



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

**DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y SU MEDIO
AMBIENTE**

**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES FORRAJERAS EN LA ZONA DE
SECANO INTERIOR DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR
BERNARDO O'HIGGINS**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

CAMILO ANDRÉS ALLENDE MANOSALVA

Profesor Guía: Sr. Miguel Castillo Soto. Ingeniero Forestal,
Doctor Ingeniero de Montes

Santiago, Chile
2016

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

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES FORRAJERAS EN LA ZONA DE
SECANO INTERIOR DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR
BERNARDO O'HIGGINS

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

CAMILO ANDRÉS ALLENDE MANOSALVA

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Miguel Castillo Soto	7,0
Prof. Consejero Sr. Roberto Garfias Salinas	7,0
Prof. Consejero Sr. Antonio Vita Alonso	6,5

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que me entregaron su energía en todo mi proceso universitario, todos aquellos que con una palabra de aliento aportaron en este punto de mi camino. Los recordare siempre a todos.

A mis hermanos por estar siempre presentes con su apoyo y alegría, sin ellos este camino hubiese sido aun más difícil.

A mi Profesor Guía Miguel, su dedicación y paciencia con todos los estudiantes demuestra el gran docente y que persona que es.

Finalmente, agradezco la oportunidad de los momentos y la experiencia entregada por la Universidad, todo el aprendizaje me acompañara en el lugar que este.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes de especies forrajeras	1
1.2	Importancia del recurso forrajero	2
1.3	Aplicación de las técnicas de EMC en el entorno de los SIG	3
1.4	Método de las Jerarquías Analíticas (MJA)	3
1.5	Capacidad de acogida del territorio	4
1.6	Áreas Prioritarias	4
2.	OBJETIVOS	5
2.1.	Objetivo General	5
2.2.	Objetivos Específicos	5
3.	MATERIAL Y MÉTODO	6
3.1	MATERIAL	6
3.1.1.	Localización geográfica del área de estudio	6
3.1.2.	Fuentes de información	6
3.1.3.	Procesamiento de la información	7
3.2	MÉTODO	7
3.2.1.	Elección de especie	7
3.2.2.	Variables ambientales	8
3.2.3.	Zonas excluyentes	10
3.2.4.	Jerarquización de los factores	10
3.2.5.	Consistencia de los juicios de valor	13
3.2.6.	Modelo de capacidad de acogida de especies forrajeras	14
3.2.7.	Propuesta de uso de suelo	15
3.2.8.	Expresión de los resultados en el SIG	16

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1.	Evaluación preliminar de principales especies forrajeras	17
4.2.	Evaluación de especies factibles de establecer	18
4.2.1.	Trébol subterráneo (<i>Trifolium subterraneum</i>)	18
4.2.2.	Trébol balansa (<i>Trifolium michelianum</i>)	18
4.2.3.	Hualputra (<i>Medicago polymorpha</i>)	19
4.2.4.	Falaris (<i>Phalaris aquatica</i>)	19
4.2.5.	Avena (<i>Avena sativa</i>)	20
4.3.	Modelo de capacidad de acogida para las especies forrajeras	21
4.3.1.	Modelo de capacidad acogida Trébol subterráneo (<i>Trifolium subterraneum</i>)	21
4.3.2.	Modelo de capacidad de acogida Trébol balansa (<i>Trifolium michelianum</i>)	25
4.3.3.	Modelo de capacidad de acogida Hualputra (<i>Medicago polymorpha</i>)	29
4.3.4.	Modelo de capacidad de acogida Falaris (<i>Phalaris aquatica</i>)	34
4.3.5.	Modelo de capacidad de acogida Avena (<i>Avena sativa</i>)	37
4.4.	Propuesta de uso de suelo	41
4.5.	Discusión final	45
5.	CONCLUSIONES	46
6.	BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Categorías de profundidad de suelo	9
Cuadro 2. Categorías de drenaje del suelo	9
Cuadro 3. Escala de medida para la asignación de juicios de valor	11
Cuadro 4. Matriz de comparación de pares	11
Cuadro 5. Matriz con el cálculo de los pesos y la normalización de los factores	12
Cuadro 6. Especies forrajeras aptas para la zona de Secano interior	17
Cuadro 7. Especie forrajeras seleccionadas	20
Cuadro 8. Matriz de comparación de pares para <i>Trifolium subterraneum</i>	21
Cuadro 9. Ponderaciones de las variables para la especie <i>Trifolium subterraneum</i>	22
Cuadro 10. Superficies potenciales para <i>Trifolium subterraneum</i>	22
Cuadro 11. Superficie de aptitud por comuna para <i>Trifolium subterraneum</i>	23
Cuadro 12. Matriz de comparación de pares de <i>Trifolium michelianum</i>	25
Cuadro 13. Ponderaciones de las variables para la especie <i>Trifolium michelianum</i>	26
Cuadro 14. Superficies potenciales para <i>Trifolium michelianum</i>	26
Cuadro 15. Superficie de aptitud por comuna para <i>Trifolium michelianum</i>	29
Cuadro 16. Matriz de comparación de pares para <i>Medicago polymorpha</i>	29
Cuadro 17. Ponderaciones de las variables para la especie <i>Medicago polymorpha</i>	30
Cuadro 18. Superficies potenciales para <i>Medicago polymorpha</i>	31
Cuadro 19. Superficie de aptitud por comuna para <i>Medicago polymorpha</i>	33
Cuadro 20. Matriz de comparación de pares para <i>Phalaris aquatica</i>	34
Cuadro 21. Ponderaciones de las variables para la especie <i>Phalaris aquatica</i>	34
Cuadro 22. Superficies potenciales para <i>Phalaris aquatica</i>	35

Cuadro 23. Superficie de aptitud por comuna para <i>Phalaris aquatica</i>	37
Cuadro 24. Matriz de comparación de pares para <i>Avena sativa</i>	37
Cuadro 25. Ponderaciones de las variables para la especie <i>Avena sativa</i>	38
Cuadro 26. Superficies potenciales para <i>Avena sativa</i>	39
Cuadro 27. Superficie de aptitud por comuna para <i>Avena sativa</i>	39
Cuadro 28. Jerarquización de variables para cada especie	41
Cuadro 29. Superficie potencial total para propuesta de uso de suelo	42
Cuadro 30. Superficie potencial disponible para propuesta de uso de suelo	43
Cuadro 31. Superficie por comuna para uso de suelo	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área del secano interior de la región de O'Higgins	6
Figura 2. Enfoque metodológico para la identificación de áreas prioritarias	13
Figura 3. Metodología para la Propuesta de uso de suelo	15
Figura 4. Modelos de capacidad de acogida para <i>Trifolium subterraneum</i>	24
Figura 5. Modelos de capacidad de acogida para <i>Trifolium michelianum</i>	28
Figura 6. Modelos de capacidad de acogida para <i>Medicago polymorpha</i>	32
Figura 7. Modelos de capacidad de acogida de <i>Phalaris aquatica</i>	36
Figura 8. Modelos de capacidad de acogida de <i>Avena sativa</i>	40
Figura 9. Mapa de propuesta de uso de suelo	44

RESUMEN

Se realizó una evaluación territorial para la búsqueda de tierras aptas para el establecimiento de cinco especies forrajeras con fines silvopastoriles potencialmente utilizables en la zona de secano interior de la Región de O'Higgins, con el propósito de proponer vías alternativas de producción para la gestión de pequeños y medianos propietarios.

Mediante la utilización de criterios ambientales se identificaron 61.663 hectáreas de superficie disponible para estas cinco especies, identificadas – previo análisis de sus requerimientos geográficos – como *Trifolium subterraneum*, *Trifolium michelianum*, *Medicago polymorpha*, *Phalaris aquatica* y *Avena sativa*, para el área de estudio correspondiente a 209.308 hectáreas insertas en las comunas de Litueche, Marchihue, La Estrella y Pumanque.

Para este propósito, se crearon modelos de capacidad de acogida (CDA) para cada una de las especies con el fin de identificar áreas de Alta, Media y Baja aptitud. Además, se realizó una propuesta de uso de suelo con las especies seleccionadas. La evaluación de la aptitud del área de estudio para el establecimiento de especies forrajeras se realizó integrando técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), Sistemas de Información Geográfica (SIG), requerimientos ambientales de las especies seleccionadas y la información cartográfica disponible del lugar. En total nueve variables ambientales fueron jerarquizadas, representadas espacialmente y transformadas a una escala común utilizando las herramientas de SIG. Los resultados obtenidos mostraron que la especie con mayor superficie para el establecimiento es *Phalaris aquatica* con 57.793 hectáreas de superficie correspondiente al 27,6% del total del área de estudio mientras que para la propuesta de uso de suelo la especie más recomendable es *Avena sativa* con una superficie de 21.512 hectáreas correspondiente al 10,3% del total del área de estudio. En tanto, *Trifolium michelianum* se presentó como la especie menos recomendable para el establecimiento en el área de estudio, debido a que no presentó una aptitud Alta en dicha área.

Palabras claves: Secano interior, Evaluación Multicriterio, Sistemas de información geográfica, especies forrajeras.

ABSTRACT

In this study was conducted a territorial evaluation with aim to finding lands suitable for the establishment of five forage species with potentially usable Silvopastoral purposes in dry land inside the Region of O'Higgins, in order to propose alternative ways of production management for small and medium landowners.

Among the studied species are *Trifolium subterraneum*, *Trifolium michelianum*, *Medicago polymorpha*, *aquatica Phalaris* and *Avena sativa*. As a result of using environmental criteria, 61,663 hectares are available for these five species. This represents a 29.46% of total area corresponding to the communes of Litueche, Marchihue, La Estrella and Pumanque.

For this purpose, models of carrying capacity for each species in order to identify areas of high, medium and low fitness were created. In addition, a proposed land use with selected species was performed. The assessment of fitness of the study area for the establishment of forage species was performed by integrating multi-criteria evaluation techniques (EMC), Geographic Information Systems (GIS), environmental requirements of the selected species and mapping the location information available. In total nine environmental variables were hierarchical, represented spatially and transformed to a common scale using GIS tools. The results showed that the species with the largest area for the establishment is *aquatica Phalaris* with 57,793 hectares of surface corresponding to 27.6% of the total study area while for the proposed land use is the most recommended species *Avena sativa* with an area of 21,512 hectares corresponding to 10.3% of the total study area. While *Trifolium michelianum* was presented as the least desirable species for the establishment in the study area, because they do not present a high aptitude in that area.

Keywords: Dryland Interior, Multi-Criteria Evaluation, Geographic Information Systems, forage species.

1. INTRODUCCIÓN

El sector silvoagropecuario es considerado uno de los mayores aportes para el crecimiento socioeconómico y productivo a nivel nacional, siendo un mercado competitivo abierto al comercio exterior y activo participante en la generación de empleo, entre otras características. Sin embargo, es una de las actividades productivas más vulnerables a los cambios climáticos y ambientales, debido a que depende directamente del trabajo de la tierra (AGRIMED, 2008).

Como consecuencia de los manejos inapropiados de suelo en Chile a que ha sido sometida por más de cuatro siglos, es que hoy se encuentra en un precario estado de deterioro ambiental. Esto se evidencia por el alto grado de erosión del secano, bajos índices de fertilidad de suelos, reducidos niveles productivos y, por lo tanto, mínimos ingresos familiares en sus habitantes, lo que implica bajos indicadores socioeconómicos producto del círculo de pobreza en que se encuentran inmersos. A esta problemática hay que sumar el alto grado de minifundio y el envejecimiento de la población producto de la migración de los jóvenes (Undurraga *et al.*, 2004).

La producción de forraje en el secano es de gran importancia para la economía familiar, es la fuente de alimento que proporciona los nutrientes necesarios más económicos para la alimentación animal. Por eso, la importancia de tener buena disponibilidad de forraje, seleccionando adecuadamente las especies forrajeras según las condiciones climáticas presentes.

1.1 Antecedentes de especies forrajeras

Para escoger de manera adecuada las especies forrajeras a utilizar en un estudio de esta índole, es necesario considerar factores como suelo, clima, objetivo de producción, época de siembra, estacionalidad de la cosecha. Esto se debe a los distintos grados de adaptación de las especies, a las diferentes condiciones ambientales que existen en el país (Romero, 1996).

Existe una gran variedad de especies forrajeras, las cuales presentan diferencias en la época de crecimiento, calidad y tolerancias a los factores limitantes. Por ejemplo, las especies gramíneas son de clima templado a frío y crecen principalmente en invierno y primavera. Por otra parte, las leguminosas presentan un mayor crecimiento a fines de primavera-verano, así logran una mayor producción con el aumento de las temperaturas (Romero, 1996). Estas diferencias sustanciales entre las especies pueden ser aprovechadas para solucionar las dificultades que presenta el cultivo como la estacionalidad, calidad, entre otras. Se debe satisfacer las siguientes condiciones:

- Condiciones particulares de suelo y clima: Con relación a las condiciones del suelo, se debe conocer textura, profundidad, fertilidad, pH y drenaje. En cuanto a los factores climáticos, se debe considerar luz, precipitaciones y temperatura. A modo de ejemplo, la especie alfalfa es intolerante al exceso de humedad, mientras que el trébol blanco es intolerante a la sequía.

- Duración de la pradera: Es importante escoger bien la especie que se quiere utilizar, además de la técnica de explotación, ya que estos factores pueden determinar el éxito de una rotación. Por ejemplo, en condiciones de secano la festuca y el pasto ovillo son especies de mayor persistencia que la ballica perenne.
- Época de utilización: En casos en que se requiera una producción temprana para así adelantar el pastoreo, se debe escoger especies de rápido establecimiento como ballicas precoces anuales o bianuales.
- Calidad de forraje en verano: Cuando se desea realizar cultivo rotativo es importante escoger especies adecuadas para cada rotación como en el caso del forraje de verano, donde existen especies de alta producción como *Medicago sativa* (alfalfa) y *Lotus pedunculatus* (lotera).
- Prolongar la producción de forraje en otoño: El mismo caso anterior, cultivos rotativos, para el caso de la época de otoño el pasto ovillo y los bromos son algunas de las especies de mayor crecimiento en este período (Romero, 1996).
- Forma de utilización: Esto se refiere a si será pastoreo, soiling (alimento suministrado en corredores), ensilaje o heno.

Por otra parte, como norma general las plantas de crecimiento erecto son más aptas para la conservación de forrajes. En el caso del ensilaje se requieren plantas con un alto contenido de azúcar como es el caso de *ballicas* y anuales y bianuales. Para la elaboración de heno se usan preferentemente las leguminosas como *Trifolium sp.* (Trébol) y *Medicago sativa* (alfalfa) (Romero, 1996).

1.2 Importancia del recurso forrajero

La producción de forraje es una de las actividades realizadas para el sustento de la familia campesina dado que es la fuente más barata de nutrientes para animales, por lo tanto constituyen la porción más importante de la dieta del ganado en los diversos sistemas productivos presentes. La pradera produce el principal aporte de forraje, siendo este en forma directa a través del pastoreo o también en algunos casos en forma indirecta mediante corte para soiling, heno o ensilaje (Azócar, 2006).

La pradera además de tener implicancia en la economía familiar, es importante para mejorar la sustentabilidad de los recursos naturales (Martínez *et al*, 2008). Al estar presente en los sistemas silvopastoriles combina simultáneamente en un mismo sitio a producción ganadera en base a praderas con la producción de árboles, para uso forestal, frutícola o productos forestales no madereros. Así, contribuye a mitigar la erosión en suelos e incrementar los nutrientes y el agua en el ecosistema (Ruiz, 2011).

En la necesidad de establecer pradera de manera óptima y así aportar a los ecosistemas, es necesario conocer los requerimientos ambientales de las especies forrajeras a utilizar. Para esto existen métodos de Evaluación Multicriterio (EMC), que funcionan como una

herramienta de toma de decisiones y solución de problemas en la zonificación del territorio (Khoi y Murayama, 2010).

1.3 Aplicación de las técnicas de EMC en el entorno de los SIG

El fin básico de las técnicas de EMC es investigar un número de alternativas con múltiples criterios y objetivos en conflicto. Así, es posible obtener soluciones y una jerarquización de las alternativas de acuerdo a interés propio (Breytenbach, 2011).

La modelización espacial en el entorno de los SIG facilita la consideración simultánea de múltiples variables para comprender el funcionamiento del territorio como un todo y, fundamentalmente, a la evaluación y planificación de este (Romero, 2002). Por ello, para alcanzar los objetivos planteados, la metodología se basa en un análisis multicriterio, el cual permite tomar decisiones apoyadas en una gran variedad de criterios de tipo ambiental que pueden ser representadas como capas de información temática. La integración de esta cartografía mediante un SIG usando EMC facilita el proceso de toma de decisiones para la planificación, además de realizar este proceso de manera objetiva (Ellis *et al.*, 2004).

Por otra parte, existen dos aspectos importantes de resolver antes de implementar los procedimientos de evaluación. En primer lugar se deberá establecer una escala homogénea para las variables utilizadas, dado que estas variables pueden estar expresadas de forma cuantitativa o cualitativa. Ahí la importancia de estandarizar la evaluación (Mishra y Agarwal, 2015). El otro aspecto a resolver en la aplicación de la EMC en los SIG, es la necesidad de establecer jerarquías o pesos a los factores y a cada alternativa involucrada en la evaluación (Mendoza y Martins, 2006).

1.4 Método de las Jerarquías Analíticas (MJA)

La asignación de pesos o ponderaciones a los criterios es importante, ya que es necesario cuantificar la importancia de los distintos elementos para ser afectados por una determinada actuación. Este método se basa en la descomposición, juicio comparativo y síntesis de los múltiples criterios (Chaipong y Wachrinrat, 2014). La descomposición supone que el problema de decisión será descompuesto en niveles que capten sus elementos esenciales. El juicio comparativo se realiza mediante la comparación por pares de los elementos de cada nivel de jerarquías. Finalmente, la síntesis de prioridades toma cada una de las escalas de clasificación resultantes en cada nivel para construir un conjunto de prioridades global, que se utiliza para evaluar las distintas alternativas (Koschke *et al.*, 2012.).

El MJA, determina el supuesto de una matriz cuadrada, en la cual, el número de filas y columnas está definido por el número de variables a ponderar que se incluye en este estudio. Así, se establece una matriz de comparación entre pares de factores. En esta matriz se compara la importancia que tiene un criterio sobre otro, para finalmente establecer los pesos a través de una medida cuantitativa del valor entre pares de factores.

1.5 Capacidad de acogida del territorio

La capacidad de acogida del territorio se entiende como la sumatoria de los factores positivos menos la sumatoria de los factores negativos de la actividad evaluada. Con esto, se obtiene para cada lugar del territorio un valor que refleja la idoneidad de dicha actividad (Karami *et al.*, 2014). Hay que tener en cuenta que la aptitud y el impacto son los elementos que permiten establecer esta aceptación del territorio. Además, el valor de la idoneidad depende de un conjunto de factores ambientales que favorecen o limitan el crecimiento de una especie forrajera para la toma de decisiones (Kopatlie y Cornelio, 2013).

Para establecer la capacidad de acogida de un territorio existe, en primer término, el enfoque de aptitud que se entiende como el conjunto de requisitos que debe poseer un lugar para poder aceptar determinada actividad. También existe el enfoque impacto-aptitud, el cual al igual que el anterior se basa en la aptitud de un territorio, pero además, agrega el impacto que puedan generar los usos propuestos sobre el territorio. Una de las principales ventajas que tienen las representaciones espaciales de datos basadas en SIG y EMC es que permiten otorgar antecedentes técnicos más sólidos para los tomadores de decisiones en planificación territorial (Gómez y Barredo, 2006).

1.6 Áreas Prioritarias

En este tipo de estudios se suele jerarquizar en un diagnóstico en tres áreas de prioridad; alta: es un área que presenta las óptimas aptitudes y potencialidades territoriales, para el desarrollo del objetivo; una prioridad media: es un área que presenta aptitudes adecuadas y potencialidades territoriales medias para el desarrollo del objetivo y, finalmente, una prioridad baja, que corresponde a un área que no presenta aptitudes ni potencialidades adecuadas para el desarrollo del objetivo.

Aplicando los criterios antes descritos es posible la determinación de áreas prioritarias y de la zonificación es posible tener un diagnóstico preliminar de la región de acuerdo a los criterios acordados y objetivos planteados en un comienzo. Se tiene que considerar en este tipo de estudios, la competencia que se genera en el establecimiento de especies en este caso forrajeras para el uso de suelo, ya que en ocasiones especies distintas tienen la misma prioridad por una determinada superficie o también que una especie con prioridad Baja para una superficie, otra especie presente prioridad Alta para la misma superficie. Además, se clarifica que las áreas prioritarias no necesariamente tienen relación con la magnitud o extensión de la superficie. Por lo general, las áreas de prioridad Alta son más reducidas que las de prioridad Media o Baja.

Los antecedentes expuestos otorgan el marco conceptual para este estudio el cual debe determinar zonas prioritarias potenciales para el establecimiento de especies forrajeras en el secano interior de la Región de Bernardo O'Higgins. Además, debe efectuar una evaluación preliminar de tipo ambiental con las principales especies forrajeras actualmente utilizadas, proponer un listado de especies factibles de ser utilizadas y representadas geográficamente mediante una zonificación y Proponer y aplicar una EMC para la determinación de zonas prioritarias potenciales.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Determinar zonas prioritarias potenciales para el establecimiento de especies forrajeras en el secano interior de la Región del General Libertador Bernardo O'Higgins.

2.2. Objetivos Específicos

- Efectuar una evaluación preliminar de tipo ambiental para las principales especies forrajeras actualmente utilizadas en la zona de estudio.
- Proponer un listado de especies forrajeras factibles de ser utilizadas y representadas geográficamente mediante una zonificación.
- Proponer y aplicar una Evaluación Multicriterio (EMC) para la determinación de zonas prioritarias potenciales.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 MATERIAL

3.1.1. Localización geográfica del área de estudio

La Región del Libertador Bernardo O'Higgins se encuentra ubicada en la zona central de Chile, entre los 33° 51' y 35° 01' de latitud Sur y los 70° 02' longitud Oeste y el Océano Pacífico (Figura 1). La capital regional es Rancagua, y la Región se compone de tres provincias: Cachapoal, Cardenal Caro y Colchagua y estas se subdividen en 33 comunas (División Política Administrativa y Censal, 2007).

El área de estudio corresponde a las comunas de Litueche, La Estrella, Marchihue y Pumanque, localizadas en zonas de secano interior de esta región (Modrego *et al*, 2011).

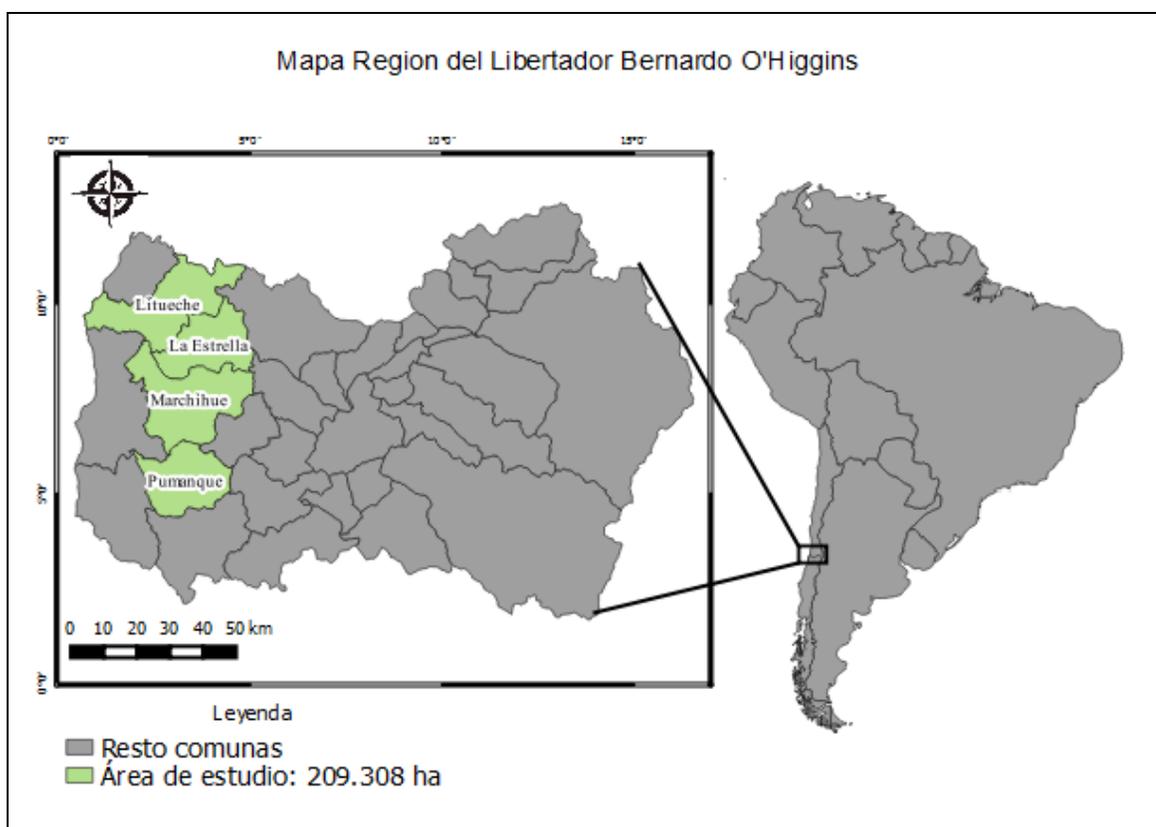


Figura 1. Área del Secano Interior de la Región de O'Higgins.

3.1.2. Fuentes de información

La revisión documental contempló fuentes secundarias tales como estudios académicos, escritos de SIG y antecedentes de EMC. Consigo, se utilizó información disponible en la institucionalidad actual competente, principalmente la Corporación Nacional Forestal (CONAF), el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), entre otras. Se recurrió también a la información útil

disponible en los sitios WEB. En relación a los datos bioclimáticos útiles para un proceso de zonificación, una parte (Precipitaciones anuales, Temperatura mínima del mes más frío y Temperatura máxima del mes más cálido) se obtuvo del servidor mundial WorldClim el cual dispone de una serie de variables climáticas para su uso.

Las otras variables (Textura, Profundidad, Drenaje, Altitud, Pendiente y Exposición), se obtuvieron de datos disponibles como el Catastro de Bosque Nativo, además de consultas en la Web para capas de información Bioclimáticas como Sistema de información Territorial de la CONAF (sit.conaf.cl, 2010).

3.1.3. Procesamiento de la información

Para procesar los datos bioclimáticos necesarios en este estudio se utilizó el Software QuantumGis 2.6.1 de libre acceso, con el cual se procesaron las variables sobre requerimientos ambientales de las especies forrajeras seleccionadas y así representar cartográficamente la zonificación realizada.

Con respecto a la ponderación de las variables utilizadas en el estudio, estas fueron procesadas en el software Microsoft Office Excel 2007. Con este software se obtuvo los pesos ponderados de las variables mediante el método de comparación de pares de Saaty (Gómez y Barredo, 2006).

3.2 MÉTODO

3.2.1. Elección de especie

Luego de realizar la revisión bibliográfica sobre especies forrajeras, se determinó que las con mayor potencial para el área de estudio son Trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*), Trébol balansa (*Trifolium michelianum*), Hualputra (*Medicago polymorpha*), Falaris (*Phalaris aquatica*) y Avena (*Avena sativa*). Las razones para seleccionar estas especies fueron (Ruiz, 1996):

- Cumplen con las características de especies forrajeras, las cuales constituyen un ingreso en la economía familiar campesina y fuente alimenticia para animales de crianza
- Cumplen con los requerimientos ambientales presentes en la zona de estudio, precipitación, temperatura, textura del suelo, entre otros.
- Están presentes en el área de estudio actualmente.

Para obtener los datos sobre los requerimientos ambientales de estas especies forrajeras se realizó una investigación de diferentes fuentes bibliográficas, entre las cuales se puede mencionar el libro del autor Ignacio Ruiz, “Praderas para Chile” que entregan datos como los requerimientos ambientales de las especies forrajeras que se pueden establecer en Chile.

Asimismo, publicaciones como “Recomendación de praderas para sistemas silvopastoriles en la Zona Centro Sur de Chile” del INIA, entre otras.

3.2.2. Variables ambientales

En la determinación de áreas potenciales, se propuso el uso de variables ambientales en la selección final de especies forrajeras para la zona, considerando aquellas de tipo climática, topográfica y edáfica. No se incluyeron variables económicas, productivas, ni sociales. En términos prácticos, se utilizaron las variables agrupadas en los criterios clima, suelo y orografía que se presentan a continuación:

3.2.2.1 Clima

Las variables climáticas más limitantes para el crecimiento de la vegetación son la precipitación y la temperatura. En el caso de precipitación, se utilizaron las variables de precipitación anual, expresada en milímetros (mm) y que indica la cantidad de precipitación líquida o sólida 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 del mes más frío. Ambas variables se encuentran 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 junio) respectivamente. Dentro de las limitaciones que presentan estas variables, es la ausencia de estaciones meteorológicas en todos los lugares.

Cabe destacar que estas variables fueron obtenidas del servidor mundial WorldClim, descargadas en formato *Raster* y con un tamaño de cuadrícula de un kilómetro cuadrado (km²).

3.2.2.2 Suelo

De la información disponible para suelos se escogieron las variables Textura, Drenaje y Profundidad. Para la variable Textura, se utilizó el indicador “Textura superficial” que corresponde a los primeros 20 cm de suelo y se clasificó- en siete categorías (SAG, 2001) correspondiente a muy fina, fina, moderadamente fina, media, moderadamente gruesa, gruesa y muy gruesa.

La profundidad del suelo se define como la distancia que existe en sentido vertical entre la superficie del suelo y una limitante de tipo permanente que dificulte el paso de la raíz o el paso del agua (SAG, 2001). Existen cinco categorías de profundidad de suelos cuyos rangos se observan en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Categorías de profundidad de suelo.

Profundidad	Dimensión (cm)
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).

Con respecto a la variable Drenaje, esta se define como la rapidez con que el agua ingresa desde la superficie y posteriormente se mueve a través del perfil del suelo. Según la clasificación del SAG (2001), existen seis clases de drenaje las cuales se obtienen de la observación e inferencia usada para la obtención del drenaje externo, permeabilidad y drenaje interno. Estas clases se describen a continuación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías de drenaje del suelo.

Drenaje	Descripción
Muy pobremente drenado	El agua es removida del suelo tan lentamente que el nivel freático permanece en o sobre la superficie 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 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.

Fuente: SAG, 2001.

3.2.2.3 Orografía

Aquí se consideraron las variables Altitud, Pendiente y Exposición.

La altitud se expresa en metros sobre el nivel medio del mar (msnm). Es una variable que influye en las precipitaciones y en las temperaturas. En la zona de estudio la altitud varía entre 0 y 800 msnm. La exposición u orientación se clasifica en Norte, Sur y Plano, la cual se refiere a terrenos sin inclinación. Por último, la variable pendiente supone limitantes al establecimiento más que al crecimiento de las especies propuestas. Sus valores se encuentran entre 0 y 100%.

3.2.3. Zonas excluyentes

Existen áreas que por su uso actual no permiten el establecimiento de plantaciones de especies forrajeras. Dichas áreas son las zonas urbanas, plantaciones forestales y zonas que por su uso no están aptas para el establecimiento de dichas especies.

Entonces, en este estudio las áreas que quedaron establecidas como restricciones fueron:

- Áreas cubiertas por plantaciones forestales; Zonas cubiertas por Bosque Nativo; Las áreas que ocupan las zonas urbanas e industriales; Cuerpos de agua, zonas prioritarias de conservación, áreas protegidas privadas y Áreas desprovistas de vegetación cuya utilización para fines de establecimiento es infactible.

En el contexto del procesamiento espacial de los datos en el SIG, los criterios definidos se transformaron en una cubierta binaria (1/0), donde cero representa las áreas excluyentes para el establecimiento de especies forrajeras, para luego incorporarlas a la metodología y así obtener el modelo de capacidad de acogida.

3.2.4. Jerarquización de los factores

Luego de identificados los factores (variables) asociados al establecimiento de especies forrajeras en la zona de estudio, el siguiente paso fue estructurar dichos factores en forma jerárquica, descendiendo desde los más generales a los más concretos (Laskar, 2003). Para realizar esta jerarquización o importancia se utilizó el método propuesto por *Saaty* de Jerarquías Analíticas (MJA).

Este método consistió en establecer una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas queda sujeto el número de variables a ponderar, en este caso fueron nueve las variables. Así se puede comparar la importancia de uno sobre cada uno de los demás (cuadro 4). Esta ponderación se realizó tomando en cuenta la descripción de los requerimientos de cada especie según los antecedentes bibliográficos investigados. Posteriormente, se determinó el eigenvector¹ principal, el cual estableció los pesos y el

¹ Son los vectores no nulos que, cuando son transformados por el operador, dan lugar a un múltiplo escalar de sí mismos, con lo que no cambian su dirección.

eigenvalor² que proporciona una medida cuantitativa de los juicios de valor entre pares de factores (Gómez y Barredo, 2006).

Para la asignación de los juicios de valor, existe una escala establecida de tipo continua que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9 (Gómez y Barredo, 2006), en la cual 1/9 se interpreta como el peso menor que se puede asignar y 9 el mayor valor de jerarquía que presenta esta escala. Mientras que el valor 1 es la igualdad de los criterios en jerarquía. A continuación se presenta dicha escala (Cuadro 3).

Cuadro 3. Escala de medida para la asignación de juicios de valor.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema baja	Muy baja	Baja	Media baja	Igual	Media alta	Alta	Muy alta	Extrema alta

Cuadro 4. Matriz de comparación de pares

FACTORES	Pp anual (mm)	T° min. mes más frío	T° máx. mes más cálido	Textura	Prof. Suelo	Drenaje suelo	Altitud	Pendiente	Exposición
Pp anual (mm)	1								
T° min. mes más frío		1							
T° máx. mes más cálido			1						
Textura				1					
Prof. Suelo					1				
Drenaje suelo						1			
Altitud							1		
Pendiente								1	
Exposición									1

Una vez establecidos los juicios de valor en la matriz de comparación, se normalizaron los valores obtenidos a partir del cociente entre cada valor (a_{ij}) y el valor de la sumatoria de cada columna. Se procedió de acuerdo a la fórmula expuesta a continuación (Ecuación 1).

$$Na_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum a_{ij}} \quad [1]$$

² Vector resultante del Eigenvector, también llamado valor propio, autovalor o valor característico.

Luego, para calcular el Eigenvector principal de la matriz se suman las ponderaciones por filas. Luego, esto es normalizado dividiéndose por el número de factores n, para el caso de este estudio será 9 el número de variables. En el cuadro 5 se presenta la matriz de cálculo y normalización de los factores:

Cuadro 5. Matriz con el cálculo de los pesos y la normalización de los factores.

Factores	A B C D	Eigenvector Principal	Eigenvector ppal. Normalizado (w_j)
A		$\sum A$	$\sum A/n$
B		$\sum B$	$\sum B/n$
C		$\sum C$	$\sum C/n$
D		$\sum D$	$\sum D/n$

Para asignar prioridad a las alternativas de cada variable, se asignó un valor dependiendo de los requerimientos ambientales para cada especie. Así, la prioridad 1 fue asignada a la alternativa que coincide con los requerimientos de la especie seleccionada, mientras que las prioridades siguientes fueron asignadas a las siguientes alternativas de requerimiento, con menor adaptación por parte de la especie.

Finalmente, la metodología general utilizada para la identificación de áreas prioritarias y generar los modelos de capacidad de acogida se presenta en la siguiente figura (Figura 2).

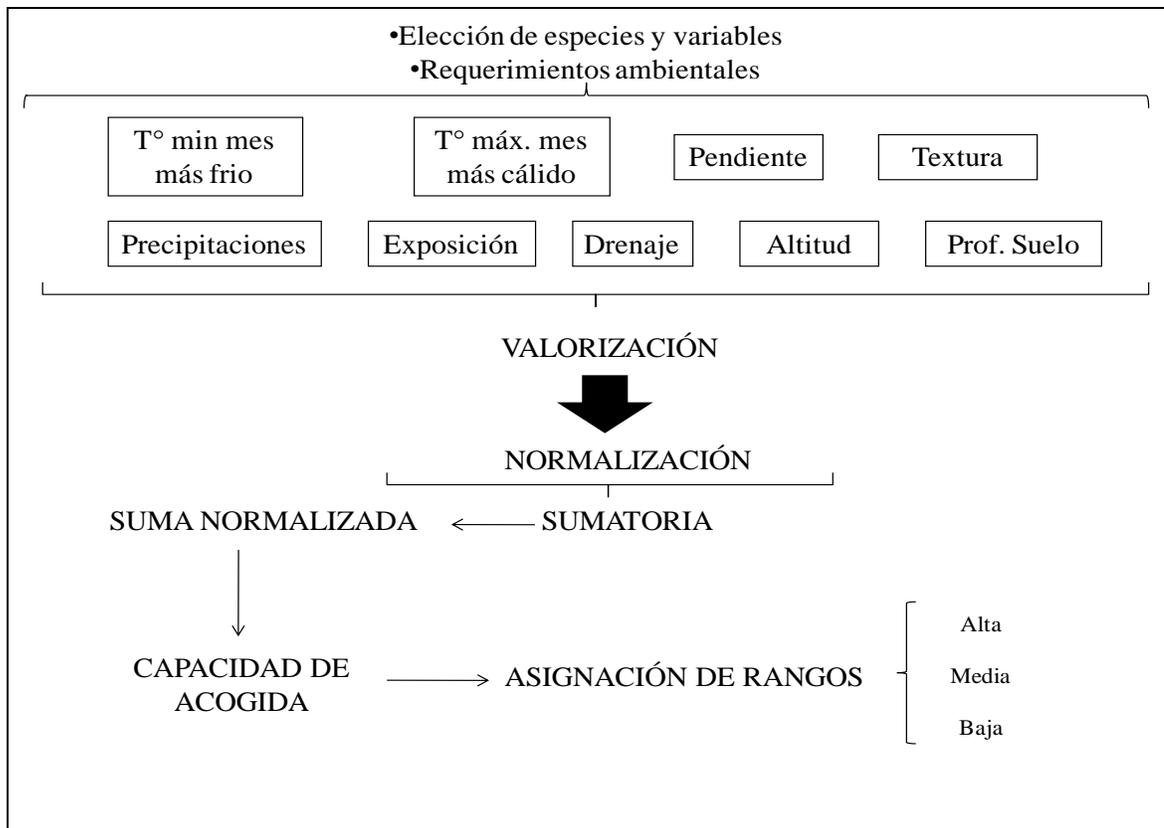


Figura 2. Enfoque metodológico para la identificación de áreas prioritarias.

3.2.5. Consistencia de los juicios de valor

Una vez obtenido y normalizado el vector de los pesos, fue necesario obtener una medida cuantitativa de la consistencia en la asignación de los juicios de valor. Aun cuando la asignación de los juicios de valor se basa en criterios establecidos, siempre existirá una cuota de incertidumbre o subjetividad, dado que esto es inevitable en todo proceso de decisión humana (Gómez y Barredo, 2006).

El MJA posee un índice que permite calcular la consistencia de los juicios de valor (Toskano, 2005). Este índice es denominado razón de consistencia (c.r.), este se genera a partir del cociente entre el valor del índice de consistencia (c.i.) y el índice aleatorio (r.i.). Si los valores de c.r. son mayores o iguales a 0,10 la asignación de los juicios deberán ser revisados, ya que su consistencia es insuficiente y no representativa. Por el contrario, si el c.r. es menor a 0,10 los juicios de valor asignados son considerados satisfactorios (Toskano, 2005). Las fórmulas correspondientes a la razón de consistencia se presentan en la ecuación siguiente:

$$c.i. = (\lambda_{\max} - n)(n - 1)^{-1} \quad [2]$$

c.i. = Índice de consistencia

λ_{\max} = Eigenvalor máximo
 n = Número de factores

$$r.i. = 1.98(n - 2)(n)^{-1} \quad [3]$$

$r.i.$ = Índice aleatorio
 n = Número de factores.

3.2.6. Modelo de capacidad de acogida de especies forrajeras

El modelo de capacidad de acogida corresponde a una cobertura digital de la zona de estudio, en la que se han realizado evaluaciones de idoneidad (Bentrup y Leininger, 2002) para el establecimiento de especies forrajeras con fines silvopastoriles.

El módulo EMC de los SIG es la principal herramienta para obtener el modelo de capacidad de acogida del territorio (Armin y Abdolrassoul, 2010). Para esto, se ingresaron los respectivos pesos de los criterios, se continuó con los nombres de las coberturas que contienen las matrices evaluadas, para finalmente ingresar los nombres de las coberturas con restricción (1/0). Reunidos todos estos datos el programa de libre acceso utilizado ejecutó la regla de decisión y se obtuvo como resultado final una cobertura o mapa que muestra los distintos valores de capacidad de acogida para cada pixel del territorio estudiado.

Para obtener los pesos globales o compuestos se multiplicaron los pesos relativos de la primera matriz por lo pesos de la segunda y así sucesivamente hasta llegar a la última matriz. El vector de pesos compuestos final tendrá una dimensión 1 por m , siendo m el número de alternativas de decisión. Para calcular la puntuación total (R_i) para cada alternativa se presenta la siguiente fórmula.

$$R_i = \sum_k w_k r_{ik} \quad [4]$$

R_i = Puntuación total para cada alternativa i .

w_k = Vector de prioridades (pesos) para cada elemento k .

r_{ik} = Vector de prioridades obtenido al comparar las alternativas con cada criterio.

Luego de este paso, se obtuvo el histograma del área de estudio con los valores de cada pixel de aptitud, esto fue necesario clasificarlo para obtener la capacidad de acogida. Se realizó según la clasificación de *Natural Breaks (Jenks)*, la cual agrupa valores dentro de las clases propuestas según la similaridad de cada grupo y la separación que los datos poseen.

Con respecto a la categorización, se procedió de acuerdo a la propuesta de Garfias *et al* (2012), extraída del estudio Método Fuzzy para la identificación de áreas potenciales para

la producción de leña. Estudio de caso: Comuna de Empedrado, Región del Maule, Chile. La cual, clasifico los puntajes de los pixeles en tres categorías de aptitud de la zona de estudio para el establecimiento de especies forrajeras; estas son: Alta, Media y Baja.

3.2.7. Propuesta de uso de suelo

Obtenida la capacidad de acogida para el área de estudio para cada una de las especies, el paso siguiente fue realizar un mapa resultante con una propuesta de suelo para dicha área. Esto consistió en la comparación de los puntajes mínimos de cada pixel por especie, dando así una jerarquización de una especie sobre otra.

En términos prácticos, consistió en la comparación pixel por pixel de las cinco especies propuestas en el estudio, tomando el valor mínimo de dicha comparación. Para este propósito se utilizó la herramienta *Overlay* por mínimo del programa QuantumGis 2.8, la cual, tomó el valor menor de la comparación de los pixeles por especie, dando como resultante un *Raster* con un nuevo intervalo de valores (mínimos). Fue necesario además, obtener desde qué especie viene cada valor del pixel para mostrar el mapa resultante con la propuesta de uso de suelo.

En la figura siguiente (Figura 3) se observa un resumen de la metodología utilizada en el estudio para la propuesta de uso de suelo, el cual muestra el valor del los pixeles por especie, para después seleccionar los valores mínimos y finalmente mostrar de manera gráfica la propuesta realizada.

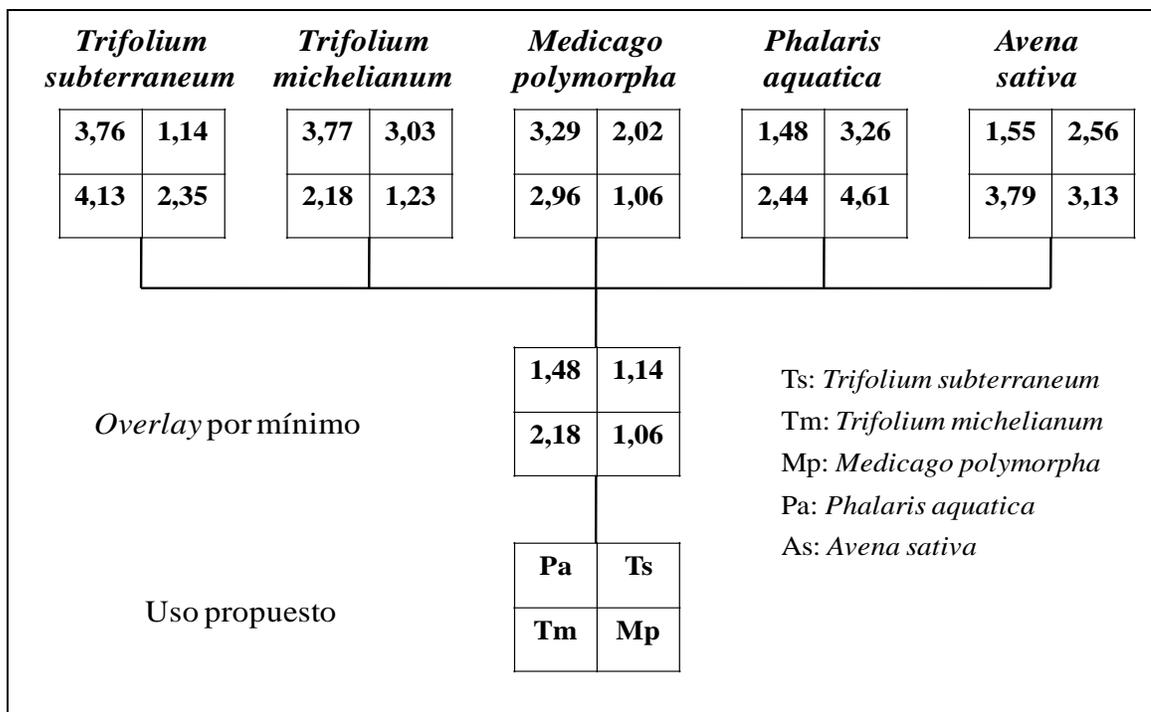


Figura 3. Metodología para la propuesta de uso de suelo.

3.2.8. Expresión de los resultados en el SIG

Para el tratamiento de los datos en el SIG las variables que se encontraron en formato Vector (Profundidad, Textura, Pendiente, Exposición, Drenaje y Altitud) fueron transformadas a formato *Raster* con la herramienta *Polygon to raster*, además se debió reclasificar estas variables para acomodarlas a los requerimientos de las especies forrajeras seleccionadas en este estudio. En el caso de las variables obtenidas en formato *Raster* estas fueron clasificadas en el SIG mediante la aplicación de los umbrales (rangos) de acuerdo a las especies forrajeras seleccionadas para realizar este estudio.

Luego fue necesario estandarizarlos para evitar incongruencias en los resultados. Las coberturas se utilizaron en formato *Raster* a una escala 1:50.000. El tamaño de la celdilla utilizado fue de 50 metros por 50 metros (0,25 hectáreas). Para esto el sistema de Referencia de coordenadas que se utilizó es el WGS 84 *Universal Transversal Mercator* (UTM), huso 19 Sur disponible en los Software de SIG.

El SIG entrega los resultados como una cobertura *Raster* que muestra las superficies factibles de acoger las especies forrajeras. Luego, estos valores se reclasificaron a las categorías de aptitud correspondiente. Los rangos de puntajes para clasificar la aptitud se establecieron en forma diferenciada para cada especie. El paso siguiente fue incorporar la cobertura *Raster* de las restricciones para extraer las áreas donde no se puede establecer especies forrajeras.

Además, se generaron mapas de subtotales por especie para representar individualmente la aptitud de cada especie forrajera en el área de estudio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación preliminar de principales especies forrajeras

Los sistemas ganaderos de la zona sur, basan su alimentación en el uso de forraje (Ruiz, 2011), siendo el más utilizado la pradera natural. La producción y calidad del recurso requiere una planificación en el uso y combinación de dicho recurso. En este sentido la gran diversidad de clima y suelos que presenta la zona sur, se requiere un análisis de las características de los recursos forrajeros para ser utilizados en las distintas áreas agroecológicas, con el objetivo de planificar y controlar la intensidad de producción de esta actividad en determinadas áreas, de acuerdo a su potencial productivo (Ruiz, 2011).

De acuerdo al estudio de Ruiz (2011), se dispone de una recomendación de especies para pradera en la zona centro sur de Chile, las cuales constituyen la base para determinar las áreas prioritarias. Para ello se consideraron las variables ambientales expuestas en dicho estudio las cuales forman el primer filtro para la EMC. El listado de especies contempladas en Ruiz (2011) se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Especies forrajeras aptas para la zona de Secano interior.

Nombre Común	Nombre Científico	Tipo
Trébol subterráneo	<i>Trifolium subterraneum</i>	Leguminosas
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i>	
Trébol rosado	<i>Trifolium pratense</i>	
Trébol encarnado	<i>Trifolium incarnatum</i>	
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	
Trébol balansa	<i>Trifolium michelianum</i>	
Hualputra	<i>Medicago polymorpha</i>	
Trébol vesiculoso	<i>Trifolium vesiculosum</i>	
Serradella	<i>Ornithopus sativus</i>	
Ballicas anuales	<i>Lolium rigidum o L. multiflorum</i>	Gramíneas
Ballicas perenne	<i>Lolium perenne</i>	
Ballica bianual	<i>Lolium sp.</i>	
Bromo	<i>Bromus inerne</i>	
Falaris	<i>Phalaris aquatica</i>	
Pasto ovilla	<i>Dactylis glomerata</i>	
Festuca	<i>Festuca arundinacea</i>	

Fuente: Ruiz, 2011.

4.2. Evaluación de especies factibles de establecer

Luego del análisis del listado de las especies recomendables para el establecimiento en la zona Centro-Sur de Chile y las condiciones ambientales presentes en el área de estudio se llegó a la propuesta de las especies aptas para el establecimiento de forraje con fines silvopastoriles en el secano interior del Libertador Bernardo O'Higgins.

Las especies propuestas fueron *Trifolium subterraneum*; *Trifolium michelianum*; *Medicago polymorpha*; *Phalaris aquatica* y *Avena sativa*. Estas especies, según autores como Carrasco *et al.* (2012) y Ruiz (1996), presentan las condiciones óptimas para el establecimiento en el área de estudio. Cumplen con los factores recomendados (Ruiz, 1996) para la elección de una especie a establecer como duración de la pradera, época de utilización, forma de utilización y las condiciones particulares de suelo y clima (Ruiz, 1996).

A continuación se describe cada de una de las especies propuestas y sus requerimientos climáticos particulares.

4.2.1. Trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*)

El trébol subterráneo es una especie adaptada a un tipo de clima mediterráneo (Ruiz, 1996), con inviernos suaves, de temperaturas medias normales que oscilan entre 7 y 13°C y durante los cuales cae la mayor parte de la precipitación (380 a 760 mm), y con veranos secos y cálidos (20 a 30°C) (Ruiz, 1996).

Según Ruiz (1996), es la leguminosa más promisoría para los secanos del país, ya que se adapta en buena forma a los sectores de secano de la costa y precordillera, ubicados entre la V y IX regiones.

Los suelos más apropiados para el cultivo de Trébol subterráneo son los francos, ya que facilitan el entierro de sus semillas. En suelos arenosos se presentan limitaciones hídricas y se desconoce el éxito de su cultivo en suelos pesados (Ruiz, 1996).

4.2.2. Trébol balansa (*Trifolium michelianum*)

El trébol balansa es una forrajera anual de autosiembra que se adapta a climas mediterráneos semiárido a húmedo en secano, que se puede encontrar en la V y VII región del país. Es recomendado para su establecimiento como pastura permanente, o bien puede ser utilizado en rotaciones culturales cortas (2-3 años) a largas (35 años), sola o asociada a trébol subterráneo, falaris, ballica anual (Wimmera), entre otras (Carrasco *et al.*, 2012).

Esta especie es capaz de crecer de buena forma en las mismas condiciones que crecen los cultivares de Trébol subterráneo, los que para su crecimiento requieren al menos 450 mm de precipitación anual, siendo el óptimo entre 500 y 700 mm. Asimismo, se comporta bien en suelos que sufren anegamiento temporal durante el invierno, al igual que los cultivares de trébol subterráneo (Carrasco *et al.*, 2012).

Se adapta bien a suelos de textura media a pesada, fértiles y con pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino. Sin embargo, también se adapta a suelos de texturas limo-arenosas y limo-arcillo arenosas. No se recomienda para sembrar en suelos arenosos, muy ácidos o muy alcalinos (Carrasco *et al.*, 2012).

Su mayor potencial, lo mismo que la mayoría de los cultivares de trébol subterráneo disponibles actualmente en el mercado, se presenta principalmente en el secano de la costa de las regiones V (Provincia de San Antonio) y VI, y en el secano de la costa e interior desde la VII a la VIII Región (Carrasco *et al.*, 2012).

4.2.3. Hualputra (*Medicago polymorpha*)

Hualputra es una leguminosa anual que presenta una amplia zona geográfica de naturalización en el país. En el secano mediterráneo esta especie ha sido reconocida como un recurso promisorio de establecer en rotación con cereales. Es de hábito de crecimiento semierecto, es capaz de formar pasturas densas con alturas de 50 cm en primavera. Su sistema radical, en general, es más profundo que el de trébol subterráneo por lo que es ligeramente más resistente al déficit hídrico (Carrasco *et al.*, 2012).

Esta especie forma parte del pastizal natural mediterráneo desde la IV a la VIII Región, zonas donde llueve entre los 145 mm en la región árida (IV) y los 1.000 mm en la región húmeda (VIII) aproximadamente. Sin embargo, para obtener una buena producción requiere de, al menos, 250 mm de precipitación anual y una estación de crecimiento mínima de unos cuatro meses (Carrasco *et al.*, 2012).

En comparación con otras especies del género *Medicago*, hualputra tiene la habilidad para adaptarse a suelos neutros a ligeramente ácidos, por lo que muestra un buen crecimiento en suelos con pH ligeramente ácidos, neutros y ligeramente alcalinos. Si bien es sensible a suelos que presentan mal drenaje, se adapta a una amplia gama de texturas de suelo, desde las francas a las arcillosas (Carrasco *et al.*, 2012).

4.2.4. Falaris (*Phalaris aquatica*)

Falaris es una planta forrajera de origen mediterráneo, con hojas anchas verde-grisáceas o verdes azuladas. Crece en champas con rizomas cortos que salen de la base. Posee un sistema radicular bien desarrollado, cuyas raíces pueden penetrar hasta dos metros (Ruiz, 1996).

Según Ruiz (1996) esta especie se adapta a casi todas las condiciones climáticas presentes en el país y que, aunque sobrevive a las bajas temperaturas, su vegetación no soporta heladas intensas, pero sí sequías, superiores incluso a los seis meses.

Esta especie es una gramínea con una amplia tolerancia a la humedad del suelo, en países como Nueva Zelanda es una forrajera de gran valor para zonas de pastoreo con posibilidades de erosión o sequía severa, cualidad que está dada por su profundo sistema radicular. Esto le permite responder rápidamente a las precipitaciones otoñales. Prospera bien en suelos de textura media y pesada, mientras que no tanto en livianos, aunque

también se le puede cultivar en suelos delgados, pero sacrificando su vida útil (Ruiz, 1996).

4.2.5. Avena (*Avena sativa*)

La avena es una forrajera gramínea con adaptación a zonas frías y templadas, como cultivo de verano y zonas semicálidas como cultivo de invierno, siempre que haya una temporada de invierno relativamente definida (Ruiz, 1999).

Es una especie que tiene una amplia adaptación a suelos, aunque prefiere suelos arcillo limosos o franco-arcillosos con buena retención de humedad, una profundidad moderada mayor a 60 cm y un drenaje bueno. En cuanto a la precipitación anual, esta requiere de 600 a 1300 mm por ciclo, posee una tolerancia a sequías, siempre que no sean prolongadas en el tiempo (Ruiz, 1999).

La avena posee un rango térmico que oscila entre 5 y 30° C con un óptimo de 17,5° C. Sin embargo en su etapa inicial de crecimiento, las altas temperaturas inhiben la iniciación floral (Ruiz, 1999). Finalmente, se presenta un cuadro resumen con los requerimientos de las especies forrajeras propuestas para este estudio (cuadro 7), junto con una descripción de cada especie seleccionada para el establecimiento

Cuadro 7. Especie forrajeras seleccionadas

Especie					
VARIABLES	Trébol subterráneo (<i>Trifolium subterraneum</i>)	Trébol balansa (<i>Trifolium michelianium</i>)	Hualputra (<i>Medicago polymorpha</i>)	Falaris (<i>Phalaris Aquatica</i>)	Avena (<i>Avena Sativa</i>)
Pp. Anual (mm)	380-700	500-700	400-800	>450	600-1300
T° min. Mes más frío (°C)	7-13	6	5	5	5
T° máx. mes más cálido (°C)	20-30	29	28	26	30
Textura del suelo	Mod. Fina	Mod. Fina	Mod. Fina	Media	Media
Profundidad del suelo (cm)	Delgado	Delgado	Delgado	Lig. profundo	Mod. profundo
Drenaje del suelo	Imperfecto	Pobre	Bueno	Moderado	bueno
Altitud (msnm)	0-200	200-400	0-200	0-200	0-200
Pendiente (%)	0-15	15-30	0-15	0-30	0-15
Exposición	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano

Fuente: Ruiz, 1996 y Cazanga *et al.*, 2010.

4.3. Modelo de capacidad de acogida para las especies forrajeras

La superficie total del área de estudio se aproxima a 209.308 ha correspondientes a las comunas de Litueche, La Estrella, Marchihue y Pumanque. Para crear los modelos de capacidad de acogida, en primer lugar fue necesario identificar la superficie clasificadas como áreas excluyentes, la cual dio como resultado 147.501 hectáreas correspondientes al 70,47 % del total de la superficie del área de estudio. De estas, las plantaciones forestales corresponden a 23.524 ha, equivalentes al 11,24 % del total de la superficie, mientras que el Bosque y Matorral Nativo ocupan 52.747 ha equivalente al 25,2 % del total de la superficie del área de estudio, inserta en el secano interior de la región del Libertador Bernardo O'Higgins.

4.3.1. Modelo de capacidad de acogida Trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*)

Para la obtención del modelo de capacidad de acogida, el primer paso fue obtener la matriz de comparación de pares de *Saaty* (Gómez y Barredo, 2006) en la cual se compara cada variable con respecto a las otras, asignándole un puntaje tal cual se observa en el cuadro 8:

Cuadro 8. Matriz de comparación de pares para *Trifolium subterraneum*.

Factores	Pp	T° mín.	T° máx.	Text	Prof.	Dren.	Alt.	Pend.	Exp.
Pp.	1,00	1,00	1,00	0,33	3,00	3,00	5,00	7,00	7,00
T° mín.	1,00	1,00	0,33	0,33	5,00	7,00	7,00	5,00	9,00
T° máx.	1,00	3,00	1,00	0,33	5,00	7,00	7,00	5,00	9,00
Text.	3,00	3,00	3,00	1,00	7,00	5,00	9,00	7,00	9,00
Prof.	0,33	0,20	0,20	0,14	1,00	0,33	5,00	1,00	5,00
Dren.	0,33	0,14	0,14	0,20	3,00	1,00	7,00	3,00	5,00
Alt.	0,20	0,14	0,14	0,11	0,20	0,14	1,00	0,33	3,00
Pend.	0,14	0,20	0,20	0,14	1,00	0,33	3,00	1,00	3,00
Exp.	0,14	0,11	0,11	0,11	0,20	0,20	0,33	0,33	1,00
Total	7,15	8,80	6,13	2,71	25,40	24,01	44,33	29,67	51,00

Con la operatoria propuesta se obtuvo el peso de cada variable para la especie *Trifolium subterraneum*. Estos pesos se observan en el cuadro 9. Para esta especie, la variable con mayor jerarquía es la Textura con 0,3020 de ponderación, debido principalmente a la limitante que presenta a los suelos arenosos y, por lo tanto, la importancia que tiene estas variables para el adecuado establecimiento. Además de la Textura, la variable Temperatura máxima del mes más cálido tuvo una jerarquía mayor al resto de las variables con 0,1954, debido a que la especie presenta gran amplitud de sus rangos óptimos de temperatura máxima (20 a 30°C) (Ruiz, 1996). Finalmente, de las variables con mayor ponderación, también se encuentra la Precipitación anual con 0,1410 dado que la especie *Trifolium subterraneum* presentan una gran adaptación a lugares con limitada disponibilidad de agua lluvia, zonas de secano tanto costero como interior (Ruiz, 1996).

Por otra parte, las variables que presentaron las menores ponderaciones fueron Pendiente, Altitud y Exposición con 0,0379; 0,0239 y 0,0163 respectivamente. Esto se puede asociar a

la adaptabilidad que presenta esta especie a las condiciones presentes en el área de estudio y poca variación que presentan estas variables en dicha área.

Cuadro 9. Ponderaciones de las variables para la especie *Trifolium subterraneum*.

Variable	Ponderación	Normalizada (Coeficientes del Modelo de CDA)
Pp anual (mm)	1,2688	0,1410
T° mín. mes más frío	1,4223	0,1580
T° máx. mes cálido	1,7584	0,1954
Textura	2,7184	0,3020
Prof. Suelo	0,4525	0,0503
Drenaje suelo	0,6768	0,0752
Altitud	0,2150	0,0239
Pendiente	0,3415	0,0379
Exposición	0,1463	0,0163
Total	9,0	1,0

Luego, la capacidad de acogida de la zona de estudio para el establecimiento de la especie *Trifolium subterraneum* (Figura 3), se calculó de la siguiente manera:

$$CDA = 0,1410 * [\text{Precipitación}] + 0,1954 * [T^{\circ} \text{ máxima}] + 0,1580 * [T^{\circ} \text{ mínima}] + 0,3020 * [\text{Textura}] + 0,0503 * [\text{Profundidad}] + 0,0752 * [\text{Drenaje}] + 0,0239 * [\text{Altitud}] + 0,0379 * [\text{Pendiente}] + 0,0163 * [\text{Exposición}]$$

Las superficies potencialmente adecuadas de establecer *Trifolium subterraneum* según las categorías de aptitud propuestas se representa en el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Superficies potenciales para *Trifolium subterraneum*.

Categoría de aptitud	Superficie potencial total (ha)	Porcentaje (%)	Superficie potencial disponible (ha)	Porcentaje (%)
Alta	55.854	26,7	17.167	8,2
Media	78.168	37,4	27.168	13
Baja	75.286	35,9	17.472	8,3
Excluyente	0	0	147.501	70,5
Total	209.308	100	209.308	100,0

Aquí se observa que la Superficie potencial total corresponde a la superficie disponible sin considerar las áreas restrictivas, como son las zonas de Bosque Nativo, Plantaciones

Forestales, entre otras; es decir, la superficie total del área de estudio (209.308 ha). Esta se distribuye con 55.854 ha de superficie para la aptitud “Alta” correspondiente a 26,7% del total de la superficie del área de estudio. La aptitud con mayor presencia corresponde a la “Media” con 78.168 ha equivalentes del 37,4% del total del área. Finalmente, la categoría de aptitud “Baja” posee una superficie de 75.286 ha que equivale al 35,9% del total de superficie que presenta el área de estudio, mientras que la superficie potencial disponible, es el área exclusiva para su establecimiento descontando la superficie excluyente planteada en el estudio.

A continuación se presenta la figura 4 comparando estas dos situaciones para la especie *Trifolium subterraneum*, la cual muestra una similar distribución de las categorías de aptitud a lo largo de la zona de estudio con una mayor superficie para la aptitud “Media” con 27.168 ha de superficie, correspondiente al 13% del área de estudio. Por otra parte, las aptitudes “Alta” y “Baja” presentan superficies similares con 17.167 ha y 17.472 ha respectivamente, equivalentes al 8,2% y al 8,3% cada una de estas aptitudes.

Luego de extraer las áreas excluyentes se obtiene el modelo final de acogida del territorio para el establecimiento de especies forrajeras (Figura 4b), aquí se incluye la categoría excluyente, que representa las áreas donde no se puede establecer la especie propuesta debido a restricciones de uso del suelo. Se aprecia que las áreas con mayor aptitud se encuentran en el sector Norte del área de estudio, precisamente en la comuna de Litueche y parte de La Estrella.

En un análisis más detallado, a continuación, se presenta el cuadro 11 con la superficie potencial para el establecimiento de Trébol subterráneo por comuna, donde la que posee una mayor superficie disponible con una aptitud “Alta” para el establecimiento es la Comuna de Litueche con 10.359 ha, mientras la que posee una mayor superficie con aptitud “Baja” para el establecimiento de esta especie es la Comuna de Pumanque con 13.579 ha.

También se puede observar que tomando en cuenta las tres categorías definidas para la Aptitud, la comuna que posee una mayor superficie para el establecimiento es Marchihue con 20.498 ha, en esta comuna la aptitud de mayor extensión es la “Media” con 15.853 ha de superficie.

Cuadro 11. Superficie de aptitud por comuna para *Trifolium subterraneum*.

Comuna	Superficie por Aptitud (ha)			
	Alta	Media	Baja	Total
Litueche	10.359	2.384	0	12.743
La Estrella	5.999	8.141	57	14.197
Marchihue	809	15.853	3.836	20.498
Pumanque	0	790	13.579	14.369
Total	17.167	27.168	17.472	61.807

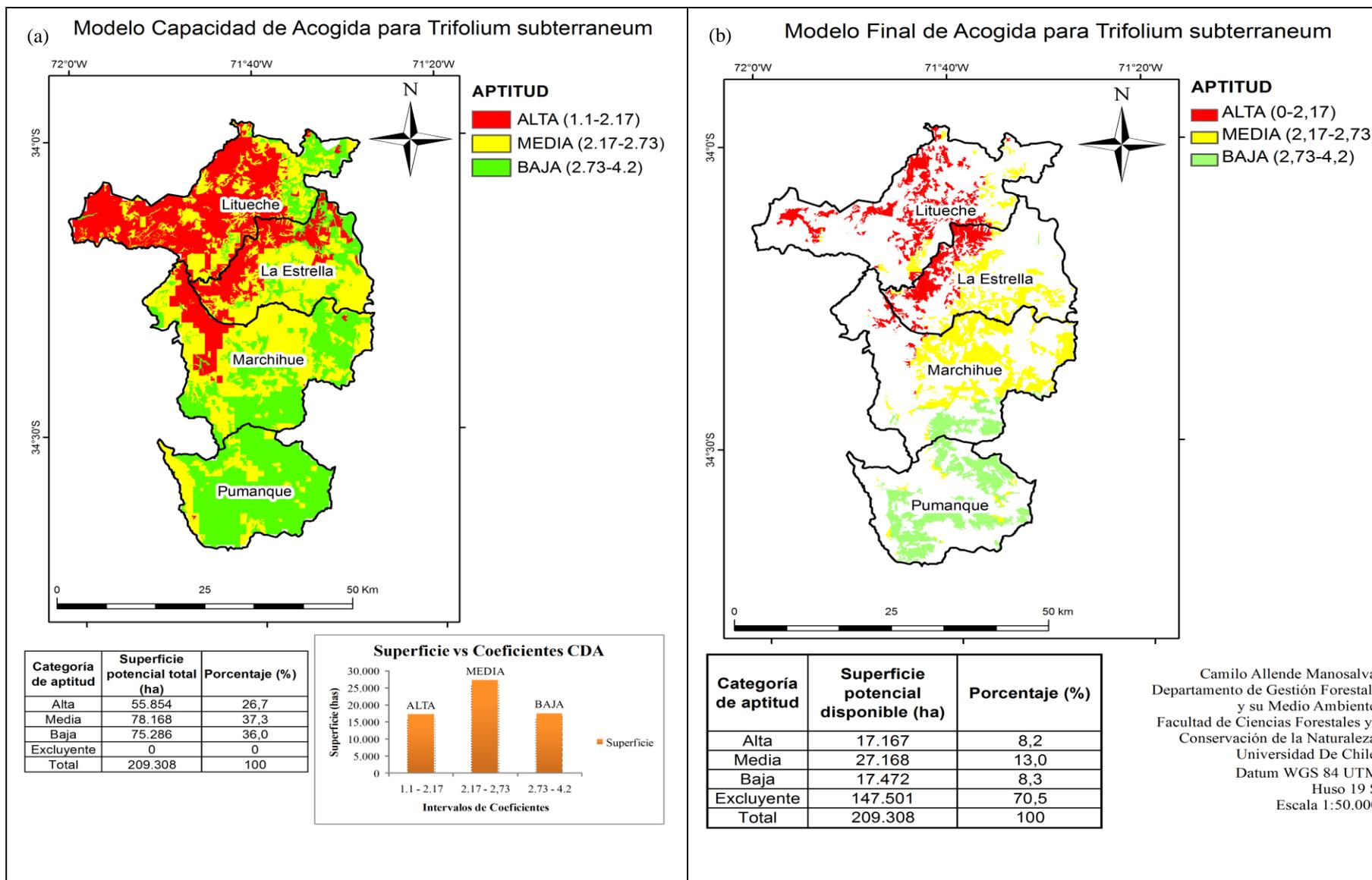


Figura 4. Modelos de capacidad de acogida (CDA) para *Trifolium subterraneum*.

4.3.2. Modelo de capacidad de acogida Trébol balansa (*Trifolium michelianum*)

Para la obtención del modelo de capacidad de acogida de *Trifolium michelianum*, se calculó la matriz de comparación de pares de Saaty en la cual se compara cada variable con respecto a las otras, la matriz resultante se muestra a continuación:

Cuadro 12. Matriz de comparación de pares de *Trifolium michelianum*.

Factores	Pp.	T° mín.	T° máx.	Text.	Prof.	Dren.	Alt.	Pend.	Exp.
Pp.	1,00	5,00	5,00	1,00	5,00	1,00	3,00	9,00	9,00
T° mín.	0,20	3,00	1,00	0,14	3,00	0,14	0,20	0,14	0,14
T° máx.	0,20	1,00	0,33	0,14	3,00	0,14	0,20	0,14	0,14
Text.	1,00	7,00	7,00	1,00	5,00	0,50	3,00	9,00	9,00
Prof.	0,20	0,33	0,33	0,20	1,00	0,20	0,33	5,00	5,00
Dren.	1,00	7,00	7,00	2,00	5,00	1,00	3,00	9,00	9,00
Alt.	0,33	5,00	5,00	0,33	3,00	0,33	1,00	7,00	7,00
Pend.	0,11	7,00	7,00	0,11	0,20	0,11	0,14	1,00	0,33
Exp.	0,11	7,00	7,00	0,11	0,20	0,11	0,14	3,00	1,00
Total	4,16	42,33	39,67	5,04	25,40	3,54	11,02	43,29	40,62

Luego de obtenido los pesos normalizados de las variables utilizadas en el estudio para *Trifolium michelianum*, se observa que la variable que presentó una mayor jerarquía fue el Drenaje del suelo con un peso de 0,24. Esto se relaciona con la limitante que posee la especie para no establecer esta especie en suelos de drenaje pobre (Carrasco *et al.*, 2012), por lo que es importante presentar una condición de buen drenaje para el establecimiento de dicha especie.

Mientras que la variable con menor peso fue la Temperatura máxima del mes más cálido con una ponderación de 0,0324. Esto se asocia a los rangos óptimos para el establecimiento de *Trifolium michelianum* que presenta dicha variable en el área de estudio (Carrasco *et al.*, 2012).

En general, las variables se relacionan estrechamente con las limitantes que posea la especie en variables como Drenaje, Textura y Precipitación anual, que son las que presentan una mayor ponderación para el establecimiento de dicha especie.

Cuadro 13. Ponderaciones de las variables para la especie *Trifolium michelianum*.

Variable	Ponderación	Normalización (Coeficientes del Modelo de CDA)
Pp anual (mm)	1,8641	0,2071
T° mín. mes más frío	0,3560	0,0396
T° máx. mes más cálido	0,2919	0,0324
Textura	1,8206	0,2023
Prof. Suelo	0,4688	0,0521
Drenaje suelo	2,1602	0,2400
Altitud	1,0275	0,1142
Pendiente	0,4741	0,0527
Exposición	0,5367	0,0596
Total	9,0	1,0

Luego de esto, el modelo de capacidad de acogida de la zona de estudio para el establecimiento de *Trifolium michelianum* (Figura 5) se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$CDA = 0,2071 * [\text{Precipitación}] + 0,0324 * [T^{\circ} \text{ máxima}] + 0,0396 * [T^{\circ} \text{ mínima}] + 0,2023 * [\text{Textura}] + 0,0521 * [\text{Profundidad}] + 0,2400 * [\text{Drenaje}] + 0,1142 * [\text{Altitud}] + 0,0527 * [\text{Pendiente}] + 0,0596 * [\text{Exposición}]$$

A continuación se presentan las superficies disponibles para el establecimiento de *Trifolium michelianum*, según cada categoría presente en el área de estudio (Cuadro 14).

Cuadro 14. Superficies potenciales para *Trifolium michelianum*.

Categoría de aptitud	Superficie potencial total (ha)	Porcentaje (%)	Superficie potencial disponible (ha)	Porcentaje (%)
Alta	38.913	18,6	0	0
Media	138.604	66,2	56.349	26,9
Baja	31.790	15,2	5.458	2,6
Excluyente	0	0	147.501	70,5
Total	209.308	100	209.308	100

Se observa en el cuadro 14 que la superficie potencial total para *Trifolium michelianum* presenta una distribución de la superficie en la que sobresale la categoría de aptitud “Media” con 138.604 ha correspondiente al 66,2%. También se encuentran las categorías “Alta” y “Baja” con similares superficies; 38.913 ha y 31.790 ha, equivalentes al 18,6% y 15,2% respectivamente.

Además se observa que en la superficie potencial disponible no existen áreas con una aptitud “Alta”, debido a que al aplicar las restricciones en el modelo estas áreas de aptitud se convierten en excluyentes. También se presenta como la mayor superficie disponible la aptitud “Media” con 56.349 ha que corresponde al 26,9% y en menor superficie se encuentra la aptitud “Baja” con 5.458 ha equivalentes al 2,6% del total de la superficie del área de estudio.

En la figura siguiente (Figura 5a) se observa una mayor distribución de áreas con “Alta” aptitud en el sector Oeste del área de estudio, abarcando de manera uniforme las cuatro comunas (Litueche, Marchihue, La Estrella y Pumanque) que conforman dicha área. Al extraer las áreas excluyentes para establecer especies forrajeras se obtiene el modelo final de acogida (figura 5b).

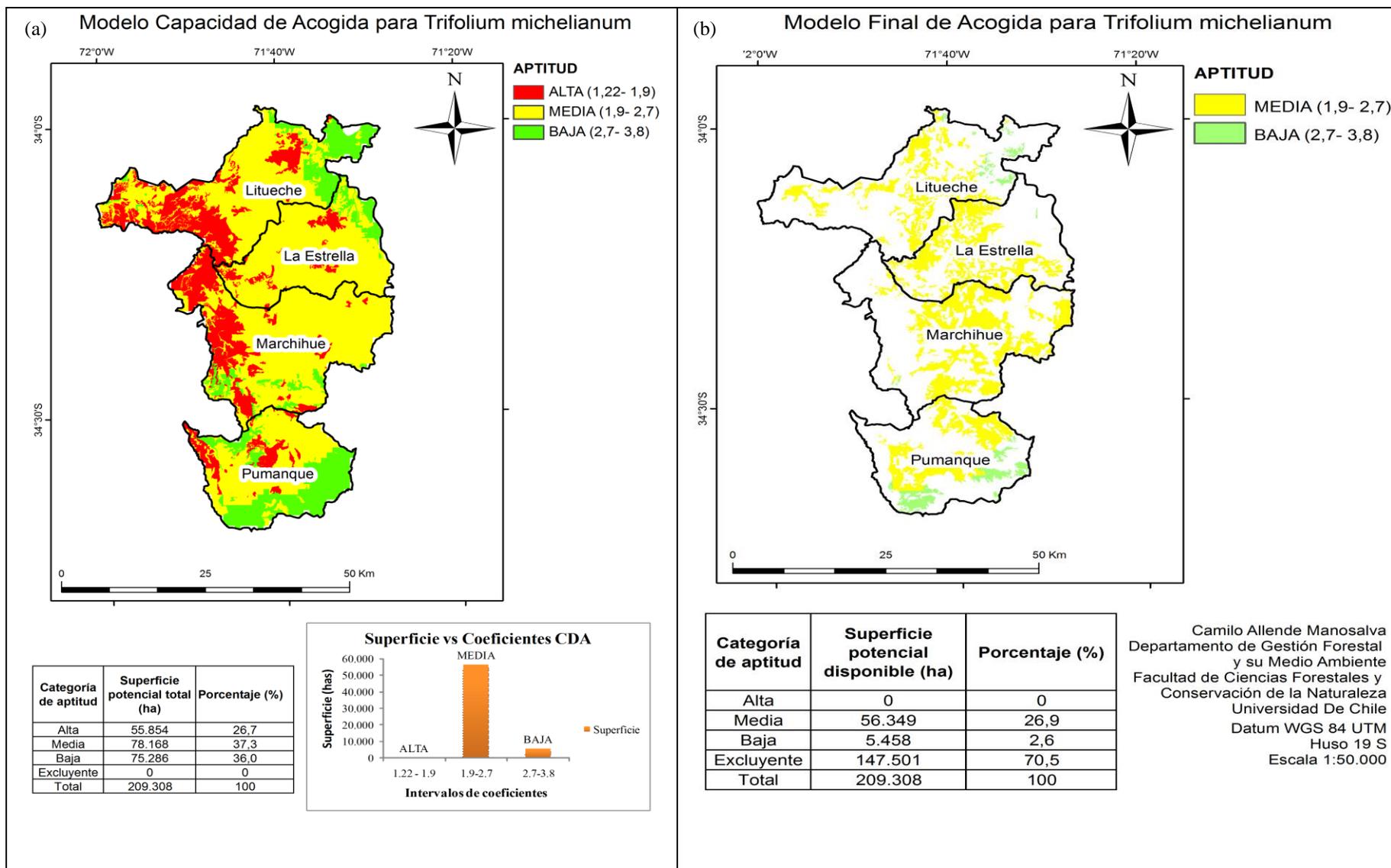


Figura 5. Modelos de capacidad de acogida (CDA) para *Trifolium michelianum*.

Como se aprecia en el mapa anterior (figura 5b) de capacidad de acogida para la especie *Trifolium michelianum*, no existe superficie con una aptitud de establecimiento “Alta”. La superficie para establecimiento de Trébol balansa corresponde principalmente a la aptitud “Media” con 56.349 ha y en menor grado la aptitud “Baja” con 5.458 ha de superficie.

Cuadro 15. Superficie de aptitud por comuna para *Trifolium michelianum*.

Comuna	Superficie por Aptitud (ha)			
	Alta	Media	Baja	Suma
Litueche	0	11.426	1.302	12.728
La Estrella	0	14.083	92	14.175
Marchihue	0	20.396	93	20.489
Pumanque	0	10.444	3.971	14.415
Total	0	56.349	5.458	61.807

El cuadro anterior muestra en mayor detalle la distribución de las superficies por aptitud en cada comuna de la zona de estudio, en esta se puede observar que la comuna con mayor superficie para el establecimiento de trébol balansa es la Comuna de Marchihue correspondiente a 20.489 ha, aunque con aptitud “Media” principalmente (20.396 ha) y una menor superficie de aptitud “Baja” (93 ha).

En cuando a la superficie de aptitud “Media”- la mayormente presente a lo largo de la zona de estudio- se encuentra en mayor superficie en la Comuna de Marchihue con 20.396 ha, mientras que la menor superficie con aptitud “Media” se encuentra en la comuna de Pumanque con 10.444 ha. Por otra parte se encuentra la clasificación de aptitud “Baja”, la cual presenta una superficie de 3.971 ha en la Comuna de Pumanque, siendo la que presenta mayor superficie de esta clasificación, seguida de la Comuna de Litueche con 1.302 ha.

4.3.3. Modelo de capacidad de acogida Hualputra (*Medicago polymorpha*)

El modelo de capacidad de acogida de *Medicago polymorpha*, se obtuvo calculando la matriz de comparación de pares, la cual se muestra a continuación (Cuadro 16):

Cuadro 16. Matriz de comparación de pares para *Medicago polymorpha*.

Factores	Pp.	T° mín.	T° máx.	Text.	Prof.	Dren.	Alt.	Pend.	Exp.
Pp.	1,00	0,33	1,00	5,00	5,00	0,20	7,00	9,00	9,00
T° mín.	3,00	1,00	3,00	5,00	5,00	0,33	7,00	9,00	9,00
T° máx.	1,00	0,33	1,00	3,00	3,00	0,20	5,00	7,00	7,00
Text.	0,20	0,20	0,33	1,00	1,00	0,14	0,20	0,14	0,14
Prof.	0,20	0,20	0,33	1,00	1,00	0,14	0,20	0,33	0,33
Dren.	5,00	3,00	5,00	7,00	7,00	1,00	9,00	9,00	9,00
Alt.	0,14	0,14	0,20	5,00	5,00	0,11	1,00	3,00	3,00
Pend.	0,11	0,11	0,14	7,00	3,00	0,11	0,33	1,00	2,00
Exp.	0,11	0,11	0,14	7,00	3,00	0,11	0,33	0,50	1,00
Total	10,77	5,43	11,15	41,00	33,00	2,35	30,07	38,98	40,48

Al obtener las jerarquías de las variables para la especie *Medicago polymorpha* se observa que la variable con mayor peso fue el Drenaje del suelo con un valor de 0,3362, su importancia se debe a la sensibilidad que posee la especie a suelos con mal drenaje, dificultando de esta manera su establecimiento. Otra variable que tuvo una mayor jerarquía es la Temperatura mínima del mes más frío con un valor de 0,2037. Esto se debe a la poca tolerancia que presenta la especie a las bajas temperaturas, es por esta razón de lo importante que esta variable sea la óptima para el establecimiento de *Medicago polymorpha*.

En tanto, la variable de menor peso fue la Textura del suelo con 0,0238 seguido de la Profundidad del suelo con 0,0249. Esto principalmente a la buena adaptación que tiene la especie a distintos tipos de textura y profundidad de los suelos presentes en el área de estudio (Carrasco *et al.*, 2012).

Cuadro 17. Ponderaciones de las variables para la especie *Medicago polymorpha*.

Factores	Sumatoria	Normalización (Coeficientes del Modelo de CDA)
Pp anual (mm)	1,2885	0,1432
T° mín. mes más frío	1,8330	0,2037
T° máx. mes más cálido	1,0119	0,1124
Textura	0,2146	0,0238
Prof. Suelo	0,2241	0,0249
Drenaje suelo	3,0257	0,3362
Altitud	0,5626	0,0625
Pendiente	0,4386	0,0487
Exposición	0,4011	0,0446
Total	9,0	1,0

Con esta matriz del modelo de capacidad de acogida de la zona de estudio para el establecimiento de *Medicago polymorpha* (Figura 6) se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$CDA = 0,1432 * [\text{Precipitación}] + 0,1124 * [\text{T}^\circ \text{ máxima}] + 0,2037 * [\text{T}^\circ \text{ mínima}] + 0,0238 * [\text{Textura}] + 0,0249 * [\text{Profundidad}] + 0,3362 * [\text{Drenaje}] + 0,0625 * [\text{Altitud}] + 0,0487 * [\text{Pendiente}] + 0,0446 * [\text{Exposición}]$$

En el cuadro 18 se observa la superficie potencial total distribuida por categoría de aptitud, donde la categoría que presenta una mayor superficie es la “Media” con 100.168 ha equivalentes al 47,9% del total del área de estudio, mientras que la categoría de aptitud “Alta” la sigue con 76.588 ha correspondiente al 36,6% del total de la superficie potencial total.

Por otra parte, la superficie potencial disponible- descontando las áreas excluyentes- presenta una distribución de su superficie en la que la categoría de aptitud “Alta” es la que

ocupa una mayor extensión con 44.728 ha equivalente al 21,4% de la superficie potencial disponible. La categoría de aptitud “Media” es la que sigue con una superficie de 16.187 ha, distribuido mayoritariamente en la zona Norte del área de estudio, como se puede apreciar en la Figura 6b.

Cuadro 18. Superficies potenciales para *Medicago polymorpha*.

Categoría de aptitud	Superficie potencial total (ha)	Porcentaje (%)	Superficie potencial disponible (ha)	Porcentaje (%)
Alta	76.588	36,6	44.728	21,4
Media	100.168	47,9	16.187	7,7
Baja	32.552	15,6	894	0,4
Excluyente	0	0,0	147.501	70,5
Total	209.308	100	209.308	100

En la figura 6a se observa que existe una amplia superficie con aptitud de acogida “Media”- en total 100.168 ha- la cual se distribuye uniformemente entre las Comunas de Litueche, La estrella y Marchihue. Por otra parte (figura 6) al extraer las restricciones del estudio se obtiene la capacidad final de acogida, se aprecia que la categoría de aptitud “Baja” es la con menos superficie potencial disponible, correspondiente a 894 ha.

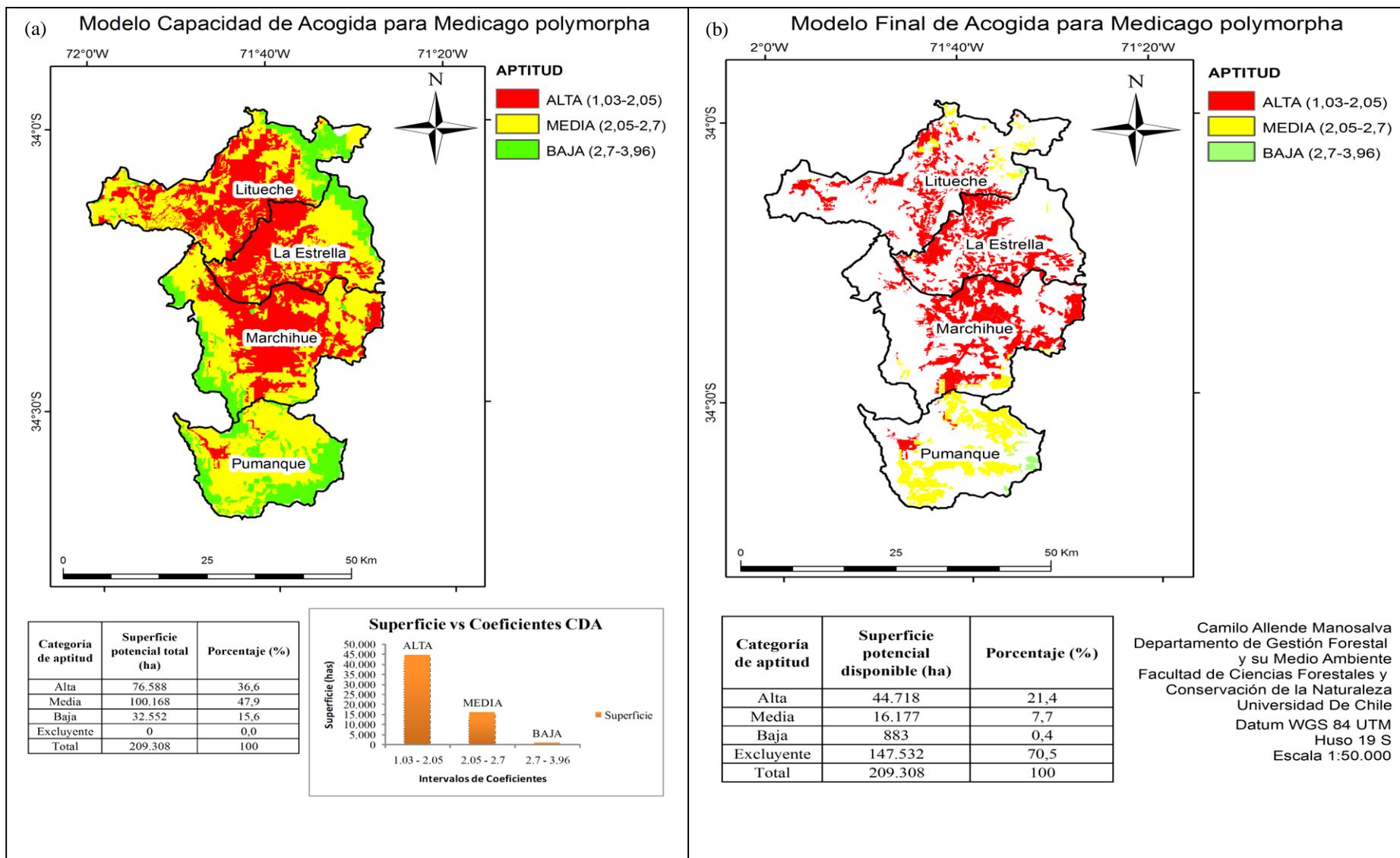


Figura 6. Modelos de capacidad de acogida (CDA) para *Medicago polymorpha*.

En la Figura 6ª se observa, para el establecimiento de *Medicago polymorpha*; que la superficie de aptitud de acogida “Alta”, se encuentra distribuida uniformemente en la zona de estudio donde se nota una menor presencia en la comuna de Pumanque y en mayor grado en el resto de las comunas.

En el cuadro 19 se aprecia la distribución de las superficies según aptitud por Comuna. Se observa que la mayor superficie para la aptitud “Alta” se encuentra en la Comuna de Marchihue con 18.884 ha, mientras que la menor superficie para la misma aptitud está en la Comuna de Pumanque con 992 ha, esto se visualiza de igual forma en la figura anterior (Figura 6b). Para la aptitud “Media”, la mayor superficie se encuentra en la comuna de Pumanque con 12.648 ha mientras que la Comuna de La Estrella es la Comuna que presenta la menor superficie para dicha aptitud con 106 ha.

Ahora bien, tomando la totalidad de la superficie disponible- aptitud “Alta”, “Media” y “Baja”- se nota que la Comuna de Marchihue es la que presenta mayor superficie para el establecimiento de *Medicago polymorpha* con 20.476 ha. Con una superficie menor se encuentra la Comuna de Pumanque con 14.400 ha. Esta Comuna presenta mayoritariamente la aptitud “Media” para el establecimiento de la especie mencionada.

Cuadro 19. Superficie de aptitud por comuna para *Medicago polymorpha*.

Comuna	Superficie por Aptitud (ha)			
	Alta	Media	Baja	Suma
Litueche	10.777	1.872	81	12.730
La Estrella	14.065	106	0	14.171
Marchihue	18.884	1.551	41	20.476
Pumanque	992	12.648	760	14.400
Total	44.718	16.177	882	61.777

4.3.4. Modelo de capacidad de acogida *Falaris (Phalaris aquatica)*

Para la especie *Phalaris aquatica* se calculó el peso o jerarquía de cada variable completando la matriz de comparación de pares, estos pesos o jerarquías asignadas se muestran en la siguiente matriz (Cuadro 16).

Cuadro 20. Matriz de comparación de pares para *Phalaris aquatica*.

Factores	Pp.	T° mín.	T° máx.	Text.	Prof.	Dren.	Alt.	Pend.	Exp.
Pp.	1,00	3,00	3,00	0,33	0,20	0,33	7,00	5,00	7,00
T° mín.	0,33	1,00	2,00	0,20	0,14	0,20	5,00	3,00	5,00
T° máx.	0,33	0,50	1,00	0,20	0,14	0,20	5,00	3,00	5,00
Text.	3,00	5,00	5,00	1,00	0,33	3,00	9,00	7,00	9,00
Prof.	5,00	7,00	7,00	3,00	1,00	3,00	9,00	9,00	9,00
Dren.	3,00	5,00	5,00	0,33	0,33	1,00	9,00	7,00	9,00
Alt.	0,14	0,20	0,20	0,11	0,11	0,11	1,00	0,33	0,33
Pend.	0,20	0,33	0,33	0,14	0,11	0,14	3,00	1,00	3,00
Exp.	0,14	0,20	0,20	0,11	0,11	0,11	1,00	3,00	1,00
Total	13,15	22,23	23,73	5,43	2,49	8,10	49,00	38,33	48,33

Mientras que la variable con menor jerarquía para esta especie es la Altitud con un valor de 0,0159, esta variables presenta menor importancia debido a la adaptación que posee la *Phalaris aquatica* a la altitud presente en el área de estudio, que se concentra entre los 0 y 400 msnmm. En general, esta especie presenta una gran adaptación a las condiciones ambientales presentes en el área, en este caso las variables que fueron tomadas en cuenta en este estudio.

Cuadro 21. Ponderaciones de las variables para la especie *Phalaris aquatica*.

Factores	Sumatoria	Normalización (Coeficientes del Modelo de CDA)
Pp anual (mm)	0,9385	0,1043
T° mín. mes más frío	0,5573	0,0619
T° máx. mes más cálido	0,4927	0,0547
Textura	1,9048	0,2116
Prof. Suelo	2,9197	0,3244
Drenaje suelo	1,5351	0,1706
Altitud	0,1432	0,0159
Pendiente	0,2823	0,0314
Exposición	0,2265	0,0252
Total	9	1

Una vez realizada la matriz de comparación de pares y obtenidos los pesos de cada variable de la especie *Phalaris aquatica*, se observa que la variable que presentó la mayor jerarquía

fue la Profundidad del suelo con un valor de 0,3244 debido a la dificultad que presenta la especie para su crecimiento en suelos delgados. Este tipo de suelos disminuye la vida útil de *Phalaris aquatica* (Ruiz, 1996).

El modelo de capacidad de acogida de la zona de estudio para el establecimiento de *Phalaris aquatica* se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$CDA = 0,1043 * [\text{Precipitación}] + 0,0547 * [T^{\circ} \text{ máxima}] + 0,0619 * [T^{\circ} \text{ mínima}] + 0,2116 * [\text{Textura}] + 0,3244 * [\text{Profundidad}] + 0,1706 * [\text{Drenaje}] + 0,0159 * [\text{Altitud}] + 0,0314 * [\text{Pendiente}] + 0,0252 * [\text{Exposición}]$$

La especie *Phalaris aquatica* fue la especie con mayor superficie potencial de aptitud “Alta” para el establecimiento de especies forrajeras (cuadro 22) con 93.339 ha de superficie potencial total correspondiente al 44,6% del total del área de estudio y 57.793 ha de superficie potencial disponible equivalente al 27,6% de la superficie total, lo cual señala el potencial de la especie para su establecimiento en la zona de estudio. Además, también se encuentra presente la aptitud “Media” con una superficie potencial disponible de 4.014 ha equivalente al 1,9% y finalmente una aptitud “Baja” que presenta 0 ha de superficie potencial disponible. Con esto se infiere, la gran adaptabilidad de la especie a la zona de estudio.

Cuadro 22. Superficies potenciales para *Phalaris aquatica*.

Categoría de aptitud	Superficie potencial total (ha)	Porcentaje (%)	Superficie potencial disponible (ha)	Porcentaje (%)
Alta	93.339	44,6	57.793	27,6
Media	70.884	33,9	4.014	1,9
Baja	45.086	21,5	0	0
Excluyente	0	0,0	147.501	70,5
Total	209.308	100	209.308	100

En la figura 7a se aprecia una distribución uniforme de áreas con aptitud “Alta”, con una menor superficie concentrada en la comuna de Pumanque. Además, se observa en la misma figura que la aptitud “Media” también posee una gran presencia en superficie con 70.884 ha de superficie potencial total. Con esto se infiere el potencial que posee *Phalaris aquatica* para el establecimiento en la zona de estudio, acentuando este potencial en la zona Centro-Norte de dicha área de estudio.

Al extraer las áreas excluyentes para el establecimiento de especies forrajeras se obtiene el modelo final de acogida (figura 7b), el cual muestra que no existen áreas en la zona de estudio con aptitud “Baja” para el establecimiento de *Phalaris aquatica* y una baja superficie de aptitud “Media” con 4.014 ha distribuidas en su totalidad en la comuna de Pumanque. A continuación se presentan la figura 6 (6a y 6b) con la comparación de los mapas resultantes de los modelos de capacidad de acogida para *Phalaris aquatica* en la zona de estudio.

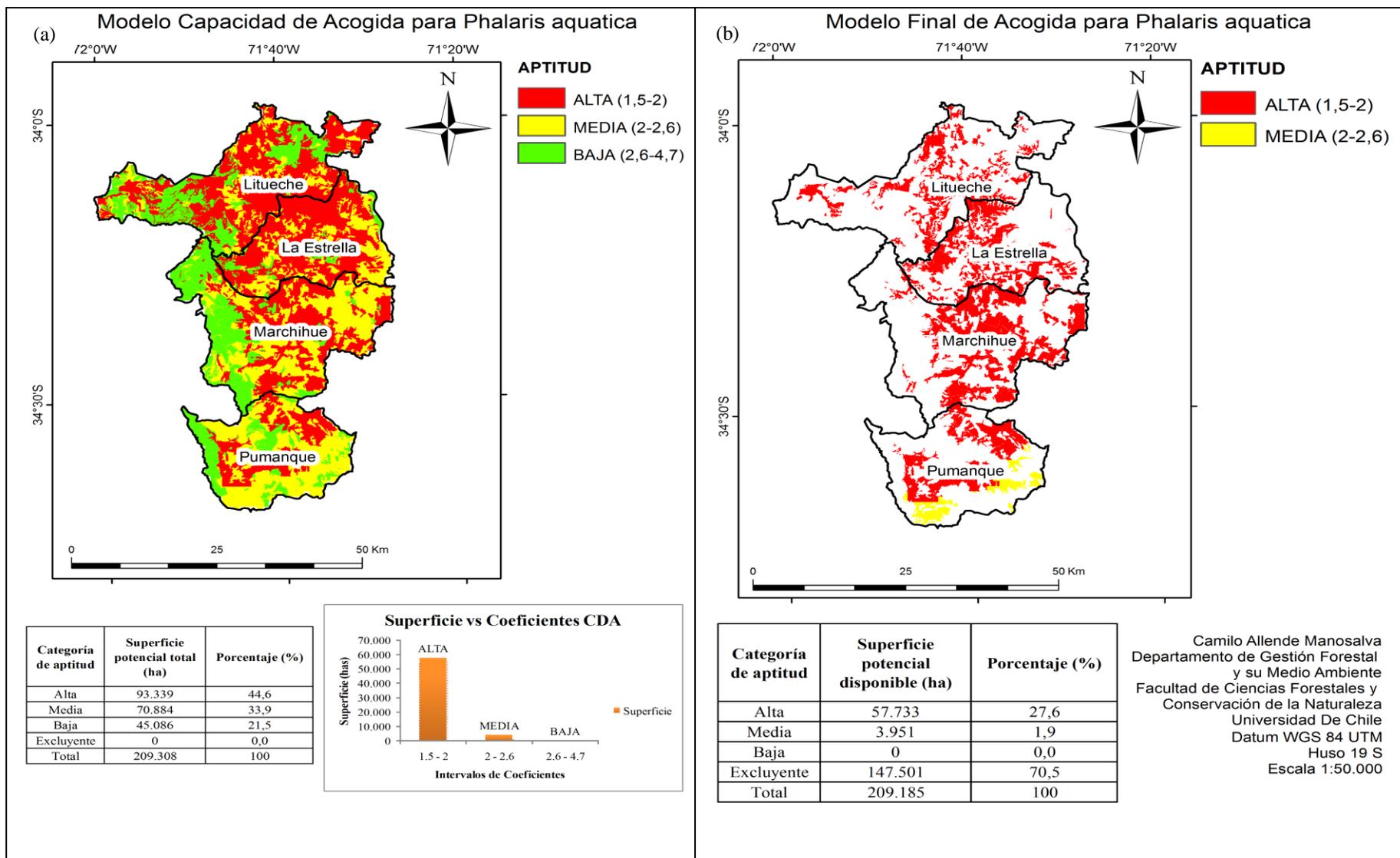


Figura 7. Modelos de capacidad de acogida (CDA) de *Phalaris aquatica*.

El cuadro 23 muestra la superficie por aptitud en cada Comuna para la especie *Phalaris aquatica*, en esta se observa que la aptitud “Alta”- la con mayor presencia en la zona de estudio- concentra la mayor superficie en la Comuna de Marchihue con 20.465 ha, seguido de la Comuna de La Estrella con 14.140 ha de superficie. Mientras que la Comuna con menor superficie de aptitud “Alta” corresponde a Pumanque con 10.422 ha. Estos datos muestran la gran presencia de la aptitud “Alta” y por lo tanto una gran adaptabilidad para el establecimiento de *Phalaris aquatica* en la zona de estudio.

También se observa la presencia de la categoría de aptitud “Media”, aunque en menor superficie, esta se encuentra solamente en la Comuna de Pumanque con 3.951 ha de superficie. Además, la categoría de aptitud media no se encuentra presente para la especie *Phalaris aquatica* en la zona de estudio. Finalmente, tomando en consideración todas las categorías de aptitud la Comuna con una mayor superficie para el establecimiento de *Phalaris aquatica* es Marchihue con 20.465 ha, seguido de La Estrella y Pumanque con 14.000 ha aproximadamente cada una de estas.

Cuadro 23. Superficie de aptitud por comuna para *Phalaris aquatica*.

Comuna	Superficie por Aptitud (ha)			
	Alta	Media	Baja	Suma
Litueche	12.706	0	0	12.706
La Estrella	14.140	0	0	14.140
Marchihue	20.465	0	0	20.465
Pumanque	10.422	3.951	0	14.373
Total	57.733	3.951	0	61.684

4.3.5. Modelo de capacidad de acogida Avena (*Avena sativa*)

Para la especie *Avena sativa* propuesta en el estudio, se calculó las jerarquías de sus variables en la matriz de comparación de pares. Para luego obtener el modelo de capacidad de acogida. Estos pesos se muestran en el cuadro 24:

Cuadro 24. Matriz de comparación de pares para *Avena sativa*.

Factores	Pp.	T° mín.	T° máx.	Text.	Prof.	Dren.	Alt.	Pend.	Exp.
Pp.	1,00	5,00	0,33	3,00	3,00	5,00	7,00	5,00	9,00
T° mín.	0,20	1,00	0,20	3,00	1,00	5,00	7,00	5,00	7,00
T° máx.	3,00	5,00	1,00	5,00	5,00	7,00	9,00	7,00	9,00
Text.	0,33	0,33	0,20	1,00	0,33	5,00	7,00	5,00	7,00
Prof.	0,33	1,00	0,20	3,00	1,00	5,00	7,00	5,00	7,00
Dren.	0,20	0,20	0,14	0,20	0,20	1,00	5,00	3,00	7,00
Alt.	0,14	0,14	0,11	0,14	0,14	0,20	1,00	3,00	5,00
Pend.	0,20	0,20	0,14	0,20	0,20	0,33	0,33	1,00	3,00
Exp.	0,11	0,14	0,11	0,14	0,14	0,14	0,20	0,33	1,00
Total	5,52	13,02	2,44	15,69	11,02	28,68	43,53	34,33	55,00

Una vez obtenida la matriz de comparación de pares con los pesos definitivos para cada variable de la especie *Avena Sativa* se observó que la mayor jerarquía la presenta la variable Temperatura máxima del mes más cálido con un valor de 0,3253, dado el efecto que tienen las altas temperaturas sobre el período de inicio de la floración de esta especie (Ruiz, 1999). También la variable que se encuentra entre los mayores pesos es la Precipitación anual con un valor de 0,2011, se debe a que este especie posee tolerancia a la sequía, siempre que esta no sea prolongada en el tiempo (Ruiz, 1999).

Dentro de las variables con menor peso o jerarquía, está en primer término la Exposición con un valor de 0,0151 debido a que la zona de estudio presenta principalmente zonas planas aptas para el establecimiento de *Avena sativa*. Por otra parte se encuentra la variable Pendiente con un valor de 0,0271 de peso, esta variable se observa en la zona de estudio con un rango de 0-15% principalmente, por lo que está en el óptimo para el establecimiento de *Avena sativa* y las especies forrajeras en general (Ruiz, 1999).

Cuadro 25. Ponderaciones de las variables para la especie *Avena sativa*.

Factores	Sumatoria	Normalización (Coeficientes del Modelo de CDA)
Pp anual (mm)	1,8097	0,2011
T° mín. mes más frío	1,0850	0,1206
T° máx. mes más cálido	2,9280	0,3253
Textura	0,8700	0,0967
Prof. Suelo	1,1092	0,1232
Drenaje suelo	0,5054	0,0562
Altitud	0,3127	0,0347
Pendiente	0,2440	0,0271
Exposición	0,1362	0,0151
Total	9,0	1,0

Finalmente, el modelo de capacidad de acogida de la zona de estudio para el establecimiento de *Avena sativa* se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$CDA = 0,2011 * [\text{Precipitación}] + 0,3253 * [\text{T}^\circ \text{ máxima}] + 0,1206 * [\text{T}^\circ \text{ mínima}] + 0,0967 * [\text{Textura}] + 0,1232 * [\text{Profundidad}] + 0,0562 * [\text{Drenaje}] + 0,0347 * [\text{Altitud}] + 0,0271 * [\text{Pendiente}] + 0,0151 * [\text{Exposición}]$$

En el cuadro 26 se observa la superficie por aptitud para la especie *Avena sativa*, en la cual se aprecia que la Aptitud que presenta una mayor superficie potencial total es la categoría “Media” con 80.452 ha, mientras que la categoría “Alta” abarca una superficie de 52.191 ha en la zona de estudio.

Por otra parte, una vez realizada la exclusión de las zonas con otros usos de suelo con la categoría de excluyente en este estudio, se observa que la superficie potencial disponible

presenta las tres categorías de aptitud- “Alta”, “Media” y “Baja”- y la que presenta una mayor superficie es la aptitud “Alta” con 40.796 ha, seguido de la aptitud “Media” con 18.297 ha de superficie, finalmente la categoría “Baja” presenta una superficie menor con respecto a las anteriores con 2.714 ha para la zona de estudio. Dado la inclinación a una superficie con categoría “Alta”, se infiere que la especie *Avena sativa* presenta los requerimientos ambientales adecuados para el establecimiento en la zona de estudio.

Cuadro 26. Superficies potenciales para *Avena sativa*.

Categoría de aptitud	Superficie potencial total (ha)	Porcentaje (%)	Superficie potencial disponible (ha)	Porcentaje (%)
Alta	52.191	24,9	40.796	19,5
Media	80.452	38,4	18.297	8,7
Baja	76.666	36,6	2.714	1,3
Excluyente	0	0,0	147.501	70,5
Total	209.308	100	209.308	100

Se observa en el mapa (Figura 8a) la distribución de las superficies por Aptitud, en la cual se muestra una mayor superficie por parte de la categoría de aptitud “Alta”, la cual se encuentra concentrada principalmente en la Comuna de Marchihue con 19.280 ha y en la Comuna de Pumanque con una superficie de 13.162 ha (Cuadro 27). Queda expresado en el mapa la mayor presencia de la aptitud “Alta” para la especie *Avena sativa*, lo cual también se contrasta con el cuadro de superficies (cuadro 26).

Por otra parte para la Aptitud “Media”, se observa que la mayor superficie se encuentra en la comuna de Litueche con 10.460 ha, seguido de la comuna de La Estrella con 5.987 ha de superficie.

Finalmente, se aprecia una menor superficie de la categoría de aptitud “Baja”, la cual se encuentra distribuida en mayor parte en Litueche con 1.961 ha. Con esto se infiere que la especie *Avena sativa* presenta una buena adaptación para el establecimiento en la zona de estudio.

Cuadro 27. Superficie de aptitud por comuna para *Avena sativa*.

Comuna	Superficie por Aptitud (ha)			
	Alta	Media	Baja	Suma
Litueche	320	10.460	1.961	12.741
La Estrella	8.034	5.987	144	14.165
Marchihue	19.280	1.077	139	20.496
Pumanque	13.162	773	470	14.405
Total	40.796	18.297	2.714	61.807

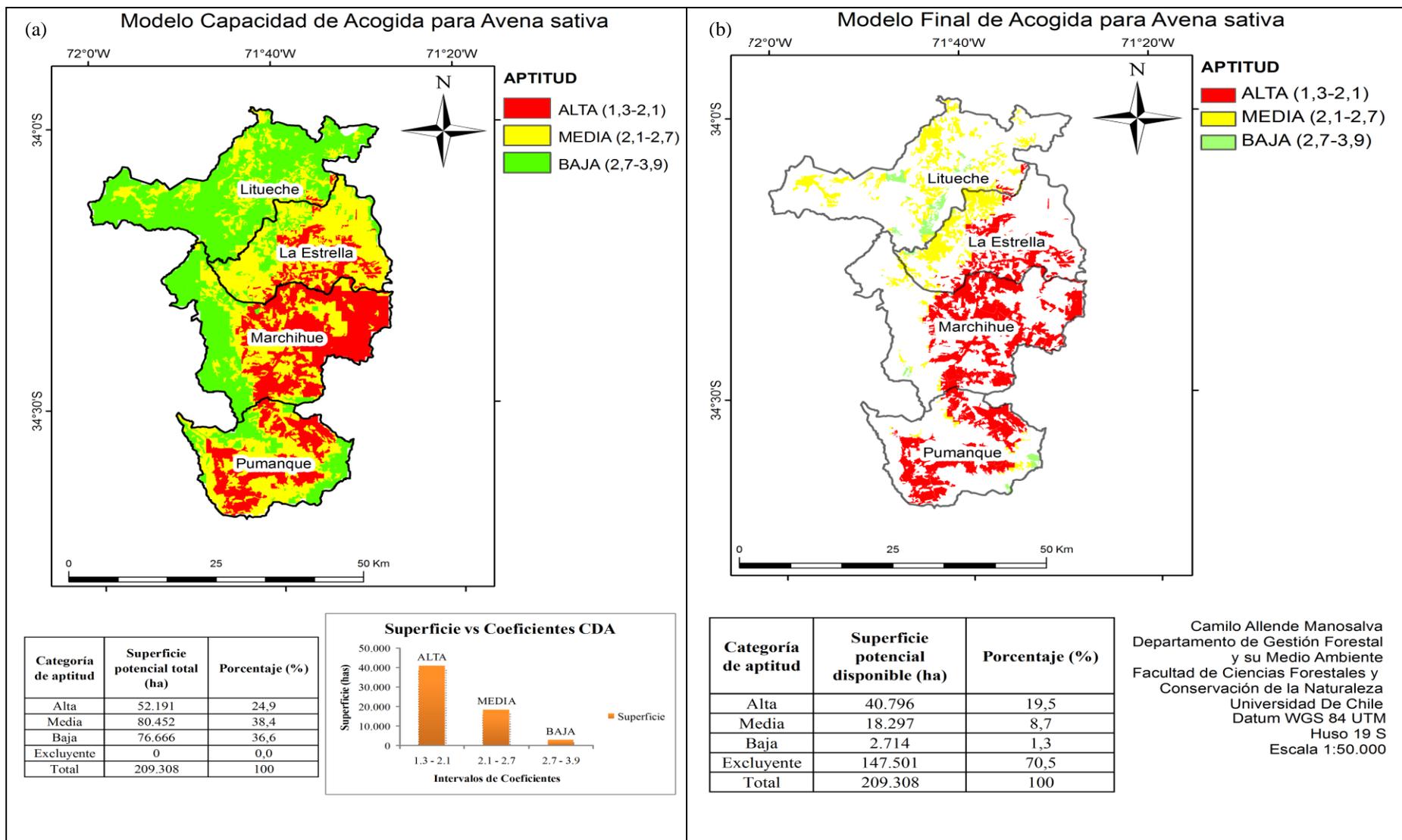


Figura 8. Modelos de capacidad de acogida (CDA) de *Avena sativa*.

4.4 Propuesta de uso de suelo

En consideración al esquema propuesto en la figura 3, se efectúa el cálculo de la propuesta de uso del suelo, mediante la sobreposición de valores encontrados para cada especie y criterio ambiental (valores mínimos y máximos), los cuales fueron determinados mediante sobreposiciones sucesivas utilizando el Sistema de Información Geográfica, en modelo *raster*. Posteriormente, con los modelos de capacidad de acogida obtenidos para cada una de las especies propuestas en el estudio, se comparó los puntajes de los modelos para así jerarquizar una especie sobre la otra para el área de estudio. Debido a la elección de un solo valor mínimo de pixel, en esta comparación de puntajes no hubo problemas de sobre conteo de superficie. Finalmente, este modelo de Propuesta de uso de suelo- luego de la comparación de pixeles- presentó los valores que van desde 1,0358 como mínimo hasta 3,2616 como máximo para los pixeles de dicho modelo. A continuación se presenta el cuadro 28 que resume la jerarquización y los puntajes asignados a las variables utilizadas para cada especie propuesta en este estudio.

Cuadro 28. Jerarquización de variables para cada especie.

Jerarquización de variables por especie					
Especie/ Variable	<i>Trifolium Michelanium</i>	<i>Trifolium subterraneum</i>	<i>Phalaris aquatica</i>	<i>Medicago polymorpha</i>	<i>Avena sativa</i>
Pp anual (mm)	0,2071	0,1410	0,1043	0,1432	0,2011
T° min.	0,0396	0,1580	0,0619	0,2037	0,1206
T° máx.	0,0324	0,1954	0,0547	0,1124	0,3253
Textura	0,2023	0,3020	0,2116	0,0238	0,0967
Prof. Suelo	0,0521	0,0503	0,3244	0,0249	0,1232
Drenaje suelo	0,2400	0,0752	0,1706	0,3362	0,0562
Altitud	0,1142	0,0239	0,0159	0,0625	0,0347
Pendiente	0,0527	0,0379	0,0314	0,0487	0,0271
Exposición	0,0596	0,0163	0,0252	0,0446	0,0151
Total	1	1	1	1	1

El cuadro anterior muestra los valores obtenidos para cada variable en las cinco especies propuestas en este estudio. Se observa que existe una tendencia en las especies propuestas a presentar un mayor peso para la Variable Textura y Drenaje del suelo con valores como 0,3020 para la especie *Trifolium subterraneum* y el valor 0,3362 para la especie *Medicago polymorpha* respectivamente. También se aprecia que la variable Profundidad del suelo presenta valores de jerarquía alto para *Phalaris aquatica* con 0,3244 y para la especie *Avena sativa* con un valor de 0,1232. Con esto es posible inferir la importancia de las variables de tipo edáficas presentadas en el estudio, debido a la necesidad de las especies forrajeras de desarrollarse en suelos aptos para su óptimo establecimiento.

Por otra parte, las variables que presentan un menor peso o jerarquía tienen la tendencia de ser variables de tipo orográficas (Altitud, Pendiente y Exposición). En la especie *Avena sativa*, la variable Exposición presenta un valor de 0,0151 y para la especie *Trifolium subterraneum* un valor de 0,0163. Situación similar ocurre con la variable Altitud, que en la

especie *Phalaris aquatica* que presenta un valor de 0,0159. Mientras que la pendiente en la especie *Avena sativa* presenta una jerarquía con un valor de 0,0271. Este relación de puede explicar por los rangos acotados que presentan estas variables en el área de estudio. Esta área presenta una condición de exposición plana, con una pendiente no mayor al 15% y una altitud que no supera los 400 msnmm. Estas condiciones se ajustan a los óptimos requeridos por las especies forrajeras propuestas en el estudio.

Luego de realizada la jerarquización de las especies propuestas en el estudio se obtiene el modelo con la propuesta de uso de suelo para el área de estudio, la cual muestra las superficies más acordes para el establecimiento de las especies forrajeras, en definitiva qué sitio del área de estudio presenta las mejores condiciones para cada una de las especies propuestas en este estudio.

El Cuadro 29 muestra la superficie potencial total que abarcan cada una de las especies, luego de realizado el modelo de capacidad de acogida para cada una de las especies. Se observa que la especie que presenta una mayor superficie es *Phalaris aquatica* con 75.508 ha correspondiente a un 36,1% de la superficie total del área de estudio. Con una área de 45.792 ha la sigue la especie *Trifolium michelianum*, correspondiente a un 21,9% del área de estudio. Mientras que la especie que menos superficie potencial total obtuvo fue *Trifolium subterraneum* con 11.140 ha correspondiente al 5,3% del total del área de estudio.

Cuadro 29. Superficie potencial total para propuesta de uso de suelo.

Especie	Superficie Potencial Total (ha)	Porcentaje (%)
<i>Avena sativa</i>	42.118	20,1
<i>Phalaris aquatica</i>	75.508	36,1
<i>Medicago polymorpha</i>	34.751	16,6
<i>Trifolium michelianum</i>	45.791	21,9
<i>Trifolium subterraneum</i>	11.140	5,3
Total	209.308	100,0

Finalmente, para graficar la superficie potencial disponible para las especies forrajeras a establecer, es necesario realizar el modelo de capacidad de acogida final, en el cual consideraran las áreas excluyentes del estudio ya mencionadas. Estas corresponden a 147.502 ha de superficie, equivalente al 70,5% de la superficie total. Una vez realizado esto (Figura 9b), se constató que la especie con mayor superficie disponible para el establecimiento es *Avena sativa* con 21.512 ha disponibles, correspondiente al 10,3% del total del área de estudio.

Además, se aprecia la especie *Trifolium michelianum* no presenta área disponible para su establecimiento, mientras que *Trifolium subterraneum* presenta una superficie de 2.160 ha correspondiente al 1% del total del área de estudio. De esto se infiere, que las especies *Avena sativa*, *Phalaris aquatica* y *Medicago polymorpha* poseen una mejor puntuación y por lo tanto jerarquización, es decir se adaptan mejor a las condiciones ambientales presentes en el área de estudio; por lo que su establecimiento tiene mejores posibilidades de

éxito que las especies *Trifolium michelianum* y *Trifolium subterraneum*. Esto no quiere decir que estas especies no tendrán éxito en su establecimiento, sino que existen especies que se adaptan mejor a estas condiciones debido a sus requerimientos bioclimáticos.

Cuadro 30. Superficie potencial disponible para propuesta de uso de suelo.

Especie	Superficie Potencial disponible (ha)	Porcentaje (%)
<i>Avena sativa</i>	21.512	10,3
<i>Phalaris aquatica</i>	21.195	10,1
<i>Medicago polymorpha</i>	16.941	8,1
<i>Trifolium michelianum</i>	0	0,0
<i>Trifolium subterraneum</i>	2.160	1,0
Excluyente	147.501	70,5
Total	209.308	100,0

En el cuadro (Cuadro 31) se realiza un análisis más detallado de la propuesta de uso de suelo, en la cual se muestra la superficie de cada especie propuesta por comuna. Aquí se observa- como ya fue mencionado- que la especie *Trifolium michelianum* no presenta superficie para su establecimiento en ninguna de las comunas presentes en el área de estudio. En la comuna de Pumanque se encuentra la mayor superficie para una especie, correspondiente a *Avena sativa* con 12.662 ha. Esta información se contrasta con la nula presencia de la misma especie en la comuna de Litueche (Cuadro 31). Otra especie con amplia superficie para su establecimiento es *Medicago polymorpha* con 11.014 ha en la comuna de Marchihue, esta misma especie no posee superficie apta en la comuna de Pumanque. La especie *Phalaris aquatica* posee un área disponible para su establecimiento en todas la comunas del área de estudio, siendo la mayor en La Estrella con 9.806 ha de superficie disponible, mientras que la comuna de Marchihue, es la que presenta la menor área disponible para este especie con 743 ha de superficie.

Finalmente, la especie *Trifolium subterraneum* presenta una superficie de establecimiento correspondiente a 2.135 ha, la cual se distribuye solamente en la comuna de Litueche y sin poseer disponible superficie para su establecimiento en alguna otra comuna del área de estudio.

Cuadro 31. Superficie por comuna para uso de suelo.

Comuna/Especie	Litueche	La Estrella	Marchihue	Pumanque	Total
<i>Avena sativa</i>	0	143	8.707	12.662	21.512
<i>Phalaris aquatica</i>	8.945	9.806	743	1.724	21.218
<i>Medicago polymorpha</i>	1.678	4.250	11.014	0	16.942
<i>Trifolium michelianum</i>	0	0	0	0	0
<i>Trifolium subterraneum</i>	2.135	0	0	0	2.135
Total	12.758	14.199	20.464	14.386	61.807

A continuación se muestran las figuras 9a y figura 9b, con la propuesta de uso de suelo y la Capacidad de Acogida para esta propuesta.

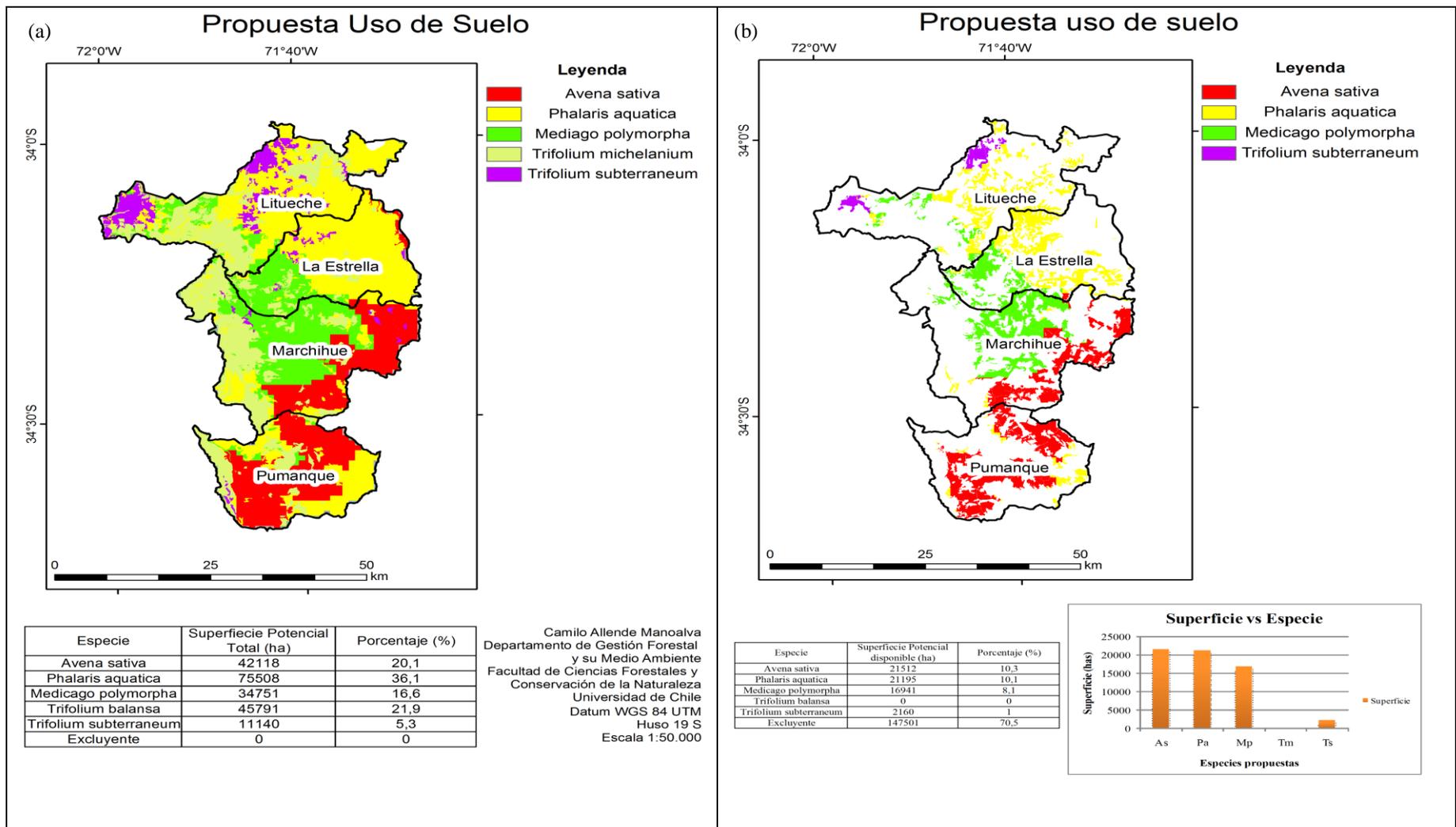


Figura 9. Mapa de propuesta de uso de suelo.

4.5. Discusión final

Un análisis general de la visión en terreno de los resultados aquí obtenidos, indica que en la práctica las áreas calificadas con alta capacidad de acogida para los distintos tipos de uso del suelo, corresponden prácticamente un 60% a terrenos que han sido utilizados tradicionalmente para la ganadería y cultivos agrícolas. Un aspecto importante a considerar en este tipo de estudios es la posibilidad de encontrar conflictos o competencia por usos del suelo que en muchos casos podrían ser incompatibles. Sobre la base de estos resultados, no existe tal conflicto, por cuanto la propuesta territorial de estas especies forrajeras para fines silvopastoriles, estarían localizándose en áreas ya degradadas por el sobrepastoreo, incluso con la opción de recuperar terrenos degradados por la erosión.

Este estudio representa un avance en la Gestión del Territorio en el secano interior de la Región de O'Higgins. Otorga una herramienta para la economía familiar campesina de esta zona de estudio, a través de una Planificación Participativa lograr aumentar los ingresos; otorgando un beneficio al conjunto de las familias insertas en dicha área de estudio. Si bien considera solo variables de tipo físico, la utilización del método de EMC compensa el hecho de no utilizar variables económicas. Además, el método de las jerarquías analíticas es una herramienta útil para la toma de decisiones con múltiples variables, otorgando mayor precisión a los estudios de esta índole. Esto debido a que identifica en los modelos de capacidad de acogida las áreas más interesantes para el establecimiento de especies forrajeras con fines silvopastoriles.

Mediante la aplicación de procesos de sobreposición de criterios territoriales para cada especie analizada, fue posible construir una metodología que permite identificar los umbrales para cada variable territorial al momento de establecer el análisis multicriterio. Este método es especialmente novedoso y útil pues considera cada especie en forma individual, no mezclándose los criterios entre especies al momento de construir los mapas integrados de Propuestas de Usos de Suelo.

La propuesta de uso de suelo través del modelo de capacidad de acogida permite conocer la distribución, superficie y aptitud de los terrenos para el establecimiento con cada especie en particular. Sin embargo, estos modelos representan abstracciones de la realidad.

5. CONCLUSIONES

Existe una amplia variedad de especies forrajeras factibles de ser utilizadas en el área de estudio, por lo que, es necesario saber el objetivo del establecimiento junto con los requerimientos edafoclimáticos de las especies para obtener resultados positivos.

Del total de la superficie del área de estudio, se identificaron 61.808 ha de superficie disponible para el establecimiento de las especies forrajeras propuestas, correspondiente al 29,5% de la superficie total de dicha área.

La superficie correspondiente a áreas excluyentes corresponde a 147.501 ha equivalentes al 70,5% de la superficie total.

Se identificó a la especie *Phalaris aquatica* como la más apta para el establecimiento en la zona de estudio con una superficie de 57.793 ha correspondiente al 27,6% del total del área de estudio, debido a su buena respuesta ante las condiciones ambientales de dicha zona.

Trifolium michelianum se identificó como la especie menos recomendable para su establecimiento dado que no presentó áreas con categoría de aptitud “Alta” en el área de estudio, considerando solo las variables físicas utilizadas en dicho estudio.

En la propuesta de uso de suelo, la especie que presentó mayor superficie para su establecimiento es *Avena sativa* con una superficie de 21.512 ha correspondiente al 10,3% de la superficie total, debido a la ventaja que tiene de adaptarse a las distintas condiciones presentes en la zona de estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

ACHINELLI M., PERUCCA R. Y LIGIER H. 2011. Evaluación multicriterio para la zonificación del servicio ecosistémico en el macrosistema Iberá: amortiguación hídrica. En: Laterra P, Jobbáby E y Paruelo J (eds) Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. pp: 485-509.

AGRIMED, CENTRO DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE 2008. Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático. Capítulo IV, estudio final. [En línea] <http://www.sinia.cl/1292/articles-46115_capituloIV_informefinal.pdf> [Consulta: 09 de Julio de 2015].

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.

ARMIN, M., Y ABDOLRASSOUL, M. 2010. A Fuzzy Multi-Criteria Assessment of Land Suitability for Land Plantation with *Eucalyptus grandis*. Journal of Applied Biological Sciences, 4(3), 47-53 pp.

AZÓCAR, P. 2006. Praderas de la zona forrajera de Secano Norte. Publicación miscelánea N° 32. Universidad de Chile, Departamento de Producción Animal. Pp 12-25.

BENTRUP, G., Y LEININGER, T. 2002. Agroforestry: mapping the way with GIS. Journal of Soil and Water Conservation, 57(6), 148A-153A pp.

BREYTENBACH, A. 2011. GIS-based land suitability assessment and allocation decision-making in a degraded rural environment. Doctoral dissertation, Stellenbosch: University of Stellenbosch). 134 pp.

CARRASCO J., SQUELLA F., RIQUELME J., HIRZEL J. Y URIBE H., 2012. Técnicas de conservación de suelos, agua, y vegetación. 210 p. Serie Actas N° 48. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Rayentué, Rengo, Chile.

CAZANGA R., LEIVA C. Y RETAMAL M. 2010. Mapas de zonificación de aptitud productiva del territorio nacional de especies vegetales con potencial de producción de biocombustibles. Oficina de estudio y políticas agrarias (ODEPA). 235 pp.

CHAIPONG, S., Y WACHRINRAT, C. 2014. Agroforestry Indices Modeling for Sustainable Land Use Classification in Huai Raeng-Khlong Peed Watershed, Trat Province, Thailand. 548 – 559 pp.

DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE, 2007. Glosario meteorológico. [En línea] <<http://www.meteochile.gob.cl/inicio.php>> [Fecha de consulta: 18 de Agosto 2015].

DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA Y CENSAL, 2007. Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. [En línea] <<http://www.ineohiggins.cl/archivos%5Cfiles%5Cpdf%5CDivisionPoliticoAdministrativa%5Cohiggins.pdf>> [Consulta: 15 de Diciembre 2014].

ELLIS, A., BENTRUP, G., Y SCHOENEBERGER, M. 2004. Computer-based tools for decision support in agroforestry: Current state and future needs. USDA Forest Service / UNL Faculty Publications. Paper 4. 401-421 pp.

GARFIAS, R., CASTILLO, M. Y YÁÑEZ, A. 2012. Método Fuzzy para la identificación de áreas potenciales para la producción de leña. Aplicación de caso: Comuna de Empedrado, región del Maule, Chile. Memoria de Título, Universidad de Chile. 61 pp.

GÓMEZ, M., Y BARREDO, J. 2006. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio: en la ordenación del territorio. Ra-Ma, Madrid. 278p.

KARAMI, E., ARIAPOUR, A., Y MEHRABI, H. R. 2014. Modeling the Limitative Factors of Forage Production Suitability Using GIS (Case Study: Aliabad Rangelands, Lorestan, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 3(4), 331-341 pp.

KHOI, D. D., Y MURAYAMA, Y. 2010. Delineation of suitable cropland areas using a GIS based multi-criteria evaluation approach in the Tam Dao National Park region, Vietnam. *Sustainability*, 2(7), 2024-2043 pp.

KOPATLIE, J., Y CORNELIO, D. L. 2013. GIS analysis of land suitability for commercial tree species in Papua New Guinea. 35-40 pp.

KOSCHKE, L., FUERST, C., FRANK, S., Y MAKESCHIN, F. 2012. A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological Indicators*, 21, 54-66 pp.

LASKAR, A. 2003. Integrating GIS and Multi criteria decision making techniques for Land Resource Planning. *International Institute for Aerospace survey and Earth Sciences, Enschede, NL*. 71 pp.

MARTINEZ, E., FUENTES, J. y ACEVEDO, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. [En línea] <<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>> [Fecha Consulta: 06 de Julio 2015].

MENDOZA, G. Y MARTINS, H. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest ecology and management*, 230(1). 22 pp.

MISHRA, R. Y AGARWAL, R. 2015. Application of information technology and GIS in agroforestry. 215-223 pp.

MODREGO, F., RAMÍREZ, E., YÁNEZ, R., ACUÑA, D., RAMÍREZ, M., JARA, E. 2011. “Dinámicas territoriales del Secano Interior de la Región de O’Higgins: Las fronteras de la transformación agroindustrial”. Documento de Trabajo N° 80. Programa Dinámicas Territoriales Rurales. Rimisp, Santiago, Chile.

REINER, Y., DE FILIPPI, R., HERZOG, F., PALMA, J. 2007. Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecological Engineering*, 29(4), 401-418.

RODRIGUEZ, D. 1991. Praderas de secano. Día de Campo, producción animal en secano. Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA). Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago. Serie La Platina N°29 pp 22-29.

ROMERO, C 2002. Metodología para la planificación y desarrollo sostenible en espacios naturales protegidos europeos: las zonas de especial protección para las aves. *GeoFocus* (Artículos), n° 2, p. 1-32. ISSN: 1578- 5157.

ROMERO, Y. 1996. Especies y mezclas forrajeras. Publicación miscelánea. Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA). 8 pp.

RUIZ C. (Ed.). 2011. Recomendación de praderas para sistemas silvopastoriles en la Zona Centro Sur de Chile. Serie Actas N° 46. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. 59 pp.

RUIZ, I. 1996. Praderas para Chile. Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA).

RUIZ, J. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México: SAGAR. 89-172 pp.

SERVICIO AGRICOLA GANADERO (SAG), 2001. Pauta para estudios de suelo. División de protección de los Recursos Naturales Renovables. Santiago. 21pp.

SILVA, M Y LOZANO, U. 1982. Descripción de las principales especies forrajeras entre la zona mediterránea árida y la zona de las lluvias. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Departamento de Producción Animal. Publicación Docente, N°9, p. 134.

SQUELLA, F. Y ORMEÑO, J. 1996. Las bondades del Falaris. Ganadería y praderas, forrajeras. Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA). Centro Regional de Regional La Platina. Pp. 32-35.

TOSKANO, G. 2005. El proceso de análisis jerárquico (ahp) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Tesis De grado, universidad nacional mayor de san marcos, Perú. 81 pp.

UNDURRAGA P., RODRÍGUEZ N., YOSHIKAWA S. Y CLARET M. 2004. Antecedentes generales de los suelos del secano interior y fertilidad de suelos de la comuna de Ninhue. En: RIQUELMA J., PEREZ C. Y YOSHIKAWA S. (Ed.). Manejo y practicas conservacionistas del suelo para un desarrollo sustentable del secano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. Pp 1-37.