



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**

**DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

---

**IDENTIFICACIÓN DE AREAS POTENCIALES FÍSICAS PARA EL  
ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES  
DENDROENERGÉTICAS PARA LA COMUNA DE EMPEDRADO,  
REGIÓN DEL MAULE.**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**ADOLFO MAXIMILIANO YAÑEZ LEIVA**

Profesores Guías: Sr. Roberto Garfias Salinas. Ingeniero Forestal, M. C.

Sr. Miguel Castillo Soto. Ingeniero Forestal, Mg. Sc.

---

Santiago, Chile

2009

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES FÍSICAS PARA EL  
ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES  
DENDROENERGÉTICAS PARA LA COMUNA DE EMPEDRADO,  
REGIÓN DEL MAULE.**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**ADOLFO MAXIMILIANO YAÑEZ LEIVA**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Roberto Garfias Salinas	6.5	.....
Prof. Guía Sr. Miguel Castillo Soto	7.0	.....
Prof. Consejero Sr. Luis González Rodríguez	5.8	.....
Prof. Consejero Sr. Jorge Gilchrist Moreno	6.0	.....

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a mi esposa Lorena, mis hijos Ignacia y Santiago*

*A mis padres Adolfo y Virginia*

*A mi hermano Nicolás*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todas las personas que esperaron la finalización de éste trabajo durante tantos años.

A mi esposa, mis padres y mi hermano, por el apoyo incondicional otorgado durante todo este tiempo.

A mis profesores guías Roberto Garfias y Miguel Castillo. Por vuestra paciencia, confianza y amistad.

A la Universidad de Chile por entregarme los conocimientos que me han permitido trabajar tanto en el área forestal-maderera como en educación.

A todos mis amigos, en especial a Christian Ramírez y Patricio Vergara, por su importante apoyo a esta memoria de título.

A todos los profesionales de universidades y empresas que colaboraron desinteresadamente en este trabajo.

A la comunidad de Empedrado, por el cariño otorgado y la oportunidad de trabajar durante cinco años en ese hermoso lugar.

**GRACIAS**

## INDICE

	Pág	
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1	Especies Dendroenergéticas.....	2
1.2	Zonificación a base de análisis multicriterio.....	3
<b>2</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>5</b>
2.1	Material.....	5
2.1.1	Localización geográfica del área de estudio.....	5
2.1.2	Fuentes de información.....	5
2.1.3	Procesamiento de la información.....	5
2.2	Método.....	6
2.2.1	Elección de especies.....	6
2.2.2	Variables consideradas en el estudio.....	6
2.2.3	Zonas excluyentes para plantaciones dendroenergéticas.....	12
2.2.4	Método Delphi.....	12
2.2.5	Incorporación de la opinión de los expertos al SIG.....	14
2.2.6	Rasterización.....	15
2.2.7	Procesos Fuzzy.....	15
2.2.8	Modelos de capacidad de acogida.....	16
2.2.9	Validación de los datos.....	18
2.2.10	Cartografía de síntesis.....	18
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>19</b>
3.1	Análisis de los requerimientos agroecológicos de las especies candidato...	19
3.1.1	<i>Acacia dealbata</i> Link (Aromo del país).....	19
3.1.2	<i>Acacia melanoxylon</i> R. Brown (Aromo australiano).....	21
3.1.3	<i>Chamaecytisus proliferus ssp. palmensis</i> (Tagasaste).....	23
3.1.4	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh (Eucalipto rojo).....	25
3.1.5	<i>Robinia pseudoacacia</i> (Falso acacio).....	27
3.2	Modelos de acogida para las plantaciones dendroenergéticas.....	29
3.2.1	Modelo de acogida para plantaciones de <i>Acacia dealbata</i> .....	29
3.2.2	Modelo de acogida para plantaciones de <i>Acacia melanoxylon</i> .....	31
3.2.3	Modelo de acogida para plantaciones de <i>Chamaecytisus proliferus</i> .....	33
3.2.4	Modelo de acogida para plantaciones de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .....	35
3.2.5	Modelo de acogida para plantaciones de <i>Robinia pseudoacacia</i> .....	37
3.3	Opción de uso del suelo.....	39
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>43</b>
	APÉNDICE 1.....	47
	APÉNDICE 2.....	51
	APÉNDICE 3.....	52
	APÉNDICE 4.....	53
	APÉNDICE 5.....	55
	APÉNDICE 6.....	58
	APÉNDICE 7.....	59

## INDICE DE CUADROS

		Pág
<b>Cuadro 1</b>	Uso y limitaciones de las variables climáticas	7
<b>Cuadro 2</b>	Categorías de profundidad de suelos.	8
<b>Cuadro 3</b>	Uso y limitaciones de las variables edáficas	9
<b>Cuadro 4</b>	Uso y limitaciones de las variables orográficas	10
<b>Cuadro 5</b>	Requerimientos ambientales de las especies propuestas.	11
<b>Cuadro 6</b>	Matriz utilizada para evaluar las variables en estudio.	14
<b>Cuadro 7</b>	Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para <i>Acacia dealbata</i> .	20
<b>Cuadro 8</b>	Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para <i>Acacia melanoxylon</i> .	22
<b>Cuadro 9</b>	Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para <i>Chamaecytisus proliferus</i> .	24
<b>Cuadro 10</b>	Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .	26
<b>Cuadro 11</b>	Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para <i>Robinia pseudoacacia</i> .	28
<b>Cuadro 12</b>	Superficies potenciales para <i>Acacia dealbata</i> .	30
<b>Cuadro 13</b>	Superficies potenciales para <i>Acacia melanoxylon</i> .	32
<b>Cuadro 14</b>	Superficies potenciales para <i>Chamaecytisus proliferus</i> .	34
<b>Cuadro 15</b>	Superficies potenciales para <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .	36
<b>Cuadro 16</b>	Superficies potenciales para <i>Robinia pseudoacacia</i> .	38
<b>Cuadro 17</b>	Superficies propuestas para cada especie	41

## INDICE DE FIGURAS

		Pág
<b>Figura 1</b>	Ejemplos de funciones de membresía utilizadas en algunas variables del estudio.	15
<b>Figura 2</b>	Metodología aplicada para obtener los modelos de capacidad de acogida	18
<b>Figura 3</b>	Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de <i>Acacia dealbata</i>	29
<b>Figura 4</b>	Modelo final de acogida para <i>Acacia dealbata</i>	30
<b>Figura 5</b>	Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de <i>Acacia melanoxylon</i>	31
<b>Figura 6</b>	Modelo final de acogida para <i>Acacia melanoxylon</i>	32
<b>Figura 7</b>	Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de <i>Chamaecytisus proliferus</i>	33
<b>Figura 8</b>	Modelo final de acogida para <i>Chamaecytisus proliferus</i>	34
<b>Figura 9</b>	Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	35
<b>Figura 10</b>	Modelo final de acogida para <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	36
<b>Figura 11</b>	Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de <i>Robinia pseudoacacia</i>	37
<b>Figura 12</b>	Modelo final de acogida para <i>Robinia pseudoacacia</i>	38
<b>Figura 13</b>	Opciones de uso del suelo	40
<b>Figura 14</b>	Uso propuesto del suelo	40

## RESUMEN

Se identificaron las áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas para la Comuna de Empedrado, Región del Maule, utilizando criterios ambientales y territoriales. Para ello se propusieron cinco especies forestales, *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Chamaecytisus proliferus ssp. palmensis*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Robinia pseudoacacia*.

El primer paso para establecer este tipo de plantaciones fue encontrar áreas susceptibles de recibirlas. Para identificar áreas potenciales físicas para plantaciones dendroenergéticas se evaluó la aptitud del terreno integrando la opinión de expertos en plantaciones forestales y dendroenergía, más la información cartográfica y digital disponible de la Comuna de Empedrado, además de los requerimientos ambientales de las especies propuestas obtenidos mediante investigación documental.

Se determinaron nueve variables climáticas, edáficas y orográficas que fueron jerarquizadas por los expertos a través del método delphi. Esta información fue incorporada en sistemas de información geográfica (SIG) a través de matrices de comparación de pares para determinar el peso de cada variable. Cada variable se representó espacialmente y fueron transformadas a una escala común a través de procesos fuzzy (lógica borrosa).

La aptitud del terreno se clasificó en tres categorías: alta, media y baja, ocupando el criterio de zonificación utilizado en manejo del fuego propuesto por Julio (1999), el cual otorga aproximadamente 1/7 de las 12.828,6 hectáreas disponibles actualmente a la categoría “alta”, 2/7 a la categoría “media” y 4/7 a la categoría “baja”.

Finalmente se elaboraron modelos de capacidad de acogida del territorio para plantaciones dendroenergéticas para cada especie propuesta, en donde se observan, cuantifican y ubican espacialmente áreas de alta, media y baja aptitud. Se excluyeron las áreas restrictivas correspondientes a plantaciones forestales, bosque nativo y zonas urbanas. Al comparar estos modelos la especie *Chamaecytisus proliferus* es la que posee mayor aptitud en un 70,3% de la superficie disponible mientras que *Robinia pseudoacacia* no es recomendable para ésta comuna. Los sectores de Empedrado con mayor aptitud a recibir plantaciones son “La Orilla”, “Quenehuao” y “Puico Alto”.

Palabras clave: *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Chamaecytisus proliferus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Robinia pseudoacacia*, Dendroenergía.



## ABSTRACT

Potential areas for establishing of wood energy plantations in the Empedrado municipality, Maule region, were identified using environmental and territorial criteria. For this, five forest species were proposed, *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Chamaecytisus proliferus ssp. palmensis*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Robinia pseudoacacia*.

The first step to establishing this kind of plantations was to find susceptible areas to receive them. The suitability of the land was evaluated integrating the opinion of experts in forest plantations and wood energy add with cartographic and digital information available of the Empedrado municipality, besides the environmental requirements of the propose species obtained by documentary investigation.

Nine climatic, soils and orographic variables were hierarchized by the experts through Delphi Method. This information was incorporated in geographic information systems (GIS) through pairwise comparison files to determine the weight of each variable. Each variable was spatially represented and were transformed on a common scale by means fuzzy logic processes.

The land suitability was classified in three categories: high, medium and low, using the zoning criteria used in fire management proposed by Julio (1999), who grants approximately 1/7 of the 12,828. 6 hectares currently available to high category, 3/7 to medium category and 4/7 to low category.

Finally suitability land models for wood energy plantations for each propose species were elaborated, where they are observed, they space quantify and they locate areas of high, medium and low suitability. The restrictive areas corresponding to forest plantations, native forest and urban zones were excluded. When comparing these models the *Chamaecytisus proliferus* is the one that owns major suitability in a 70.3% of the surface available whereas *Robinia pseudoacacia* is not recommendable for this municipality. The sectors of Empedrado municipality with greater suitability to receive plantations are “La Orilla”, “Quenehuao” and “Puico Alto”.

Key words: *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Chamaecytisus proliferus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Robinia pseudoacacia*, Wood Energy.

## 1 INTRODUCCIÓN

La leña se ha ocupado en Chile como fuente de energía desde épocas prehispánicas. A pesar de que hoy día las principales fuentes de energía provienen de los combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural, la leña sigue representando un porcentaje importante del consumo energético nacional, tanto en el consumo de los hogares urbanos como rurales del sur del país, debido principalmente al bajo precio de ésta, su alto poder calorífico y su fácil accesibilidad. Del total de leña que se ocupa en Chile, un gran porcentaje proviene de especies de los diferentes tipos de bosques nativos del país. Esta situación ha producido fuertes presiones de extracción sobre los bosques nativos. Además, el uso indiscriminado de la leña, especialmente en el período de invierno, ha originado problemas de contaminación atmosférica en algunas ciudades como Temuco y Valdivia debido a la baja tecnología de los equipos de combustión a leña y el alto contenido de humedad de ésta.

A pesar de los impactos ambientales provocados por el uso de la leña como combustible, entre ellos agotamiento del recurso forestal, erosión, desertificación y contaminación, es innegable su uso y significancia cada vez mayor a nivel nacional y social (Benedetti, 1991).

Varios autores coinciden en la gran importancia que tiene la leña y sus derivados en la matriz energética nacional. Donoso (1991), señala que aproximadamente un 25% del consumo energético nacional proviene de la leña. El Instituto Forestal (INFOR) (1994), menciona a la leña con una participación del 22% en el abastecimiento energético del país para el año 1992. Heimfeld (2003), estima el consumo de leña entre 9 a 12 millones de m<sup>3</sup> anuales, equivalentes al 17% del consumo total de energía del país y que genera un flujo aproximado de 115 mil millones de pesos anuales. Burschel *et al.* (2003), indican que el aporte de la leña en la balanza energética nacional es de 17%, transformándose en el tercer energético más importante. Además señalan que la leña tiene un potencial de abastecer entre un 30 a 40% la demanda nacional de energía. La Comisión Nacional de Energía (CNE) sitúa el consumo de leña para el año 2004 en un 13%.

El negocio de la leña en general es informal, pues no paga impuestos, no existe ningún control de calidad ni manejo silvicultural específico asociado. Esto hace necesario la elaboración de una política dendroenergética que considere el desarrollo de una silvicultura con estos fines, así como una tecnología eficiente para su aprovechamiento, la que podrá revertir los efectos negativos que esta actividad tiene en los bosques nativos del país (Donoso, 1991).

La Región del Maule incluye la mayor parte de la distribución geográfica del “Bosque Maulino”. Este tipo forestal conocido como Roble-Hualo ha experimentado un fuerte impacto antrópico debido a su utilización para la construcción de lanchones, madera aserrada, leña y carbón. Además, en los últimos 30 años evidenció una fuerte disminución de su superficie debido a la sustitución por plantaciones forestales de pino y eucalipto. El uso que le ha dado el hombre al bosque maulino, ha incidido en que la superficie que ocupa se encuentre muy fragmentada y que tres especies de este tipo forestal, se encuentren catalogadas según su grado de conservación como “En Peligro de Extinción”. Estas especies son *Nothofagus alessandri* “ruil”, *Pitavia punctata* “pitao” y *Gomortega keule*

“queule”, las cuales están apenas representadas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en las Reservas Nacionales “Los Ruiles” y los “Queules”.

Un ejemplo de esta situación lo representa la Comuna de Empedrado, que se encuentra ubicada en la Cordillera de la Costa de la Región del Maule. La superficie de ésta comuna se encuentra cubierta mayoritariamente por plantaciones forestales de pino y eucalipto más bosque nativo del tipo forestal Roble-Hualo, el cual es utilizado principalmente por los pequeños propietarios de esta comuna para leña y carbón. Así, las plantaciones forestales que ocupen especies dendroenergéticas surgen como una buena posibilidad de disminuir la presión del uso de leña sobre el bosque nativo, junto con otorgar una permanente disponibilidad de leña a los hogares rurales y además entregar una posibilidad de ingresos económicos a los pequeños propietarios forestales que la comercialicen.

### **1.1 Especies Dendroenergéticas**

En Chile, por motivos socioeconómicos y culturales, no es posible prescindir de la leña en el corto plazo, pero sí del uso de las maderas nativas y así desviar la presión extractiva sobre el bosque nativo a través de las plantaciones dendroenergéticas, donde se puede actuar a dos niveles: plantaciones dendroenergéticas a escala comercial y a escala familiar-rural (Muñoz y Yáñez, 2003). Ábalos (2002), señala que la mejor alternativa para el sector rural son las plantaciones energéticas, dado que la leña es un producto que ofrece ventajas con respecto a otros combustibles, tales como facilidad de producción y manejo además de obtener otros productos (forraje, madera, frutos, medicinas). Es prioritario entonces, el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas, sobretudo en aquellas regiones que han estado sometidas a una deforestación intensiva y donde las formaciones naturales no están en condiciones de satisfacer las necesidades.

Vita (1991) indica que las especies que van a ser incluidas en un proyecto de forestación, cuyo objetivo prioritario es el de producir madera para combustible, deben cumplir a lo menos con dos características fundamentales: 1) tener rápido crecimiento y 2) ser capaces de retoñar a partir de tocón. Es muy importante que la plantación produzca en períodos lo más corto posible y en forma repetida, considerando también, la calidad del combustible producido (Vita, 1990). Aparte de producir leña, es de interés que la especie produzca otros bienes o servicios que se pueden combinar con el objetivo principal como por ejemplo alimento y sombra para el ganado, madera para cercos, flores melíferas, cortezas o cortina cortaviento. Las plantaciones de uso múltiple incentivan más a la población rural a plantar que cuando se trata de un solo uso específico (FAO, 1988).

El óptimo es utilizar sólo aquellas especies con alto valor calorífico. Sin embargo, existe dificultad para encontrar los sitios adecuados para ellas en especial en zonas muy degradadas. Así, la forestación a gran escala, implica riesgos, ya que en general se desconocen las condiciones de sitio apropiadas para cada una. Por consiguiente, es elemental el estudio de los hábitat de cada especie en particular, para proponerlas en los lugares adecuados (Ruiz de Gamboa, 1986).

Para la Comuna de Empedrado, Vita (1991) recomienda las siguientes especies dendroenergéticas exóticas: *Eucalyptus camaldulensis*, *Acacia melanoxylon*, *Casuarina cunninghamiana*, *Casuarina equisetifolia*, *Casuarina stricta*, *Eucalyptus globulus* y *Tamarix gallica*. Entre las nativas menciona a *Quillaja saponaria* y *Nothofagus glauca*.

## **1.2 Zonificación a base de Análisis Multicriterio**

El recurso dendroenergético puede ser expresado territorialmente. Para ello, la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Evaluación Multicriterio (EMC), proporcionan antecedentes extremadamente útiles para la caracterización del territorio.

La evaluación multicriterio se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. El fin básico de estas técnicas es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto (Voogd, 1983). La toma de decisiones multicriterio se puede entender como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos para auxiliar a los centros de decisión a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetivos, en base a una evaluación expresada por puntuaciones, valores, o intensidades de preferencia.

Los SIG ofrecen herramientas que permiten obtener a través de análisis determinísticos, áreas disponibles para una posterior evaluación. Los datos espaciales que entregan los SIG deben ser evaluados a la luz de procedimientos de EMC para establecer órdenes de preferencia, jerarquías de capacidad, etc. Sin embargo, estos métodos no están integrados en los SIG de manera extensa, lo cual puede establecerse a través de la adaptación e inclusión de sistemas informáticos de los métodos a implementar, con lo cual se dispone de una herramienta SIG+EMC sumamente poderosa para asistir en procesos de análisis espacial a través del modelado, en especial para estudios de localización o asignación de recursos o actividades, tomando en cuenta diversos criterios y múltiples objetivos (Barredo, 1996).

Un ejemplo de utilización de SIG más EMC es el estudio de Rivera (2001) sobre Aplicación de la evaluación multicriterio para la asignación de funciones al territorio de la Reserva Nacional Valdivia. Aquí se utilizó información georeferenciada de la Reserva Nacional junto con los datos aportados por una matriz de compatibilidad de objetivos elaborada por cuatro profesionales expertos en el tema, y del área forestal.

Otro estudio de este tipo es el de Álvarez (2003) sobre Localización de sitios para el establecimiento de plantaciones de quillay en el predio Ovejería de propiedad de CODELCO Chile. Se utilizó la herramienta SIG+EMC para generar un modelo de capacidad de acogida para las plantaciones de quillay utilizando la información digital disponible y el método de las jerarquías analíticas para luego generar la cartografía de síntesis.

Sin embargo es necesario señalar que en la formulación de cualquier modelo territorial, su aplicación e interpretaciones, es deseable que esté respaldado por la opinión de expertos en el tema, con el propósito de revisar y validar criterios respecto a la definición y manejo de variables territoriales que eventualmente puedan ser consideradas en un estudio en particular.

Todo lo anteriormente expuesto otorga el marco conceptual para este estudio cuyo objetivo general es “Identificar áreas potenciales físicas para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas para la comuna de Empedrado, Región del Maule” con los objetivos específicos de “Analizar los requerimientos agroecológicos de las especies dendroenergéticas más aptas para ser establecidos en la Comuna de Empedrado, Región del Maule” e “Identificar zonas de acuerdo a la aptitud para cada especie dendroenergética propuesta para el secano de la Región del Maule”.

## **2 MATERIAL Y MÉTODO**

### **2.1 MATERIAL**

#### **2.1.1 Localización geográfica del área de estudio**

El área de estudio corresponde a la Comuna de Empedrado, que se encuentra ubicada en la provincia de Talca, Región del Maule, a 72° 21' 0'' O y 35° 37' 30'' S (IGM, 2004). Limita por el norte con la Comuna de Constitución, por el sur con la Comuna de Cauquenes, por el este con la Comuna de San Javier y por el oeste con la Comuna de Chanco (DOS, 1998). Posee una superficie de 56.762 hectáreas, las que se clasifican en 37.498 de plantaciones forestales, 5.051 corresponden a bosque nativo, 11.267 de matorrales, 2.873 de terrenos agrícolas y 54 de áreas urbanas e industriales (IGM, 2004).

#### **2.1.2 Fuentes de información**

Las fuentes de información utilizadas en la identificación de áreas potenciales para establecer plantaciones dendroenergéticas son:

- Levantamiento de información de fuentes primarias generada a través de encuestas a expertos.
- Recopilación de información de fuentes secundarias como: Memorias de título, instituciones como CNE, CONAF e INFOR, sitios internet como Sistema de Gestión Forestal entre otras.

#### **2.1.3 Procesamiento de la información**

Para procesar los datos provenientes de las encuestas a expertos se utilizó planilla de cálculos Microsoft Office Excel 2007.

Como cartografía base se utilizaron mosaicos CIREN-CORFO (1987) escala 1:20.000, el Plano Digital de la Comuna de Empedrado e información física y ambiental digitalizada, perteneciente al Departamento de Desarrollo Rural de la Comuna de Empedrado. Esta cartografía se analizó con SIG como el software ArcView Gis 3.2.

## 2.2 MÉTODO

### 2.2.1 Elección de especies

Luego de realizar consultas a expertos y revisión bibliográfica sobre especies dendroenergéticas, se determinó que las con mayor potencial para la Comuna de Empedrado son *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Chamaecytisus proliferus ssp. palmensis*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Robinia pseudoacacia*. Entre las razones para seleccionar éstas especies se puede mencionar que:

- Cumplen con las características de una especie dendroenergética, las cuales son rápido crecimiento, poseer regeneración vegetativa y ser aptas para diversos propósitos de manejo.
- Están presentes en el área de estudio en forma de plantación o asilvestramiento<sup>1</sup>.
- Se encuentran en unidades demostrativas en el área de estudio y en comunas aledañas como Curepto, San Javier y Chanco.

Para obtener datos sobre los requerimientos ambientales de éstas especies dendroenergéticas se utilizó el método de investigación documental (González, 1997).

### 2.2.2 Variables consideradas en el estudio

Este estudio sólo consideró variables de tipo ambiental ya que el primer paso fue determinar cuales son las especies más aptas para ser forestadas según las restricciones que imponen las variables ambientales presentes, ya sean climáticas, topográficas o edáficas y, no incluye variables económicas, productivas ni sociales. Se seleccionaron nueve variables comúnmente empleadas en la determinación de áreas potenciales, en este caso de especies forestales de uso dendroenergético, debido a que se encontraban expresadas en forma espacial y su representación gráfica (Apéndice 1) fue obtenida de información digitalizada con la que cuenta la Ilustre Municipalidad de Empedrado.

Según Gilchrist (2009), las variables que intervienen en la definición de un rodal se clasifican en variables de causa y respuesta. Las utilizadas en este estudio corresponden a variables de causa, las que se se pueden clasificar en primarias (que regulan todo el proceso del rodal en crecimiento y no pueden estar ausentes) y secundarias (variables antrópicas que pueden estar ausentes). También se pueden clasificar en relevantes (independientes de otras variables de causa) o no relevantes (controladas por otras variables de causa). A continuación se definen cada una de las variables agrupadas en los criterios Clima, Suelo y Orografía.

---

<sup>1</sup> Asilvestramiento: Especie que vive y se reproduce de forma natural, pese a estar introducida en un lugar ajeno a su área de origen.

### 2.2.2.1 Clima

Algunas de las variables climáticas más limitantes para el crecimiento vegetal son la precipitación y la temperatura. Se utilizó la variable precipitación anual expresada en mm que indica la cantidad de precipitación líquida o sólida (lluvia, granizo o nieve) que cae sobre un metro cuadrado de superficie durante un año (Dirección Meteorológica de Chile, 2007). En cuanto a la temperatura se consideraron las variables temperatura máxima media del mes más cálido y temperatura mínima media del mes más frío. Ambas variables están expresadas en grados Celsius y se calculan como el promedio de las temperaturas máximas de los días del mes más cálido (generalmente enero) y el promedio de las temperaturas mínimas de los días del mes más frío (generalmente julio), respectivamente. Ejemplos de usos de éstas variables y sus limitaciones en zonificación de áreas potenciales para especies forestales se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1: Uso y limitaciones de la variables climáticas.

<b>Variables</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>Uso de la variable en zonificación</b>
Precipitación	Ambiental primaria no relevante. Es dependiente de variables como la altitud.	En muchos lugares no se cuenta con estaciones meteorológicas, o con promedios históricos.	Según Herrera-Bustillos <i>et al</i> (2007), fue la variable más importante en identificar áreas potenciales para <i>Eucalyptus grandis</i> en Sinaloa, México.
T° mínima del mes más frío	Ambiental primaria no relevante. Dependiente de variables como altitud, exposición, latitud.	En muchos lugares no se cuenta con estaciones meteorológicas, o con promedios históricos.	Ramírez (1997), la menciona como una limitante al establecimiento de <i>Acacia melanoxylon</i> en el sur de Chile
T° máxima del mes más cálido	Ambiental primaria no relevante dependiente de variables como altitud, exposición, latitud.	En muchos lugares no se cuenta con estaciones meteorológicas, o con promedios históricos	Esta variable fue considerada poco restrictiva para la introducción de <i>A. melanoxylon</i> en la Región del Biobío (CONAF, 1998)



### 2.2.2.2 Suelo

De la información digitalizada referida a suelos se escogieron las variables Textura, Drenaje y Profundidad (cuadro 3).

- Para textura, se utilizó el indicador “textura superficial” que corresponde a los primeros 20 cm de suelo; en caso de existir más de un horizonte con diferentes texturas, debe referirse a la mezcla de ellos. Las texturas se ordenan en los agrupamientos texturales muy fina, fina, moderadamente fina, media, moderadamente gruesa, gruesa y muy gruesa.
- La profundidad del suelo se mide en función de la existencia de un impedimento que posibilita o limita la penetración de raíces. Existen cinco categorías de profundidad de suelos cuyos respectivos rangos se pueden observar en el cuadro 2.

Cuadro 2: Categorías de Profundidad de suelos.

<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>DIMENSIÓN (cm)</b>
Profundo	Mayor a 100
Moderadamente profundo	75 – 100
Ligeramente profundo	50 – 75
Delgado	25 – 50
Muy delgado	Menor de 25

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero (2001)

- Respecto de la variable Drenaje, según la pauta para estudio de suelos del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 2001), existen seis clases de drenaje las cuales se obtienen sobre la base de las observaciones e inferencias usadas para la obtención del drenaje externo, permeabilidad y drenaje interno. Estas son:
  - Muy pobremente drenado: El agua es removida del suelo tan lentamente que el nivel freático permanece en o sobre la superficie en la mayor parte del tiempo.
  - Pobremente drenado: El suelo permanece húmedo la mayor parte del tiempo.
  - Drenaje imperfecto: El agua es removida del suelo lentamente, suficiente para mantenerlo húmedo por períodos, pero no durante todo el tiempo.
  - Drenaje moderado: El agua es removida algo lentamente, de tal forma que el pedón está húmedo por poca pero significativa parte del tiempo.
  - Bien drenado: Los suelos bien drenados retienen cantidades óptimas de humedad para el crecimiento de las plantas después de las lluvias.
  - Excesivamente drenado: El agua es removida del suelo muy rápidamente.

Cuadro 3: Uso y limitaciones de la variables edáficas.

<b>Variables</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>Uso de la variable en zonificación</b>
Textura	Ambiental primaria no relevante.	La información digital generalmente es de baja calidad	Esta variable fue considerada medianamente restrictiva para el Aromo australiano en la Región del Biobio (CONAF, 1998).
Profundidad	Ambiental primaria no relevante	La información digital generalmente es de baja calidad	Esta variable fue considerada poco restrictiva para la introducción de <i>Acacia melanoxylon</i> en la Región del Biobio (CONAF, 1998).
Drenaje	Ambiental primaria no relevante.	La información digital generalmente es de baja calidad	Álvarez (2007) la menciona como la más importante en la identificación de áreas potenciales para quillay.

### 2.2.2.3 Orografía

Se consideraron las variables Altitud, Pendiente y Exposición (cuadro 4).

- La altitud se expresa en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Es una variable que influye tanto en las precipitaciones como en las temperaturas. En la comuna de Empedrado varía entre los 50 a 800 msnm.
- La exposición u orientación se clasifica en Norte, Sur, Oeste, Este y Plano, que se refiere a terrenos sin inclinación.
- La variable pendiente supone limitantes principalmente al establecimiento de la plantación más que al crecimiento de las especies propuestas. Utilizando el modelo digital de terreno se generó una cobertura de pendientes cuyos valores se encuentran entre 0 y 100%.

Cuadro 4: Uso y limitaciones de las variables orográficas

<b>Variables</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>Uso de la variable en zonificación</b>
Altitud	Ambiental primaria relevante. Es independiente de otras variables de causa.	No es considerada en estudios de áreas de poca extensión geográfica.	Fueron consideradas por los expertos consultados como las de menor importancia para identificar áreas potenciales para <i>Eucalyptus grandis</i> en Sinaloa, México Bustillos-Herrera <i>et al</i> (2007).
Pendiente	Ambiental primaria relevante. Es independiente de otras variables de causa.	Representa una restricción al establecimiento de la plantación más que a la especie.	
Exposición	Ambiental primaria relevante. Es independiente de otras variables de causa.	No presenta restricciones en su uso y es fácil de representar espacialmente al contar con un modelo digital de terreno.	Utilizada en identificación de áreas potenciales para quillay, Alvarez (2007).

Los valores extremos (umbrales) utilizados en cada variable, para cada una de las especies propuestas se observa en el cuadro 5.

Cuadro 5: Valores de los requerimientos ambientales para las especies propuestas.

Variable	Especie				
	Acacia dealbata	Acacia melanoxylon	Chamaecytisus proliferus	Eucalyptus camaldulensis	Robinia pseudoacacia
Precipitación anual	300 a 1500 mm	450 a 1800 mm	450 a 1200 mm	200 a 1250 mm	600 a 1500 mm
T° mín. del mes más frío	Igual o superior a 0°C	Igual o superior a 0°C	4,6 a 15°C	3 a 5°C	0 a 5°C
T° máx. del mes más cálido	20 a 28°C	19 a 30°C	20 a 30°C	29 a 35°	Menor a 35°C
Textura del suelo	Muy fina a gruesa	Media a gruesa	Muy fina a gruesa	Muy fina a gruesa	Media a gruesa
Profundidad del suelo	Igual o superior a 50 cm	Igual o superior a 50 cm	Suelos profundos	Suelos profundos	Mayor a 35 cm
Drenaje del suelo	Bueno o moderado	Bueno o moderado	Bueno a moderado	Muy pobre a excesivo.	Bueno y moderado
Altitud	0 a 1000 msnm	0 a 1500 msnm	0 a 1200 msnm	0 a 700 msnm	0 a 1000 msnm
Pendiente	0 a 100%	0 a 100%	Lomajes suaves	0 a 35%	Menor a 35%
Exposición	Plano y norte	Sur	Plano	Plano	Norte y este

Fuentes: Gestión Forestal (2006), FIA (2000)

### **2.2.3 Zonas excluyentes para las plantaciones dendroenergéticas**

Existen muchas áreas que por su uso actual no permiten el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. Dentro de estas áreas se encuentran las zonas urbanas, las actuales plantaciones forestales de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* que ocupan un gran porcentaje de los suelos de Empedrado y los remanentes de bosque nativo.

Específicamente en ésta memoria de título las áreas que quedaron establecidas como restricciones fueron:

- Las áreas cubiertas por plantaciones forestales
- Las áreas cubiertas por bosque nativo del tipo forestal Roble-Hualo
- Las áreas que ocupan las zonas urbanas e industriales

Estas áreas ya digitalizadas (Apéndice 2) se transformaron en una cubierta binaria 1/0 en donde cero representa todas las áreas excluyentes para establecer plantaciones de especies dendroenergéticas y se incorporaron a la metodología al obtener los modelos de capacidad de acogida.

La red hidrográfica y los caminos no fueron incluidas directamente como restricción por estar representados como líneas sin áreas asociadas en sus respectivas coberturas digitales. Esto provoca que al rasterizar estas coberturas se sobreestime su área y se excluya superficie potencial.

### **2.2.4 Método Delphi**

Para identificar áreas potenciales de establecimiento de especies dendroenergéticas, fue fundamental jerarquizar las variables utilizadas en el estudio según su importancia, para lo cual se empleó el Método Delphi.

El Delphi recoge justamente la opinión de expertos, pues puede ser caracterizado como un método para estructurar el proceso de comunicación grupal, de modo que ésta sea efectiva para permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar con problemas complejos (Linstone y Turoff, 1975). Sahal y Yee (1975) sostienen que la base de la metodología Delphi surge del reconocimiento de la superioridad del juicio de grupo sobre el juicio individual.

Un Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro. Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas, anónimas, con el objeto de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes. Es decir, el método delphi procede por medio de la interrogación a expertos con la ayuda de cuestionarios sucesivos, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos. Aunque, la formulación teórica del método delphi propiamente dicho comprende varias etapas sucesivas de envíos de cuestionarios, de vaciado y de explotación, en buena parte de los casos puede limitarse a dos etapas, lo que sin embargo no afecta a la calidad de los resultados, la que depende, sobre todo, del cuidado que se ponga en la

elaboración del cuestionario y en la elección de los expertos consultados (Astigarraga, 2004).

Según Astigarraga (2004) los pasos que se deben llevar a cabo para garantizar la calidad de los resultados, para lanzar y analizar la delphi deberían ser los siguientes:

La *Formulación del Problema*, en donde se define con precisión el campo de investigación y se elaboran preguntas precisas, cuantificables e independientes. Un segundo paso se refiere a la *Elección de Expertos*, encargados de analizar y discutir aspectos del tema consultado. Así pues se obtiene la opinión real de cada experto, dentro de un contexto grupal. El paso siguiente corresponde a la *Elaboración y Lanzamiento de los Cuestionarios*, los cuales son elaborados de tal modo que permitan la obtención de respuestas objetivas por parte de los consultados y su posterior tratamiento estadístico. Finalmente, el método contempla el *Análisis de los Resultados*, para la obtención del diagnóstico final del grupo de expertos.

No hay forma de determinar el número óptimo de expertos para participar en una encuesta delphi. Dependerá del tema, los objetivos del estudio y recursos con que se cuente (Konow y Pérez, 1990).

Como primer paso se confeccionó una lista de expertos de distintas instituciones públicas y privadas sobre plantaciones forestales y especies dendroenergéticas (Apéndice 3), a los cuales se les entregó un documento vía entrevista personal o e-mail, que contenía un resumen donde se explicaban claramente los objetivos del estudio además de un formulario (Apéndice 4) con los criterios, variables y categorías a evaluar para cada una de las especies. En este formulario los expertos consultados asignaron puntajes normalizados entre cero a 100 a los criterios y variables y puntajes entre uno y 10 para las categorías. Además cada experto tuvo la opción de incluir sus recomendaciones respecto al formulario.

Una vez devueltos los formularios con las respuestas de los expertos, se utilizó la planilla de cálculos Excel para ingresar ésta información. Para determinar los niveles de importancia de los criterios, variables y categorías, se utilizó la medida de tendencia central llamada media aritmética. Al mismo tiempo se utilizaron como medidas de dispersión la desviación estándar y el rango, con el objetivo de calcular las variaciones de las respuestas de los expertos.

## 2.2.5 Incorporación de la opinión de los expertos al SIG

Los respectivos niveles de importancia obtenidos de los formularios aplicados a los expertos fueron transformados en matrices de comparación entre pares de variables (Apéndice 5), para ingresarlos en el módulo de evaluación multicriterio del respectivo SIG y así obtener el peso de cada una en el modelo de capacidad de acogida del territorio. Para esto se compararon los rangos (diferencia entre el puntaje máximo y el mínimo) de cada variable, obtenidos de la aplicación del método delphi. En la matriz de comparación se utilizó una escala continua con valores entre 1/9 y nueve, donde 1/9 significa que la variable de la fila es extremadamente menos importante que la de la columna y nueve indica que la variable de la fila es extremadamente más importante que la de la columna. El valor uno representa igualdad entre ellas. La matriz ocupada para determinar el peso de cada variable en el modelo de la especie correspondiente es la que aparece en el cuadro 6.

Cuadro 6: Matriz utilizada para evaluar las variables en el estudio

	<b>Pp.</b>	<b>T°min</b>	<b>T°max</b>	<b>Text</b>	<b>Prof</b>	<b>Dren</b>	<b>Alt</b>	<b>Pend</b>	<b>Exp</b>
<b>Pp.</b>	1								
<b>T°min</b>		1							
<b>T°max</b>			1						
<b>Text</b>				1					
<b>Prof</b>					1				
<b>Dren</b>						1			
<b>Alt</b>							1		
<b>Pend</b>								1	
<b>Exp</b>									1

Para eliminar el riesgo de comparaciones incongruentes los SIG calculan la razón de consistencia<sup>2</sup> de las comparaciones o CR (consistency ratio). Si el índice de consistencia es mayor a 0.10 la matriz debe ser reevaluada pues existen comparaciones inadecuadas o incongruentes. Pero en este caso por ser puntajes los comparados siempre se obtienen razones de consistencia iguales a cero.

<sup>2</sup> Razón de consistencia: Evalúa la discrepancia entre pares de factores para un peso dado.

## 2.2.6 Rasterización

Las variables y restricciones se encontraban espacialmente representadas en coberturas vectoriales. Para facilitar las operaciones y cálculos fue necesario convertirlas en coberturas raster. Para esto se definió una ventana de rasterización definida por las coordenadas X máxima 225.394 metros y X mínima 186.944 metros; mientras que la Y máxima utilizada fue de 6.069.399 metros e Y mínima de 6.041.024 metros.

Se escogió un tamaño de pixel de 25 metros por 25 metros (0,0625 hectáreas) usado en estudios similares obteniendo un total de 1.135 filas y 1.538 columnas.

## 2.2.7 Procesos Fuzzy

Estos procesos se utilizaron para estandarizar las variables a una unidad común. Para esto se utilizan funciones de membresía<sup>3</sup>, las que pueden ser lineales, en forma de J o sigmoideas. Todas estas funciones pueden ser crecientes, decrecientes o simétricas y quedan definidas a través de parámetros o puntos de control (a, b, c y d) que corresponden a los valores extremos y óptimos de las variables, obtenidos del análisis de los requerimientos agroecológicos para cada especie. Específicamente se usaron funciones sigmoideas simétricas y decrecientes (figura 1). Para ocupar todo el espectro de la paleta de colores se usó el tipo de dato byte con valores entre cero y 255, donde cero indica baja o nula capacidad y 255 la más alta capacidad de acogida.

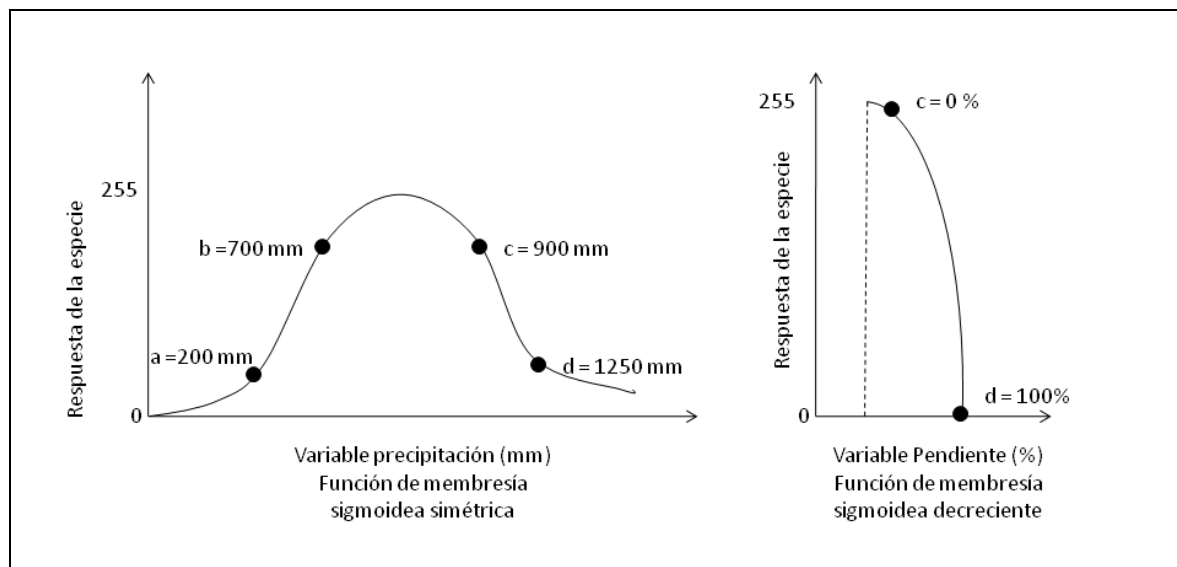


Figura 1: Ejemplos de funciones de membresía utilizadas en algunas variables del estudio.

<sup>3</sup> Funciones de membresía: Retornan un valor entre 0 y 1 ó 0 y 255 indicando el grado de membresía o pertenencia de un elemento respecto a un conjunto.



Las variables drenaje, profundidad y textura del suelo junto con exposición fueron reescaladas debido a que no poseen coberturas con datos de valores continuos. Se utilizó la opinión de los expertos para identificar los píxeles con mayores diferencias respecto al tipo de dato byte. Para reescalar las categorías de esas variables se utilizó la siguiente fórmula:

$$e_{ij} = \frac{X_{ij} - \text{Min}X_{ij}}{\text{Max}X_{ij} - \text{Min}X_{ij}} * 255 \quad (\text{Álvarez, 2003})$$

Donde:

$e_{ij}$  = Valor normalizado de la categoría i en la variable j. Varía entre cero y 255, lo que representa la menor y la mayor aptitud del terreno respectivamente.

$X_{ij}$  = Valor de la categoría i en la variable j.

Min y Max = Valores mínimos y máximos de las categorías.

Estos valores se incorporaron en la imagen raster correspondiente mediante reclasificación.

### 2.2.8 Modelos de Capacidad de Acogida

Para generar los Modelos de Capacidad de Acogida del territorio para cada especie se utilizó la ecuación:

$$CDA = \sum_1^9 W_i * X_i$$

Donde:

CDA = Capacidad de acogida del territorio para recibir plantaciones de la especie correspondiente, expresada en puntajes entre cero y 255.

$W_i$  = Peso de la variable i.

$X_i$  = Valor de la variable i.

Como resultado el SIG entrega una cobertura raster que muestra las superficies factibles de acoger una plantación de la especie correspondiente, en donde cada pixel tiene valores entre cero y 255. Luego estos valores deben ser reclasificados a las categorías de aptitud correspondiente. Para los modelos de capacidad de acogida se crearon cuatro categorías (alta, media, baja y excluyente) debido a que el nivel de detalle de las distintas capas de información es bajo por la extensión de la zona de estudio.

Los rangos de puntajes para clasificar la aptitud se establecieron en forma diferenciada para cada especie utilizando el criterio del séptimo, empleado intensivamente en ordenamiento territorial, que establece que la superficie total de las celdillas de alta aptitud debe corresponder a la mitad de la de aptitud media, y esta última, a la mitad de la de aptitud baja (Julio, 1999). Es decir, aproximadamente  $1/7$  de la superficie total debe corresponder a una alta aptitud del territorio para recibir plantaciones, los  $2/7$  de la superficie total corresponden a una aptitud media y los  $4/7$  finales corresponden a baja aptitud.

El paso siguiente fue incorporar la cobertura raster de las restricciones para extraer las áreas donde no se pueden establecer plantaciones forestales. Posee valores entre cero y uno en donde cero representa un pixel donde es imposible realizar una plantación y uno indica un terreno que puede recibir plantaciones. Se ingresó al modelo a través de una superposición de imágenes u overlay.

La retroalimentación del sistema consistió en elaborar sucesivos modelos de capacidad de acogida del territorio, ajustando en cada iteración los valores de las variables utilizados en los procesos fuzzy, buscando los valores óptimos y las funciones de membresía que mejor representaran a cada variable.

Finalmente, realizando sucesivas operaciones de superposición de mapas, se logró determinar el puntaje máximo para cada pixel del territorio y la especie a la cual correspondía.

La metodología general empleada en generar los modelos de capacidad de acogida se observa en la figura 2.

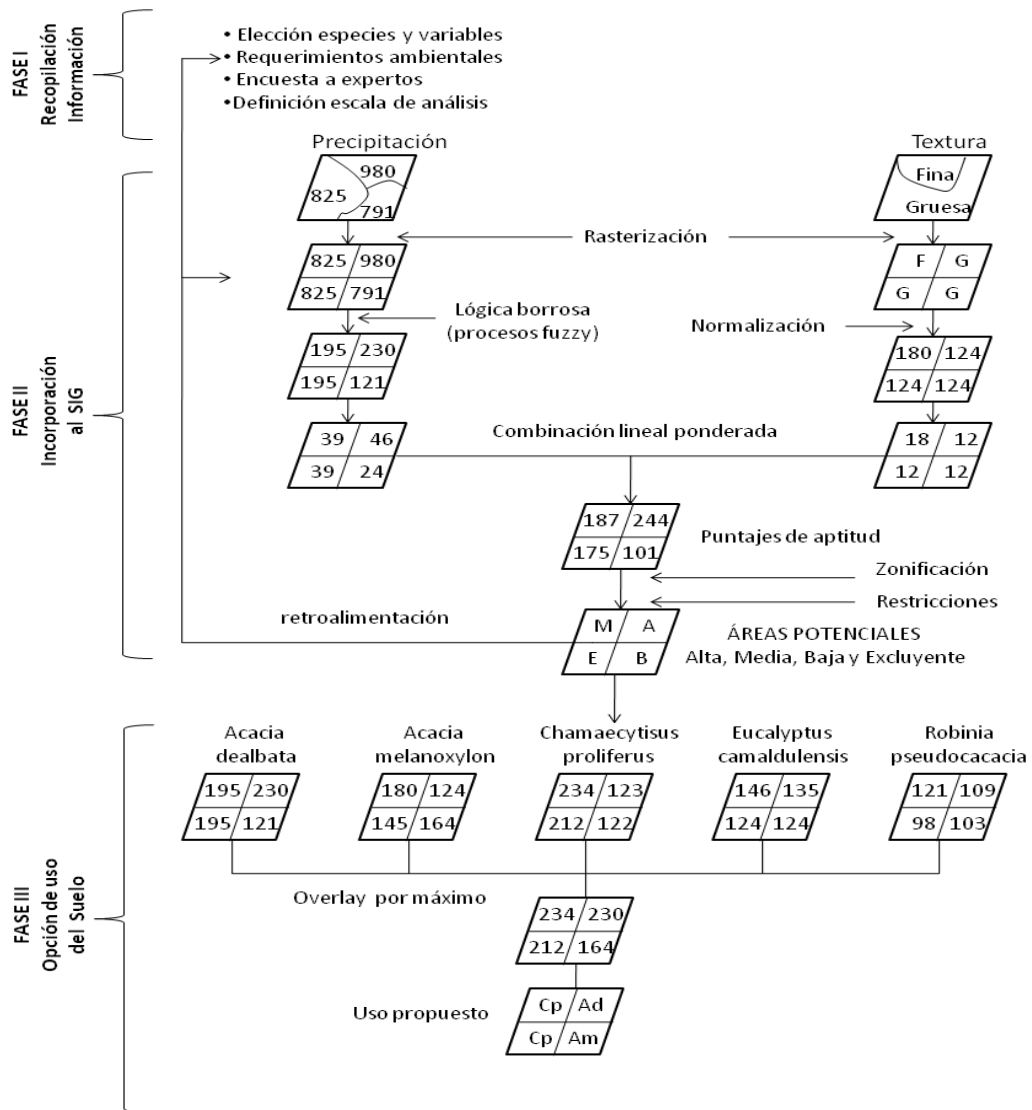


Figura 2: Metodología aplicada para obtener los modelos de capacidad de acogida

**2.2.9 Validación de los datos:** Algunas formas de validación de datos son la visualización y comparación de imágenes, lo que consiste por ejemplo en contrastar la imagen de cobertura vegetal y suelo desnudo con la imagen de áreas potenciales a forestar pudiendo observar que al menos no coincidan áreas forestadas con áreas potenciales. Sin embargo en ésta memoria de título se optó por validar datos en terreno seleccionando puntos al azar de la comuna, georreferenciándolos a través del GPS Trimble recon de la Ilustre Municipalidad de Empedrado. En estos puntos se reconocieron variables del suelo y del terreno comparándose posteriormente con la información digitalizada de la comuna (Apéndice 6).

**2.2.10 Cartografía de síntesis:** Como cartografía de síntesis, se elaboraron coberturas raster y vectoriales para cada modelo de capacidad de acogida. Estas coberturas también se exportaron en formato de imagen jpg.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Análisis de los requerimientos agroecológicos de las especies candidato

##### 3.1.1 *Acacia dealbata* Link (Aromo del país)

Boland *et al* (2006) establece para su área de distribución natural (Australia), valores de precipitación entre 600 a 1500 mm distribuidos uniformemente con máximos en invierno, temperatura del mes más cálido entre 20 y 28° C y del mes más frío entre -1 a 2°C. El rango altitudinal está entre 50 y 1000 msnm. Como posibles limitantes para su establecimiento menciona las heladas y problemas con el drenaje del suelo.

Para Chile, Pinilla (2005), coincide en montos de precipitación y temperaturas recomendando su establecimiento en dunas, terrenos muy pobres, erosionados y deforestados.

Posee características como rápido crecimiento (rotaciones entre 10 a 15 años) y alta tolerancia a las heladas por lo que se recomienda para uso dendroenergético en el sur de Australia, en zonas con precipitaciones anuales sobre los 600 mm. Otras características importantes son la preferencia por suelos profundos, baja tolerancia a suelos salinos y baja o nula capacidad de rebrote (PIRSA Forestry, 2007).

El cuadro 7 presenta un resumen de los valores de los requerimientos ambientales utilizados en la generación de modelos de capacidad de acogida y también se indican los valores recomendables para los terrenos de la Comuna de Empedrado con alta prioridad de recibir plantaciones de *Acacia dealbata*.

Cuadro 7: Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para *Acacia dealbata*.

Variables	Función de membresía utilizada	Parámetros				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
		a	b	c	d	
Precipitación anual (mm)	sigmoidea simétrica	300	1.000	1.200	1.500	cercana a 1.000 mm
T° mín. mes más frío (°C)	sigmoidea simétrica	0	4	6	8	entre 4 a 6°C
T° máx. mes más cálido (°C)	sigmoidea simétrica	20	22	26	28	entre 22 a 26°C
Altitud (msnm)	sigmoidea simétrica	0	50	800	1.000	entre 50 a 800 msnm
Pendiente (%)	sigmoidea decreciente			0	100	menor a 30%
Variables	Categorías	Puntajes reclasificación				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
Textura	Muy Fina	0				Texturas: Franca Franco limosa Franco arenosa muy fina
	Mod. fina	40				
	Media	227				
Profundidad	Muy delgado	11				suelos profundos (mayores a 100 cm)
	Lig. profundo	96				
	Mod. profundo	198				
	Profundo	227				
Drenaje	Muy Pobre	11				Bueno a moderado
	Pobre	17				
	Imperfecto	28				
	Moderado	142				
	Bueno	159				
Exposición	Norte	45				Sur
	Este	79				
	Sur	204				
	Oeste	62				
	Plano	189				

### **3.1.2 *Acacia melanoxylon* R. Brown (Aromo australiano)**

Aromo es una latifoliada que se distribuye naturalmente al sudeste de Australia y noreste de Tasmania. En Chile se ha estimado que se encuentra presente en una superficie aproximada de 2.000 hectáreas entre las regiones de Valparaíso a Los Lagos, principalmente en los sectores de la depresión intermedia y cordones del valle central bajo los 500 msnm, destacándose por un buen desarrollo en el Golfo de Arauco, Valdivia, Temuco y Chiloé (CONAF, 1998).

Ramírez (1997), delimitó la distribución potencial de *Acacia melanoxylon* en Chile. Determinó que el establecimiento con fines de producción maderera es recomendable desde sectores costeros y precordilleranos de la región del Maule en su límite norte hasta el límite sur de la región de Los Lagos. Estimó como muy favorable para el establecimiento de la especie, el sector costero de la región del Biobío, así como una franja costera y algunos sectores interiores de las regiones de la Araucanía y Los Lagos, a elevaciones menores de 400 msnm y sin temperaturas mínimas extremas. Menciona que el principal factor limitante hacia el norte de la distribución potencial es la duración del período seco mientras que hacia el sur lo son las temperaturas mínimas y la presencia de heladas.

En cambio, CONAF (1998), al determinar áreas potenciales para plantaciones con ésta especie para la región del Biobío menciona a la precipitación anual como un impedimento al establecimiento. Las variables drenaje y textura del suelo junto con altitud son consideradas medianamente restrictivas y la profundidad del suelo es una limitante de menor importancia.

Respecto a su uso como combustible, se estima que *Acacia melanoxylon* tiene un poder calorífico de 4.589,9 cal/g para la zona de Nacimiento, región del Biobío (Covacevich, 1979).

En el cuadro 8 se observan los valores de los requerimientos agroecológicos de *Acacia melanoxylon*, utilizados en la generación del modelo de capacidad de acogida del territorio.

Cuadro 8: Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para *Acacia melanoxylon*.

Variables	Función de membresía utilizada	Parámetros				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
		a	b	c	d	
Precipitación anual (mm)	sigmoidea simétrica	450	1.000	1.200	1.800	cercana a 1.000 mm
T° mín. mes más frío (°C)	sigmoidea simétrica	0	2	4	8	entre 2 a 4°C
T° máx. mes más cálido (°C)	sigmoidea simétrica	19	23	26	30	entre 23 a 26°C
Altitud (msnm)	sigmoidea simétrica	0	50	400	1.500	entre 50 a 400 msnm
Pendiente (%)	sigmoidea decreciente			0	100	menor a 30%
Variables	Categorías	Puntajes reclasificación				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
Textura	Muy Fina	0				Texturas: Franca Franco limosa Franco arenosa muy fina
	Mod. fina	79				
	Media	215				
Profundidad	Muy delgado	11				suelos profundos (mayores a 100 cm)
	Lig. profundo	96				
	Mod. profundo	170				
	Profundo	227				
Drenaje	Muy Pobre	11				Bueno
	Pobre	17				
	Imperfecto	40				
	Moderado	136				
	Bueno	210				
Exposición	Norte	45				Sur
	Este	79				
	Sur	204				
	Oeste	62				
	Plano	189				

### **3.1.3 *Chamaecytisus proliferus ssp. palmensis* (Tagasaste)**

Tagasaste es una leguminosa arbustiva siempreverde originaria del archipiélago español de Canarias, específicamente de la Isla La Palma. Fue introducida en Chile en el año 1988 desde Australia y en el año 1991 desde Nueva Zelanda por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Las primeras plantaciones se realizaron en el área de Cauquenes en 1993, donde demostró excelente comportamiento productivo y resistencia a la severa sequía estival que caracteriza a esa zona.

Es una planta leñosa capaz de tolerar las heladas que se producen en la región del Maule, zona caracterizada por ser muy seca en verano y de muchas heladas en invierno. En nuestro país, las zonas donde se han logrado resultados favorables en el establecimiento y desarrollo de esta especie, son el secano costero e interior entre las regiones de O'Higgins y la Araucanía (INFOR, 2000).

Ovalle *et al*, 1996 comparó la productividad de forraje de tagasaste en dos localidades (Cauquenes y Lebu) mencionando a un mal drenaje como variable limitante al establecimiento. La mayor producción de fitomasa aérea en Lebu la explica por los mayores montos de precipitación (1.250 mm anuales) que ocurren en ese lugar. Sin embargo Milthorpe *et al* (1991), señala como áreas adecuadas las que reciben entre 400 y 800 mm anuales.

El cuadro 9 muestra un resumen con los valores de los principales requerimientos agroecológicos de *Chamaecytisus proliferus* a considerar en el establecimiento de esta especie en la Comuna de Empedrado.



Cuadro 9: Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para *Chamaecytisus proliferus*.

Variables	Función de membresía utilizada	Parámetros				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
		a	b	c	d	
Precipitación anual (mm)	sigmoidea simétrica	450	600	800	1.200	entre 600 a 800 mm
T° mín mes más frío (°C)	sigmoidea simétrica	0	4	8	15	entre 4 a 8°C
T° máx mes más cálido (°C)	sigmoidea simétrica	20	24	28	30	entre 24 a 28°C
Altitud (msnm)	sigmoidea simétrica	0	50	400	1.500	entre 50 a 400 msnm
Pendiente (%)	sigmoidea decreciente			0	100	menor a 30%
Variables	Categorías	Puntajes reclasificación				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
Textura	Muy Fina	51				Texturas: Franco arcillosa, Franco arcillo limosa, Franco arenosa
	Mod. fina	130				
	Media	170				
Profundidad	Muy delgado	11				suelos profundos (mayores a 100 cm)
	Lig. profundo	28				
	Mod. profundo	147				
	Profundo	244				
Drenaje	Muy Pobre	11				Bueno
	Pobre	17				
	Imperfecto	34				
	Moderado	176				
	Bueno	210				
Exposición	Norte	62				Plena exposición
	Este	68				
	Sur	164				
	Oeste	74				
	Plano	181				

### **3.1.4 *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh (Eucalipto rojo)**

Es uno de los eucaliptos con mayor distribución geográfica en Australia. Ocupa grandes superficies a lo largo de los ríos o fondos de valles expuestos a inundaciones, pero también crece en otros ambientes. En su área de distribución la precipitación varía entre 200 a 1.250 mm anuales. Soporta temperaturas mínimas absolutas de hasta -6,7° C. Se adapta muy bien a diferentes tipos de suelos.

Tiene un poder calorífico de aproximadamente 4.800 kcal/kg. Muy usada en cortinas cortaviento. Especie ornamental y de mucho interés apícola (Vita, 1998).

Los mejores crecimientos en Chile se dan en la costa de la región de Valparaíso a la de O'Higgins y en el interior de las regiones de O'Higgins y Maule, donde presenta crecimientos de 20 a 30 m<sup>3</sup>/há/año (Vita, 1991).

Para Chile, variables edáficas como textura, drenaje y ph no son consideradas limitantes (Gestión forestal, 2006). Sin embargo en publicaciones de otros países se mencionan restricciones a su establecimiento en suelos con mal drenaje o con muy poca retención de humedad (González, 1997). También se señalan problemas en suelos muy ácidos, poco profundos o arenosos con poca retención de humedad (Guía de Reforestación, 2009).

En Australia se recomienda para plantaciones con fines dendroenergéticos por sus excelentes características como carbón. Para este uso se sugieren terrenos con más 600 mm de precipitación anual, siendo esta especie adaptable a una gran diversidad de suelos, incluso inundables y salinos. Posee moderada tolerancia a las heladas y buena capacidad de rebrote (PIRSA Forestry, 2007).

El cuadro 10 presenta un resumen con los valores de los requerimientos agroecológicos de *Eucalyptus camaldulensis* utilizados en la generación del modelo de acogida del territorio.

Cuadro 10: Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para *Eucalyptus camaldulensis*.

Variables	Función de membresía utilizada	Parámetros				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
		a	b	c	d	
Precipitación anual (mm)	sigmoidea simétrica	200	700	900	1.250	cercana a 1.000 mm
T° mín mes más frío (°C)	sigmoidea simétrica	0	3	5	8	entre 3 a 5°C
T° máx mes más cálido (°C)	sigmoidea simétrica	20	22	29	35	entre 22 a 30°C
Altitud (msnm)	sigmoidea simétrica	0	20	700	1.400	entre 20 a 700 msnm
Pendiente (%)	sigmoidea decreciente			0	100	igual o menor a 15%
Variables	Categorías	Puntajes reclasificación				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
Textura	Muy Fina	11				Texturas: Franca Franco limosa Franco arenosa muy fina
	Mod. fina	68				
	Media	227				
Profundidad	Muy delgado	11				suelos profundos (mayores a 100 cm)
	Lig. profundo	153				
	Mod. profundo	170				
	Profundo	204				
Drenaje	Muy Pobre	11				Bueno
	Pobre	17				
	Imperfecto	51				
	Moderado	147				
	Bueno	159				
Exposición	Norte	68				Sur y plena exposición
	Este	96				
	Sur	193				
	Oeste	79				
	Plano	187				

### **3.1.5 *Robinia pseudoacacia* (Acacio)**

*Robinia pseudoacacia*, conocida en Chile como acacio o falso acacio, es una especie originaria del sureste de Norteamérica donde se distribuye entre los 35° y 43° de latitud norte. Se encuentra bajo los 1.000 msnm, en lugares con precipitaciones anuales entre 1.000 a 1.500 mm. Las temperaturas varían entre 20° a 27° C para el mes más cálido y entre 0° y 5° C para el mes más frío. Se desarrolla en suelos con texturas francas arenosas o limosas de estructura suelta. Requiere de buen drenaje (FIA, 2000).

INFOR (2008) señala que se presenta en regiones de clima mediterráneo, con precipitaciones anuales de entre 500 y 1.500 mm, y un periodo seco de 2 a 6 meses. La temperatura media anual oscila entre 10 y 18 °C, con máximas absolutas de 30 a 38 °C en el mes más cálido, y mínimas de -10 a -25 °C en el mes más frío. Crece hasta los 1.000 msnm, aunque podría desarrollarse hasta una altitud de 1.500 a 2.500 m. Es una especie extremadamente rústica y fuertemente demandante de luz. Se adapta a una gran variedad de suelos, excepto los excesivamente secos o compactados.

Respecto a su uso como combustible, en Hungría, existen cerca de 3.000 hectáreas de plantaciones dendroenergéticas en zonas agrícolas abandonadas de suelos arenosos y arcillosos de baja fertilidad, con precipitaciones anuales promedio de 662 mm. Para el manejo de estos bosques con fines energéticos, se recomiendan rotaciones no menores a cinco años (Temesvári, 2003). Respecto al poder calorífico de la biomasa de ésta especie, individuos jóvenes de robinia poseen en promedio 4.505 calorías por gramo (Geyer *et al*, 2007).

Un resumen con los valores de las principales variables agroecológicas empleadas para determinar áreas potenciales para establecer *Robinia pseudoacacia*, se puede observar en el cuadro 11.

Cuadro 11: Parámetros y puntajes utilizados en la estandarización de las variables para *Robinia pseudoacacia*.

Variables	Función de membresía utilizada	Parámetros				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
		a	b	c	d	
Precipitación anual (mm)	sigmoidea simétrica	600	800	1.200	1.500	entre 800 a 1.200 mm
T° mín mes más frío (°C)	sigmoidea simétrica	0	2	4	8	entre 2 a 4°C
T° máx mes más cálido (°C)	sigmoidea simétrica	20	22	26	35	entre 22 a 26°C
Altitud (msnm)	sigmoidea simétrica	0	150	1.500	2.500	entre 150 a 1.500 msnm
Pendiente (%)	sigmoidea decreciente			0	100	igual o menor a 30%
Variables	Categorías	Puntajes reclasificación				Valores recomendables para prioridad "ALTA"
Textura	Muy Fina	34				Texturas: Franca Franco limosa Franco arenosa muy fina
	Mod. fina	96				
	Media	227				
Profundidad	Muy delgado	11				suelos profundos (mayores a 100 cm)
	Lig. profundo	153				
	Mod. profundo	176				
	Profundo	204				
Drenaje	Muy Pobre	11				Bueno a moderado
	Pobre	17				
	Imperfecto	34				
	Moderado	181				
	Bueno	210				
Exposición	Norte	40				Sur
	Este	79				
	Sur	204				
	Oeste	57				
	Plano	184				

### 3.2 Modelos de Acogida para las plantaciones dendroenergéticas

Antes de crear los modelos de capacidad de acogida del territorio se identificaron como áreas excluyentes 44.302 hectáreas que representan un 77,5 % del total de la superficie de la Comuna de Empedrado. De éstas, las plantaciones forestales correspondientes a *Pinus radiata*, ocupan 39.797,5 hectáreas representando un 69% del total de superficie de la comuna, mientras que las de *Eucalyptus* spp ocupan 71,4 ha con un 0,12%. El bosque nativo del tipo forestal roble-hualo ocupa una superficie de 4.326, 5 ha con un 7,5% del total comunal.

#### 3.2.1 Modelo de Acogida para plantaciones de *Acacia dealbata*

La capacidad de acogida del territorio de la Comuna de Empedrado para recibir plantaciones de *Acacia dealbata* (figura 3), se calculó como:

$$\begin{aligned} \text{CDA} = & 0,1688 * \text{Precipitación} + 0,0844 * T^{\circ} \text{ mínima} + 0,0844 * T^{\circ} \text{ máxima} + 0,0422 * \text{Textura} \\ & + 0,1480 * \text{Profundidad} + 0,2108 * \text{Drenaje} + 0,0844 * \text{Altura} + 0,0506 * \text{Pendiente} \\ & + 0,1265 * \text{Exposición} \end{aligned}$$

La variable drenaje del suelo resultó ser la más importante para determinar áreas potenciales para *Acacia dealbata*, mientras que la menos importante fue textura del suelo.

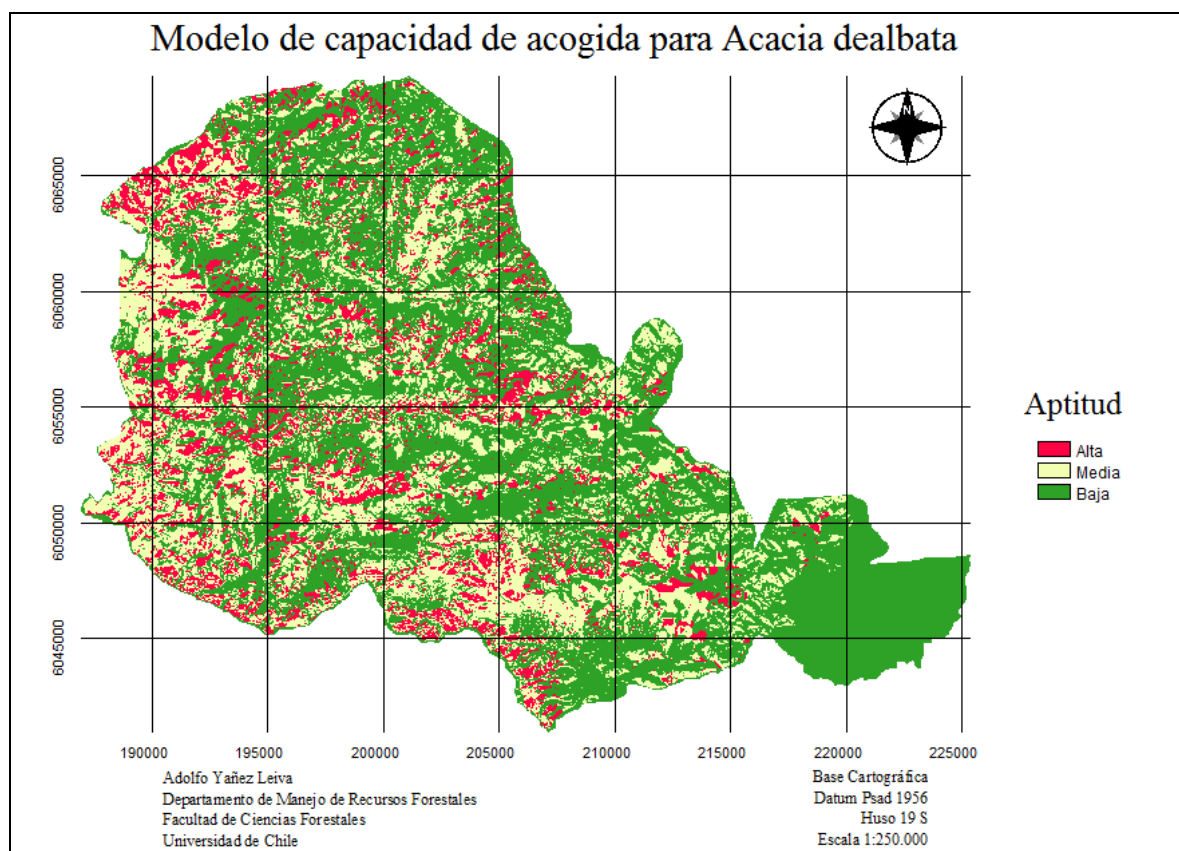


Figura 3: Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de *Acacia dealbata*.

Al extraer las áreas restrictivas se obtiene el modelo final de acogida del territorio para plantaciones dendroenergéticas (figura 4), donde se incluye la categoría de aptitud excluyente, o sea áreas que no pueden recibir plantaciones debido a restricciones ambientales de uso. Se puede observar que las áreas con mayor aptitud se encuentran en los sectores de “Rari”, “Galumávida” y “Pueblecillo”.

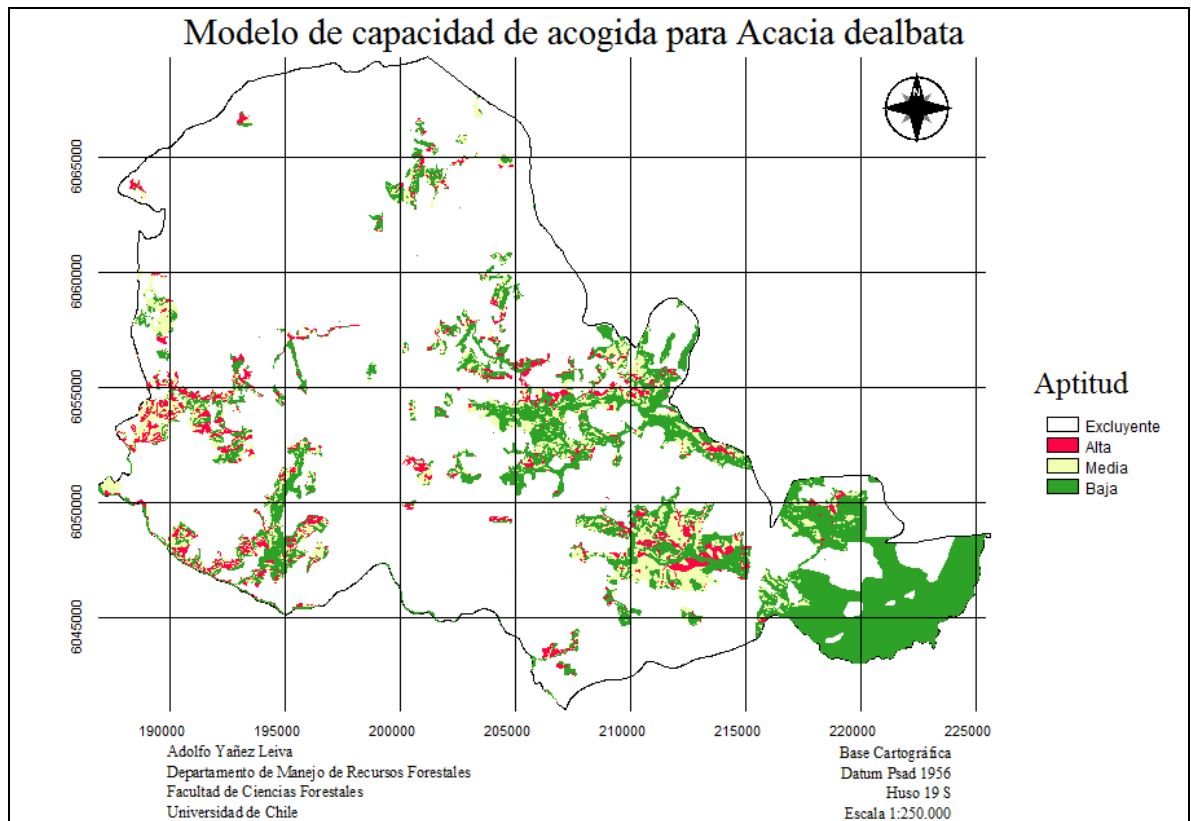


Figura 4: Modelo final de acogida para *Acacia dealbata*.

Las superficies susceptibles de acoger plantaciones de *Acacia dealbata* según categoría de aptitud se pueden observar en el cuadro 12.

Cuadro 12: Superficies potenciales para *Acacia dealbata*.

<b>Categoría de Aptitud</b>	<b>Rango de puntajes</b>	<b>Superficie potencial total (ha)</b>	<b>Superficie potencial disponible (ha)</b>
Alta	200 — 255	8.305,8	1.581,5
Media	186 — 199	16.962,3	3.239,4
Baja	1 — 185	31.862,3	8.007,5
Excluyente	0	0	44.302

### 3.2.2 Modelo de Acogida para plantaciones de *Acacia melanoxylon*

El modelo de capacidad de acogida del territorio para plantaciones de la especie *Acacia melanoxylon* (figura 5) se calculó en base a la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{CDA} = & 0,1724 * \text{Precipitación} + 0,0862 * T^{\circ} \text{ mínima} + 0,0862 * T^{\circ} \text{ máxima} + 0,0431 * \text{Textura} \\ & + 0,1724 * \text{Profundidad} + 0,1724 * \text{Drenaje} + 0,0862 * \text{Altura} + 0,0517 * \text{Pendiente} \\ & + 0,1293 * \text{Exposición} \end{aligned}$$

Las variables más importantes en la identificación de áreas potenciales para *Acacia melanoxylon* fueron precipitación, profundidad y drenaje mientras que la menos importante correspondió a textura del suelo.

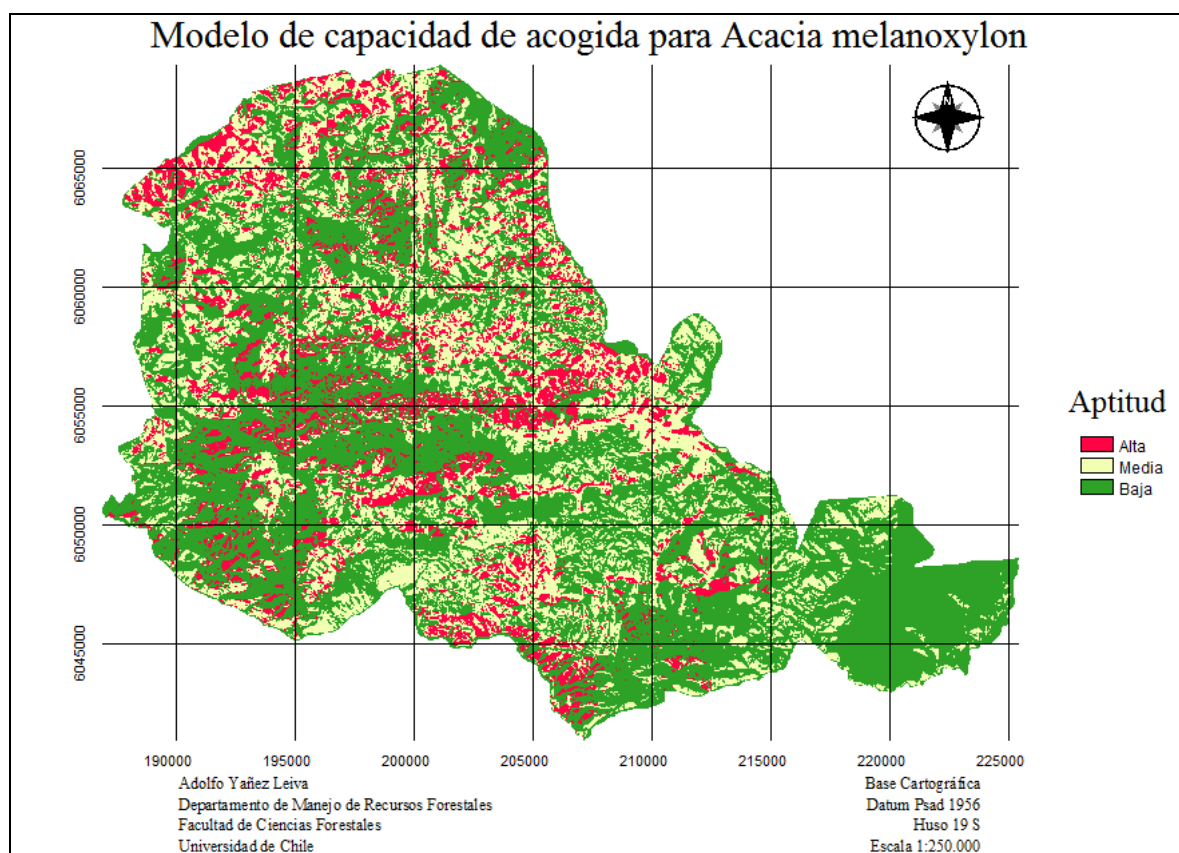


Figura 5: Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de *Acacia melanoxylon*

En la figura anterior se puede observar una distribución uniforme de áreas con alta aptitud, excepto en el sector este de la comuna, que corresponde a las localidades de “Puico” y “Linda Vista”. Al extraer las áreas excluyentes para recibir plantaciones se obtiene el modelo final de acogida (figura 6).



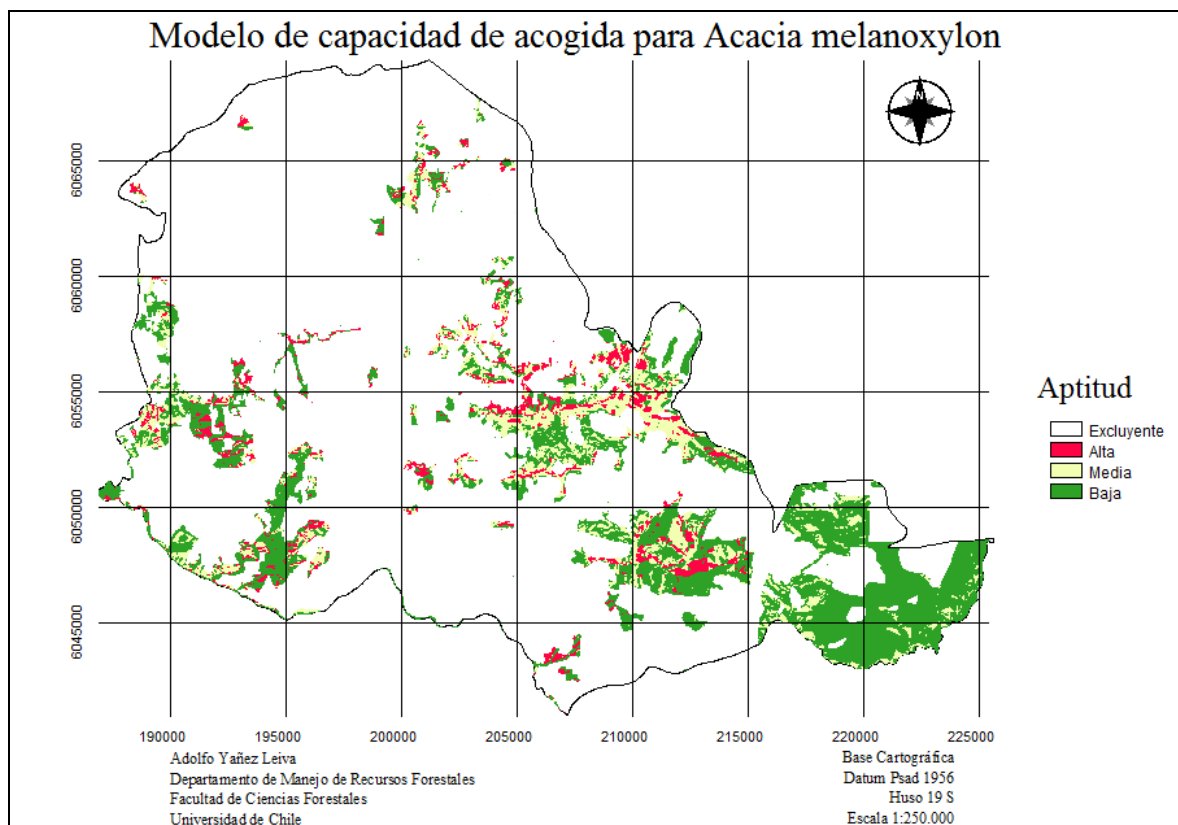


Figura 6: Modelo final de acogida para *Acacia melanoxylon*

Destacan los sectores de “La Orilla” y “Quenehuao” con terrenos de alta aptitud sin embargo, de las cinco especies propuestas, es *Acacia melanoxylon* la que tiene menor superficie potencial con alta prioridad o aptitud (cuadro 13), debido que al aplicar las restricciones al modelo gran parte de éstas áreas con alta aptitud se convierten en excluyentes.

Cuadro 13: Superficies potenciales para *Acacia melanoxylon*.

<b>Categoría de Aptitud</b>	<b>Rango de puntajes</b>	<b>Superficie potencial total (ha)</b>	<b>Superficie potencial disponible (ha)</b>
Alta	209 — 255	8.599,1	1.553,9
Media	173 — 208	16.203	3.452,8
Baja	1 — 172	32.328,8	7.821,6
Excluyente	0	0	44.302

### 3.2.3 Modelo de Acogida para plantaciones de *Chamaecytisus proliferus*

El modelo de capacidad de acogida del territorio para plantaciones de la especie *Chamaecytisus proliferus* (figura 7) se calculó como:

$$\text{CDA} = 0,1481 * \text{Precipitación} + 0,1852 * T^{\circ} \text{ mínima} + 0,0741 * T^{\circ} \text{ máxima} + 0,0741 * \text{Textura} \\ + 0,1852 * \text{Profundidad} + 0,1111 * \text{Drenaje} + 0,0741 * \text{Altura} + 0,0370 * \text{Pendiente} \\ + 0,1111 * \text{Exposición}$$

La temperatura mínima media resultó ser la variable con mayor peso para determinar áreas potenciales para establecer plantaciones de Tagasaste, en cambio la variable pendiente resultó ser la menos importante.

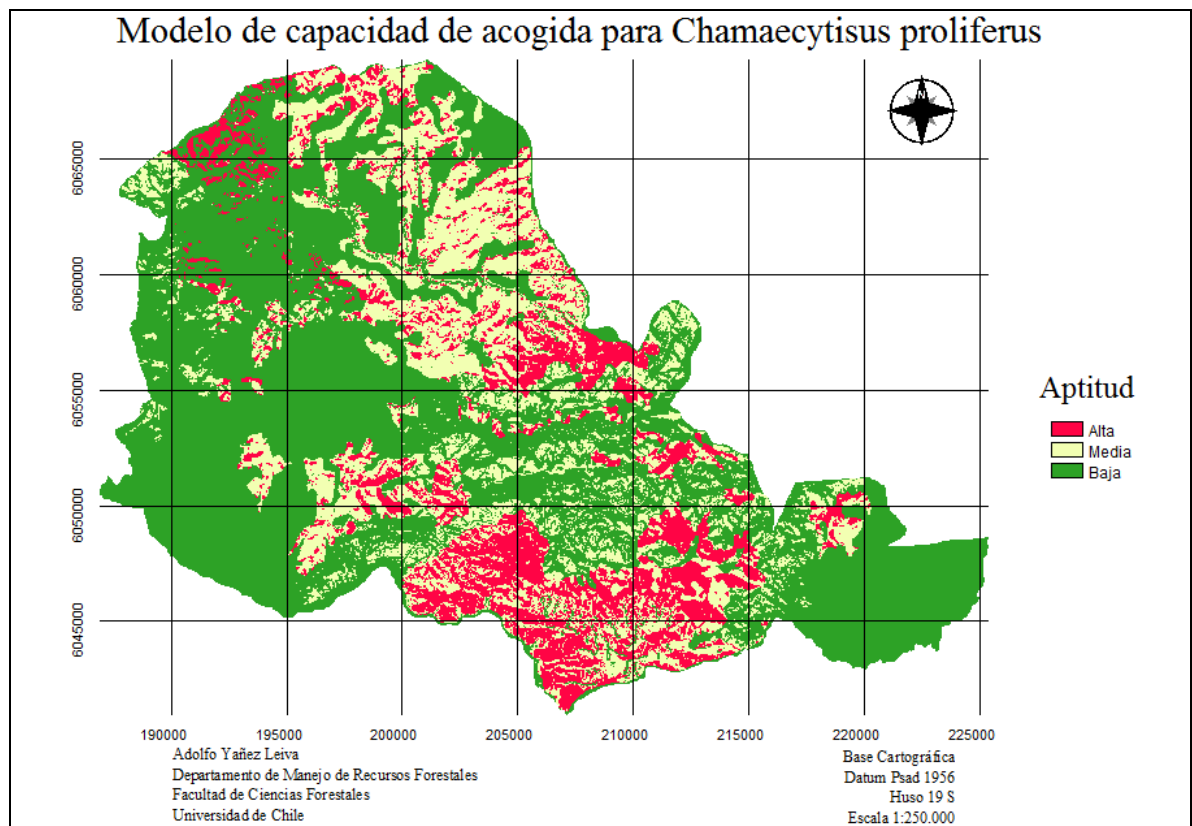


Figura 7: Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de *Chamaecytisus proliferus*

Las áreas con mayor aptitud tienden a concentrarse en sectores como “La Orilla”, “Name”, “Quenuhuao” y “Puico Alto”. Al aplicar las restricciones se obtiene el modelo de acogida final (figura 8).

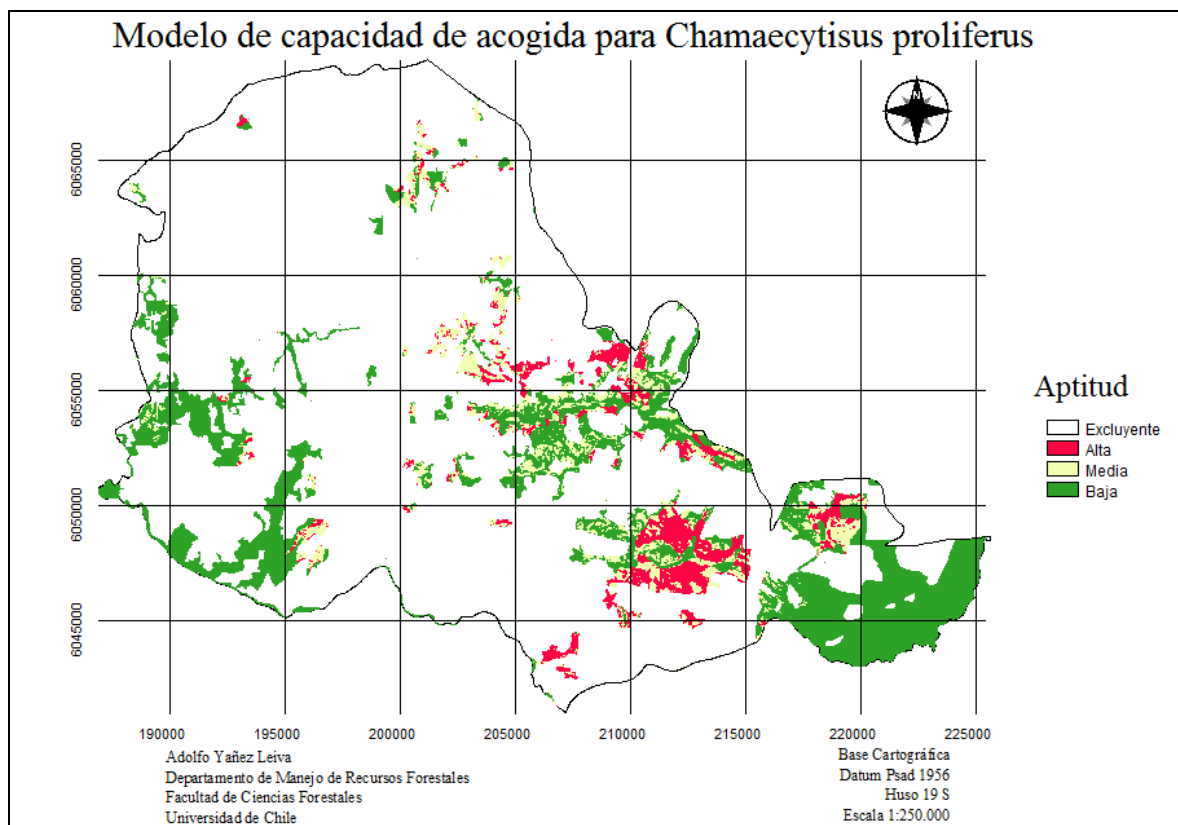


Figura 8: Modelo final de acogida para *Chamaecytisus proliferus*.

Tagasaste fue la especie que obtuvo mayor superficie potencial de alta aptitud, disponible para establecer plantaciones dendroenergéticas (cuadro 14). Además es la que obtuvo el mayor puntaje de todos los modelos de capacidad de acogida con 230 puntos.

Cuadro 14: Superficies potenciales para *Chamaecytisus proliferus*

<b>Categoría de Aptitud</b>	<b>Rango de puntajes</b>	<b>Superficie potencial total (ha)</b>	<b>Superficie potencial disponible (ha)</b>
Alta	218 — 255	9.052,6	1.920,3
Media	210 — 217	14.465,8	2.540,1
Baja	1 — 209	33.611,8	8.368
Excluyente	0	0	44.302

### 3.2.4 Modelo de Acogida para plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis*

El modelo de capacidad de acogida para plantaciones de la especie *Eucalyptus camaldulensis* se puede observar en la figura 9. Las variables más importantes para determinar áreas potenciales para el establecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* son la temperatura mínima media del mes más frío, la profundidad y el drenaje del suelo mientras que la menos importante es la pendiente del terreno.

$$\begin{aligned} \text{CDA} = & 0,1424 * \text{Precipitación} + 0,1780 * T^{\circ} \text{ mínima} + 0,0712 * T^{\circ} \text{ máxima} + 0,1144 * \text{Textura} \\ & + 0,1424 * \text{Profundidad} + 0,1424 * \text{Drenaje} + 0,0712 * \text{Altura} + 0,0345 * \text{Pendiente} \\ & + 0,1036 * \text{Exposición} \end{aligned}$$

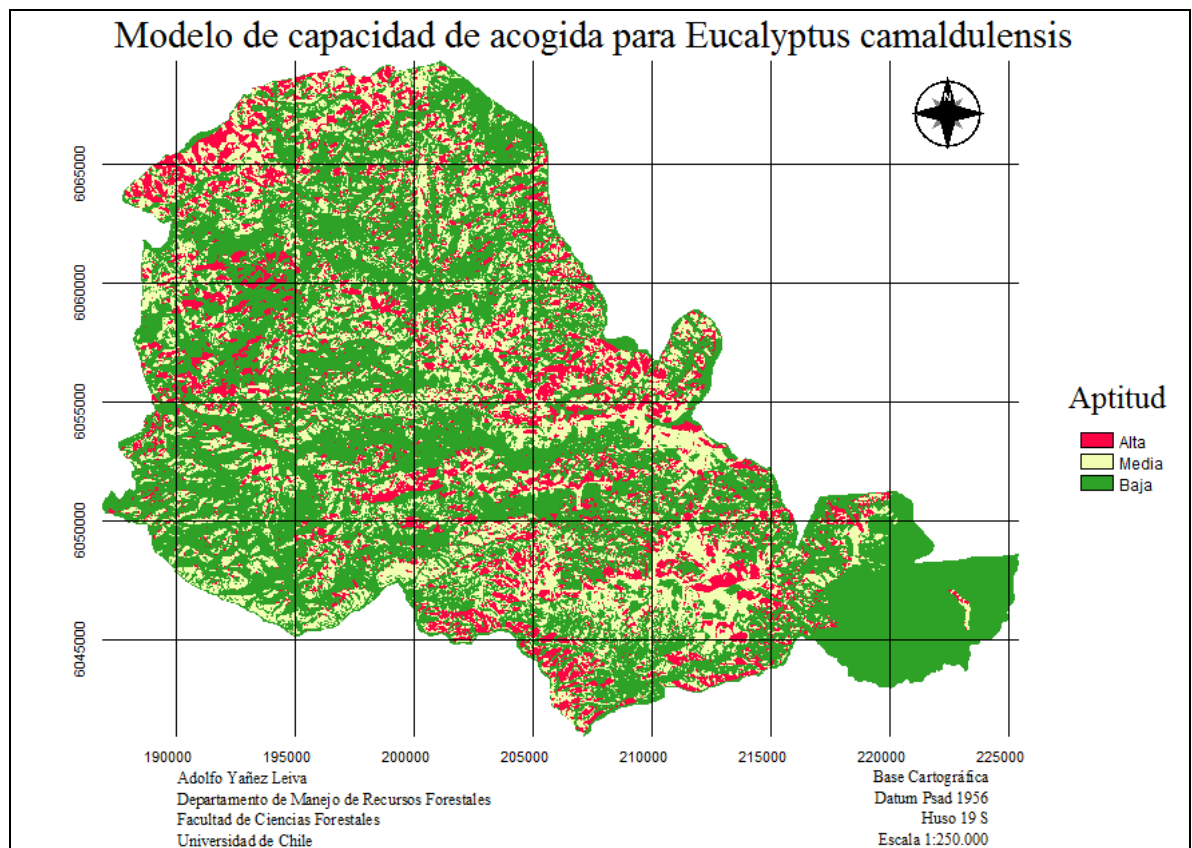


Figura 9: Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis*

Se observa una distribución homogénea de las áreas con alta aptitud a través de la comuna. Utilizando una cobertura raster binaria se extrajeron del modelo las áreas restrictivas a las plantaciones dendroenergéticas para obtener el modelo final de acogida (figura 10).

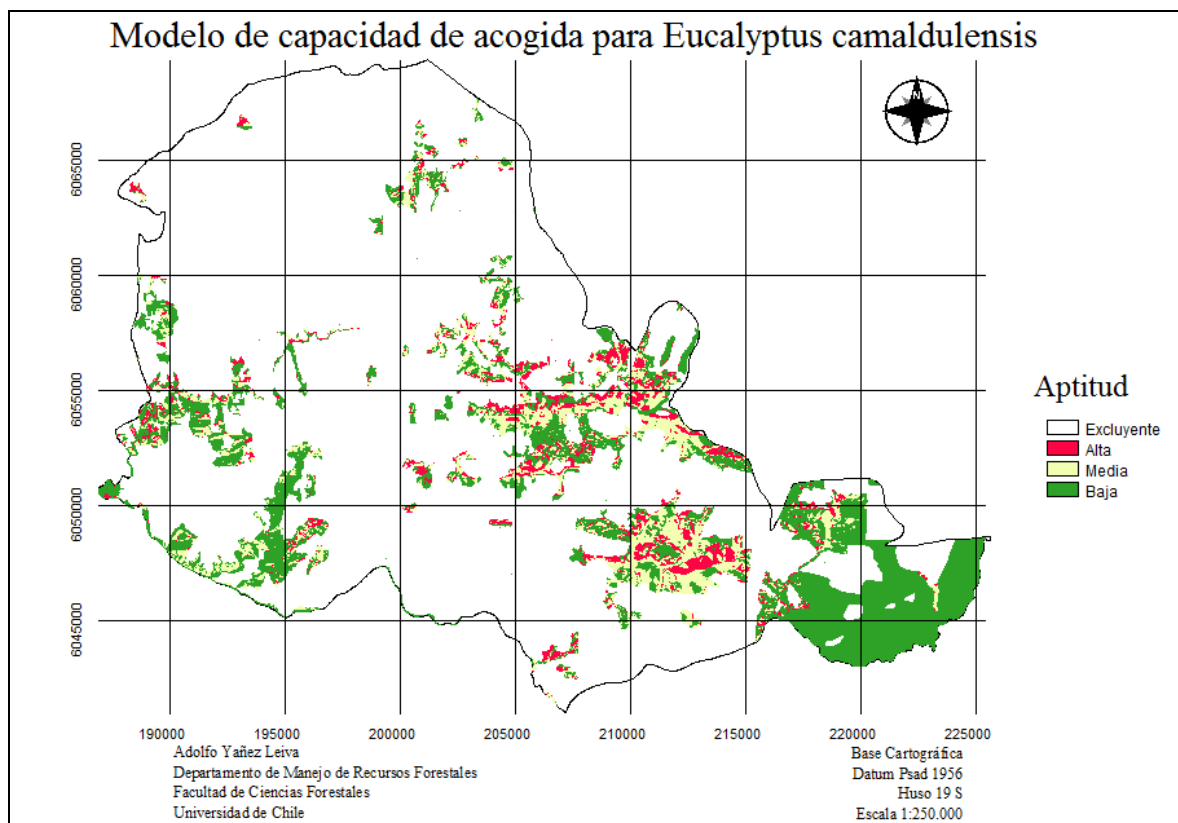


Figura 10: Modelo final de acogida para *Eucalyptus camaldulensis*

Sectores de la comuna con áreas de alta aptitud corresponden a “La Orilla”, “Quenuhuao”, “Puico Alto” y “Name”. Las superficies potenciales totales y disponibles se observan en el cuadro 15.

Cuadro 15: Superficies potenciales para *Eucalyptus camaldulensis*

<b>Categoría de Aptitud</b>	<b>Rango de puntajes</b>	<b>Superficie potencial total (ha)</b>	<b>Superficie potencial disponible (ha)</b>
Alta	200 — 255	8.766,5	1.822,1
Media	194 — 200	14.633,1	3.401,6
Baja	1 — 193	33.731,1	7.604,7
Excluyente	0	0	44.302

### 3.2.5 Modelo de Acogida para plantaciones de *Robinia pseudoacacia*

El Modelo de Capacidad de acogida para plantaciones de la especie *Robinia pseudoacacia* (figura 11). La variable precipitación con un 26.97% de importancia, es la que más influye en la identificación de áreas potenciales para establecer plantaciones dendroenergéticas de *Robinia pseudoacacia*. La menos importante es la pendiente con un 3,84%.

$$\text{CDA} = 0,2697 * \text{Precipitación} + 0,0769 * T^{\circ} \text{ mínima} + 0,0769 * T^{\circ} \text{ máxima} + 0,1153 * \text{Textura} \\ + 0,1538 * \text{Profundidad} + 0,0769 * \text{Drenaje} + 0,0769 * \text{Altura} + 0,0384 * \text{Pendiente} \\ + 0,1153 * \text{Exposición}$$

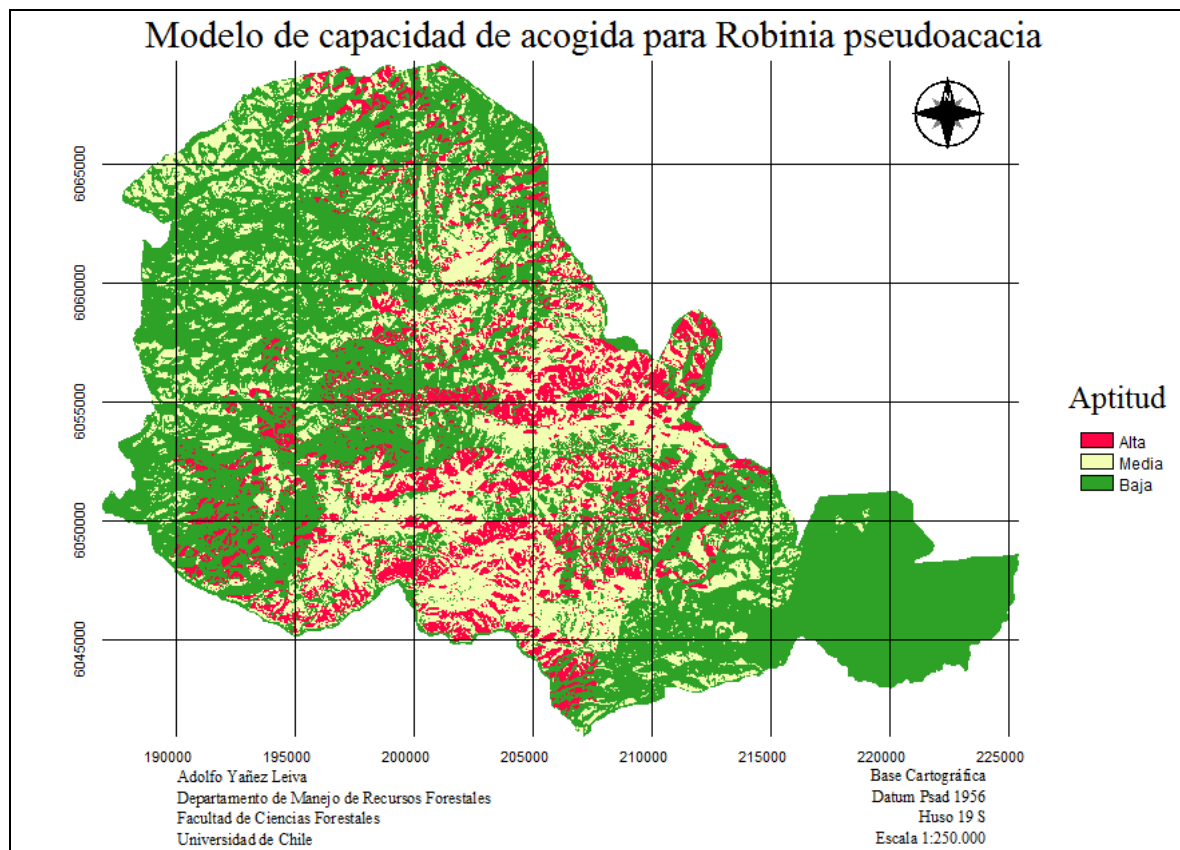


Figura 11: Modelo de capacidad de acogida para plantaciones de *Robinia pseudoacacia*

Se puede observar que el extremo sureste de la comuna no presenta áreas con alta o media aptitud para establecer plantaciones dendroenergéticas de ésta especie, sin embargo esta zona no presenta restricciones de uso en el modelo final de capacidad de acogida (figura 12).

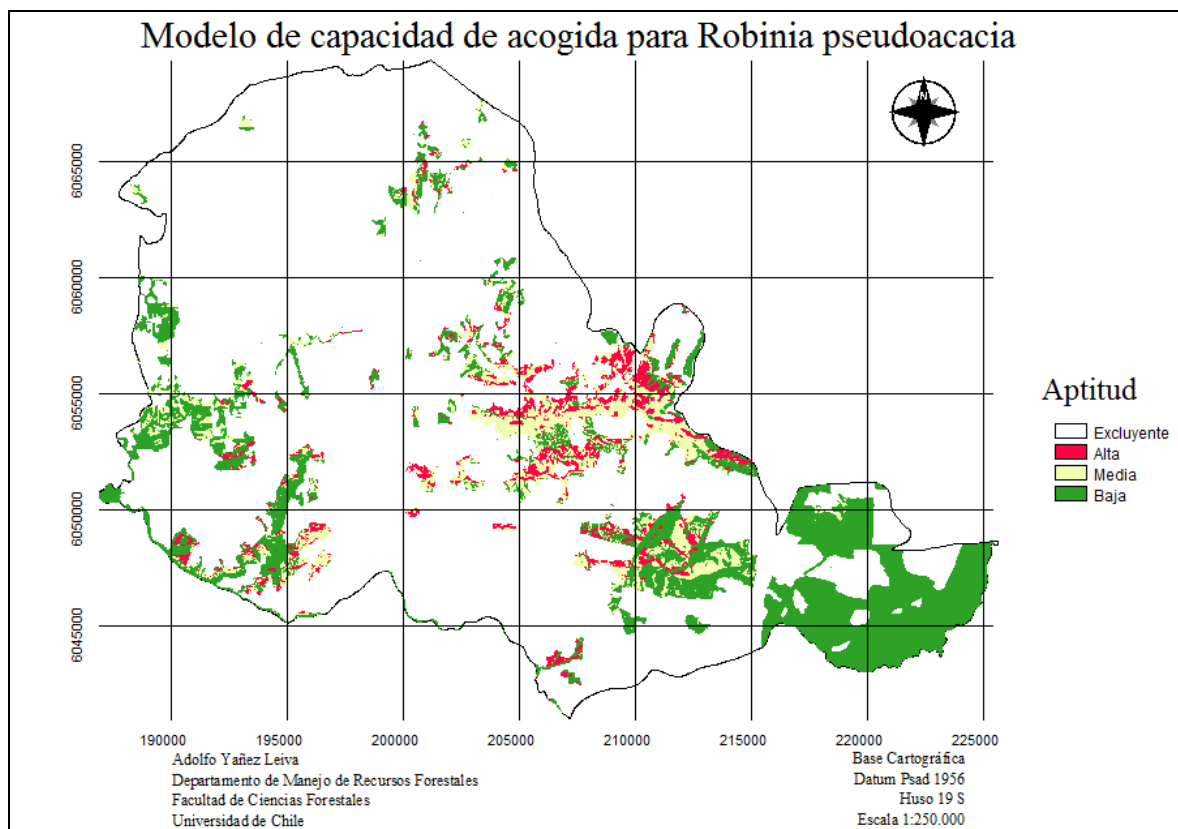


Figura 12: Modelo final de acogida para *Robinia pseudoacacia*.

Los sectores “La Orilla”, “Lavadero”, “San Francisco” y “Villa Prat” son los que concentran las áreas prioritarias para robinia, aunque el modelo de ésta especie fue el que obtuvo los menores puntajes de aptitud. Las superficies potenciales expresadas en hectáreas, clasificadas por su aptitud se observan en el cuadro 16.

Cuadro 16: Superficies potenciales para *Robinia pseudoacacia*.

<b>Categoría de Aptitud</b>	<b>Rango de puntajes</b>	<b>Superficie potencial total (ha)</b>	<b>Superficie potencial disponible (ha)</b>
Alta	193 — 255	8.231,6	1.678,1
Media	182 — 193	15.848,1	3.111,2
Baja	1 — 181	33.050,9	8.039,1
Excluyente	0	0	44.302

### 3.3 Opción de uso del suelo

Al comparar los puntajes máximos de los modelos de capacidad de acogida de las especies propuestas (figura 13) se jerarquiza la importancia de una especie sobre otra para un determinado territorio.

- *Acacia dealbata* domina en el extremo suroeste de la comuna ocupando áreas de baja altitud (menor a 100 msnm), cercanas a la costa, donde se producen precipitaciones anuales mayores a 900 mm.
- *Acacia melanoxylon* se encuentra principalmente en áreas de exposiciones sur, cercanas a cursos de agua, bajo los 500 msnm.
- *Chamaecitysus proliferus* es la especie que predomina en la mayor parte de la superficie comunal, debido a la gran plasticidad de sus requerimientos ambientales, abarcando sectores de distinta exposición y pendiente, hasta altitudes de 800 msnm, con precipitaciones entre 800 a 900 mm.
- Los sectores ubicados en el extremo sureste de la comuna, “Linda Vista” “Sauzal” y “Puico Bajo”, fueron permanentemente evaluados como de baja aptitud en los modelos de capacidad de acogida. La especie que más se adapta a estas zonas restrictivas en cuanto a variables climáticas y edáficas es *Eucalyptus camaldulensis*.
- Coincidiendo con modelos de capacidad de acogida como el de Gestión Forestal (2006), *Robinia pseudoacacia* no aparece como una especie recomendable para la comuna de Empedrado en cuanto a uso dendronenergético. Si bien es una especie rústica, generalmente se encuentra asociada a zonas agrícolas abandonadas, planos o de escasa pendiente y buen drenaje, áreas que en Empedrado son escasas.

La representación espacial de las áreas descritas para cada una de las especies se encuentra en el Apéndice 7. Al analizar únicamente las áreas disponibles para recibir plantaciones se obtiene el uso propuesto del suelo (figura 14) y las superficies respectivas (cuadro 17) para cada especie.



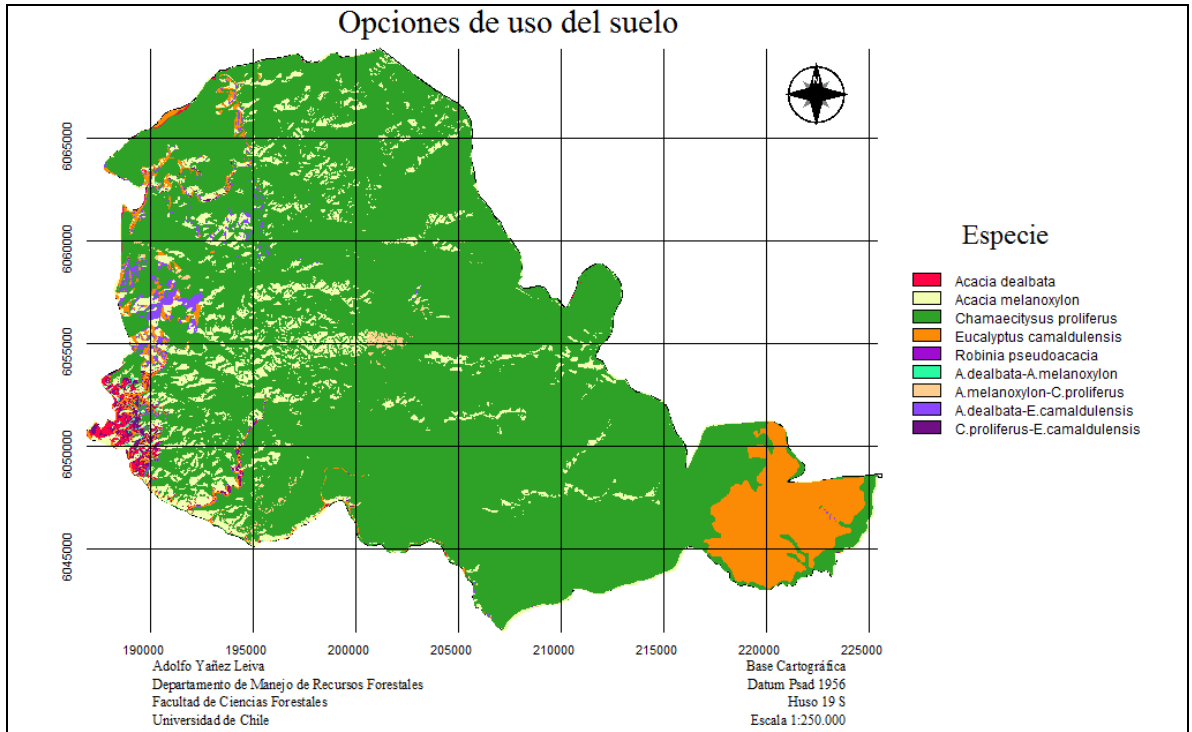


Figura 13: Opciones de uso del suelo

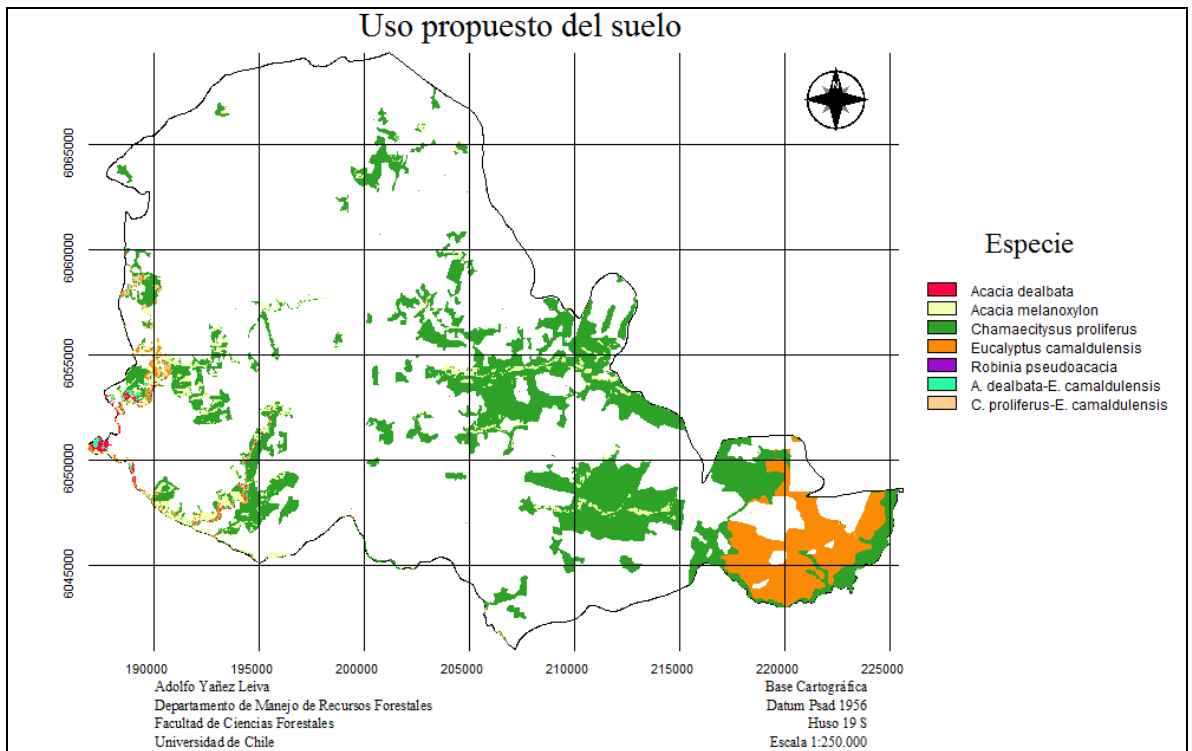


Figura 14: Uso propuesto del suelo

Cuadro 17: Superficies propuestas para cada especie.

<b>ESPECIE</b>	<b>SUPERFICIE (hectáreas)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
<i>Acacia dealbata</i>	98,8	0,7
<i>Acacia melanoxylon</i>	1.192,7	9,2
<i>Chamaecytisus proliferus</i>	9.022	70,3
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	2.310,3	18
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0	0
<i>A. dealbata - E. camaldulensis</i>	86,9	0,6
<i>C. proliferus - E. camaldulensis</i>	117,8	0,9

En orden de preferencia, las especies que presentan mayor aptitud para ser utilizadas en el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas en la Comuna de Empedrado, Región del Maule, en un 97,5% de la superficie potencial disponible actualmente, son *Chamaecytisus proliferus*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Acacia melanoxylon*.

Un 1,7% de la superficie disponible para establecer plantaciones presentó los mismos puntajes de aptitud para dos especies. Las asociaciones formadas fueron *Acacia dealbata - Eucalyptus camaldulensis* y *Chamaecytisus proliferus - Eucalyptus camaldulensis*.

## 4 CONCLUSIONES

- Este estudio representa un primer avance en el ordenamiento territorial de la Comuna de Empedrado. Si bien considera variables de tipo físico, utilizar el criterio del séptimo compensa en parte el hecho de no incluir variables económicas, ya que identifica en los modelos de acogida del territorio las áreas más interesantes para establecer plantaciones. Sin embargo, no se puede desconocer la importancia de incluir variables económicas y sociales en estudios similares.
- Tal como se planteó, la Comuna de Empedrado, Región del Maule, posee áreas potenciales físicas para recibir plantaciones forestales con especies de uso dendroenergético. Se identificaron 12.828,6 hectáreas disponibles actualmente para este uso que equivalen al 22,4% de la superficie comunal.
- La especie *Chamecystis proliferus* aparece como la especie que más se adapta a las condiciones ambientales de la zona de estudio. *Eucalyptus camaldulensis* aparece como una buena opción en las áreas más degradadas, con restricciones hídricas y edáficas, mientras que *Robinia pseudoacacia* no es recomendable para establecer plantaciones dendroenergéticas en Empedrado, considerando variables físicas.
- El uso del suelo propuesto a través de los modelos de capacidad de acogida del territorio permiten conocer la distribución, superficie y aptitud de los terrenos a forestar con cada especie en particular, sin embargo estos modelos son simplificaciones de la realidad, por lo que deben usarse como una herramienta de ayuda en la toma de decisiones.
- Una de las grandes deficiencias detectadas durante el desarrollo del estudio es la baja calidad de la información digitalizada, especialmente en las variables edáficas. Otro problema tiene que ver con los datos obtenidos a través de investigación documental los que son muy generales, y a veces contradictorios.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- Ábalos, M. 2002. Estado actual de la información sobre madera para energía. En Estado de la información forestal en Chile. FAO. Monografía de países n° 4. Santiago. pp. 139-162.
- Álvarez, M. 2003. Localización de sitios adecuados para el establecimiento de plantaciones de quillay (*Quillaja saponaria*), mediante integración de sistemas de información geográfica y técnicas de evaluación multicriterio. Tesis de grado, Universidad de Talca. 113 pp.
- Astigarraga, E. 2004. El Método Delphi. Facultad de C.C.E.E. y Empresariales. Universidad de Deusto. San Sebastián. España. [en línea]  
<[http://www.prospectiva.eu/zaharra/Metodo\\_Delphi.pdf](http://www.prospectiva.eu/zaharra/Metodo_Delphi.pdf)> [consulta: 03 Mayo 2005).
- Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid. 263 pp.
- Benedetti, S. 1991. Abastecimiento energético proveniente del recurso forestal. Seminario sobre la problemática de la dendroenergía en el desarrollo rural. CNE-CONAF. Santiago. pp. 31-47.
- Boland, D. Brooker, M. William, M. Chippendale, G. Hall, N. Hyland, B. Kleinig, D. 2006. Forest trees of Australia. 736 pp. [en línea]  
<<http://books.google.cl/books>> [consulta: 30 Julio 2009]
- Burschel, H. Hernández, A y Lobos, M. 2003. Leña, Una fuente energética para Chile. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 172 pp.
- Bustillos-Herrera, A. Valdez-Lazalde, R. Aldrete, A. Gonzalez-Guillén, M. 2007. Aptitud de terrenos para plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden): Definición mediante el proceso de análisis jerarquizado y sig. [en línea]  
<<http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2007/oct-nov/art-8.pdf>> [consulta: 10 octubre 2008]
- CNE. 2008. Consumo de energías secundarias en Chile, año 2004. En Balance de energía año 2001. [en línea]  
<[http://www.cne/fuentes\\_energeticas/f\\_secundarias.htm](http://www.cne/fuentes_energeticas/f_secundarias.htm)> [consulta: 10 Octubre 2008]
- CONAF-INFOR-FIA. 1998. Monografía de Aromo Australiano. Santiago. Chile. 83 pp.
- Covacevich, R. 1979. Poder calorífico de Pino insigne y de otras especies forestales chilenas. Tesis de grado. Universidad de Chile. 72 pp.
- Dirección Meteorológica de Chile, 2007. Glosario Meteorológico. [en línea]  
<[www.meteochile.cl/ayudaest.html](http://www.meteochile.cl/ayudaest.html)> [consulta: 23 noviembre 2007]

- Donoso, P. 1991. Diagnóstico de la situación actual del bosque nativo en Chile. [en línea] <<http://lauca.usach.cl/ima/bosque.htm#ExtraccióndeLeña>> [consulta: 15 Noviembre 2004]
- DOS. 1998. División de Organizaciones Sociales. VII Región del Maule. Comuna de Empedrado. Cuaderno de información comunal.
- FAO. 1988. Cultivo de árboles por la población rural. Estudio FAO Montes 64. Roma. 140 pp.
- FIA-INDAP-INFOR. 2000. Monografía de Falso Acacio (*Robinia pseudoacacia*). 54 pp.
- Geyer, W. Walawender, W. 2007. Biomass properties and gasification behavior of young black locust. [en línea] <<http://swst.metapress.com/content/1563350584686108/>> [consulta: 30 julio 2009]
- Gestión Forestal. 2006. Tecnología y Gestión Forestal para pequeños y medianos propietarios. Plantaciones. CORFO-INFOR. [en línea] <<http://www.gestionforestal.cl/>> [consulta: 10 Enero 2006]
- Gilchrist, J. 2009. Apuntes para las asignaturas de Manejo I y II. Universidad de Chile. Borrador. Capítulo IX. pp. 329-365
- González, J. Zavala, M. Sandoval, C. 1997. Resultados de 10 años de Investigación Silvicultural del proyecto Madeleña en Honduras. 179 pp. [en línea] <<http://books.google.cl/books>> [consulta: 31 Julio 2009]
- González, S. 1997. Manual de Redacción Documental. México. pp. 141-153.
- Guía de Reforestación, 2009. Adaptación, usos, madera, vivero, rendimientos y silvicultura de 95 especies. [en línea] <[http://www.elsemillero.net/eucalipto\\_camaldulensis.html](http://www.elsemillero.net/eucalipto_camaldulensis.html)> [consulta: 31 Julio 2009]
- Heimfeld, I. 2003. Prólogo. En Leña, Una fuente energética renovable para Chile. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. pp. 15-16.
- IGM. 2004. Carta Empedrado 1:50.000. [en línea] <<http://www.igm.cl/productoresumen2.asp?id=774>> [consulta: 9 diciembre 2004]
- INFOR. 1994. Evaluación del consumo de leña en Chile en 1992. Informe Técnico N° 130. Santiago. 45 pp.
- INFOR. 2000. Tagasaste. Opción productiva en sistemas silvopastorales para el secano de la VI, VII y VIII regiones. Documento de divulgación N° 21. Santiago. 12 pp.
- INFOR. 2008. Alternativas de especies y opciones productivas para la producción forestal maderera y no maderera de la zona central de Chile. 37 pp.

- Julio, G. 1999. Fundamentos del Manejo del Fuego. Universidad de Chile. Depto. Manejo de Recursos Forestales, Santiago, 312 p.
- Konow, I; Pérez, G. 1990. Métodos y Técnicas de Investigación Prospectiva para la toma de Decisiones. U. de Chile. 1990. [en línea]  
<<http://geocities.com/Pentagon/Quarters/7578/pros01.html>> [consulta: 5 Mayo 2005]
- Linstone, A y Turoff, M. 1975. The Delphi Method. Technique and Applications. Massachusetts. 620 pp.
- Milthorpe, P. Dann, P. 1991. Production from tagasaste (*Chamaecytisus palmensis*) at four contrasting sites in New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* N°31. pag 639-644.
- Muñoz, A. Yañez, J. 2003. Aspectos ambientales de la leña. En Leña, Una fuente energética renovable para Chile. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. pp. 95-110.
- Pinilla, J. C. Molina, M. P. Gutiérrez, B. 2005. Investigación con *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii* en Chile. INFOR – FDI (CORFO). 112 p. [en línea]  
<<http://biblioteca.universia.net/ficha.do?id=22561263>> [consulta: 31 Julio 2009]
- PIRSA Forestry. 2007. Growing Firewood in the south of Australia. En Forestry Development Fact Sheet N° 13. [en línea] <<http://www.pir.sa.gov.au>> [consulta: 7 Agosto 2009]
- Ovalle, C. Arredondo, S. Avendaño, J. Fernández, F. Neira, L. 1996. Producción de fitomasa aérea consumible de tagasaste en dos localidades de ambientes climáticamente contrastados en la zona mediterránea. En Agricultura Técnica N° 56. pag 214-219.
- Ramírez, J. 1997. Determinación del área geográfica potencial para el establecimiento en Chile de *Acacia melanoxylon*. Tesis de grado. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 105 pp.
- Rivera, H. 2001. Aplicación de la Evaluación Multicriterio para la asignación de funciones al territorio de la Reserva Nacional Valdivia. Proyecto Manejo Sustentable del Bosque Nativo (CONAF-GTZ). 28 pp. [en línea]  
<<http://ecologia.umayor.cl/ordenarch/evaluaci%F3n%20multicriterio.PDF>> [consulta: 12 Marzo 2005]
- Ruiz de Gamboa. 1986. Proposición de superficies y especies para forestar con fines energéticos en la provincia de Choapa, IV Región. Tesis de grado, Universidad de Chile. 88 pp.
- SAG, 2001. Pauta para estudio de suelos. División de Protección de los Recursos Naturales Renovables. Santiago.

- Sahal, D y Yee, K. 1975. Delphi: An Investigation from a Bayesian viewpoint. Technological Forecasting and Social Change. Vol. 7 N° 2. pp. 165-178.
- Temesvári, E. 2003. Black Locust (*Robinia pseudoacacia*) as possible energy sources. [en línea] <[www.energyforest.com/szovegek/akac\\_eng.pdf](http://www.energyforest.com/szovegek/akac_eng.pdf)> [consulta: 10 Agosto 2009]
- Vita, A. 1990. Programa de capacitación de agentes de extensión INDAP. IV Región de Coquimbo. CEZA-Universidad de Chile. pp. 6-7.
- Vita, A. 1991. Especies dendroenergéticas. Seminario sobre la problemática de la dendroenergía en el desarrollo rural. CNE-CONAF. Santiago. pp. 65-91.
- Vita, A. 1998. Introducción de especies forestales combustibles y forrajeras en la IV Región. Evaluación Final. CONAF-Universidad de Chile. 91 pp.
- Voogd, H. 1983. Multicriteria evaluation for urban and regional planning. Pion. Londres. 355 pp.

**APÉNDICE 1. Representación espacial de las variables utilizadas en el estudio.**

Cuadro 1: Temperatura y precipitaciones por distrito agroclimático.

Nombre clima	T° Máxima media de enero °C	T° Mínima media de julio °C	Precipitación Anual promedio mm/año
Litoral Constitución	21,0°	5,9°	922,43
Empedrado – Coronel	25,2°	5,1°	917,91
Maquis – Quirihue	27,5°	4,9°	865,58
Costa v. o. Cauquenes	30,3°	4,6°	786,39
Palgua – Virquinco	30,2°	4,4°	747,64

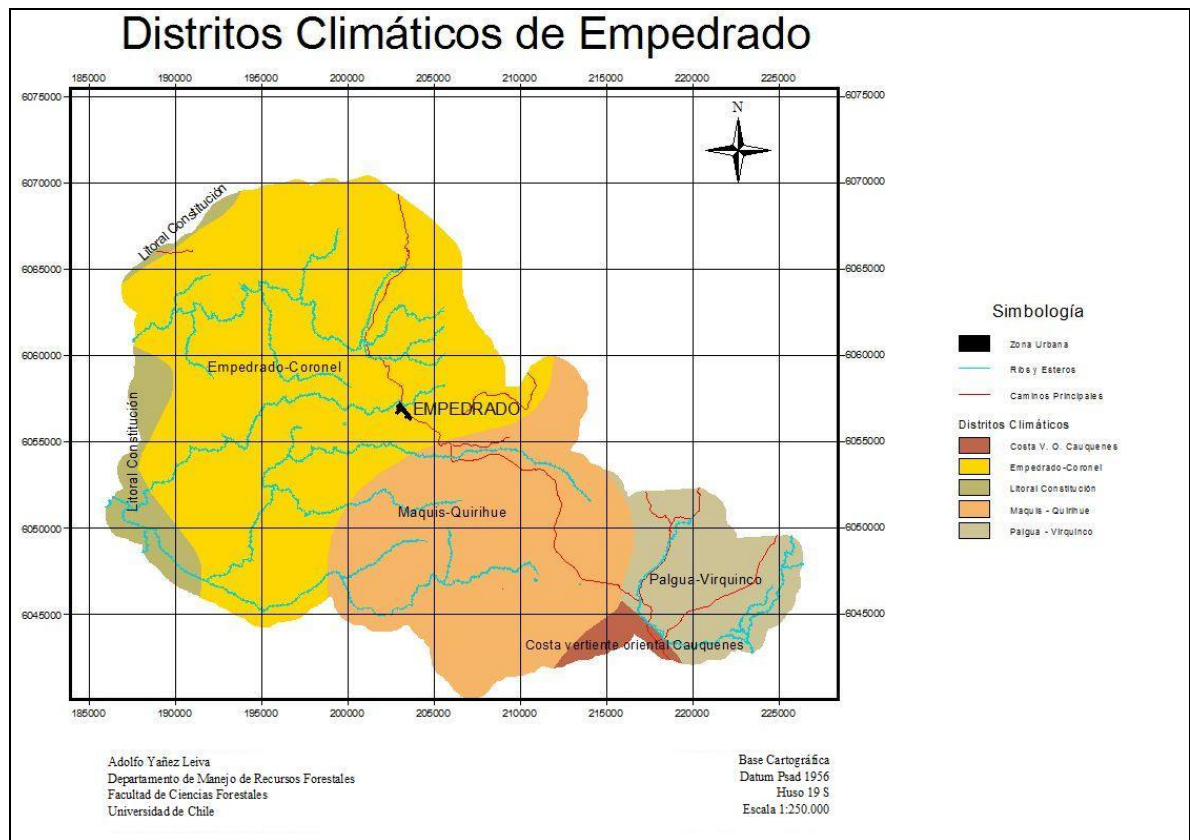


Figura 1: Distritos agroclimáticos presentes en la Comuna de Empedrado, VII Región.



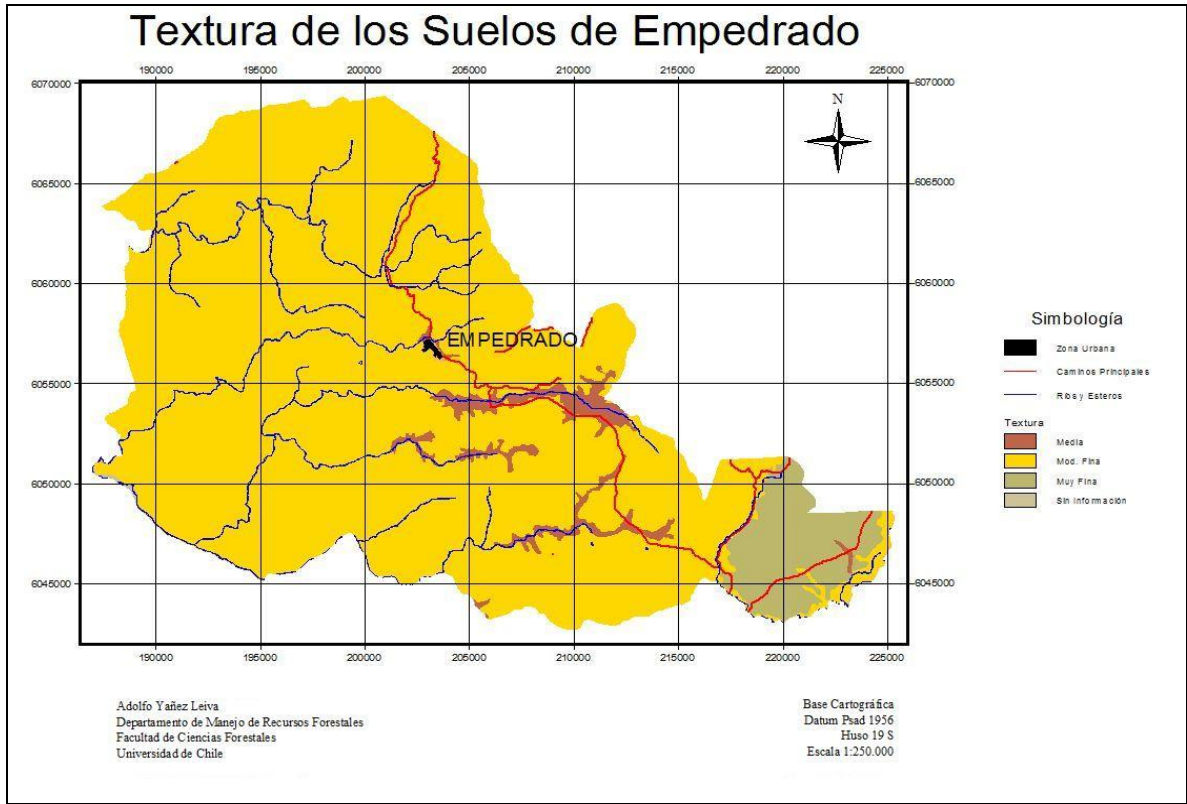


Figura 2: Textura de los suelos de Empedrado.

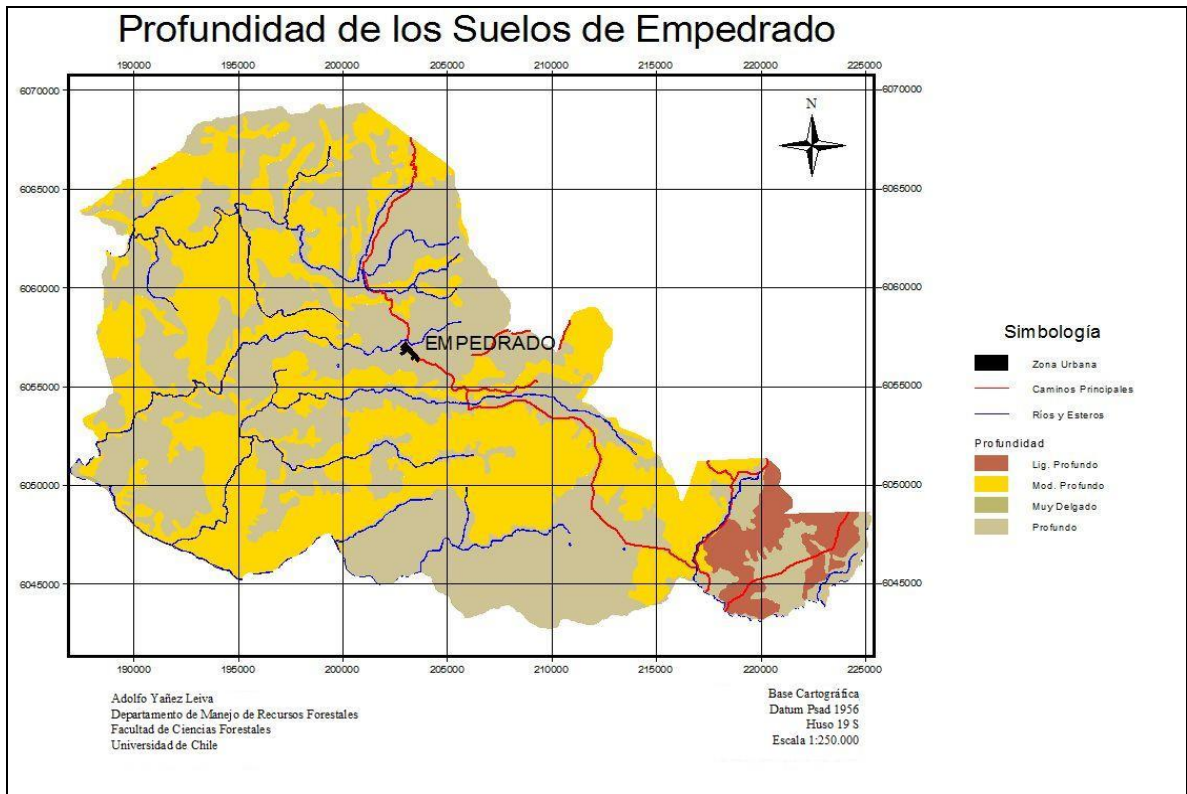


Figura 3: Profundidad de los suelos de Empedrado.

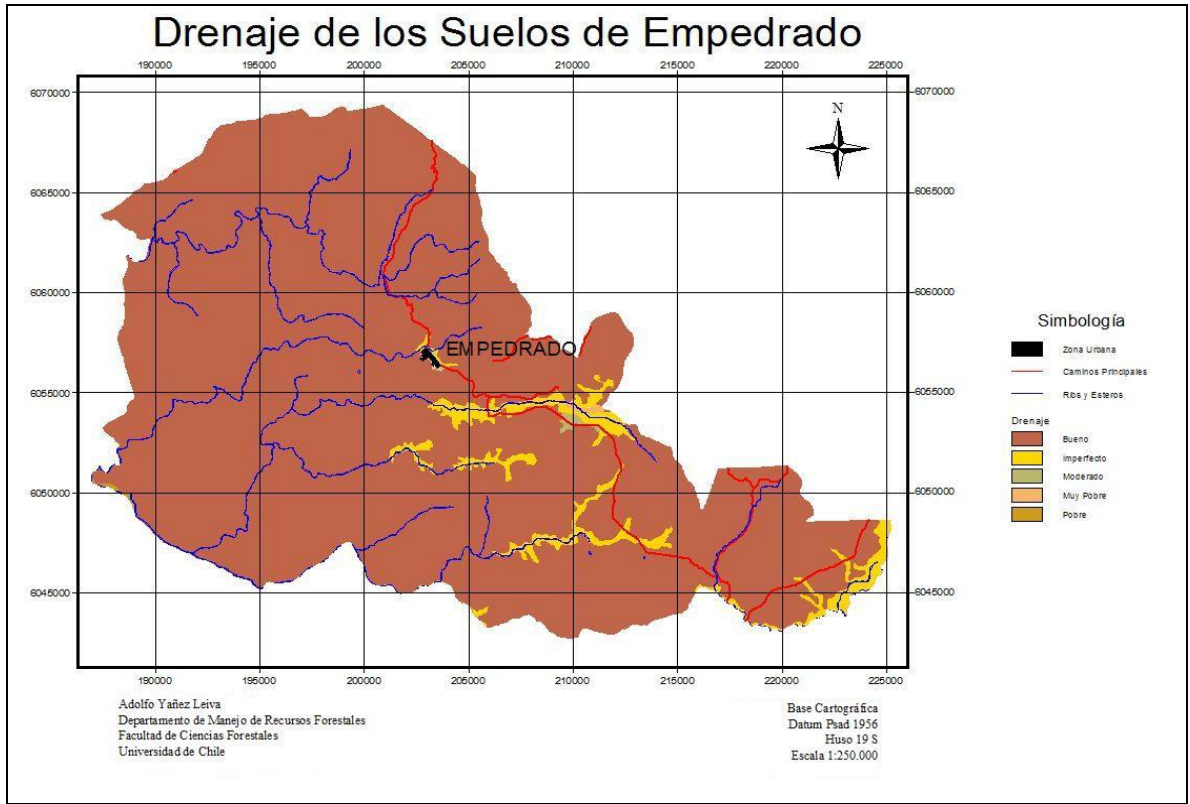


Figura 4: Drenaje de los suelos de Empedrado.

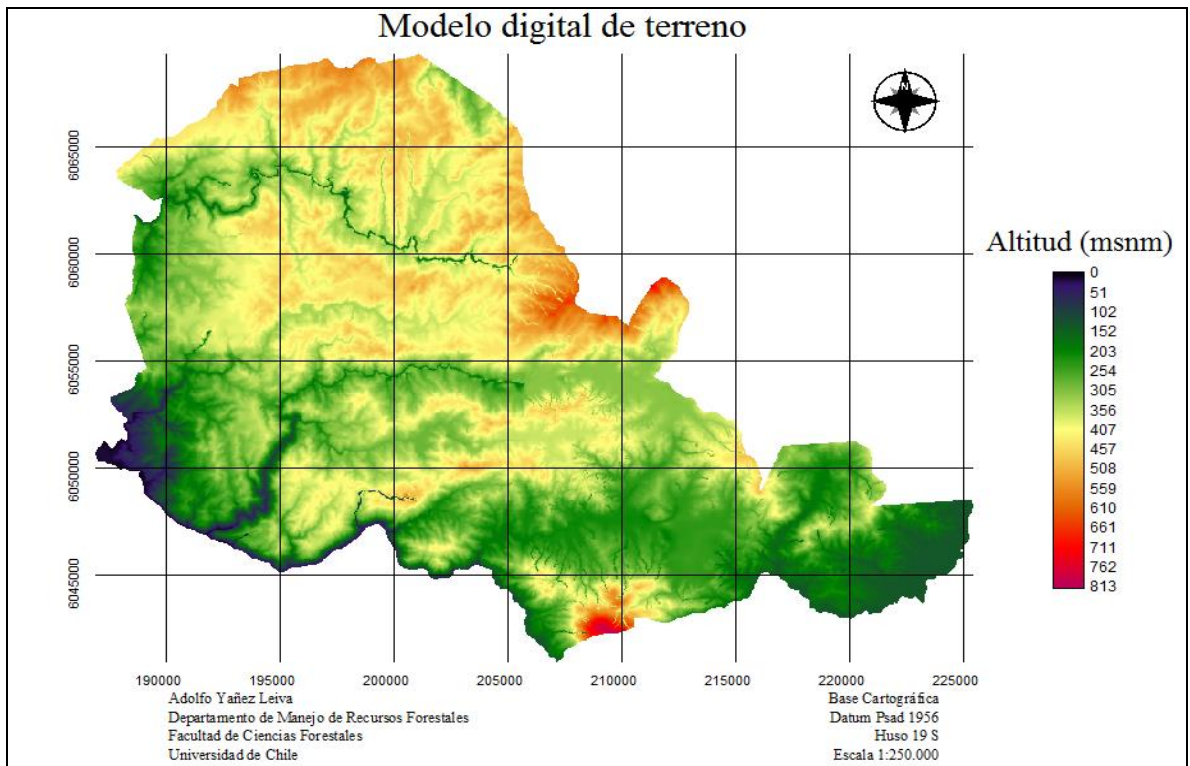


Figura 5: Modelo digital de terreno, Comuna de Empedrado.

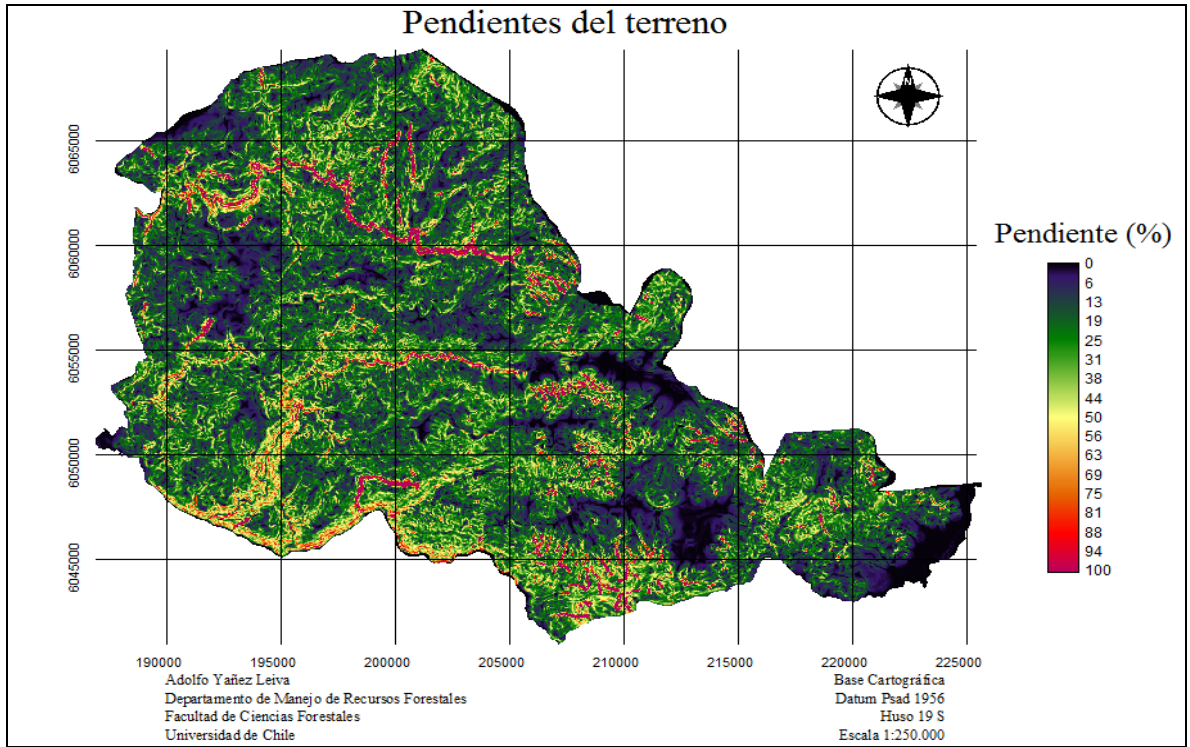


Figura 6: Exposiciones de los terrenos de Empedrado.

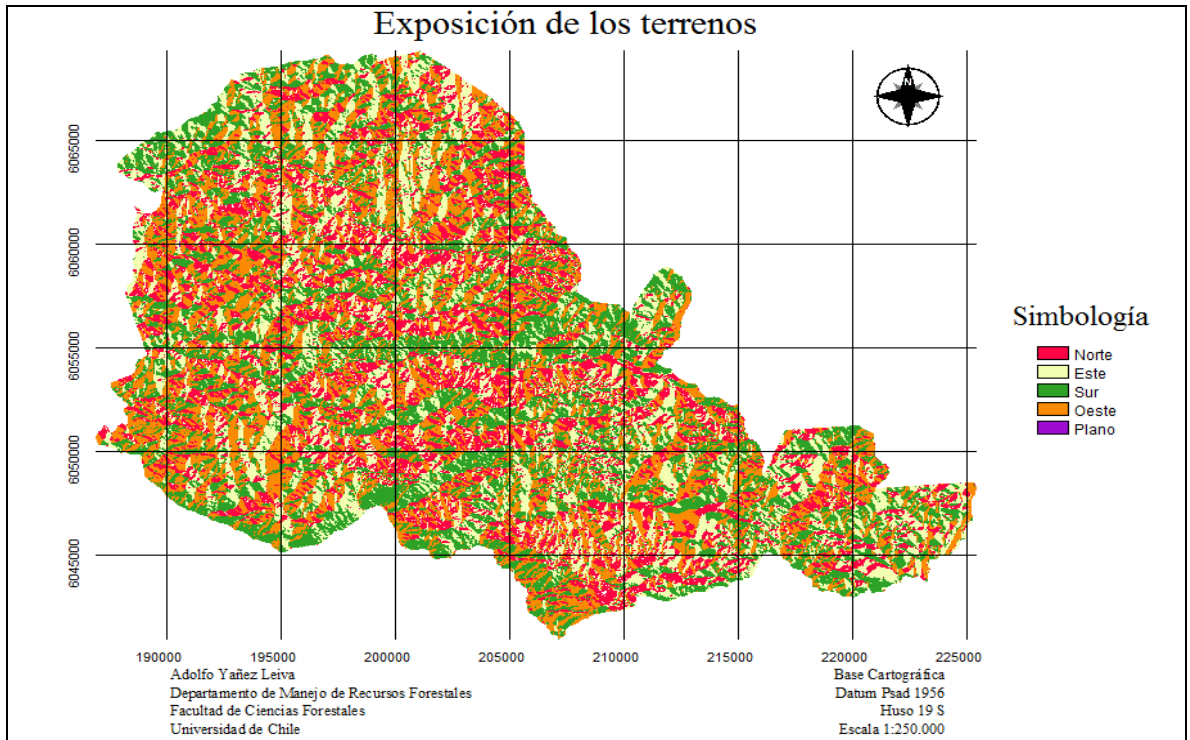


Figura 7: Pendientes de los terrenos de Empedrado.

## APÉNDICE 2. Restricciones a las plantaciones dendroenergéticas.

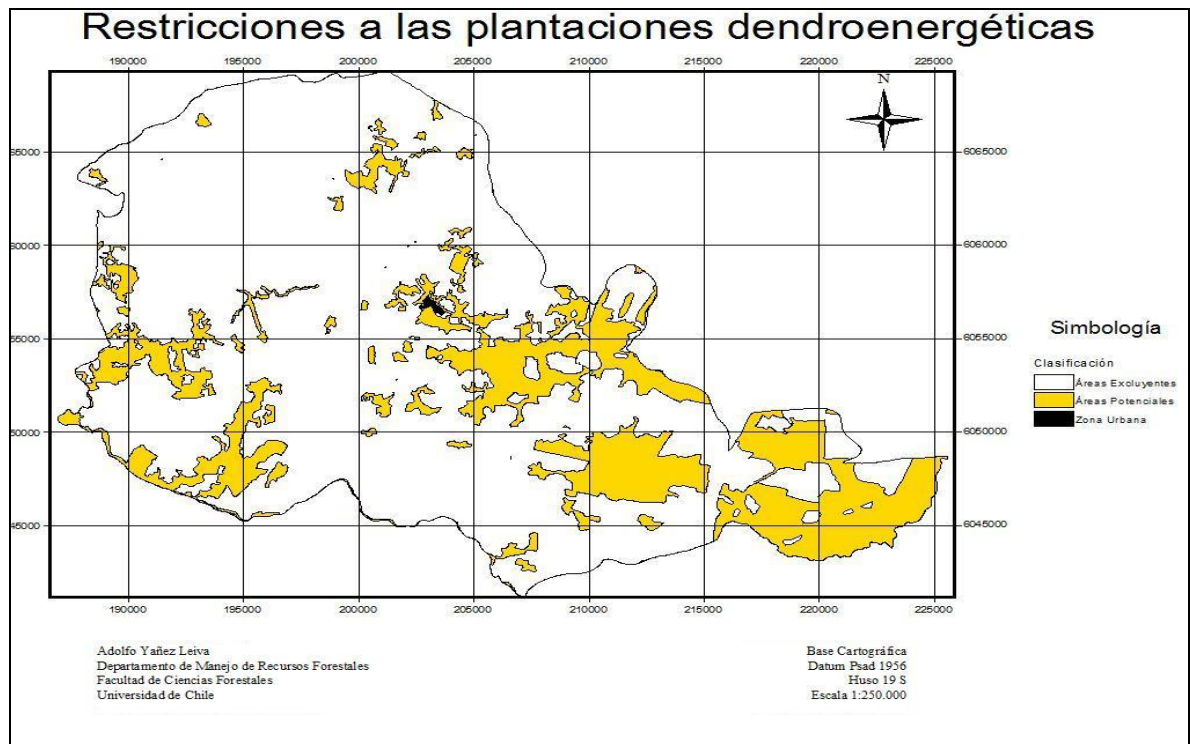


Figura 1: Áreas excluyentes para establecer plantaciones dendroenergéticas.

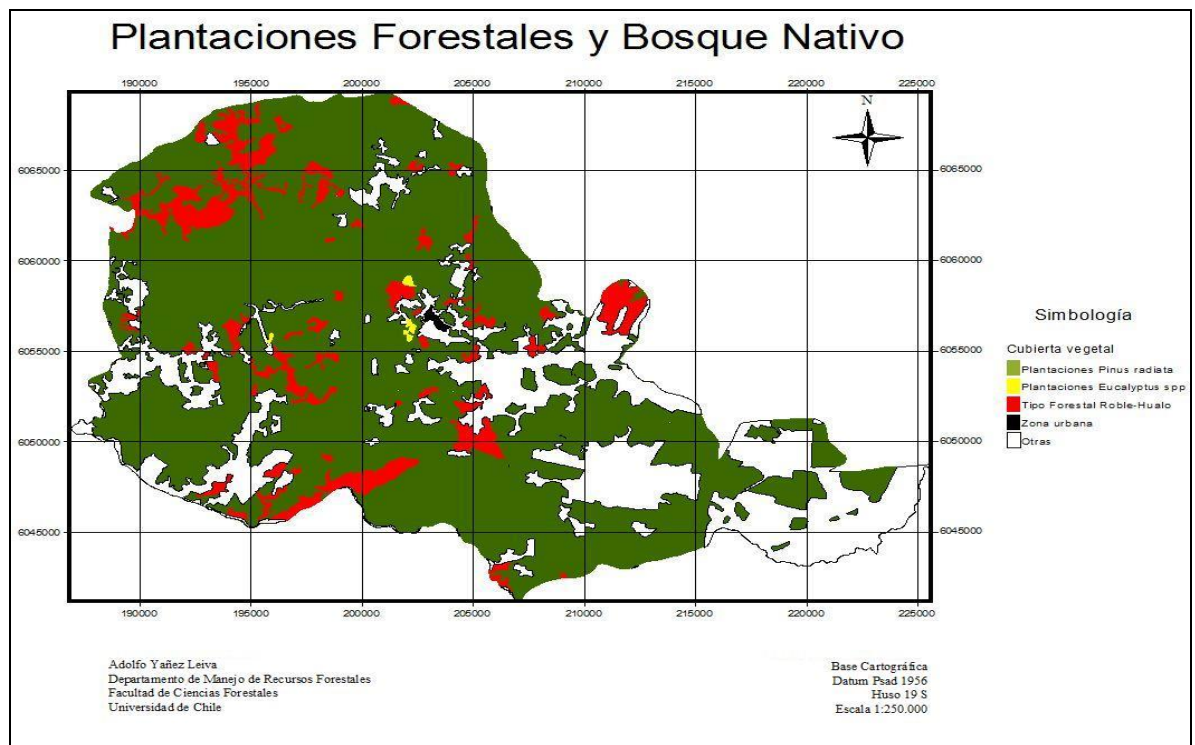


Figura 2: Plantaciones Forestales Actuales en Empedrado.

**APÉNDICE 3. Listado Profesionales consultados en el estudio.**

<b>Nombre</b>	<b>Institución</b>	<b>Estado de la Encuesta</b>
Marta Ábalos	Instituto Forestal	Encuesta derivada a Patricio González
Eduardo Acuña	U. de Concepción	Contestada completa
Susana Benedetti	Instituto Forestal	Contestada completa
Patricio González	Instituto Forestal	No contestada o incompleta
Patricio Lavados	Forestal Celco	Contestada completa
Marisol Muñoz	U. de Talca	No contestada o incompleta
Sandra Perret	Instituto Forestal	No contestada o incompleta
Juan Carlos Pinilla	Instituto Forestal	No contestada o incompleta
Alfredo Olivares	U. de Chile	Contestada completa
Christian Ramírez	I. Municipalidad de Empedrado	Contestada completa
José San Martín	U. de Talca	No contestada o incompleta
Antonio Vita	U. de Chile	Contestada completa

## APÉNDICE 4. Resultados Método Delphi

Cuadro 1: Puntajes promedio asignados a los criterios, variables y categorías.

Criterios	NI	Variables	NI					Categorías	NI					
			Especie						Especie					
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
Clima	40	Pp.	27	27	21	20.8	25.8							
		T° mín	8	8	14	12.5	8.3							
		T° máx	5	5	5	6.7	5.8							
Suelo	38	Textura	8	8	8	10	10	Fina	1	1	2.8	1.4	2.2	
								Mod. Fina	2.4	3.8	5.6	3.4	4.4	
								Media	9	8.6	7	9	9	
								Mod. grues	5	5	4.8	5.8	6.8	
								Gruesa	4.6	4.6	4.4	4.4	4.8	
								Muy gruesa	4.6	4.6	4.6	4	4.8	
		Profundidad	18.5	17.5	16	20	19	Muy delgado	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
								Delgado	2	2	2.8	2.4	2	
								Lig. Prof	4.4	4.4	3.6	6.4	6.4	
								Mod Prof	8	7	6.2	7	7.2	
		Drenaje	11.5	12.5	14	8	9	Muy Pobre	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
								Pobre	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	
								Imperfecto	2	2.4	2.2	2.8	2.2	
								Moderado	6	5.8	7.2	6.2	7.4	
								Bueno	6.6	8.4	8.4	6.6	8.4	
Orografía	22	Altitud	4.2	4.2	4	3.2	3	0-200 m	5	5	4.2	5.2	5.2	
								200-400 m	7.4	7.4	6.8	6.6	6.6	
								400-600 m	5	5	3.4	3.8	4.2	
								600-800 m	2.8	2.6	1.4	2.2	2.2	
		Pendiente	7.8	7.8	8	8.2	8	0-15%	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	
								15-30%	8.2	8.4	7.8	8.4	7.2	
								30-45%	5.4	5	4.2	5.4	4	
								45-60%	2.8	3.4	3.4	3	2.6	
								60-100%	1.6	1.8	1.2	2	1.8	
		Exposición	10	10	10	10.6	11	Norte	2.6	2.6	3.2	3.4	2.4	
								Sur	8.2	8.2	6.8	7.8	8.2	
								Este	3.8	3.8	3.4	4.4	3.8	
								Oeste	3.2	3.2	3.6	3.8	3	
								Plano	7.6	7.6	7.4	7.6	7.6	

1: *Acacia dealbata*

2: *Acacia melanoxylon*

3: *Chamaecytisus proliferus*

4: *Eucalyptus camaldulensis* 5: *Robinia pseudoacacia*

Cuadro 2: Rangos de puntajes asignados a las variables.

Criterios	Variables	Especie				
		1	2	3	4	5
Clima	Precipitación	20	20	20	20	35
	Tº mín media	10	10	25	25	10
	Tº máx media	10	10	10	10	10
Suelo	Textura	5	5	10	15	15
	Profundidad	17,5	20	25	20	20
	Drenaje	25	20	15	20	10
Orografía	Altitud	10	10	10	10	10
	Pendiente	6	6	5	5	5
	Exposición	15	15	15	15	15

1: *Acacia dealbata*

2: *Acacia melanoxylon*

3: *Chamaecytisus proliferus*

4: *Eucalyptus camaldulensis* 5: *Robinia pseudoacacia*

**APÉNDICE 5. Matrices utilizadas en el cálculo de los pesos de cada variable.**

Cuadro 1: Matriz de pares de comparaciones para *Acacia dealbata*

	<b>Pp.</b>	<b>T°min</b>	<b>T°max</b>	<b>Text</b>	<b>Prof</b>	<b>Dren</b>	<b>Alt</b>	<b>Pend</b>	<b>Exp</b>
<b>Pp.</b>	1								
<b>T°min</b>	1/2	1							
<b>T°max</b>	1/2	1	1						
<b>Text</b>	1/4	1/2	1/2	1					
<b>Prof</b>	7/8	7/4	7/4	7/2	1				
<b>Dren</b>	5/4	5/2	5/2	5	10/7	1			
<b>Alt</b>	1/2	1	1	2	4/7	2/5	1		
<b>Pend</b>	3/10	3/5	3/5	6/5	12/35	6/25	3/5	1	
<b>Exp</b>	3/4	3/2	3/2	3	6/7	3/5	3/2	5/2	1

Cuadro 2: Matriz de pares de comparaciones para *Acacia melanoxylon*

	<b>Pp.</b>	<b>T°min</b>	<b>T°max</b>	<b>Text</b>	<b>Prof</b>	<b>Dren</b>	<b>Alt</b>	<b>Pend</b>	<b>Exp</b>
<b>Pp.</b>	1								
<b>T°min</b>	1/2	1							
<b>T°max</b>	1/2	1	1						
<b>Text</b>	1/4	1/2	1/2	1					
<b>Prof</b>	1	2	2	4	1				
<b>Dren</b>	1	2	2	4	1	1			
<b>Alt</b>	1/2	1	1	2	1/2	1/2	1		
<b>Pend</b>	3/10	3/5	3/5	6/5	3/10	3/10	3/5	1	
<b>Exp</b>	3/4	3/2	3/2	3	3/4	3/4	3/2	5/2	1



Cuadro 3: Matriz de pares de comparaciones para *Chamaecytisus proliferus*

	<b>Pp.</b>	<b>T°min</b>	<b>T°max</b>	<b>Text</b>	<b>Prof</b>	<b>Dren</b>	<b>Alt</b>	<b>Pend</b>	<b>Exp</b>
<b>Pp.</b>	1								
<b>T°min</b>	5/4	1							
<b>T°max</b>	1/2	2/5	1						
<b>Text</b>	1/2	2/5	1	1					
<b>Prof</b>	5/4	1	5/2	5/2	1				
<b>Dren</b>	3/4	3/5	3/2	3/2	3/5	1			
<b>Alt</b>	1/2	2/5	1	1	2/5	2/3	1		
<b>Pend</b>	1/4	1/5	1/2	1/2	1/5	1/3	1/2	1	
<b>Exp</b>	3/4	3/5	3/2	3/2	3/5	1	3/2	3	1

Cuadro 4: Matriz de pares de comparaciones para *Eucalyptus camaldulensis*

	<b>Pp.</b>	<b>T°min</b>	<b>T°max</b>	<b>Text</b>	<b>Prof</b>	<b>Dren</b>	<b>Alt</b>	<b>Pend</b>	<b>Exp</b>
<b>Pp.</b>	1								
<b>T°min</b>	5/4	1							
<b>T°max</b>	1/2	2/5	1						
<b>Text</b>	3/4	3/5	3/2	1					
<b>Prof</b>	1	4/5	2	4/3	1				
<b>Dren</b>	1	4/5	2	4/3	1	1			
<b>Alt</b>	1/2	2/5	1	2/3	1/2	1/2	1		
<b>Pend</b>	1/4	1/5	1/2	1/4	1/4	1/4	1/2	1	
<b>Exp</b>	3/4	3/5	3/2	3/4	3/4	3/4	3/2	3	1

Cuadro 5: Matriz de pares de comparaciones para *Robinia pseudoacacia*

	<b>Pp.</b>	<b>T°min</b>	<b>T°max</b>	<b>Text</b>	<b>Prof</b>	<b>Dren</b>	<b>Alt</b>	<b>Pend</b>	<b>Exp</b>
<b>Pp.</b>	1								
<b>T°min</b>	2/7	1							
<b>T°max</b>	2/7	1	1						
<b>Text</b>	3/7	3/2	3/2	1					
<b>Prof</b>	4/7	2	2	4/3	1				
<b>Dren</b>	2/7	1	1	2/3	1/2	1			
<b>Alt</b>	2/7	1	1	2/3	1/2	1	1		
<b>Pend</b>	1/7	1/2	1/2	1/3	1/4	1/2	1/2	1	
<b>Exp</b>	3/7	3/2	3/2	1	3/4	3/2	3/2	3	1

La razón de consistencia (CR) de éstas matrices es de 0 considerada aceptable.

**APÉNDICE 6. Puntos de control.**

<b>Punto</b>	<b>Sector</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Exposición</b>	<b>Vegetación</b>
1	Provoste	35°36'04''	72°26'02''	226	15-30%	Noreste	plantac. pino
2	Rayenco	35°29'53''	72°16'39''	192	0-15%	Este	pradera
3	Vueltas cortas	35°30'30''	72°16'36''	347	45-60%	Noreste	plantac. pino
4	Pellines II	35°32'73''	72°17'75''	327	0-15%	Sur	cosechado
5	Colmenares	35°33'77''	72°17'94''	337	0-15%	Sureste	plantac. pino
6	El boldal	35°34'39''	72°17'26''	453	0-15%	Norte	plantac. euca.
7	Tierras coloradas	35°36'60''	72°15'37''	408	45-60%	Sur	mat. robl-pin
8	Estero Los Carrizos	35°36'94''	72°14'90''	301	0-15%	Plena	exót asilv.
9	La quebrada	35°38'84''	72°10'70''	324	0-15%	Plena	pradera
10	Puente Sauzal	35°42'37''	72°07'57''	151	0-15%	Plena	matorral
11	Puico bajo	35°41'63''	72°07'79''	160	0-15%	Norte	agrícola
12	Linda Vista	35°02'43''	52°05'44''	198	0-15%	Norte	pradera
13	Cyuname	35°41'09''	72°09'20''	253	15-30%	Suroeste	plantc. pino
14	Quenuhauo	35°40'00''	72°11'23''	306	15-30%	Sureste	matorral pino
15	La villa	35°36'23''	72°15'33''	428	15-30%	Este	matorral pino
16	Camino Rari	35°35'55''	72°17'39''	424	15-30%	Este	plantac. pino
17	Bella vista	35°35'53''	72°19'06''	408	0-15%	Noroeste	recién plantd
18	Rari	35°35'47''	72°19'95''	460	60-100%	Oeste	matorral nat.
19	Rari	35°35'39''	72°20'23''	453	45-60%	Este	plantac. pino
20	Sin nombre	35°35'57''	72°21'06''	443	15-30%	Sur	cosechado

## APÉNDICE 7: Opciones de uso del suelo

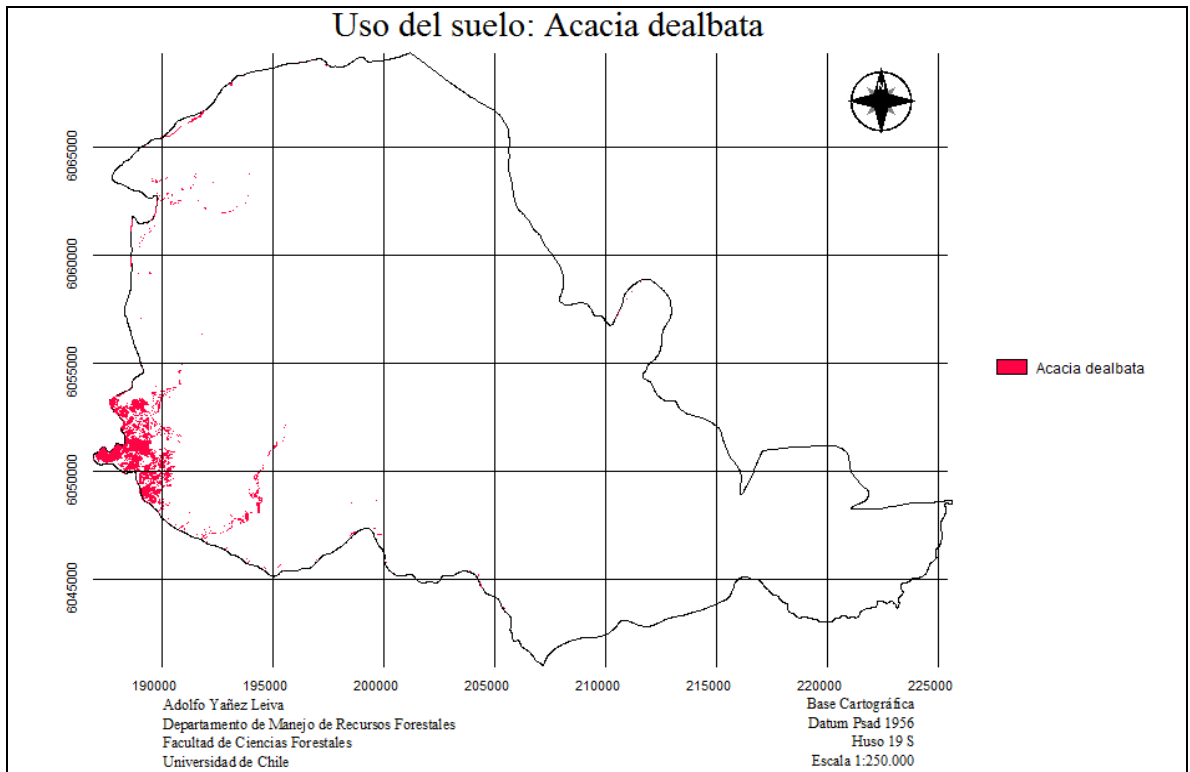


Figura 1: Áreas con mayor aptitud para *Acacia dealbata*

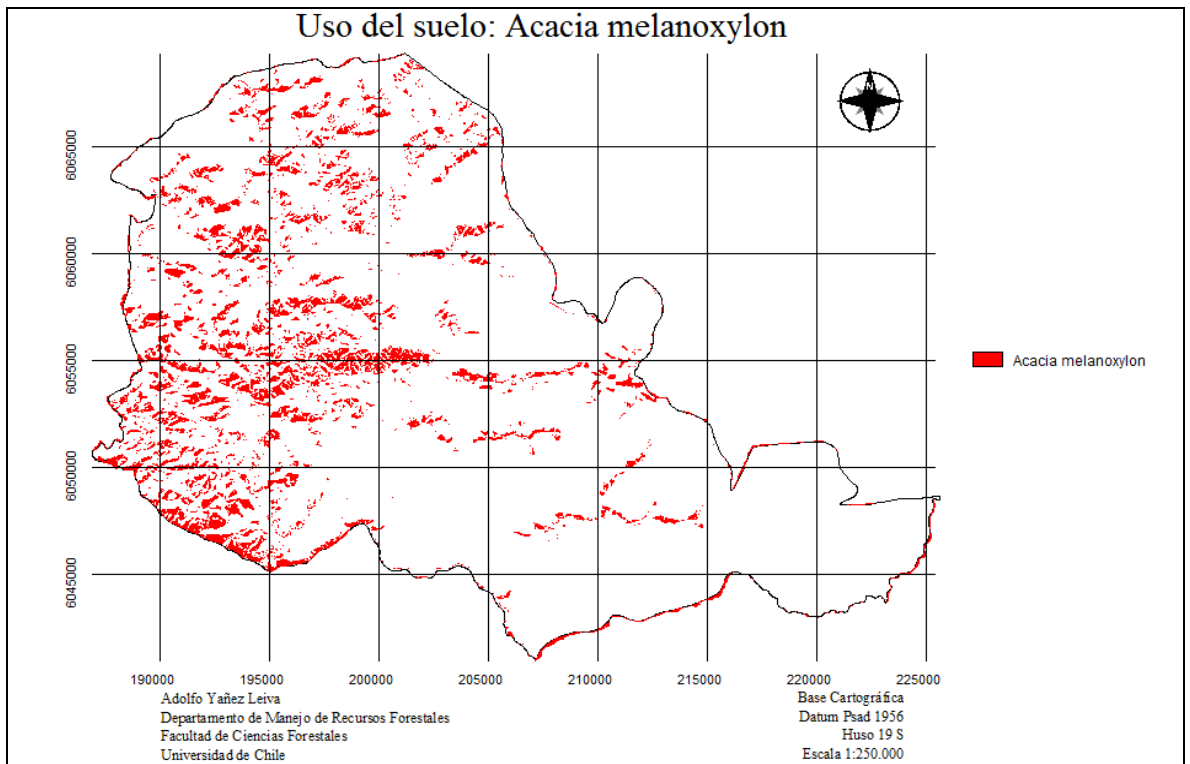


Figura 2: Áreas con mayor aptitud para *Acacia melanoxylon*

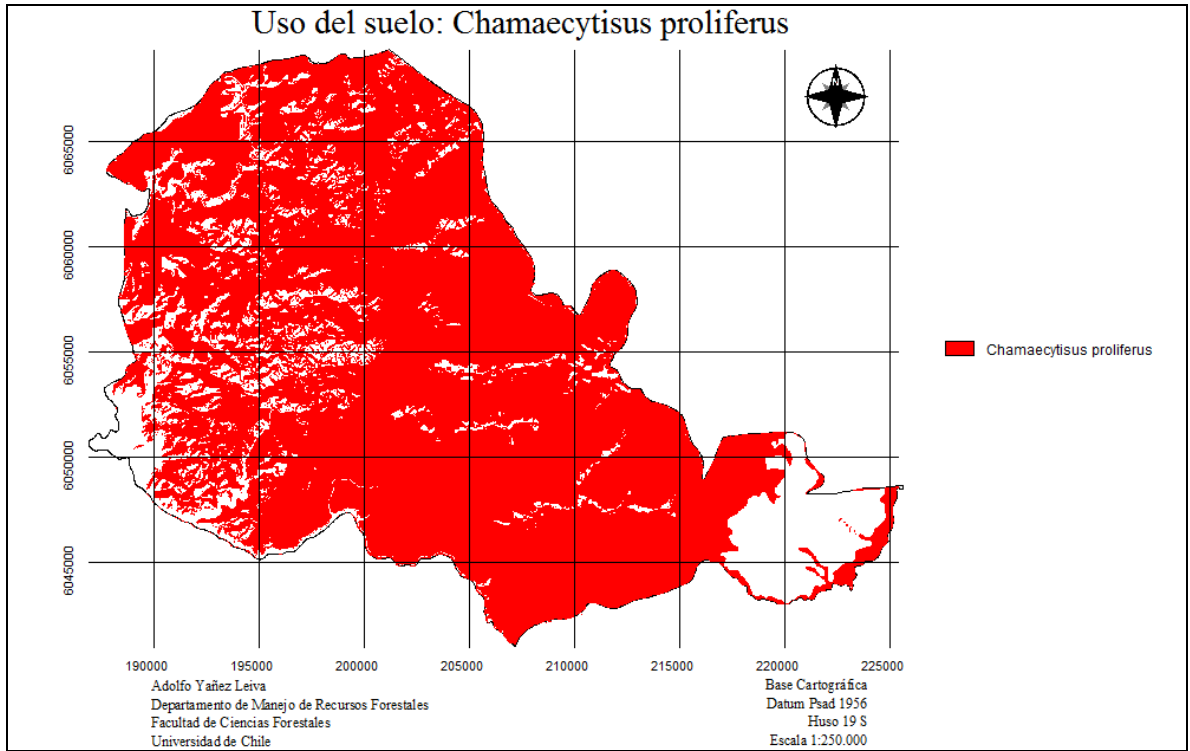


Figura 3: Áreas con mayor aptitud para *Chamaecytisus proliferus*

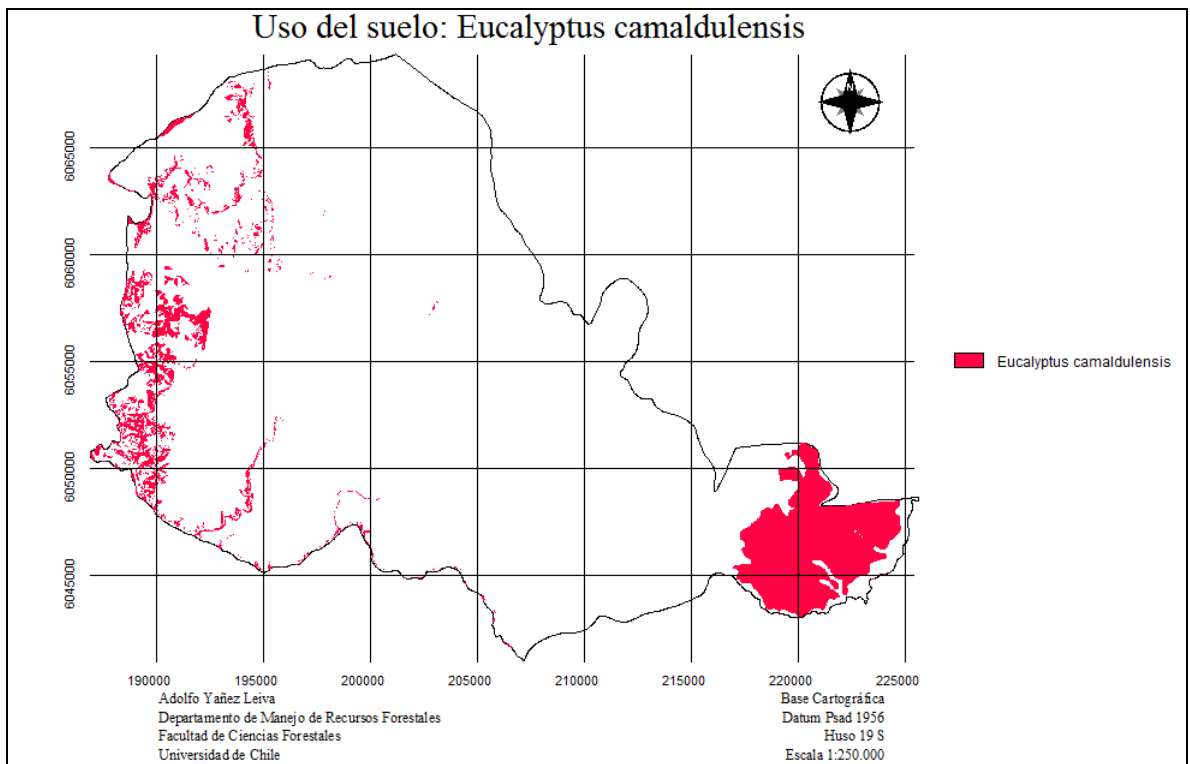


Figura 4: Áreas con mayor aptitud para *Eucalyptus camaldulensis*

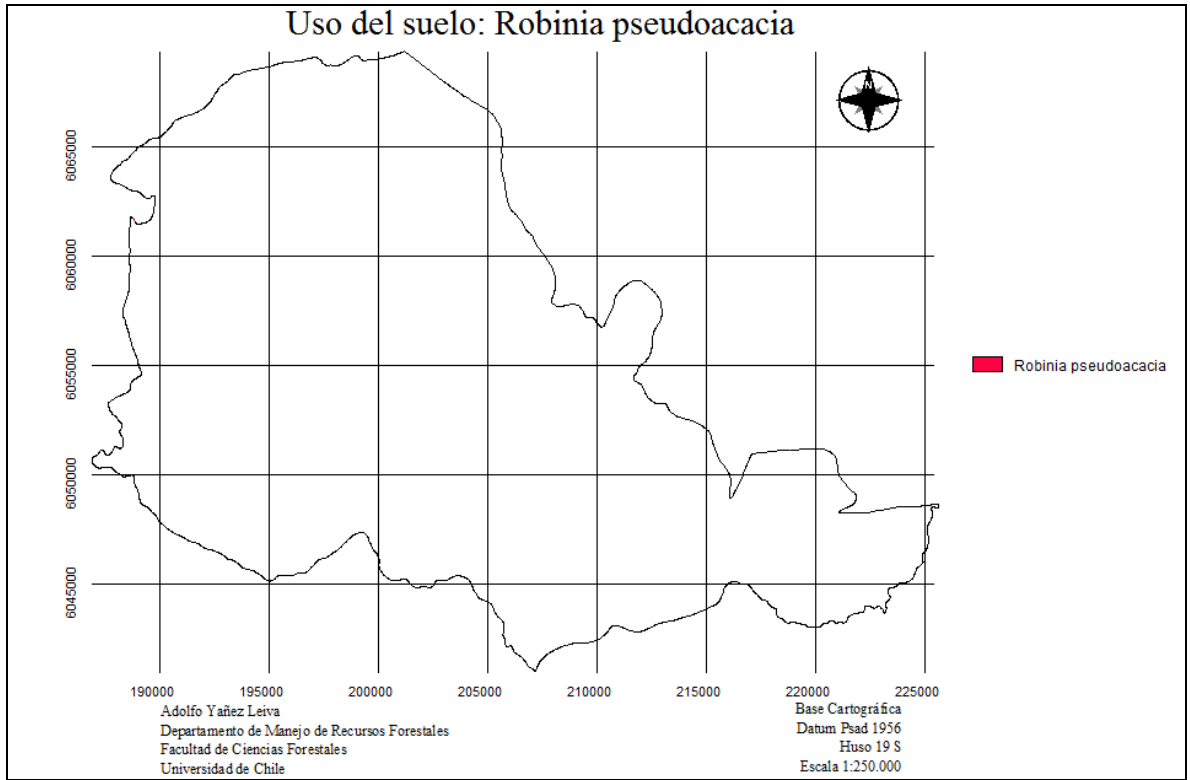


Figura 5: Áreas potenciales para *Robinia pseudoacacia*