure en el plan de manejo del bosque (CONAF, 2007d). En este factor se pudo observar que las comunas con más demanda de cortas de bosque nativo es Linares con planes de manejo lo que se expresa en el Anexo 1 y la Figura 18

Figura 18: Distribución espacial de la cantidad de Planes de Manejo (PM) y Normas de Corta (NC) en la Región del Maule en un puntaje normalizado.

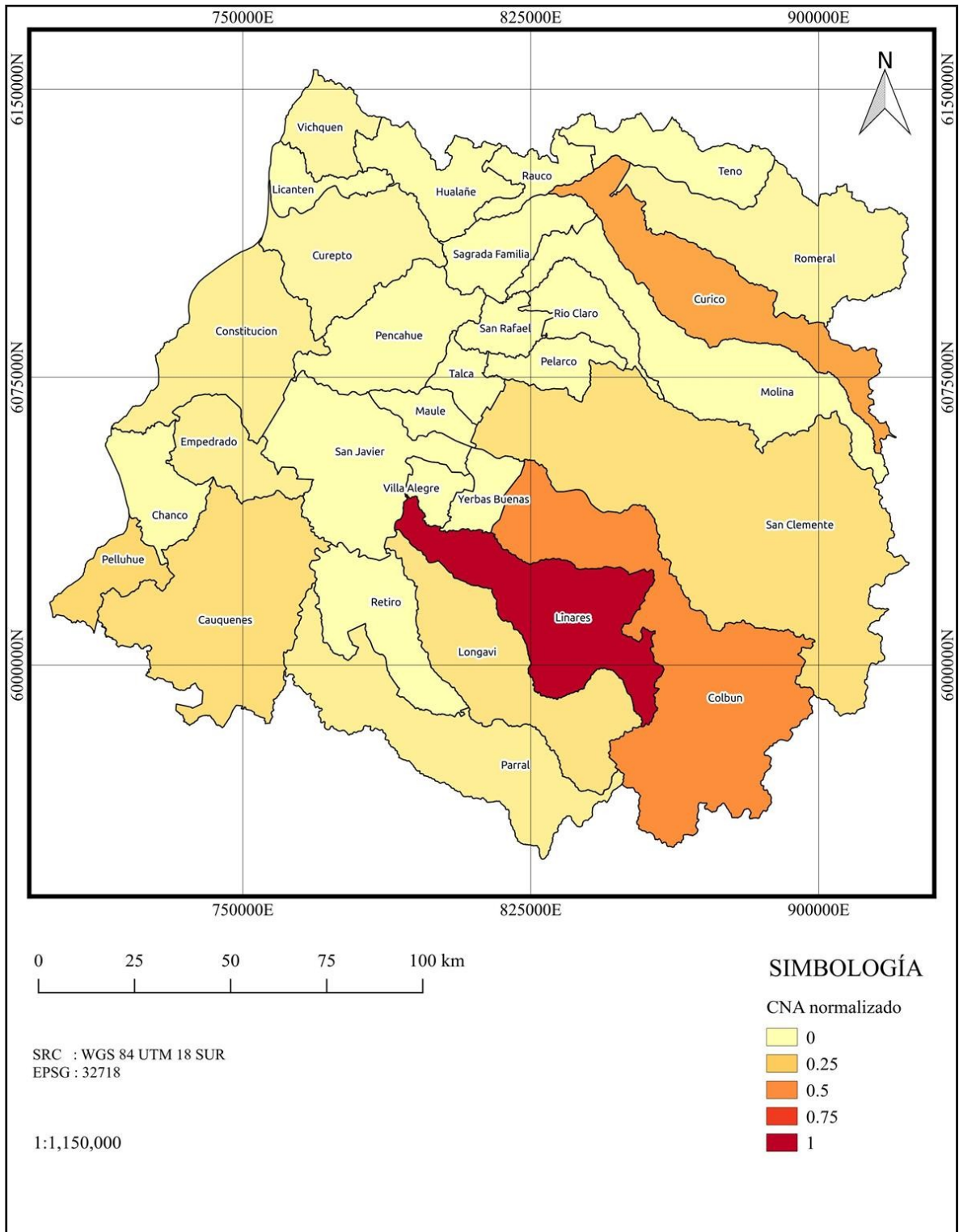


### **3.2.3.2. Actividad Extractiva Informal**

La actividad extractiva Informal se modela a través de la suma de Cortas no Autorizadas total en cada comuna. En el Apéndice 1 se puede observar la cantidad total obtenida por cada comuna, durante el quinquenio entre los años 2011 y 2015, donde se puede observar que las comunas con mayor cantidad de Cortas no Autorizadas detectadas coincide con la que a su vez tiene un mayor número de Planes de Manejo Forestal y Normas de Corta de Bosque Nativo. En la Figura 19 se puede apreciar la distribución espacial por comuna de las Cortas no Autorizadas en la Región del Maule.

Esta variable busca determinar una noción de la concentración de datos de Cortas no Autorizadas para poder focalizar los esfuerzos de trabajo en materia de fiscalización. Existe variadas técnicas para poder tener una aproximación de la ubicación donde difunden los datos obtenidos, como los mapas de calor, niveles de proximidad de puntos a través de Kernel, Cluster de puntos, entre otros (Moreno, 1991). Un caso es por ejemplo lo realizado por Pompa y Hernández (2012), donde mediante un análisis realizado a través un estadístico G de Getis-Ord, calcularon el grado de agrupamiento de 1.343 unidades fisiográficas en frecuencia de incendios forestales, para luego validar los resultados obtenidos con una prueba estadística pertinente. Este estudio entrega un indicio de la escala a que se trabaja y para que estas técnicas tengan una validez científica, por lo que para poder replicarlo en este estudio se tendría que disponer de una base de datos más robusta en cantidad de datos y estudios sobre el tamaño de “ventana” o “bandwidth” (radio de análisis de agregación de datos del Kernel) más adecuado para esta materia (Moreno, 2015). Por lo que al carecer de estos datos, se optó por hacer una agregación de datos a escala comunal.

Figura 19: Cortas no Autorizadas (CNA) por Comuna en la Región del Maule en Puntaje Normalizado.



### 3.2.3.3. Cercanía de Caminos

Para la extracción maderera resulta fundamental tener vías que permitan la movilización de la madera cortada, es por ello que CONAF ha utilizado este factor dentro de sus modelos de prioridades, debido que el acceso facilita la extracción maderera (CONAF, 2007e). Según Vergara y Gayoso (2004), caminos tienen un papel preponderante en términos de la deforestación del Bosque Nativo en la Región de Los Ríos, donde determinaron que el bosque nativo se conserva con niveles de cobertura sobre 80% en las unidades alejadas a más de 3.000 metros de los caminos.

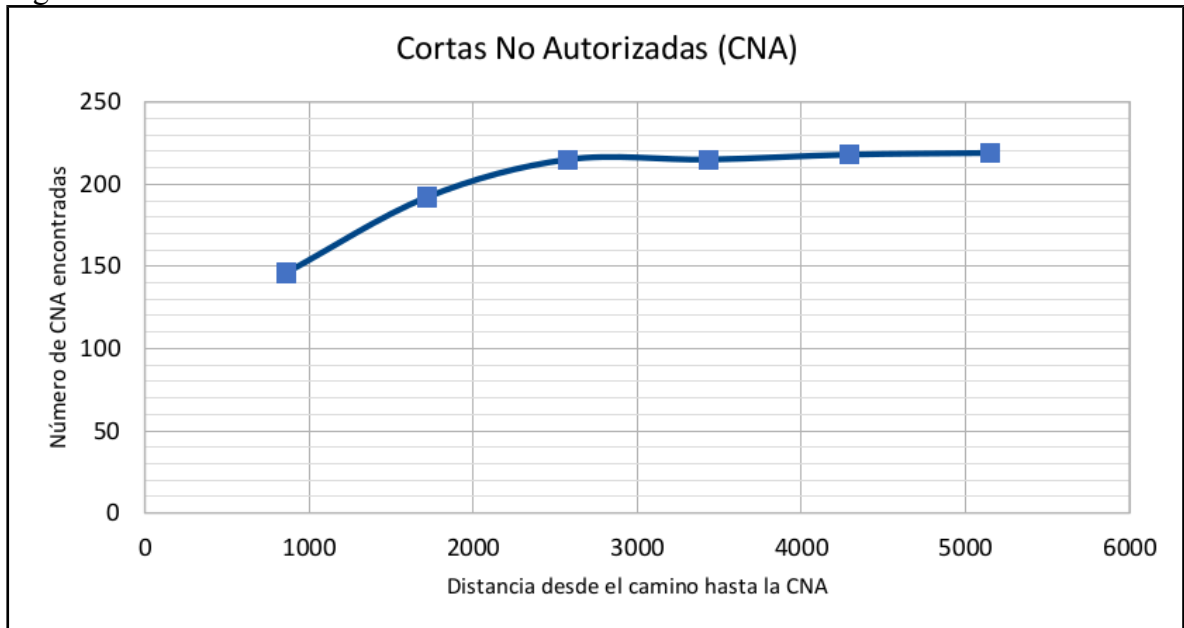
La influencia de las cortas se determinó mediante la suma de Cortas no Autorizadas en un área de influencia determinado por la desviación estándar del total de las distancias desde la corta no autorizada hasta el camino (Cuadro 20).

Cuadro 20: Influencia de los Caminos en la detección de Cortas no Autorizadas.

n	Distancia Buffer (metros)	Número de CNA detectadas	Incremento	Porcentaje del incremento en función del total de CNA	Porcentaje acumulado
Buffer 1	858,29	146	146	66,67%	66,67%
Buffer 2	1716,57	192	46	21,00%	87,67%
Buffer 3	2574,86	215	23	10,50%	<b>98,17%</b>
Buffer 4	3433,14	215	0	0,00%	98,17%
Buffer 5	4291,43	218	3	1,37%	99,54%
Buffer 6	5149,72	219	1	0,46%	100,00%

La metodología utilizada para determinar la distancia del camino hasta la zona de aprovechamiento forestal del estudio de Vergara y Gayoso (2004) dista mucho de la planteada en este análisis, debido a que en su estudio ellos determinan el nivel de aprovechamiento del bosque por medio de la cobertura de bosque en imágenes Landsat 5, por lo que se asume que donde hay sobre un 80% de cobertura de bosque es porque hay menos aprovechamiento de bosque nativo. Chomitz y Gray (1995) utilizan una técnica similar usando teledetección donde también analizan el efecto de los caminos en términos de la cobertura vegetal aledaña. Mientras que la metodología del presente estudio actuó en base a los hechos comprobados de cortas no autorizadas, porque es el fenómeno que el modelo tiene por objetivo, la influencia de los caminos tiene un claro efecto sobre la pérdida de bosque, pero en términos prácticos eso no discrimina si son operaciones autorizadas o no, solo entrega la cantidad de cobertura. Los resultados de estos estudios entregan un área de influencia de caminos en torno a los 3 kilómetros, por lo que el resultado que presenta este método no escapa lejos de esas cifras, lo que lo hace consistente (Cuadro 20). Las únicas limitaciones son la precisión de la ubicación de los puntos de corta y la cantidad de datos para poder realizar un análisis más preciso.

Figura 20: Incremento de Cortas no Autorizadas detectadas desde el camino.

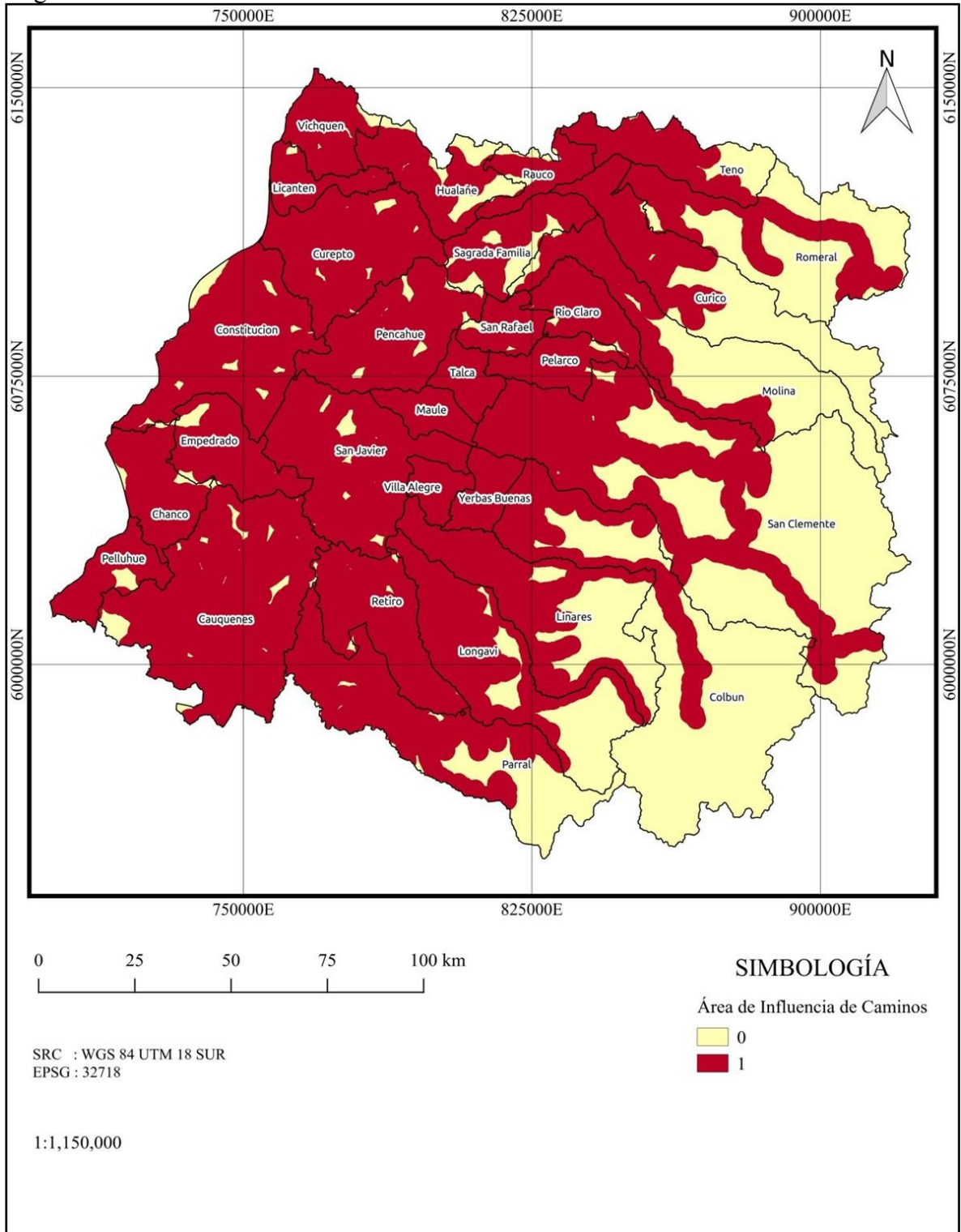


En la Figura 20 se puede observar de manera gráfica lo expuesto por el Cuadro 20, donde se aprecia que a partir desde los 2,5 km desde el camino se la cantidad de Cortas no Autorizadas detectadas se mantienen estables, por lo que para fines de este estudio se puede considerar que el efecto que tienen los caminos en torno a la facilidad que prestan a la extracción de madera se considera viable hasta los 2,5 km. De todas formas, esto es un modelo general, porque específicamente haría falta considerar el efecto que tienen las pendientes en relación con la facilidad que presentan para el madero de fustes, haciendo el modelo más específico.

Por otro lado, cabe destacar que la precisión de los datos de ubicación de Cortas no Autorizadas genera una dependencia muy alta para la determinación de estos valores de área de influencia, porque se encontraron casos donde la información entregada daba cuentas de la entrada a los predios, cercos, u otras referencias y no de las ubicaciones precisas de las Cortas no Autorizadas, por lo que este trabajo tuvo que descartar mucha información de manera preliminar. En un estado ideal sería muy provechoso para este estudio que todas las Cortas no Autorizadas sean reportadas entregando la ubicación precisa del evento. Además, haría falta agregar más información de Cortas no Autorizadas de distintos años, dado que esta información reportó datos desde el 2011 hasta el 2015, por lo que para tener un parámetro más acertado de la distribución de datos sería necesario tener más información de este tipo. Estos dos elementos en conjunto generarían capas de información que difunden hacia la precisión de la data levantada, lo que traería por consecuencia una mejor capa de la influencia de la cercanía de caminos al recurso forestal.



Figura 21: Área de Influencia de Caminos en la detección de Cortas no Autorizadas en la Región del Maule





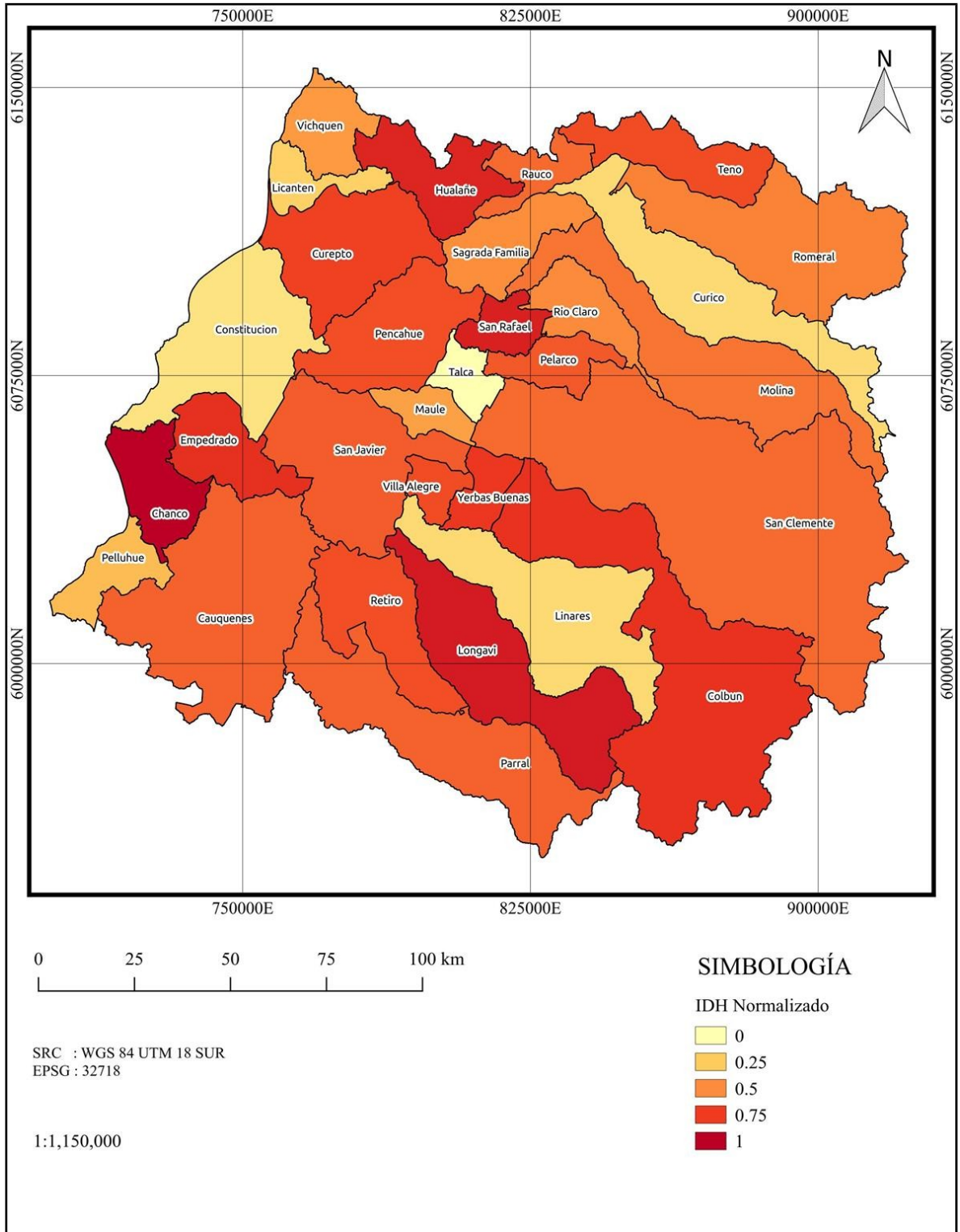
### 3.2.3.4. Índice de Desarrollo Humano

El índice de desarrollo humano en su esencia busca modelar el acceso que tienen las comunas a distintos servicios sociales, como atención médica, o acceso a la educación, e ingreso nacional bruto. El Índice de Desarrollo Humano (IDH) nace como una iniciativa de los economistas Mahbubul Haq y Amartya Sen como una alternativa a la clasificación del progreso de los países solo en base a nivel de su Producto Interno Bruto (PIB) (PNUD, 2017). El Índice, en cambio, sintetiza el nivel de logro en tres dimensiones: Salud (Esperanza de Vida), Educación (Media de años de escolaridad y Años de escolarización previstos) Ingresos (Ingreso Nacional Bruto (INB) per cápita) (PNUD, 2017). Para CONAF este Índice dice relación con la necesidad que puede presentar la población a ejercer presión sobre el recurso forestal, por lo que según esta lógica se puede afirmar que a menor IDH mayor presión se haría al recurso forestal, es por eso que este índice está plasmado a la inversa para cumplir así con el precepto que CONAF declara en sus estudios de Fiscalización (CONAF 2007).

Este estudio presentó una especial particularidad, donde la comuna de Linares es una de las comunas con mayor IDH (Figura 22), pero a su vez es la que presenta una mayor cantidad de Cortas no Autorizadas detectadas (Cuadro 21) y mayor cantidad de Planes de Manejo Forestal y normas de corta aprobados (Cuadro 20), por lo que la idea preconcebida de CONAF para este caso no se cumple.

Según Armesto (1994), históricamente en los bosques en Chile se ha visto restringida la extracción maderera en torno a la capacidad tecnológica para realizarla. Es así como en un comienzo los primeros habitantes de nuestro país utilizaban principalmente ramas caídas y troncos muertos para su utilización y hoy en día contamos con una amplia gama de herramientas que permiten la extracción y el desarrollo de la actividad forestal (Armesto et al., 1994). Por lo que el IDH a diferencia de lo que se tenía en antecedentes por parte de CONAF, estaría dando indicios de un mejor acceso a herramientas que permiten la corta de individuos de un bosque a través de la componente de ingresos brutos, por lo que el acceso a las herramientas estaría explicado por un IDH más alto. Además, cabe destacar que la región tiene una vocación productiva netamente forestal (Armesto et al., 1994), por lo que debería existir el acceso a las herramientas para el desarrollo de la actividad. Pero a pesar de lo anteriormente expuesto se consideró como un valor que pondera a la inversa, es decir que pondere con mayor puntaje las zonas con menor IDH, debido a que al ser un primer estudio con estos datos y esta estructura de modelo de prioridades de fiscalización podría explicarse como una particularidad de la Región del Maule, y ser un fenómeno que no necesariamente se va a replicar en todas las regiones del país.

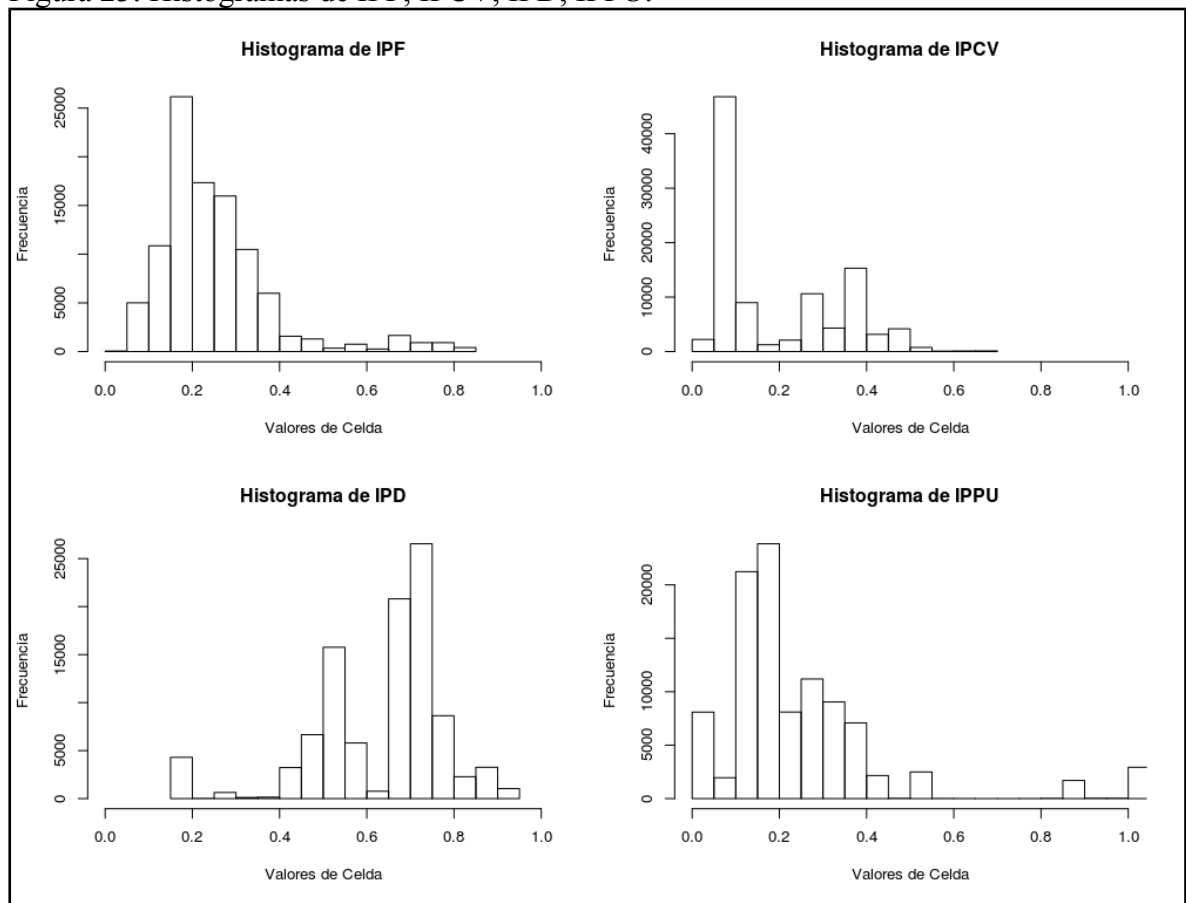
Figura 22: Distribución espacial del Índice de Desarrollo Humano (IDH) en Puntaje Normalizado.



### 3.2.4. Síntesis de resultados

En la Figura 5 se puede apreciar como los valores más altos tienden a concentrarse en la comuna de Linares. Esto se explica por la fuerte influencia del Índice de Prioridad por Presión de Uso (IPPU), que tiene un peso de 0,59343 y se adiciona a que es la comuna con mayor cantidad de Cortas no Autorizadas y a su vez con mayor cantidad Planes de manejo forestal y Normas de cortas, provocando un mayor contraste en comparación a las demás comunas, adicionalmente se puede observar una influencia al alza por las áreas de protección de caminos. Este contraste se ve aún más acentuado por las demás variables donde IPCV también es fuerte debido al alto índice de Fragmentación de la zona y la zona de influencia de las áreas protegidas.

Figura 23: Histogramas de IPF, IPCV, IPD, IPPU.



En la Figura 23 se puede apreciar el histograma de cada una de las variables que expresa la distribución de los valores al modelo de prioridades de fiscalización.

Cuadro 21: Resumen de Consistencias y Pesos obtenidos a través de las Jerarquías Analíticas del modelo de prioridades de fiscalización.

Índice Final	Variable	Peso	Factores	Peso
Índice de Prioridad de Fiscalización (Razón de consistencia = 0,01577)	Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal (Razón de consistencia = 0,07676)	0,34116	Índice Fragmentación	0,44872
			Subtipo forestal	0,09141
			Especies vegetales en categoría de conservación	0,40460
			Zonas aledañas a áreas protegidas	0,05526
	Índice de Prioridad por Degradación (Razón de consistencia = 0,04622)	0,06541	Áreas de protección por Erodabilidad	0,16019
			Áreas de protección por Erosividad	0,10093
			Áreas de protección por Desertificación	0,73889
	Índice de prioridad por Presión de Uso (Razón de consistencia = 0,07788)	0,59343	Áreas con actividad extractiva formal	0,11591
			Áreas con actividad extractiva informal	0,69170
			Cercanía a caminos públicos y rurales	0,13154
Índice de Desarrollo Humano			0,06086	

### 3.3. Prioridades de Fiscalización

En una situación ideal se debería utilizar la cantidad exacta de área acumulada hasta la zona de cambio de prioridad, pero en la realidad es muy poco probable que ocurra de manera exacta, debido a la resolución del ráster resultante que no hace calzar con la misma precisión el parámetro.

Cuadro 22: Criterio de séptimos para Prioridades de Fiscalización de Ley 20.283.

Prioridad	Criterio	Valor	Rango de Valores de Puntaje
1	1/7	432.288,43 ha	[43 , 87]
2	2/7	864.576,86 ha	[34 , 42]
3	4/7	1.729.153,71 ha	[5 , 33]

Finalmente, la Figura 23 muestra el resultado de la clasificación de la primera, segunda y tercera prioridad dentro de la Región del Maule, y su distribución espacial.

En el Cuadro 23 se puede apreciar la cantidad de hectáreas de prioridades distribuidas al interior de cada una de las comunas del área de estudio. En él se pueden observar por ejemplo casos particulares como el de la comuna de Linares, donde solamente hay primera prioridad de fiscalización, o también está el caso inverso en la comuna de Talca, donde solo hay tercera prioridad.

Cuadro 23: Prioridades de Fiscalización por comuna en hectáreas.

Comuna	1 <sup>era</sup> Prioridad	2 <sup>da</sup> Prioridad	3 <sup>era</sup> Prioridad
Cauquenes	14341	70285	127606
Chanco	235	883	51602
Colbún	100534	39301	151990
Constitución	15	5230	128207
Curepto	1442	39926	65566
Curicó	38457	18952	75538
Empedrado	18	4368	52183
Hualañé	0	18334	44421
Licantén	0	986	26511
Linares	147374	0	0
Longaví	25400	36963	83060
Maule	0	117	23747
Molina	0	16795	135354
Parral	13071	48232	101428
Pelarco	0	3743	29105
Pelluhue	780	6230	29737
Pencahue	0	21361	74194
Rauco	0	49	30640
Retiro	0	18	82749
Rio Claro	0	4975	38408
Romeral	0	14455	145706
Sagrada Familia	0	4224	50971
San Clemente	61473	60012	328492
San Javier	0	6722	124634
San Rafael	0	7049	19451
Talca	0	0	23210
Teno	0	14570	47178
Vichuquén	580	3589	38415
Villa Alegre	0	2	18893
Yerbas Buenas	0	12	25923

Estos efectos se explican por dos razones: la primera es que como mencionó anteriormente los valores del método de normalización (Expresión 5) tiende a realzar los valores extremos de los elementos de la capa, y en segundo lugar, debido al tipo de agregación de datos utilizado para la variable IPPU, donde en las capas de Actividad Extractiva Formal (AEF), Activadas Extractiva Informal (AEI) e IDH agregan los datos a nivel comunal, lo que acentúa cada comuna dado su peso en el modelo de prioridades de fiscalización resultante.

Figura 24: Gráfico de Porcentaje de Prioridades insertas en cada comuna de la Región del Maule.

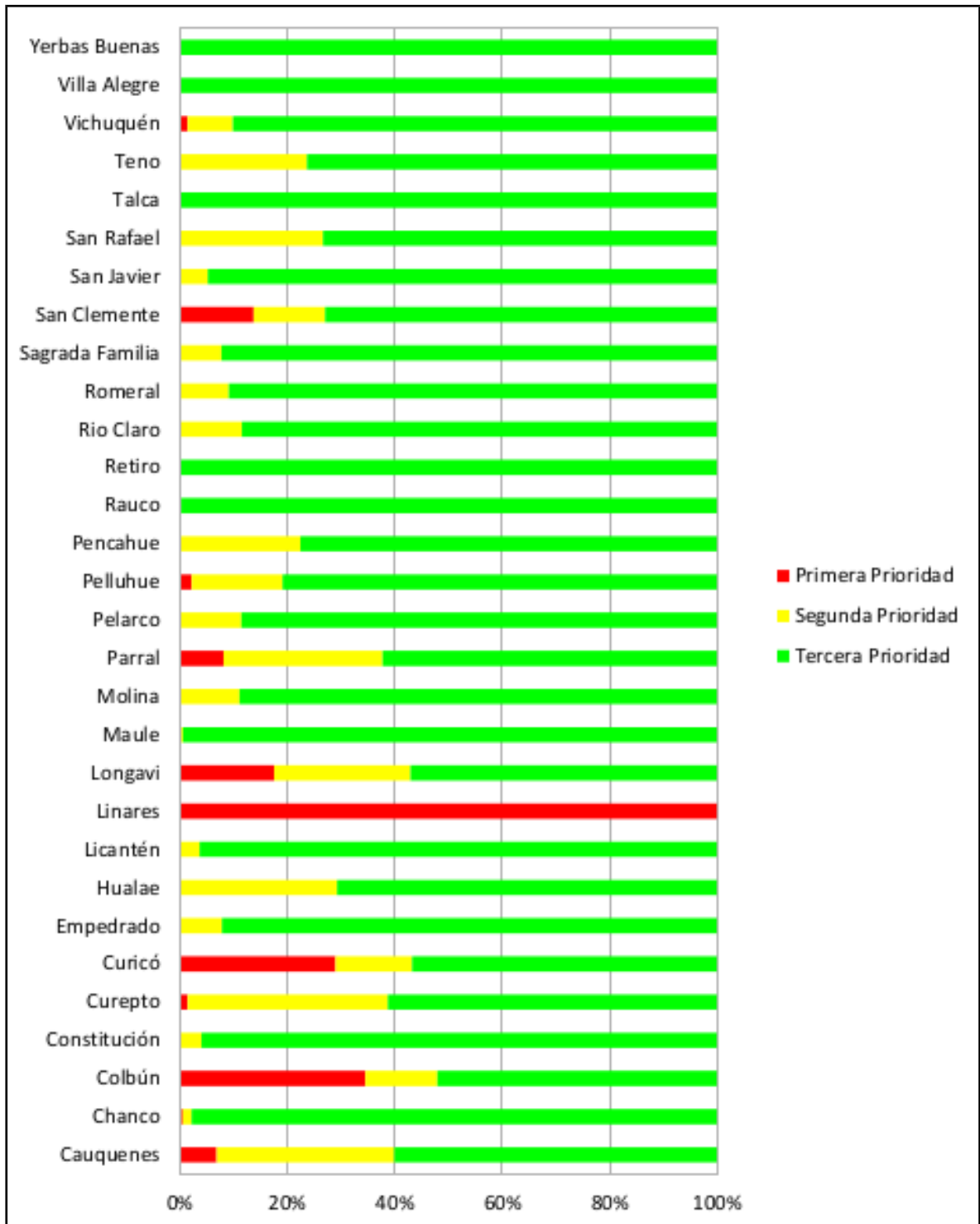
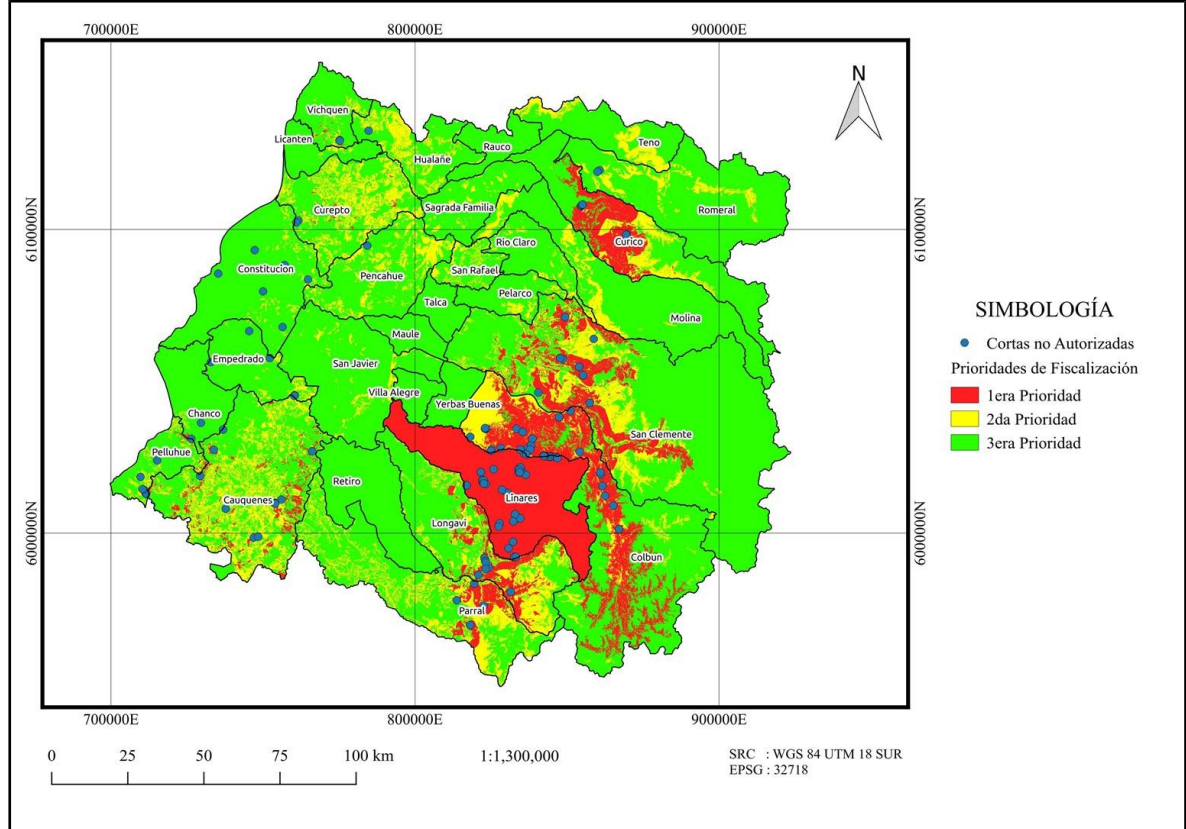


Figura 25: Cortas no Autorizadas detectadas al interior de las Prioridades de Fiscalización de la Región del Maule.



En la Figura 26 se muestra las Cortas no Autorizadas detectadas al interior de las Prioridades de Fiscalización de la Zona de Estudio, donde en comunas como Constitución o Empedrado se tienen muchas Cortas no Autorizadas detectadas en lugares de tercera prioridad. Esto lleva a la reflexión sobre la real dimensión de las prioridades de Fiscalización. Al igual que otros estudios de evaluación multicriterio, como los de Prioridades de Protección de Incendios Forestales, no busca predecir donde ocurrirá otro incendio, sino que donde un incendio sería más perjudicial para las variables en análisis. Del mismo modo el presente estudio no busca predecir donde estará ubicada la siguiente Corta no Autorizada, sino que, en función de las variables y factores en estudio, donde las cortas no autorizadas de bosque nativo tendrían un efecto perjudicial mayor o menor.

En una primera instancia en CONAF las prioridades de fiscalización no se determinaron por el criterio de los séptimos de Julio (1992), sino que en función de su pericia y experiencia determinaron las zonas donde la prioridad de fiscalización fuera alta, media o baja (CONAF, 2007f). Lo cual, si bien no es algo reprochable, no tiene un parámetro objetivo de trabajo que pueda ser replicado en todas las regiones del país. Por lo anterior, el método de séptimos al estar basado en un criterio de oferta-demanda (oferta como la cantidad de recursos que se pueden utilizar para detectar Cortas no Autorizadas, y demanda como las Cortas no Autorizadas que efectivamente ocurren) entrega una estabilidad y objetividad al modelo que no entrega una apreciación subjetiva. Esto se refleja en el estudio del año 2010 de CONAF donde la superficie de alta prioridad cambio en comparación a los años anteriores, debido a que el catastro de bosque nativo de años anteriores carecía de la

información necesaria para hacer un primer buen estudio (CONAF, 2007). Con este método la superficie de fiscalización se mantendría relativamente estable en función de la información obtenida y a que considera otras variables y factores para el estudio, dando un carácter más integral al problema de las Cortas no autorizadas.



#### 4. CONCLUSIONES

- Se logró proponer un método para establecer Prioridades de Fiscalización de la Ley de Fomento Forestal y Recuperación del Bosque Nativo (Ley 20.283), basado en un método de Evaluación Multicriterio llamado de Jerarquías Analíticas de Saaty, resultando consistente en los juicios emitidos por el equipo evaluador. Posteriormente se adaptó al criterio de priorización de los Séptimos para determinar primera, segunda y tercera Prioridad de Fiscalización, obteniendo un criterio integral y replicable de Prioridades de Fiscalización para bosque nativo.
- Las variables propuestas pueden ser diversas en función de las necesidades de la región y de las características de información necesaria para abordar este tipo de estudios. Aspectos tales como actualización, vigencia, escala y resolución, son determinantes para la definición de estas variables.
- La propuesta anterior se complementa con la opinión de expertos, quienes emiten -basado en el método multicriterio - la propuesta de variables y sus pesos asociados en el ámbito de la preservación o conservación, con lo cual es posible obtener un modelo aditivo ponderado matemáticamente más consistente.
- En base de los resultados obtenidos, destaca el Índice de Prioridad por Presión de Uso, como criterio ineludible para la determinación inicial de áreas prioritarias para la fiscalización. Dentro de este índice - que está constituido por cuatro factores- destaca con claridad el factor asociado a la existencia de Cortas no Autorizadas por comuna, este factor puede ser estudiado para desagregarlo con el propósito de tener una precisión mayor sobre la ubicación de la concentración de esfuerzos y recursos para la fiscalización.
- La segunda variable más importante fue la del Índice de Prioridad por Cobertura Vegetal, donde la Fragmentación del bosque nativo y las especies en categoría de conservación fueron los factores más preponderantes. Finalmente, la variable que tuvo menor valoración fue el Índice de Prioridad por Degradación. Esto fue debido a que la Ley 20.283 no tiene un reglamento muy específico al respecto de estas zonas como para considerarlas jerárquicamente superiores a las demás, por lo que a pesar de que tienen un aporte importante a nivel del análisis y discusión del problema, tuvo poca utilidad práctica para el desarrollo de la Fiscalización de la Ley 20.283.
- Muchos de los factores se vieron relacionados con la ubicación de las cortas no autorizadas. Por esta razón, Este estudio recomienda colocar especial énfasis en el sistema de registro de datos con el propósito de disponer de información confiable y precisa, respecto de la ubicación de estos eventos. Para esta tarea será necesario instruir a los Equipos técnicos y organismos competentes, encargados de ingresar y validar este tipo de información a los sistemas de registros. Resolviendo este problema, será posible disponer de una mayor cantidad de datos que permitan robustecer los índices aquí propuestos. Esta precisión también debe ser exigida para la fuente de datos como los caminos y los catastros de bosque nativo que son datos que recurrentemente se ven involucrados en los distintos estudios de caso de Prioridades de Fiscalización.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ARMESTO, J.; VILLAGRÁN, C. Y DONOSO, C. 1994. Desde la era glacial a la industrial: La historia del bosque templado chileno. Ambiente y desarrollo. [En línea] Santiago, Chile. <<http://www.sendadarwin.cl/espanol/wp-content/uploads/2010/03/armesto-et-al-amb-des-1994.pdf>>. [Consulta 24 de enero de 2017].
- BERUMEN, S y LLAMAZARES, F. 2007. La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. [En Línea] Bogotá, Colombia. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20503404>>. [Consulta 31 enero de 2017].
- BARBA-ROMERO, S. y POMEROL, J. 1997. Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica. Alcalá de Henares, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá.
- CHILE. Ministerio de Agricultura. 2008. Ley 20.283: Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal. 30 de julio de 2008 [En Línea] Santiago, Chile. <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=274894>>. [Consulta 20 de enero de 2017].
- CHILE. Ministerio de Agricultura. 2009. Decreto supremo 193. Reglamento General del D. L. 701. 2 de abril de 2009. [En Línea] Santiago, Chile. <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=125009>>. [Consulta 20 de octubre de 2017].
- CHOMITZ, K. Y GRAY, D. 1995. Roads, land use, and deforestation: A spatial model of land use in Belize. The World Bank Economic Review 10(3): 487-512. [En Línea] Santiago, Chile. <<https://pdfs.semanticscholar.org/82e7/7a653383d99ee6c3671d9833437b7f9ea97d.pdf>>. [Consulta 23 de enero de 2018].
- CIREN, 2010. Determinación de Erosión Potencial y Actual de Chile, Código: 06CN12IAM-12; Informe Técnico Final. Diciembre de 2010 [En Línea] Santiago, Chile. <[http://repositoriodigital.corfo.cl/bitstream/handle/11373/3214/06CN12IAM-12\\_IF.pdf?sequence=14](http://repositoriodigital.corfo.cl/bitstream/handle/11373/3214/06CN12IAM-12_IF.pdf?sequence=14)>. [Consulta 17 de abril de 2017].
- CONAF, 1999. Mapa preliminar de la Desertificación en Chile – por comunas-. Gerencia de desarrollo y fomento forestal, Departamento de programas y proyectos, Corporación Nacional Forestal. pp. 8-11.
- CONAF, 2007a. Convenio de desempeño colectivo: Determinación de Áreas Prioritarias de Fiscalización de la Región de los Ríos, para la aplicación de la Ley 20.283”. 9 p.

CONAF, 2007b. Índice de prioridad Vegetacional (IPV). En: Convenio de desempeño colectivo: Determinación de Áreas Prioritarias de Fiscalización de la Región de los Ríos, para la aplicación de la Ley 20.283”. 10 p.

CONAF, 2007c. Índice de prioridad Posicional (IPP). En: Convenio de desempeño colectivo: Determinación de Áreas Prioritarias de Fiscalización de la Región de los Ríos, para la aplicación de la Ley 20.283”. 35 p.

CONAF, 2007d. Índice de prioridad por Presión de Uso (IPPU). En: Convenio de desempeño colectivo: Determinación de Áreas Prioritarias de Fiscalización de la Región de los Ríos, para la aplicación de la Ley 20.283”. 40 p.

CONAF, 2007e. Variable Cercanía a caminos públicos. En: Convenio de desempeño colectivo: Determinación de Áreas Prioritarias de Fiscalización de la Región de los Ríos, para la aplicación de la Ley 20.283. 44 p.

CONAF, 2007f. Resultados. En: Convenio de desempeño colectivo: Determinación de Áreas Prioritarias de Fiscalización de la Región de los Ríos, para la aplicación de la Ley 20.283”. 55p.

CONAF, 2011a. Tarea CDC 3.1.4. Determinación de Áreas Prioritarias de Fiscalización de la Región de Atacama, para la aplicación de la Ley 20.283. Oficina Regional Copiapó CONAF Atacama. 3 p.

CONAF, 2011b. Informe anual de Estadísticas de Fiscalización Forestal. Departamento de Fiscalización Forestal y Monitoreo de Ecosistemas Forestales.

CONAF, 2014. Informe anual de Estadísticas de Fiscalización Forestal 2013. Departamento de Fiscalización Forestal y Monitoreo de Ecosistemas Forestales.

CONAF, 2017. Fiscalización Forestal. [En Línea] Santiago, Chile. <<http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/fiscalizacion-forestal/>>. [Consulta 21 de enero de 2017].

EMANUELLI, P.; DUARTE, E.; MILLA, F. y SARTORI, A. 2015. Alineación del Programa de Acción Nacional Contra la Desertificación (PANCD) de Chile con la Estrategia Decenal de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (CNULD) y su vinculación con la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV). Nota Informativa ENCCRV (ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS VEGETACIONALES. (02): 3.

GÓMEZ, M. y BARREDO, J., 2005a. EMC, Antecedentes y fundamentos conceptuales. En: Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. 2ª ed. España, Editorial RA-MA. 43 p.

GÓMEZ, M. y BARREDO, J., 2005b. Enfoques de la Teoría de Decisión. En: Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. 2ª ed. España, Editorial RA-MA. pp 44-45.

GÓMEZ, M. y BARREDO, J., 2005c. Componentes de la EMC en torno a los SIG. En: Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. 2ª ed. España, Editorial RA-MA. pp 47-57.

GÓMEZ, M. y BARREDO, J., 2005d. Fases de aplicación. En: Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. 2ª ed. España, Editorial RA-MA. pp 47-57.

GÓMEZ, M. y BARREDO, J., 2005e. Integración de Métodos de EMC y SIG: Fases de su aplicación. En: Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. 2ª ed. España, Editorial RA-MA. pp 57-84.

JULIO, G. 1992. Método de determinación de prioridades de protección. Universidad de Chile. Escuela de Ciencias Forestales. Manual Docente N° 10. pp 28.

MCGARIGAL, K. 2015a. Fragstats Metrics, Area and Edge metrics. En:Fragstat help. pp 87-99.

MCGARIGAL, K. 2015b. Fragstats Metrics, Shape metrics. En:Fragstat help. pp 100-109.

MALCZEWSKI, J. 2000. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. Transactions in GIS: 5-22. [En Línea] Ontario, Canadá.

<<https://pdfs.semanticscholar.org/6734/47a6a14c1f32d32c9d5e4feca97380580acb.pdf>>. [Consulta 21 de septiembre de 2017].

MARQUEZ, H., 1992. Métodos Matemáticos de Evaluación de Factores de Riesgo para el Patrimonio Arqueológico: Una Aplicación GIS del Método de Jerarquías Analíticas de T.L. Saaty. [En Línea] Santiago, Chile. <[http://institucional.us.es/revistas/spal/8/art\\_2.pdf](http://institucional.us.es/revistas/spal/8/art_2.pdf)>. [Consultado el 21 de agosto de 2017].

MMA, 2010. Historia de la Clasificación de Especies según Estado de Conservación en Chile y del Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres. Ministerio del Medio Ambiente, [En Línea] Santiago, Chile. <<http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/doc/historiadelaClasificaiondeEspecieenChile.pdf>>. [Consulta 20 de enero de 2017].

MMA, 2011. Las Áreas Protegidas de Chile Antecedentes, Institucionalidad, Estadísticas y Desafíos. División de Recursos Naturales Renovables y Biodiversidad, Ministerio del Medio Ambiente. [En Línea] Santiago, Chile. <[http://www.mma.gob.cl/1304/articles-50613\\_pdf.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-50613_pdf.pdf)>. [Consulta 20 de septiembre de 2017].

MORENO, A. 1991. Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores Kernel. Universidad Autónoma de Madrid - Departamento de Geografía. [En línea] Santiago, Chile. <<https://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000075/00000010.pdf>>. [Consulta 5 de enero de 2018].

MORENO, A Y FUENZALIDA, M. 2015. Análisis espacial basado en SIG del malestar percibido ante industrias contaminantes: el caso del complejo industrial ventanas, Chile. Revista Ciencias Espaciales 8(2): 304-325. [En línea] Santiago, Chile. <[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=13&ved=0ahUKEwiF75b\\_ycrZAhXPmVkKHbBqDrI4ChAWCDIwAg&url=https%3A%2F%2Fwww.lamjol.info%2Findex.php%2FCE%2Farticle%2Fdownload%2F2084%2F1880&usg=AOvVaw0ZrKIziHU-21rk\\_W\\_tE2gm](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=13&ved=0ahUKEwiF75b_ycrZAhXPmVkKHbBqDrI4ChAWCDIwAg&url=https%3A%2F%2Fwww.lamjol.info%2Findex.php%2FCE%2Farticle%2Fdownload%2F2084%2F1880&usg=AOvVaw0ZrKIziHU-21rk_W_tE2gm)>

NELSON, G Y HELLERSTEIN, D. 1995. Do Roads Cause Deforestation? Using Satellite Images in Econometric Analysis of Land Use. Department of Agricultural Economics, University of Illinois, Urbana-Champaign. [En línea] Santiago, Chile. <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.200.681&rep=rep1&type=pdf>>. [Consulta 22 de enero de 2018].

ONU, 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Organización de las Naciones Unidas pág 3. [En Línea] Santiago, Chile. <<https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>>. [Consulta 20 de septiembre de 2017].

OYARZUM, C., 2005. Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. Revista Ambiente y Desarrollo 20(3) - 21(1): 88-95. [En Línea] Santiago Chile. <[http://www.uvm.edu/~jfarley/UFSC/literatura/literatura%20em%20portugues/sa\\_bosque\\_producao\\_agua\\_valoracao\\_econ\\_chile.pdf](http://www.uvm.edu/~jfarley/UFSC/literatura/literatura%20em%20portugues/sa_bosque_producao_agua_valoracao_econ_chile.pdf)>. [Consulta 20 agosto de 2017].

PNUD, 2017. Índice de Desarrollo Humano. Desarrollo Humano Chile. [En Línea] Santiago, Chile. <<http://desarrollohumano.cl/idh/indice-desarrollo-humano/>>. [Consulta 20 de noviembre de 2017].

POMPA, M Y HERNÁNDEZ, P. 2012. Determination of spatial trends of hotspots as a strategy for forest fires monitoring in Durango, México. Bosque 33(1): 63-68. [En línea] Santiago, Chile. <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002012000100007](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002012000100007)>. [Consulta 27 de enero de 2018].

RETAMAL, J. Interpretación del Alcance de las Facultades Fiscalizadoras y de Denuncia Detentadas por la Corporación Nacional Forestal y la Superintendencia del Medio Ambiente respecto de Infracciones de carácter Forestal respecto de Proyectos Aprobados en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. 53p. [En Línea] Santiago, Chile. <<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130088/Interpretaci%C3%B3n-del-alcance-de-las-facultades-fiscalizadoras-y-de-denuncia-detentadas-por-la-Corporaci%C3%B3n-Nacional-Forestal.pdf;sequence=1>>. [Consulta 22 de enero de 2017].

REYNOLDS, J.; MAESTRE, F.; HUBER-SANNWALD, E.; HENRRICK, J. Y KEMP, P. 2005. Aspectos Socioeconómicos y Biofísicos de la desertificación. *Ecosistemas* 14(3): 3-21. [En línea] Santiago, Chile. <<http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Aspsocbiodeses.pdf>>. [Consulta 29 de enero de 2018].

ROBBINS, C.; DAWSON, D.; Y DOWELL, B. 1989. Habitat area requirements of breeding forest birds of the middle Atlantic states. [En Línea] Santiago, Chile. <[http://www.jstor.org/stable/3830692?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/3830692?seq=1#page_scan_tab_contents)>. [Consulta 20 de septiembre de 2017].

SANTÉ, I. y CRECENTE, R. 2005. “Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales”, *GeoFocus* (Artículos), (5): 42.

SCHALTTERL, J. y NEIRA, E. 2002. Elaboración de Prediagnóstico Nacional del Componente Suelos para la Discusión Regional de la Política para la Sustentabilidad Ambiental del Patrimonio Natural Renovable. Universidad Austral.

TAYLOR, P.; FAHRIG, L.; HENEIN, K.; Y MERRIAM, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, Vol. 68, No. 3, págs. 571-573. [En Línea] Santiago, Chile. <<http://max2.esu-psud.fr/epc/conservation/PDFs/HIPE/Taylor1993.pdf>>. [Consulta 20 de octubre de 2017].

THOMSON, I., 2011. Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal. *Unasylva*, Revista internacional de silvicultura e industrias forestales, FAO 62(238): 25-30. [En Línea] Santiago, Chile. <<http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-10/SEMANA1/07.pdf>>. [Consulta 20 de noviembre de 2017].

VÍA, M.; MUÑOZ, M.; MARTÍN, B. 2006. SIG y Evaluación Multicriterio en la Valoración de la Vegetación y Flora de las Áreas no Protegidas de la Comunidad de Madrid. Centro de Investigaciones Ambientales de la Comunidad de Madrid “Fernando González Bernáldez”. [En Línea] Santiago, Chile. <[http://www.age-geografia.es/tig/docs/XII\\_2/096%20-%20Via%20Garcia%20et%20al.pdf](http://www.age-geografia.es/tig/docs/XII_2/096%20-%20Via%20Garcia%20et%20al.pdf)>. [Consulta 30 de octubre de 2017].

VERGARA, G. Y GAYOSO, J. 2004. Efecto de factores físico-sociales sobre la degradación del bosque nativo. *Bosque* 25(1): 43-52. [En Línea] Santiago, Chile. <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002004000100004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002004000100004)>. [Consulta 30 de enero de 2017].

ZHAO, Y.; FENG, D.; YU, L.; WANG, X.; CHEN, Y.; BAI, Y.; HERNÁNDEZ, H.; GALLEGUILLOS, M.; ESTADES, C.; BIGING, G.; RADKE, J.; Y GONG P. 2016. Detailed dynamic land cover mapping of Chile: Accuracy improvement by integrating multi-temporal data. *Remote Sensing of Environment* (183): 170-185. [EnLínea] Santiago, Chile. <<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/142288/Detailed-dynamic-land-cover-mapping-of-Chile.pdf?sequence=1>>. [Consulta 20 de enero de 2017].

## ANEXO

ANEXO 1: Suma de Planes de Manejo Forestal y Normas de Cortas de Bosque Nativo entre 2011 y 2015 por cada comuna de la Región del Maule.

Comunas	SUMA PM-NC
Linares	140
San Clemente	93
Longaví	69
Cauquenes	56
Parral	38
Molina	23
Curepto	19
Pencahue	18
Curicó	18
Teno	16
Constitución	16
Sagrada Familia	14
Colbún	13
Rauco	10
Rio Claro	10
Empedrado	7
Romeral	6
Pelluhue	5
San Javier	4
Vichuquén	3
Licantén	2
Chanco	1
Hualañé	1
Pelarco	0
San Rafael	0
Talca	0
Maule	0
Retiro	0
Yerbas Buenas	0
Villa Alegre	0
TOTAL	584

## APÉNDICE

APÉNDICE 1: Suma de Cortas no Autorizadas para la Región del Maule entre los años 2012-2016.

Comunas	Suma total de Cortas no Autorizadas
Linares	75
Colbún	37
Curicó	30
Pelluhue	14
Cauquenes	12
San Clemente	11
Longaví	10
Parral	6
Constitución	6
Empedrado	6
Curepto	3
Romerol	3
Vichuquén	3
Pencahue	1
Chanco	1
Hualañé	1
Molina	0
Teno	0
Sagrada Familia	0
Rauco	0
Rio Claro	0
San Javier	0
Licantén	0
Pelarco	0
San Rafael	0
Talca	0
Maule	0
Retiro	0
Yerbas Buenas	0
Villa Alegre	0
TOTAL	219