

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE PREGRADO**

**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA Y PRODUCTIVA PARA EL  
ESTABLECIMIENTO DE ÁREAS POTENCIALES DE CULTIVOS  
BIOENERGÉTICOS DE DIENTE DE LEÓN (TARAXACUM) EN CHILE.**

**MARCELO HERNÁN MANZUR ROJAS**

**Santiago, Chile.**

**2014**

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE PREGRADO**

**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA Y PRODUCTIVA PARA EL  
ESTABLECIMIENTO DE ÁREAS POTENCIALES DE CULTIVOS  
BIOENERGÉTICOS DE DIENTE DE LEÓN (TARAXACUM) EN CHILE.**

**PRODUCTIVE AND AGROECOLOGICAL ZONING FOR THE  
ESTABLISHMENT OF POTENTIAL AREAS FOR DANDELION (TARAXACUM)  
AS BIOENERGETIC CROPS IN CHILE.**

**MARCELO HERNÁN MANZUR ROJAS**

**Santiago, Chile.**

**2014**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

ESCUELA DE PREGRADO

**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA Y PRODUCTIVA PARA EL  
ESTABLECIMIENTO DE ÁREAS POTENCIALES DE CULTIVOS DE DIENTE  
DE LEÓN (TARAXACUM) EN CHILE.**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

MARCELO HERNÁN MANZUR ROJAS

	<b>Calificaciones</b>
<b>Profesor Guía</b>	
Manual Paneque C. Bioquímico, Dr.	7,0
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Juan Manuel Uribe Ingeniero Agrónomo	6,7
Rodrigo Fuster Ingeniero Agrónomo, M.S.	6,0

**Santiago, Chile.**

**2014**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a aquellos que hicieron esto posible: mis Padres, Marcelo y Susana, quienes a punta de esfuerzo y ejemplo, dieron todo para que pudiese estudiar en la Universidad. En más de una ocasión hubo frustraciones y peleas, pero es en esta instancia que se ven los frutos de la constante dedicación y sacrificio que realizaron, para convertirme en profesional. Quiero agradecer a mis hermanas Isidora y Catalina, por siempre darme su apoyo en el diario vivir y por motivarme a terminar este proceso tan importante.

También agradecer a mis amigos de la infancia Sebastián y Nakia, por siempre darme ánimos de manera incondicional y por estar presentes en las vivencias que compartimos desde pequeños, ustedes son parte de la persona en la que me he convertido y creo que hallé el verdadero significado de la amistad gracias a ustedes.

Les doy las gracias a todos mis amigos y compañeros con los que conviví durante estos años universitarios, por los buenos momentos, las peleas y los sentimientos compartidos. Cada uno de esos instantes en este trayecto para llegar a ser un profesional, ayudaron a formar mi carácter y a ver las cosas desde un punto de vista nuevo y distinto. Especial gracias a mis amigos Diego Figueroa y Javier Lopatín, con los que compartí estos años universitarios, amigos que me acompañaron desde el comienzo de esta vivencia y que me apoyaron durante los momentos críticos, pero que también estuvieron ahí para disfrutar de gratos momentos y excelentes recuerdos. Quiero hacer mención a mis amigos Andrés, Valentina, Romina, Sofía, Ahuvit, Christian, Joaquín, David, Pilar y Nicolás por los gratos momentos que pasamos en la Universidad. Me llevo enormes recuerdos y los mejores amigos, por eso, infinitas gracias a todos.

Mis más profundos agradecimientos al profesor Manuel Paneque por haberme dado la oportunidad de participar desde hace tantos años con él, tanto en docencia como en este proyecto de memoria. Por su buena disposición y carisma, que entregaron amabilidad en todo momento y estrictez cuando fue necesario. Al profesor Juan Manuel Uribe, por su ayuda en la realización de esta memoria y por la confianza puesta en mi persona desde mi proceso formativo en la práctica-I, gracias a ese apoyo logré perseverar en lograr mi objetivo de obtener el título de IRNR. Al profesor Óscar Seguel por su ayuda para el logro de los objetivos de esta memoria.

## INDICE

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS</b> .....	<b>7</b>
ACRÓNIMOS .....	7
ABREVIATURAS .....	8
<b>RESUMEN</b> .....	<b>10</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<i>Objetivo general</i> .....	13
<i>Objetivos específicos</i> .....	13
<b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>14</b>
SITUACIÓN ENERGÉTICA NACIONAL.....	14
CULTIVOS ENERGÉTICOS .....	15
ANTECEDENTES GENERALES SOBRE ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA .....	16
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>20</b>
ÁREA DE ESTUDIO .....	20
MATERIALES .....	21
ESPECIES EN ESTUDIO.....	21
<i>Diente de León (Taraxacum)</i> .....	21
<i>Diente de León Común (Taraxacum officinale)</i> .....	22
MÉTODO.....	28
<i>Definición de variables agroecológicas y productivas del Diente de León</i> .....	28
<i>Zonificación agroecológica para el establecimiento de Diente de León</i> .....	29
<i>Zonificación Productiva del área de estudio para determinar la aptitud productiva para Taraxacum officinale y kok-saghyz.</i> .....	43
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>45</b>
VARIABLES AGROECOLÓGICAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS ESPECIES DIENTE DE LEÓN COMÚN Y DIENTE DE LEÓN RUSO. ....	45
<i>Taraxacum officinale</i> .....	45
<i>Taraxacum kok-saghyz</i> .....	45
ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA DETERMINAR LA SUPERFICIE POTENCIAL DE ESTABLECIMIENTO Y DE APTITUD PRODUCTIVA PARA <i>TARAXACUM OFFICINALE</i> Y <i>KOK-SAGHYZ</i> .....	46
<i>Clasificación Individual de Variables</i> .....	46
CARTOGRAFÍAS DE SÍNTESIS DE ÁREAS POTENCIALES .....	54

<i>Zonificación de Aptitud Hídrica</i> .....	55
<i>Zonificación de Aptitud Térmica</i> .....	56
<i>Zonificación de Aptitud Climática</i> .....	58
<i>Zonificación de Aptitud Geomorfológica</i> .....	60
<i>Zonificación de Aptitud Agroecológica</i> .....	62
CARTOGRAFÍA DE SÍNTESIS DE ZONIFICACIÓN PRODUCTIVA.....	65
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>71</b>
<b>APÉNDICES</b> .....	<b>81</b>
APÉNDICE I. BASE DE DATOS DE LOCALIDADES DE REFERENCIA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE ADAPTABILIDAD DEL CULTIVO DE <i>TARAXACUM OFFICINALE</i> Y <i>KOK-SAGHYZ</i> . .....	81
APÉNDICE II. PONDERACIONES Y CÓDIGOS OBTENIDOS POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.....	83
<b>ANEXOS</b> .....	<b>89</b>
ANEXO I. CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ÓRDENES DE SUELOS SEGÚN LA USDA PARA SU IDENTIFICACIÓN.....	89
ANEXO II. ZONAS DE RUSTICIDAD DE LA USDA.....	90

## ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro N°1. Proyectos de ZAE/SIG a nivel global y local en Asia y África
- Cuadro N°2. Clasificación taxonómica para Diente de León común y Diente de León Ruso.
- Cuadro N°3. Clasificación de aptitud para la temperatura media mínima en el mes de Julio
- Cuadro N°4. Clasificación de aptitud para la temperatura media máxima en el mes de Enero
- Cuadro N°5. Clasificación de aptitud para la Precipitación Media Anual
- Cuadro N°6. Clasificación de aptitud para la Evapotranspiración Media Mensual en el mes de Julio
- Cuadro N°7. Clasificación de aptitud para la Evapotranspiración Media Mensual en el mes de Enero
- Cuadro N°8. Clasificación de aptitud para la Pendiente
- Cuadro N°9. Clasificación de aptitud para la Exposición
- Cuadro N°10. Clasificación de aptitud para la Altitud
- Cuadro N°11. Clasificación de aptitud para los tipos de suelo en base a los grandes grupos.
- Cuadro N°12. Clasificación de aptitud de suelos en base a los usos
- Cuadro N°13. Reclasificación de valores de aptitud en base a ajuste
- Cuadro N°14. Nomenclatura sub-códigos de las variables
- Cuadro N°15. Nivel de Restricción para los sub-códigos
- Cuadro N°16. Escala para la clasificación de aptitudes
- Cuadro N°17. Escala para la clasificación de aptitudes
- Cuadro N°18. Codificación de Aptitudes de síntesis para zonificación agroecológica
- Cuadro N°19. Cuadro comparativo de variables entre Diente de león común (*T. officinale*) y Diente de león ruso (*T. kok-saghyz*).
- Cuadro A1. Localidades con registros climáticos para *Taraxacum officinale*.
- Cuadro A2. Localidades con registros climáticos para *Taraxacum kok-saghyz*.
- Cuadro A3. Ponderaciones para aptitud geomorfológica

Cuadro A4. Ponderaciones obtenidas para aptitud hídrica.

Cuadro A5. Ponderaciones obtenidas para la aptitud Térmica.

Cuadro A6. Ponderaciones obtenidas para la aptitud climática.

Cuadro A7. Ponderaciones obtenidas para la aptitud Geológica.

Cuadro A8. Ponderaciones obtenidas para la aptitud territorial.

Cuadro A9. Ponderaciones obtenidas para la aptitud Agroecológica.

Cuadro A10. Clasificación de órdenes de suelo y descripción.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, dividido en las 15 regiones socio-políticas que componen el territorio continental de la República de Chile.

Figura 2. Estructuras vegetativas y reproductivas de *Taraxacum officinale*: (A) Aspecto general de la planta; (B) Corte longitudinal de la cabeza de la planta: a) Flores liguladas, b) Brácteas, c) Receptáculo; (C) Flor; (D) Fruto: d) Vilano, e) Aquenio.

Figura 3. Distribución global aproximada de *Taraxacum officinale*.

Figura 4. Estructuras vegetativas y reproductivas de *Taraxacum kok-saghyz*: (1) Aspecto general de la planta; (2-3) Brácteas; (4) Aquenio.

Figura 5. Distribución global aproximada de *Taraxacum kok-saghyz*.

Figura 6. Agrupación de variables en categorías generales para zonificación agroecológica

Figura 7. Diagrama de ordenamiento de variables para clasificación de aptitud.

Figura 8. Diagrama de Flujo genérico, para la determinación de aptitudes de tierra, en base al modelo de evaluación establecido.

Figura 9. Mapa de Aptitud Altitudinal para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 10. Mapa de Aptitud de Exposición para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 11. Mapa de Aptitud de Pendientes para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 12. Mapa de Aptitudes térmicas: (A) Mapa de Aptitud de Temperatura Media Máxima en Enero; y (B) Mapa de Aptitud de Temperatura Media Mínima en julio para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 13. Mapa de Aptitudes de variables hídricas: Mapa de aptitud de Precipitación media Anual (A); y Mapa de Aptitud de Evapotranspiración (B) para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 14. Mapa de Aptitud Geológica para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 15. Mapa de Aptitud Territorial para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 16. Mapa de Aptitud térmica para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 17. Mapa de Aptitud climática para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 18. Mapa de Aptitud Geomorfológica para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.

Figura 19. Mapa de Aptitud Agroecológica para el establecimiento de *T. officinale* y *T. koksaghyz*.

Figura 20. Mapa de Aptitud productiva para el establecimiento de *T. officinale* y *T. koksaghyz*, utilizando el modelo de zonificación productiva en áreas de secano.

Figura 21. Mapa de Aptitud productiva para el establecimiento de *T. officinale* y *T. koksaghyz*, acotado a las áreas disponibles dentro del territorio nacional y que tienen condiciones agroecológicas para su desarrollo.

## ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

### Acrónimos

ASPP	: Área Silvestre Protegida Privada
CNE	: Comisión Nacional de Energía
CONAF	: Corporación Nacional Forestal
CONICET	: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina.
DEM	: Modelo Digital de Elevación, Digital Elevation Model (en inglés)
DOE	: Departamento de Energía; Department Of Energy of the United States of America (en inglés)
ETM	: Evapotranspiración Media Mensual
EuDASM	: Archivo Digital Europeo de Mapas de Suelo del Mundo, European Digital Archive on Soil Maps of the world (en inglés)
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación; Food and Agriculture Organization (en inglés)
GEI	: Gases de Efecto Invernadero
GHC	: Global Healing Center (en inglés)
INIA	: Instituto de Investigaciones Agropecuarias
JEA	: Jardineros En Acción
MCE/EMC	: Evaluación Multi-Criterio; Multi Criteria Evaluation (en inglés)
MDE	: Modelo Digital de Elevación; Digital Elevation Model (en inglés)
MOBOT	: Jardín Botánico de Missouri, Missouri Botanical Garden (en inglés)
PFAF	: Plantas para un Futuro, Plants For A Future (en inglés)
PPA	: Precipitación Media Anual
ODEPA	: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
ODITE	: Observatorio de Dinámica Territorial.
SAG	: Servicio Agrícola y Ganadero
SIG/GIS	: Sistemas de Información Geográfica; Geographic Information Systems (en inglés)

SNASPE	: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado
SPC	: Sitios Prioritarios para la Conservación
SRTM	: Misión Topográfica Radar Shuttle, Shuttle Radar Topography Mission (en inglés)
SUBDERE	: Subsecretaría de Desarrollo Regional
TMA	: Temperatura Media Anual
UBC	: Universidad de British Columbia; University of British Columbia (en inglés)
USDA	: United States Department of Agriculture (en inglés)
USGS	: United States Geological Survey (en inglés)
UTM	: Universal Transversal de Mercator
WGS84	: Sistema Geodésico Mundial 1984; World Geodetic System 1984 (en inglés)
ZAE	: Zonificación Agro-Ecológica

### Abreviaturas

°	: Grados (Orientación)
%	: Porcentaje
°C	: Grados Celsius
cm	: Centímetros
d	: día
ha	: Hectárea
EURS	: Eficiencia de uso de la radiación solar (kg ms/ha//MJ/m <sup>2</sup> *d)
Km	: Kilómetro
Km <sup>2</sup>	: Kilómetro Cuadrado
m <sup>2</sup>	: Metro cuadrado
MJ (m <sup>2</sup> d) <sup>-1</sup>	: Mega Joule en un metro cuadrado por día
mm	: Milímetro

$\text{mm año}^{-1}$	: Milímetro por año
$\text{mm mes}^{-1}$	: Milímetro por mes
MSNM	: Metros Sobre el Nivel del Mar

## RESUMEN

Los combustibles fósiles son fuentes de energía que provienen de los restos de plantas y animales. Se necesitan millones de años para que se formen y según la Agencia Internacional de Energía, el 86% del consumo mundial de energía proviene del petróleo y a medida que los países se industrializan y sus poblaciones aumentan, también crece el consumo de energía. El agotamiento de las fuentes tradicionales de combustibles fósiles ha puesto a la mayoría de los países a encontrar soluciones en energías alternativas y sostenibles, que provengan de fuentes renovables, de bajo impacto ambiental y que reduzcan las emisiones de efecto invernadero.

En las últimas décadas, la economía chilena ha tenido un significativo incremento del consumo de energía. El país es dependiente de las importaciones y el uso de la energía es menos eficiente que en el resto del mundo. Como consecuencia, el costo de la energía es alto en comparación internacional, por lo que es necesario buscar formas de diversificar la matriz energética, y reducir la dependencia de Chile de combustibles fósiles importados, para asegurar su estabilidad económica y reducir los impactos ambientales asociados al consumo de estos.

El objetivo y propósito principal de esta investigación fue identificar áreas con potencial para el establecimiento de plantaciones de Diente de León común y de Diente de León Ruso con fines bioenergéticos en Chile. La propuesta se basa en la selección y categorización de variables climáticas y edáficas, la construcción del modelo cartográfico y la síntesis cartográfica. La identificación de las potenciales áreas de establecimiento fue analizada utilizando una metodología de álgebra de mapas y combinatoria de las variables agroclimáticas. Los rangos y criterios de adaptabilidad identificados se evaluaron basados en una escala de clasificación que da cuenta de zonas con diferente grado de adaptabilidad y zonas con distintos niveles de restricción relacionadas a temperatura, disponibilidad hídrica y/o suelo.

Se identificaron 15.539.813 ha con potencial para el establecimiento del Diente de León en Chile, las que se clasifican en: 6.392.014,2 ha Aptas, 4.540.562,5 ha Optimas y 4.607.236,4 ha Marginalmente Aptas. La zona costera de la V Región de Valparaíso, es la que muestra la mayor potencialidad para el establecimiento de esta especie, con aptitud térmica e hídrica óptima, y suelos ricos materia orgánica. Los resultados generados constituyen una aproximación para identificar sitios de interés para el desarrollo del Diente de León como especie energética.

### Palabras Clave

Energías renovables, Sistemas de Información Geográficos (SIG), Zonificación agroecológica, Diente de León, cultivos energéticos, Biocombustibles.

## **ABSTRACT**

Fossil fuels are an energy source that comes from the remains of plants and animals. It takes millions of years for them to form and according to the International Energy Agency, about 86% of global energy consumption comes from oil, and as countries industrialize and population increases, so does the power consumption. The depletion of traditional fossil fuels sources has made most countries to look for solutions in alternative and sustainable energy coming from renewable sources, with low environmental impact and minimal greenhouse emissions.

In recent decades, Chile's economy has had a significant increase in power consumption. The country is heavily dependent on imports and the use of energy is less efficient compared to the rest of the world. As a result, the energy cost is high in contrast with other nations, so it is necessary to find ways to diversify energy sources and reduce dependence on imported fossil fuels of the country, to ensure economic stability and reduce the environmental impacts associated with this fuel consumption.

The intents and main objective of this research was to identify potential areas for the establishment of plantation for common Dandelion and Russian Dandelion with bioenergy purposes in Chile. The proposal is based on the selection and categorization of climatic and soil variables, construction of a cartographic model and a cartographic synthesis. Identifying the potential areas of establishment was analyzed using a methodology of mapping algebra and combination of agroclimatic parameters. Ranges and adaptability criteria identified were evaluated based on a rating scale that show areas with different scales of adaptability and areas with different levels of restriction related to temperature, water availability and / or soil .

15.539.813 ha were identified with potential for the establishment of Dandelion in Chile, which are classified as suitable with 6.392.014,2 ha, optimal with 4.540.562,5 ha and marginally suitable 4.607.236,4 ha. The coastal area of the V Region of Valparaiso is showing the greatest potential for the establishment of this species, with optimal thermal and water suitability; and soil with rich organic matter. The results generated are an approach to identify sites of interest for the development of Dandelion as energetic species.

### **Key Words**

Renewable Energies, Geographical Information Systems (GIS), Agro-ecological Zoning, Dandelion, Energetic Crops, Biofuels

## INTRODUCCIÓN

Las reservas de combustibles fósiles son limitadas, y con el ritmo de consumo actual, en 100 años se habrán agotado, por lo que se deben buscar alternativas energéticas sostenibles (Campbell y Laherrere, 1998; Ballenilla, 2004; Ballenilla, 2005). La búsqueda de nuevas alternativas energéticas ha surgido como el mayor desafío medioambiental del Siglo XXI, las propuestas deben ser fuentes renovables, con bajos impactos ambientales y que permitan la reducción de gases de efecto invernadero (GEI; Kharecha y Hansen, 2007; Curtis, 2009; INIA, 2009).

Chile importa un 75% de su matriz energética primaria, proporción que llega a 96% en el caso del petróleo, 75% en gas natural y 96% en el carbón (CNE, 2011). En este contexto, se hace imperante que el país diversifique su matriz energética, y de esta manera asegurar su estabilidad económica y contribuir a disminuir los impactos ambientales asociados a la generación de energía en base a combustibles fósiles (CNE, 2008; Iglesias, 2008).

El dilema en el desarrollo de los biocombustibles, radica en la competencia por el uso del suelo para la producción de cultivos energéticos en contra de los utilizados para alimentación humana y animal (Hernández y Hernández, 2008; Serna *et al.*, 2010). Esta situación puede generar problemas económicos y sociales por la menor producción de alimentos o que su precio esté influenciado por la competencia del uso alimentario, en el caso del maíz o trigo (Hernández y Hernández, 2008). Los cultivos energéticos, para la producción de biocombustibles de segunda generación, ofrecen una solución (Gonzales *et al.*, 2008). Por lo que es prioritario encontrar y desarrollar cultivos de segunda generación que puedan adaptarse a sitios y terrenos marginales, secos y semiáridos, no comprometidos con la alimentación humana (Heller, 1996; FAO, 2008b).

El etanol es un compuesto químico obtenido a partir de la fermentación de los carbohidratos y que puede utilizarse para reemplazar el consumo de derivados del petróleo (Ortiz, 2003; Farrell *et al.*, 2006; FAO, 2008a y DOE, 2011). La utilización del etanol como biocombustible para el transporte por carretera está creciendo, llegando a 164,5 millones de toneladas producidas entre el año 2006 y 2007 a nivel mundial, producto del aumento de medidas para controlar las emisiones totales de GEI (FAO, 2008b).

Entre las especies que más se usan como materia prima para la producción de etanol se encuentran la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), la remolacha (*Beta vulgaris* L. var. *saccharifera*), la yuca (*Manihot esculenta*), sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y cardo (*Cynara cardunculus* L.; Siri *et al.*, 2007; Ossa, 2012).

El género del Diente de León (*Taraxacum*), pertenece a la familia *Asteraceae*, es una planta perenne que en general es considerada como una mala hierba, ya que crece junto a los caminos, es extremadamente resistente al déficit hídrico y de la que se describen numerosas especies (CONICET, 2011). Entre las especies consideradas como materia prima para la producción de biocombustibles se encuentran *Taraxacum officinale* (CONICET, 2011) y

*Taraxacum kok-saghyz* (Bojňanský, 2007). La característica que hace singular al Diente de León es su contenido de inulina, el cual alcanza rangos de 12% - 15% en sus raíces, y que permitiría la elaboración de bioetanol (Bojňanský, 2007).

*Taraxacum officinale* se encuentra en Chile, entre las regiones Metropolitana y de Magallanes, crece en zonas de secano con períodos de 3 a 5 meses sin precipitaciones y es resistente a la exposición a pleno sol (Matthei, 1995). No existen registros de la presencia de *Taraxacum kok-saghyz* en Chile, encontrándose distribuida desde el oriente de Europa, hasta el occidente Asiático, limitando en Turquistán. El hábitat de la especie se reduce a zonas de alta montaña y suelos de prados arcillosos (Polhamus, 1962).

El presente trabajo tiene como finalidad la zonificación potencial de la aptitud de tierras para el establecimiento de los cultivos Diente de León (*Taraxacum officinale*) y Diente de León Ruso (*Taraxacum kok-saghyz*) en Chile. Se estimará la superficie que se encuentra disponible para estas especies, en función de sus capacidades de adaptación. Se considerará la zonificación productiva potencial en función de las variables asociadas a la productividad del cultivo. Para lo anterior se emplearán sistemas de información geográfica (SIG), la metodología de Zonificación Agroecológica desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1997) y la metodología de Zonificación de Aptitud Productiva propuesta por Monteith (1996).

### **Objetivo general**

Identificar áreas potenciales para el establecimiento de las especies Diente de León (*Taraxacum officinale*) y Diente de León Ruso (*Taraxacum kok-saghyz*) con fines bioenergéticos en Chile.

### **Objetivos específicos**

- Definir las variables agroecológicas y productivas de las especies Diente de León Común y Diente de León Ruso.
- Zonificar mediante variables agroecológicas el área de estudio para determinar la superficie potencial de establecimiento para Diente de León Común y Diente de León Ruso.
- Zonificar mediante variables productivas el área de estudio para determinar la aptitud productiva para el Diente de León Común y Diente de León Ruso.

## ESTADO DEL ARTE

### Situación energética nacional

La energía cumple un rol fundamental en el quehacer humano, guardando estrecha relación con el ámbito social y económico de los países. El funcionamiento de las sociedades modernas depende por completo de esta y su disponibilidad. Todas las actividades realizadas dentro de la sociedad requieren de acceso y constante provisión a diversos tipos de energía. (CNE, 2008). Las fuentes actuales de energía, están basadas en petróleo, carbón y gas natural. La perspectiva energética global en los últimos años se ha vuelto crítica debido al inminente término de las fuentes de combustible fósil y la creciente demanda de energía por los grandes países del oriente insertados a la economía global (Corvalán y Rodríguez, 2006); esto ha determinado que la estabilidad de la economía mundial se encuentre sujeta al aumento sostenido en el consumo de los combustibles fósiles y la alta volatilidad en sus precios (CNE, 2008; Iglesias, 2008).

La economía chilena ha demostrado en los últimos años una tendencia de expansión internacional, y un crecimiento económico progresivo (Schmidt-Hebbel, 2012). Este crecimiento se traduce en un aumento en el consumo energético y en una mayor demanda de combustibles fósiles derivados del petróleo, por el incremento en el consumo de la actividad industrial, de transporte y de generación eléctrica (Rojo y Acevedo, 2006). Las actividades productivas, y en consecuencia la demanda energética de la sociedad, crece según aumenta el PIB (Producto Interno Bruto), por lo que se hace necesario garantizar la disponibilidad y suministro energético, así como la independencia energética (Acevedo, 2006; CNE, 2011).

La diversificación de la matriz energética asegura la disponibilidad de energía para el país y estabilidad geopolítica. Entre las alternativas para lograr este objetivo está la de uso de biomasa, la cual se puede encontrar en diversas formas (Acevedo, 2006). La energía obtenida de la biomasa se conoce como bioenergía, considerando a la biomasa como toda materia orgánica originada de plantas, incluyendo a las algas, que provengan de cultivos y la porción biodegradable de los productos, desechos y residuos de la actividad agrícola, la silvícola e industrial, como también la fracción biodegradable de los residuos industriales y domiciliarios (Iglesias, 2008).

La bioenergía es un tipo de energía considerada como renovable, debido a la acción de las plantas en el proceso de captación de energía solar, la que se almacena como energía química a través del proceso de fotosíntesis en la materia orgánica (Acevedo, 2006). Cuando esta materia orgánica es utilizada como combustible o se procesa para obtener combustible, ya sea líquido, sólido o gaseoso, se pueden denominar como biocombustibles o biocarburantes (Iglesias, 2008). Entre los biocombustibles que se encuentran en estado líquido, está el biodiesel y el bioetanol. En Chile se ha definido al bioetanol como “aquel

producido por la fermentación tradicional de cultivos como caña de azúcar y remolacha. También puede obtenerse de los granos de cereales (trigo, cebada y maíz), previa hidrólisis o transformación del almidón contenido en azúcares fermentables” (CNE, 2007). Para este propósito se ha definido un agente (sustancia) desnaturizante que cambia las propiedades organolépticas del etanol y lo excluya como producto para consumo humano (CNE, 2007). Aquellas especies vegetales, que presentan condiciones para producir bioetanol en base a ellas, se conocen como cultivos energéticos (FAO, 2008).

### **Cultivos energéticos**

Los cultivos energéticos, para cumplir su función de proveer energía renovable, deben tener un desarrollo rápido y una gran capacidad productiva de biomasa y/o ser eficientes para sintetizar azúcares y aceites factibles de ser transformados en biocarburantes. Para transformarse en lo que se ha denominado cultivo bioenergético, debe además permitir que la energía generada sea económicamente rentable y energéticamente viable. El biocombustible que se obtenga no solo debe tener cualidades físicas y químicas para ser usado como alternativa al petróleo, sino que su precio de venta debe ser una real alternativa económica a éste. El cultivo de estas especies debe proveer beneficios sociales al sector productor y ser ecológicamente sustentable (Pinto y Acevedo, 2006; Robledo y Correal, 2013). Otra característica de estos cultivos es que de preferencia, no deben estar destinados al consumo humano (Robledo y Correal, 2013).

Entre los cultivos bioenergéticos, las especies perennes como árboles y arbustos representan una buena opción como fuentes de bioenergía en comparación a los de especies anuales, ya que requieren menos uso de agroquímicos y labores culturales, y pueden ser usados en recuperación de suelos degradados, salinos y susceptibles a la erosión. Los beneficios ambientales pueden ser significativos si las plantaciones se establecen en suelos agrícolas que han sido previamente manejados intensivamente y por largos periodos; se prevé un impacto positivo ya que una mayor cobertura vegetal contribuye a una mayor retención de agua y a la incorporación de materia orgánica al suelo al formarse un extenso sistema de raíces; la remoción de suelo durante la cosecha del cultivo energético puede minimizarse dado que raíces, ramas y hojas se dejan en su lugar para su descomposición y aumento de la fertilidad del suelo. De todas maneras si se trata de establecer una plantación bioenergética en reemplazo de un ecosistema natural el efecto puede ser negativo con respecto a la conservación del ecosistema y de la biodiversidad, pero si se trata de establecer en un suelo descubierto mediante un manejo adecuado estos cultivos pueden mejorar notablemente sus condiciones, así como del hábitat y de la biodiversidad (Pinto y Acevedo, 2006; Corvalán y Rodríguez, 2006).

En Chile existen instituciones educacionales desarrollando proyectos investigativos de especies vegetales para su uso como cultivos energéticos. La Universidad de Chile ha trabajado durante los últimos años con *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.), la Pontificia Universidad Católica de Chile con guindilla (*Guindilia trinervis* Gill. ex H. & A.) y la

Universidad de Concepción estudia la camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) y mostaza (*Sinapis alba* L.). Estos proyectos se encuentran actualmente en etapa de investigación, por lo que no es posible la producción intensiva de estas especies.

En cuanto a proyectos productivos, destacan la planta INGRAS (Industrias Grasas y Aceites Ltda.) de San Bernardo y la planta FAME de Pullman Bus en Quilicura. Ambos proyectos consideran el uso de aceites reciclados, alcanzando producciones superiores a 100.000 litros mensuales (Cavieres, 2009). Además, se encuentran otros proyectos de menor capacidad de producción como la Planta Matadero de Concepción, la Planta de Bioengine en Puente Alto y las tres plantas de Biodiesel-Chile ubicadas en Cerrillos, Padre Hurtado y Osorno (Cavieres, 2009).

Además, CORFO a través de InnovaChile está financiando proyectos productivos de biocombustibles como es el caso de los llevados a cabo por los consorcios Bionercel S.A. y Biocomsa S.A., que se enfocan a producción de biodiesel de segunda generación usando cultivos lignocelulósicos como materia prima. También, financia proyectos bioenergéticos de tercera generación, en base a aceites de micro y macro algas. Desert Bioenergy S.A., BAL Biofuels S.A. y Algafuels S.A. son los tres consorcios que están llevando a cabo proyectos de este tipo (CORFO, 2008; CORFO 2010).

### **Antecedentes generales sobre Zonificación Agroecológica**

La zonificación agroecológica surge como una iniciativa de la FAO para realizar una evaluación de tierras, con el objetivo de generar políticas y estrategias de uso específico para estas.

La FAO 1976 estableció el *Marco para la Evaluación de Tierras*, el cual está basado en el estudio de las condiciones de las tierras en base a los requerimientos específicos de los tipos de usos de tierras definidos. Esta primera aproximación ecológica significó un cambio radical con respecto a los sistemas anteriores de estimación de los recursos (Mapa de suelos del mundo y el sistema de clasificación de suelos normalizado) y generó una variedad de aplicaciones que no se contemplaban hasta esa época, como la agricultura de secano y de regadío; o de bosques y pastizales (FAO, 1983; 1984; 1985; 1991).

El proyecto de Zonas Agro-Ecológicas (ZAE) creado por la FAO, consistió en una aplicación de la evaluación de tierras en una escala continental (FAO, 1978). Esta metodología consideró el uso de información de clima, suelos y otros factores físicos para caracterizar extensiones de tierra, con el fin de predecir la productividad potencial para diferentes cultivos, en base a sus necesidades específicas de manejo y de hábitat. Las zonas agro-ecológicas se definen como aquellas que tienen combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial biofísico para la producción agrícola (FAO, 1978).

En 1983, el proyecto ZAE, entregó la aptitud de tierra estimada para 11 cultivos a una escala de cinco grandes regiones del mundo. La FAO recomendó que estudios de este carácter se realizaran a nivel nacional, para mantener la escala de detalle (FAO 1983; 1984).

Desde entonces, la FAO ha estado trabajando con distintos países para la realización de la evaluación de tierras, por medio de la metodología ZAE, para hacer frente a problemas asociados a la tierra, alimentos y población en sus provincias y distritos componentes. Investigaciones ZAE aún más detalladas se han llevado a cabo en áreas seleccionadas dentro de países como en Nepal, Granada y Bangladesh, entre otros (FAO, 1997).

### Zonificaciones de Cultivos

En el Cuadro N°1 se presentan algunos de los estudios de zonificaciones realizados por FAO, con propósitos y escalas de trabajo diferentes.

**Cuadro N°1: Proyectos de ZAE/SIG a nivel global y local en Asia y África**

Escala	Aplicación	Ubicación
1:5.000.000	Potencialidad Pradera y Ganadería en África Occidental	Etiopía
1:1.000.000 a 1:5.000.000	Sostenimiento de población y planificación de los recursos	China
1:2.000.000	Zonificación Agroecológica	Etiopía
1:1.000.000	Planificación de desarrollo agrícola	Kenia
1:250.000	Evaluación de riesgo de degradación de tierras	Nigeria
1:125.000	Recomendación sobre fertilización y aspectos tecnológicos	Bangladesh
1:50.000	Planificación de Desarrollo Agrícola	Nepal
1:15.000	Evaluación del uso de tierras	Granada

**Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de FAO (1994a).**

De las zonificaciones en América, existen estudios enfocados a sistemas agroforestales como el de plantaciones de café (*Coffea arabica L.*) y de palma camedor (*Chamaedorea elegans Mart.*), con una escala de 1:250.000 en el área de Veracruz, México y donde se utilizaron 11 variables ambientales entre las que estaban las temperaturas máximas y

mínimas, déficit hídrico, fertilidad del suelo y pendiente, entre otras. (Pérez-Portilla y Geissert-Kientz, 2006).

Se determinaron las áreas potenciales para colocar cultivos de *Jatropha Curcas* L. en Argentina, y solo se consideraron variables de temperatura media anual y precipitación media anual, abarcando el territorio nacional argentino y brasileño; y no entregó rangos de aptitud para las áreas potenciales (Falasca y Ulberich 2008).

En Chile, se realizó una zonificación agroecológica para esta misma especie, a una escala de 1:250.000, considerando aspectos térmicos, geomorfológicos, hídricos, y de usos de suelo. Se identificaron las áreas potenciales del cultivo con fines bioenergéticos y entregando rangos de aptitud a lo largo de todo el territorio nacional, como primera aproximación para el desarrollo del cultivo y como utilidad para definir posibles decisiones futuras con respecto a la política energética chilena y la planificación del uso de tierras (Labra, 2009; Vásquez, 2009).

Existen otras zonificaciones como la de Granada (*Punica granatum* L.), que es de tipo edafoclimática y que se desarrolló para las áreas comprendidas entre la Región de Atacama y la Región del Maule (Riveros, 2012). Zonificaciones de mayor escala también se han realizado dentro del territorio nacional, como en la IX región, desarrollada a nivel de provincia (UCHILE, 1982), o el de la VI región (SUBDERE, 1977). Sin embargo, en Chile, no se reportan estudios sobre zonificaciones para el Diente de León común y Diente de León Ruso.

### **Base conceptual metodológica sobre la zonificación**

Si bien FAO generó el concepto de ZAE para ser comprendido de manera simple, la metodología desarrollada se diseñó e implementó para ser llevada a cabo por computadoras. Debido al tipo de análisis, que contempla la combinación de capas de información espacial para la definición de zonas, se hace necesario aplicar Sistemas de Información Geográfica (SIG). No obstante, las computadoras no son esenciales para los estudios ZAE, y existen aplicaciones usando solo bases de datos u hojas de cálculo comerciales y cartografía convencional.

Los SIG son en su definición más simple, un sistema informático para la gestión de datos espaciales dentro del cual se manejan técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), que en el ámbito de la planificación, pueden considerarse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en el proceso de toma de decisiones y que sirven para inventariar, clasificar, analizar y ordenar convenientemente una serie de alternativas, a partir de los criterios que se hayan considerado pertinentes en dicha evaluación (Barredo, 1996; Voogd, 1983).

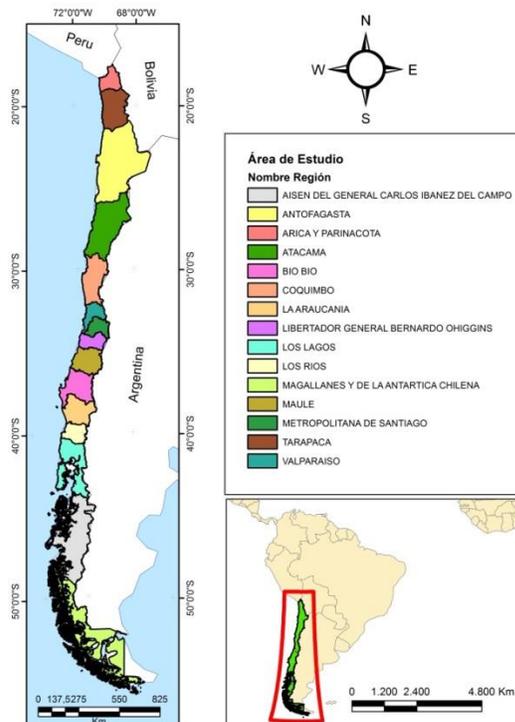
La EMC, como herramienta para la toma de decisiones y su integración con los SIG, genera una potente opción para asistir un proceso de análisis espacial a través del modelado, en especial para la asignación/localización de actividades, generándose así una serie de posibilidades de aplicación de los SIG y pudiendo asistir de manera eficaz a diferentes procesos de planificación y ordenación del territorio o bien realizando operaciones asignación/localización tomando en cuenta diversos criterios y múltiples objetivos. (Barredo, 1996)

Dentro del modelo espacial, los desarrollos SIG-EMC plantean un sistema de apoyo a la planificación, permitiendo unir las capacidades de gestión y análisis de datos espaciales propias de los SIG con el potencial relativo a la toma de decisiones de las técnicas multicriterio (Barredo 1999).

## MATERIALES Y METODOS

### Área de estudio

El presente estudio se desarrollará en todo el territorio nacional, comprendiendo aproximadamente desde los 18°28' de latitud sur (región de Arica y Parinacota), hasta la Región del Magallanes y Antártica Chilena, en los 56°30' latitud sur (Figura 1).



**Figura 1: Área de estudio, dividido en las 15 regiones políticas-administrativas que componen el territorio continental de la República de Chile (UTM 19 S, WGS 84).**

La superficie total del área de estudio es de 756.096,3 [km<sup>2</sup>], la cual se subdivide en 15 regiones cuyas superficies de norte a sur son 16.716,7; 42.353,8; 126.121,3; 75.552; 40.477; 15.960,3; 15.308,9; 16.350; 30.267,9; 37.064,1; 31.813,5; 18.372,0; 48.184,6; 109.024,9; 132.033,5 [km<sup>2</sup>], respectivamente y se consideró solo el territorio continental (SIIT, 2012).

## Materiales

Para la realización de esta investigación se emplearon:

- Construcción de la base digital:
  - Modelo digital de elevación (DEM) con una resolución espacial de 90 m (USGS, 2000).
  
- Cartografía Digital del Área de estudio en formato vectorial (.SHP):
  - Capas temáticas de variables bioclimáticas en formato vectorial a una escala de 1:250.000 (ODITE, 2012).
  - Cartografía en formato vectorial de los límites de Chile (ODITE, 2012).
  - Capas Temáticas básicas, escala 1:250.000 (GISDATA Chile, 2007) y que contienen lo siguiente:
    - ✓ Límites comunales
    - ✓ Hidrografía
    - ✓ Ciudades, Localidades y Pueblos
  - Capas temáticas agroecológicas a una escala de 1:250.000 (SINIA, 2008):
    - ✓ Usos de Suelo (CONAF, 1999).
    - ✓ Áreas Silvestre Protegidas por el Estado (SNASPE)
    - ✓ Sitios Prioritarios de Conservación (SPC).
    - ✓ Áreas Silvestres Protegidas Privadas (ASPP).
  
- Cartografía en formato vectorial de los Grandes Grupos de Suelo de Chile, escala de 1:6.000.000 (Luzio y Alcayaga, 1990; Selvaradjou *et al.*, 2005).

Además se Software ArcGIS para poder realizar los procedimientos.

## Especies en estudio

### **Diente de León (Taraxacum)**

El género *Taraxacum* pertenece a la familia de las Asteraceae. La tribu a la cual pertenece es la de cichoriae. Esta familia a su vez está comprendida dentro del reino Plantae y su principal característica es su desarrollo bi-anual. Este género posee un alto número de

especies aceptadas (515), no obstante, existen aproximadamente 2276 especies que aún no han sido evaluadas (The Plant List, 2010). En el cuadro N°2 se entrega el orden taxonómico para el género y las especies.

**Cuadro N°2: Clasificación taxonómica para Diente de León común y Diente de León Ruso.**

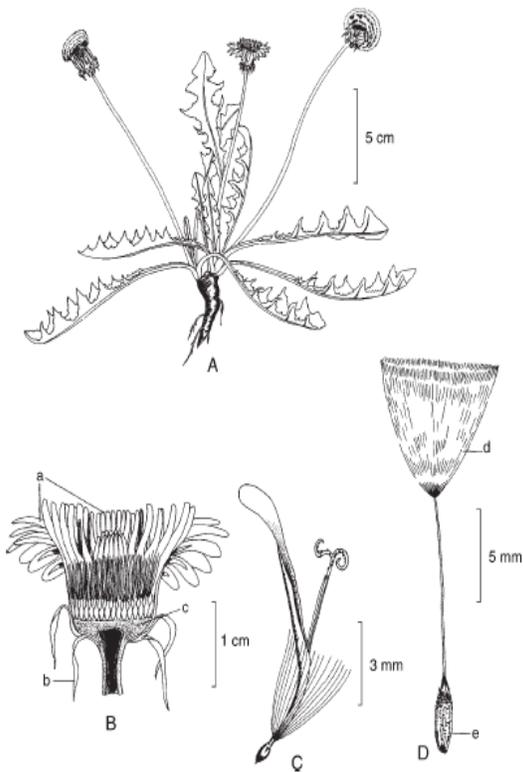
<b>Clasificación Científica</b>	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Asteridae
<b>Orden</b>	Asterales
<b>Familia</b>	Asteraceae
<b>Subfamilia</b>	Cichorioideae
<b>Tribu</b>	Cichorieae
<b>Subtribu</b>	Crepidinae1
<b>Género</b>	Taraxacum
<b>Especies</b>	<i>T. officinale</i> <i>T. kok-saghyz</i>

**Fuente: Elaboración Propia en base a The Plant List (2010).**

### **Diente de León Común (*Taraxacum officinale*)**

#### Descripción Botánica

Su nombre deriva etimológicamente de la palabra árabe-persa *tharakhchakon* (tipo de achicoria) y del latín *officinalis* (oficina/farmacia), por sus propiedades medicinales. Es una especie herbácea de tipo perenne, de hojas verdes con longitudes que varían de 2 a 40 [cm], oblongas y profundamente dentadas, que se agrupan en una roseta basal (Rzedowski y Calderón, 2001). Tiene una raíz primaria gruesa y carnosa, que alcanza hasta 50[cm] de longitud y que en algunos casos también es ramificada. Los tallos de floración tienen una longitud que varía entre 5 y 40 [cm], son huecos y solo poseen una inflorescencia (Perdomo y Vibrans, 2009). La inflorescencia presenta un involucreo acampanulado con brácteas de tipo lineales y lanceoladas de 10 a 25[mm] de largo. Posee de 80 a 250 flores, de corolas amarillas, y de 7 a 15[mm] de largo. El fruto posee una superficie casi lisa, con un aquenio fusiforme de 2,5 a 4 [mm] de largo y su vilano tiene una longitud de 5 a 8 [mm], con aproximadamente 60 cerdas de color blanquecino (Rzedowski y Calderón, 2001; Figura 2).



**Figura 2: Estructuras vegetativas y reproductivas de *Taraxacum officinale*: (A) Aspecto general de la planta; (B) Corte longitudinal de la cabeza de la planta: a) Flores liguladas, b) Brácteas, c) Receptáculo; (C) Flor; (D) Fruto: d) Vilano, e) Aquenio. Fuente: Rzedowski (1997)**

### Centro de Origen y Distribución

El Diente de León es originario de Eurasia (Rzedowski, 1997). Su distribución es amplia y se encuentra principalmente en climas de tipo templado (Missouri Botanical Garden, 2013; Figura 3).



**Figura 3: Distribución global aproximada de *Taraxacum officinale*. Las regiones en color verde/gris indican zonas donde se han encontrado Poblaciones de Diente de León. Entre más oscuro es el color, mayor es número de registros se han encontrado. Fuente: Adaptado de Missouri Botanical Garden (2013)**

En Chile, esta especie se encuentra distribuida desde la Región Metropolitana hasta Magallanes y crece en zonas de secano con períodos de 3 a 5 meses sin precipitaciones (Matthei, 1995).

#### Crecimiento, desarrollo, reproducción y manejo del cultivo

El Diente de León común presenta una propagación de tipo generativa (por semillas) y tiene la capacidad de auto-polinizarse (GHC, 2013; Oxlade y Clifford, 1999; Perdomo y Vibrans, 2009). La dispersión de semillas ocurre principalmente a través del viento y agua de riego. Existen estudios que explican que las semillas germinan bajo la presencia de iluminación, aunque también pueden germinar luego de ser almacenadas durante más de 5 semanas en un ambiente seco y oscuro (Oxlade y Clifford, 1999). La semillas preferentemente se deben colocar a comienzos de la primavera, a una profundidad aproximada de 0,5 [cm] en filas únicas, a una distancia de 20 [cm] de distancia entre cada una (GHC, 2013).

*Taraxacum officinale* alcanza su madurez entre aproximadamente 85 a 95 días luego de ser plantada y tiene la capacidad de florecer durante todo el año (GHC, 2013). Por lo general, esta especie florece 2 veces al año (JEA, 2012). En cuanto a su cosecha, la parte aérea puede ser extraída durante toda la temporada de crecimiento, en cambio las raíces recién se deben cosechar a partir del mes 21 desde su plantación (GHC, 2013).

#### Hábitat

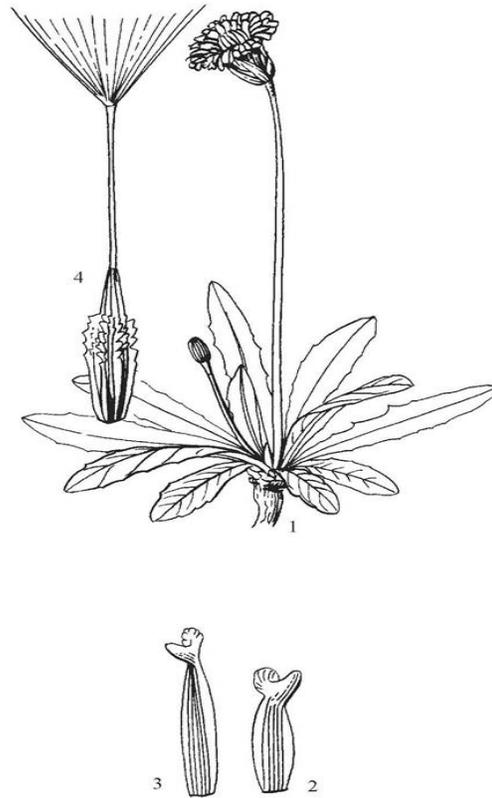
El Diente de León es una especie que se considera simple de cultivar ya que no necesita un manejo extensivo y tiene éxito en la mayoría de los suelos donde se siembra o planta (Huxley, 1992). No obstante, prefiere suelos bien drenados, con alto contenido de materia

orgánica y un rango de pH entre neutro a alcalino, con plena exposición o sombra parcial (Bown, 1995; Thompson, 1904). Se establece bien en suelos de pradera durante la primavera (Baines, 2000). Es una planta de enraizamiento profundo, cuyas raíces llegan a medir hasta 1 metro de largo (Allardice, 1993). Se considera una especie resistente, debido a su capacidad de tolerar temperaturas de hasta 29[°C] (Bown, 1995). Frecuentemente crece en zonas con césped. Es una especie con alto valor ecosistémico, puesto que es polinizada por abejas y sus hojas sirven de alimento para distintas especies de lepidópteros (Baines, 2000; Carter, 1982; Grieve, 1930; Hatfield, 1974).

### **Diente de León Ruso (*Taraxacum kok-saghyz*)**

#### Descripción botánica

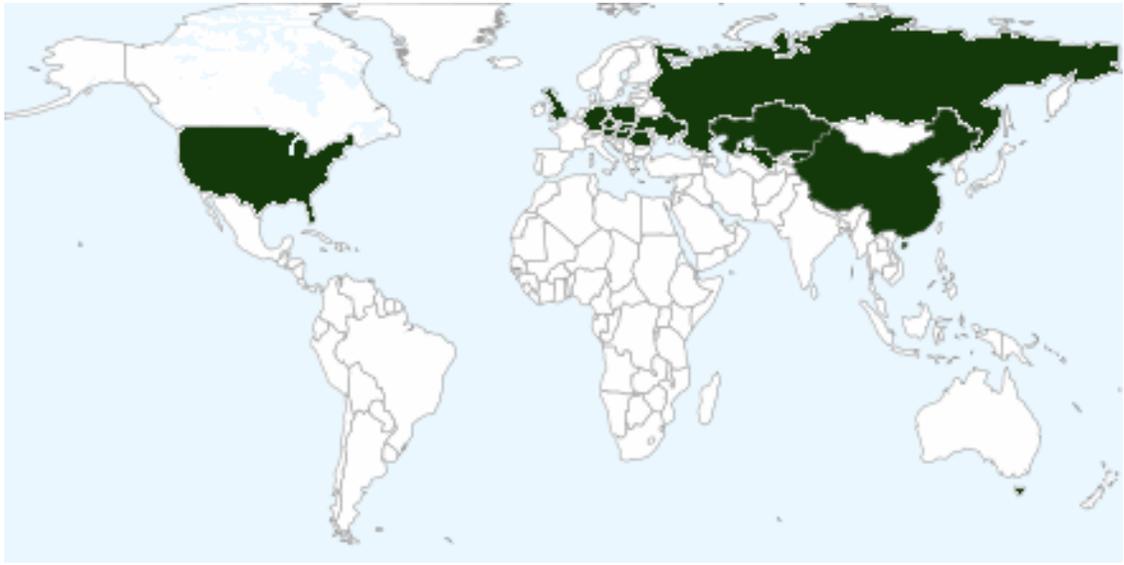
El Diente de León Ruso etimológicamente proviene del kazajo Kok que significa planta y Sagiz que significa caucho o goma, por su contenido de caucho natural (Krotkov, 1945). Es una hierba perenne con una flor compuesta, de color amarillo, característico del género *Taraxacum*. Cada cabeza de la flor mide aproximadamente 2,5[cm] de diámetro y está compuesto por un rango de 50 a 90 flores (Whaley, 1946). Su involucre mide entre 5 y 8 [mm] de ancho. Sus brácteas exteriores son entre 8 y 13 y se estima que su tamaño es de 5,5 a 7[mm] de largo (Rodin, 1933). La especie puede contener entre 25 a 50 hojas dispuestas en una o más rosetas basales. *Taraxacum kok-saghyz* puede ser diferenciada del Diente de León común por sus hojas, que generalmente son más pequeñas, oblanceoladas y carnosas, de color verde grisáceo en el borde y que raramente posee un con color rosado en la nervadura. y estructuras córneas en las brácteas que rodean la raíz. Las flores son hermafroditas, y están en tallos que alcanzan alrededor de 30[cm] de altura (Rodin, 1933; Whaley, 1946).



**Figura 4: Estructuras vegetativas y reproductivas de Taraxacum Kok-Saghyz: (1) Aspecto general de la planta; (2-3) Brácteas; (4) Aquenio. Fuente: Rodin (1933).**

#### Centro de origen y distribución

Taraxacum Kok-saghyz fue descubierta en 1931 y descrita en 1933 por Rodin (Lipschitz, 1953; Volis, Uteulin y Mills, 2009). El área donde se identificó por primera vez correspondía a una superficie menor a 8.000[km<sup>2</sup>] en Kazajistán, aunque se cree que su distribución llegaba hasta China. Luego de ser descubierta, se determinó que poseía un alto contenido de caucho natural en la raíz. La ex Unión Soviética cultivó esta especie para la producción industrial de caucho, siendo Rusia, Ucrania y Bielorrusia los principales puntos de producción (Volis, Uteulin y Mills, 2009). Posteriormente aumentó su distribución, introduciéndose en otros países europeos como Inglaterra, Alemania y República Checa, entre otros (Flann, 2013). Además, se encontraron zonas en los Estados Unidos de América donde la especie se cultivaba para la producción de caucho natural (Trumbull, 1942), ampliando el nivel de distribución (Figura 5).



**Figura 5: Distribución global aproximada de *Taraxacum Kok-Saghyz*. Las regiones en color verde indican zonas donde se han encontrado Poblaciones de Diente de León Ruso. Fuente: Adaptado de Missouri Botanical Garden (2013).**

Esta especie no está presente en Chile, pero actualmente existen proyectos, que están siendo evaluados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), para la introducción de semillas de esta especie desde Alemania, en el territorio nacional (SAG, 2013).

#### Aspectos sobre el crecimiento, desarrollo, reproducción de la planta y manejo del cultivo

El Diente de León Ruso presenta una propagación por semillas (Krotkov, 1945). La dispersión de semillas ocurre principalmente a través del viento y agua de riego. Algunos autores mencionan la importancia de elegir suelos apropiados para el cultivo de la especie (Krotkov, 1945; Lipschitz, 1953). Requiere de suelos ricos en material orgánico para poder desarrollarse, e idealmente, se debe colocar en suelos de turba y con abundante estiércol. Las semillas comienzan a germinar cuando las temperaturas se encuentran entre los 25-30 [°C] y con una humedad del 80%. Las semillas permanecen latentes durante la maduración y dicha latencia ocurre después de estratificación por lo menos 10 días en temperaturas bajo 1[°C] (Lipschitz, 1953).

Durante las primeras tres o cuatro semanas de vida, la especie crece de manera muy lenta y requiere de suelos libres de otras hierbas. Se debe plantar en zonas donde se haya realizado un arado muy profundo y, si se quiere sembrar en primavera, el arado debe realizarse en otoño; mientras que si se quiere sembrar en otoño, el arado debe llevarse a cabo entre cuatro a 6 semanas antes del sembrado (Krotkov, 1945).

Para la recolección de las semillas, se recomienda extraer las flores en el segundo año de vida, durante el período de florecimiento, el que dura aproximadamente dos meses. Esto se realiza para poder mantener la producción de Diente de León Ruso. Para la cosecha de la raíz, se recomienda extraerlas por medio de un arado, para luego ser removidas a mano (Krotkov, 1945).

### Hábitat

Generalmente esta especie se desarrolla en terrazas riparianas, zonas de prados y de campo (Comité Editorial de Flora de China, 1959). Crece en un amplio rango de condiciones de suelos, no obstante, prefiere los que contengan niveles promedio de salinidad, además de suelos con alto contenido de materia orgánica y de humedad (Krotkov, 1945). Requiere suelos ricos, no muy pesados e idealmente de turba- aunque no prefiere medios ácidos, por lo que los suelos deben ser limosos (Krotkov, 1945).

Frecuenta invadir campos de cultivos, en el que se desarrolla y crece de manera exuberante (Krotkov, 1945). Fuera de su rango nativo, su ocurrencia principal es a través de cultivación. Está descrita como una especie altamente adaptable, sobre todo en zonas con clima templados, no siendo exitosa en climas cálidos (Whaley 1944; Bonner y Galston, 1947)

### **Método**

#### **Definición de variables agroecológicas y productivas del Diente de León**

Para realizar una zonificación agroecológica se debe emplear información generada en el área de estudio, la cual fue clasificada en: “uso actual del suelo y cubierta vegetal”, “límites administrativos”, “clima” y “suelos y fisiografías” (FAO, 1997). Se identificaron los puntos críticos en los requerimientos hídricos, térmicos y edáficos del Diente de León Común y del Diente de León Ruso, en base a los valores extremos presentes en lugares donde haya registro de las especies, para establecer los rangos de tolerancia y adaptabilidad, que son la base para realizar la zonificación agroecológica..

El Diente de León Común se encuentra distribuido a nivel mundial y es considerado como una maleza. El Diente de León Ruso es una especie exótica que prefiere climas más fríos y no está presente en el territorio nacional. Se ocupó un análisis de restricción, que consiste en la utilización de criterios y rangos para cada variable que influye en el desarrollo de las especies, empleando información sobre su tolerancia y adaptabilidad, de esta manera se determinan puntos críticos y rangos de tolerancia. Los puntos críticos y rangos de tolerancia utilizados en este estudio se generaron con el apoyo de un experto y considerando para las condiciones climáticas que presenta Chile en todo su territorio para el crecimiento y producción.

Se generó un modelo de decisión, en base a las variables de adaptabilidad, que permitió establecer una clasificación de aptitud agroecológica a una unidad geográfica determinada,

con la finalidad de desarrollar el cultivo de las especies dentro de ella. Este modelo se explica en el siguiente apartado.

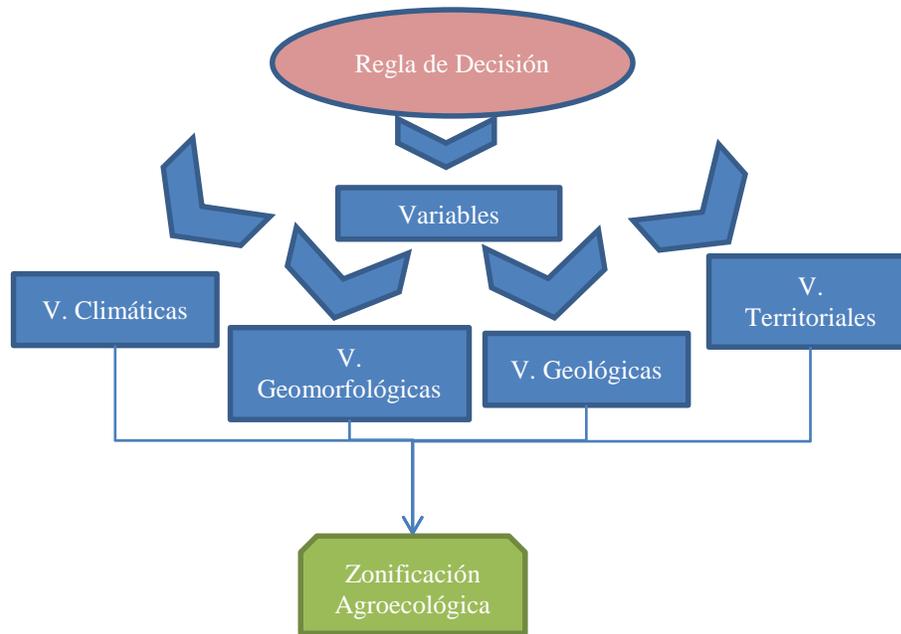
### **Zonificación agroecológica para el establecimiento de Diente de León**

La información recopilada de mapas de variables climáticas, se homogenizó y estandarizó para proceder a trabajar con las técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se definió un único sistema de referencia Datum WGS84 UTM19 Sur correspondiente a la zona de estudio. La información referente a variables bioclimáticas en formato raster fue facilitada por el observatorio de dinámica territorial (ODITE).

#### **Regla de decisión**

La regla de decisión, define los criterios que serán utilizados para llevar a cabo la zonificación agroecológica, estos criterios pueden comportarse como factores o limitantes dependiendo de si permiten que las especies se establezcan en un lugar determinado. Un factor, es aquella variable que permite el establecimiento de la especie, puede poseer distintos niveles de restricción. En cambio, una limitante es una variable excluyente que imposibilita la utilización de ese territorio para el establecimiento de la especie (Rossiter, 1994; Rossiter, 1996; Eastman, 2003). Los criterios corresponden a los rangos en los cuales una especie se desarrolla, según cada variable considerada. Para cada criterio establecido como factor se generaron rangos de aptitud, los cuales determinan áreas aptas para el cultivo, de otras que sean marginales o de menor aptitud. Posteriormente, a través de operaciones de lógica booleana se excluyen las áreas con criterios limitantes (áreas de exclusión) utilizando una reclasificación de píxeles donde el área limitante pasa a incorporarse como valor "0" anulando el uso de ese territorio de manera algebraica y valor "1" para las áreas que no requieren ser anuladas (Rossiter, 1994; Rossiter, 1996; Eastman, 2003).

Para hacer una zonificación agroecológica, se agruparon las variables en cuatro categorías que son: Climáticas, Geomorfológicas, Geológicas y Territoriales (Figura 6).



**Figura 6: Agrupación de variables en categorías generales para zonificación agroecológica. Fuente: Elaboración propia.**

Variables Climáticas: información de variables térmicas e hídricas, presentes en el área de estudio, se consideraron:

- Temperatura media mínima mensual en el mes más frío (Julio)
- Temperatura media máxima mensual en el mes más cálido (Enero)
- Precipitación media anual
- Evapotranspiración Potencial

Las variables climáticas, las temperaturas medias mínimas y máximas permiten obtener el rango donde la especie se puede emplazar, sin necesidad de utilizar la temperatura media anual, ya que explican los lugares donde existen valores extremos de temperaturas. *Taraxacum officinale* y *T. kok-Saghyz* presentan rangos de temperatura muy amplios, que abarcan desde temperaturas muy frías hasta temperaturas que sobrepasan los 25[°C] en los meses de calor, por consiguiente la estimación más precisa se puede obtener por medio de los valores extremos que soportan las especies en los meses más fríos y cálidos (Bown, 1995; Lipschitz, 1953). Se elaboró la regla de decisión (cuadros N°3 y N°4), en base a datos climáticos de lugares donde se encuentran las especies y al experto J.M. Uribe.

Uribe, J.M. 2013, Oct. Agroclimatología. [Entrevista Personal]. Departamento de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

**Cuadro N°3: Clasificación de aptitud para la temperatura media mínima en el mes de Julio**

Temperatura Media Mínima de Julio (°C)	Nomenclatura
-5 – 0°	Marginal
0 – 7°	Apto
7 – 12°	Óptimo
12 – 22°	Marginal
22°<	Excluyente

**Fuente: Elaboración Propia**

**Cuadro N°4: Clasificación de aptitud para la temperatura media máxima en el mes de Enero**

Temperatura Media Máxima de Enero (°C)	Nomenclatura
0 – 5°	Marginal
5 – 10°	Apto
10 – 16°	Óptimo
16 – 22°	Marginal
22°<	Excluyente

**Fuente: Elaboración Propia**

La precipitación determina el espacio geográfico donde las especies pueden desarrollarse según sus requerimientos hídricos. No obstante, ya que se puede hacer un manejo del recurso hídrico, esta variable puede ser modificada, permitiendo que zonas que no cumplan con el mínimo de agua requerido, si puedan ser utilizadas. Hay que considerar que a pesar de que estas especies soportan un grado de estrés hídrico, son intolerantes a suelos saturados con agua, por lo cual las zonas que precipitan más de lo requerido, afectan el desarrollo del cultivo. La regla para esta variable se presenta en el cuadro N°5.

**Cuadro N°5: Clasificación de aptitud para la Precipitación Media Anual**

Precipitación Media Anual (mm/año)	Nomenclatura
0 – 250	Marginal
250 – 500	Apto
500 – 800	Óptimo
800 – 1200	Apto
1200 – 1600	Marginal
>1600	Excluyente

**Fuente: Elaboración Propia**

La evapotranspiración potencial es un factor importante para ambas especies, ya que, a pesar de tolerar cierto grado de estrés hídrico, necesitan de una retención mínima de agua en el suelo para poder subsistir. Para la clasificación de esta variable se consideraron las evapotranspiraciones medias mensuales de Julio y Enero, puesto que se determinó, en base a criterio del experto y corroborando con mapas de lugares con presencia de las especies, que estas soportan zonas donde la tasa evapotranspirativa no supera los 150 [mm/mes] en invierno y los 250 [mm/mes] en verano. La regla de decisión para esta variable se presenta en los siguientes cuadros N°6 y N°7.

**Cuadro N°6: Clasificación de aptitud para la Evapotranspiración Media Mensual en el mes de Julio**

ET media Mensual Julio (mm/mes)	Nomenclatura
0 –25	Óptimo
25 –50	Apto
50 – 75	Marginal
>75	Excluyente

**Fuente: Elaboración Propia**

**Cuadro N°7: Clasificación de aptitud para la Evapotranspiración Media Mensual en el mes de Enero**

ET media Mensual Enero (mm/mes)	Nomenclatura
0 – 25	Marginal
25 – 150	Óptimo
150 – 175	Apto
175 – 200	Marginal
>200	Excluyente

**Fuente: Elaboración Propia**

Variables Geomorfológicas: Referentes a las condiciones del relieve del área de estudio, que fueron obtenidas a través del modelo digital de elevación (MDE) y que considera:

- Pendiente
- Exposición
- Altitud

Las variables geomorfológicas, consideran la pendiente, ya que es un factor influyente en los procesos de formación de suelo, y se necesita de este recurso para el desarrollo de la raíz (FAO, 2009). Para poder permitir que hayan procesos formativos en el suelo, la FAO considera que la pendiente de una ladera no puede ser mayor a 10%, ya que pasado este porcentaje, esta pasa a tener una condición de fuertemente inclinada y puede inducir a arrastre de material producto de las precipitaciones y procesos erosivos (FAO, 2009).

Considerando que ambas especies poseen un sistema radicular que alcanza una profundidad de más de 60 [cm] (Perdomo y Vibrans, 2009; Whaley, 1946), se determinó que los suelos que posean una pendiente mayor al 10% de todos modos pueden ser utilizados, ya que las raíces dan soporte a la estructura edáfica, por lo que también se evaluó su aptitud para la adaptación de ambas especies. Por lo anterior, la clasificación para esta variable es la que se representa por medio del cuadro N°8.

**Cuadro N°8: Clasificación de aptitud para la Pendiente**

Desde (%)	Hasta (%)	Nomenclatura
0	10	Óptimo
10	15	Apto
15	45	Marginal
45	100	Excluyente

**Fuente: Elaboración Propia**

Para ambas especies, se menciona que se desarrolla mejor en laderas con mayor exposición solar, considerándose como un factor relevante para la zonificación (Krotkov, 1945; UBC, 2013). Si bien se considera que la plena exposición solar es óptimo para ambas especies, no es limitante para su crecimiento, por lo que cualquier ladera con una exposición con menor incidencia solar, también se consideró para la zonificación, aunque con menor aptitud. Lo anterior se corroboró con el experto J.M. Uribe. En el cuadro N°9 se expone la clasificación para esta variable.

**Cuadro N°9: Clasificación de aptitud para la Exposición**

Desde (°)	Hasta (°)	Nomenclatura
0	45	Óptimo
45	90	Apto
90	270	Marginal
270	315	Apto
315	360	Óptimo

**Fuente: Elaboración Propia**

La altitud se clasificó en base a los registros de presencia que se tienen para ambas especies. *Taraxacum officinale* soporta altitudes mayores (3600 [m]) que *T. kok-saghyz* (2000[m]), debido a esto, es posible que en la distribución altitudinal del Diente de León común, la productividad el Diente de León Ruso disminuya, por lo cual, se usaron altitudes que sirvieran para ambas especies. La clasificación se presenta en el cuadro N°10 expuesto a continuación.

**Cuadro N°10: Clasificación de aptitud para la Altitud**

Desde (MSNM)	Hasta (MSNM)	Nomenclatura
1	1800	Óptimo
1800	2500	Apto
2500	4000	Marginal
4000	9999	Excluyente

**Fuente: Elaboración Propia**

Variabes Geológicas: Corresponden a las características propias del suelo, dentro del área de estudio y abarca:

- Grupos de suelo (Órdenes de suelo)

Las variables geológicas contemplan la carta de grandes grupos de suelo de Luzio y Alcayaga (1990). Esta carta se utilizó como base para generar información de órdenes de suelo, los cuales tienen un mayor grado de detalle. Los suelos que se clasificaron como óptimos son aquellos que poseen un alto contenido en materia orgánica y que tienen características con pocas limitaciones para la producción y que necesitan técnicas de manejo simples para establecer las especies, como andisoles y alfisoles, entre otros. Los grupos de suelo considerados como aptos, son aquellos que presentan más limitación para la producción, por lo que se deben usar prácticas de manejo más intensivas para poder establecer las especies. Los suelos marginales son aquellos que dado a su grado de aridez o falta de información (caso de los entisoles) no presentan condiciones favorables para el desarrollo de los cultivos. Los Gelisoles quedaron excluidos del área de estudio, por ser consideradas superficies cubiertas por hielos. La información anterior fue corroborada con el experto O. Seguel y la clasificación se presenta en el cuadro N°11. En el cuadro A10 del Anexo I se encuentra una breve descripción de los órdenes de suelo pertenecientes al área nacional.

**Cuadro N°11: Clasificación de aptitud para los tipos de suelo en base a los grandes grupos.**

Orden de Suelo	Nomenclatura
Ultisoles	Óptimo
Mollisoles	Óptimo
Alfisoles	Óptimo
Andisoles	Óptimo
Inceptisoles	Aptos
Vertisoles	Aptos
Histosoles	Marginales
Aridisoles	Marginales
Entisoles	Marginales

Seguel, O. 2013, Oct. Física de Suelos. [Entrevista Personal]. Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Gelisoles

Excluyentes

**Fuente: Elaboración Propia**Variables Territoriales

Las variables de carácter territorial como son las del Servicio Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), los Sitios Prioritarios para la Conservación (SPC), las Áreas Silvestres Protegidas Privadas (ASPP) y la Carta de Uso de Suelo, entregan una aptitud territorial para la ubicación de las áreas potenciales de cultivo, pero no entregan una clasificación de óptimo, apta y marginal; sino de zonas consideradas como excluyentes y aptas. La variable territorial no se considera como factor, sino como limitante, ya que el objetivo es no emplazar los cultivos en áreas protegidas o de conservación, ni tampoco en zonas donde se realice una actividad agrícola o de carácter industrial que genere competencia por el uso del suelo. Se presenta la clasificación de estas variables en el cuadro N°12.

**Cuadro N°12: Clasificación de aptitud de suelos en base a los usos**

Uso de Suelo	Nomenclatura
Áreas Urbanas e Industriales	
Bosques	
Humedales	
Cuerpos de Agua	
Nieves y Glaciares	Excluyente
Áreas del SNASPE	
Áreas SPP	
SPC	
Terrenos Agrícolas	
Áreas Desprovistas de Vegetación	
Praderas y Matorrales	Apta
Áreas sin información	

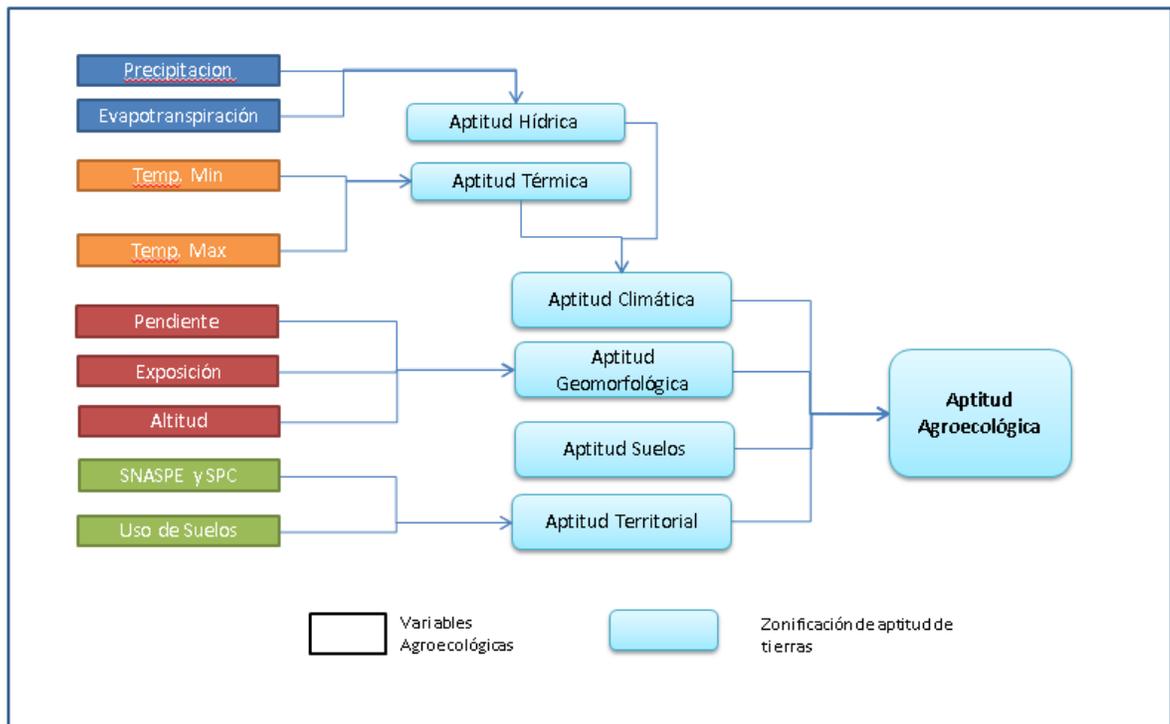
**Fuente: Elaboración Propia**

Las variables se llevaron a un mismo sistema de referencia, y se procedió al desarrollo de la zonificación agroecológica utilizando un modelo de evaluación, el cual fue confeccionado en base al modelo de decisión generado por FAO (1997), en la metodología ZAE de zonificaciones agroecológicas y se basa en el modelo de evaluación de tierras de Rossiter (1996). El modelo de decisión o modelo de evaluación de tierras es un tipo de EMC que basa su funcionamiento en definir y/o establecer áreas óptimas en función de parámetros previamente definidos (Días-Pereira *et al.*, 2011; Rossiter, 1996; Rossiter, 1994). Este modelo permite diferenciar las unidades territoriales dentro del área de estudio para el establecimiento de Diente de León Común y Diente de León Ruso en base a las variables que se consideren influyentes dentro del desarrollo, adaptabilidad y tolerancia que fueron recopilados en la primera etapa.

### Evaluación de la aptitud de tierra

La evaluación de aptitud de tierra, considera una pre-clasificación de cada variable de forma individual en función de los parámetros de adaptabilidad de las especies. A cada variable se le otorga una unidad para diferenciarlas de las demás con la finalidad de conservar su autonomía luego del procedimiento SIG/GIS. Si una variable es óptima en un área determinada, esta variable se reclasificará en un valor numérico igual a 3, si la misma variable en otra sección es clasificada como apta, recibirá el valor numérico 2 y si dentro de la misma variable otra área es considerada como marginal, recibirá un valor de 1. Las áreas excluyentes reciben un valor numérico de 0. En caso de que se deba considerar más de una variable, los valores que adquirirán los rangos serán evaluados en decenas (10, 20 y 30) para una segunda variable, para una tercera variable se usarán centenas (100, 200 y 300) y así sucesivamente para que cuando se crucen las diferentes variables, se puedan diferenciar, evitando perder la significancia de cada una. De esta forma, al obtener un cruce de 3 variables, la clasificación entregará un valor por ejemplo “123”, lo que significará que la unidad territorial tendrá una aptitud marginal para una variable, una aptitud apta para la segunda y una aptitud óptima para la tercera.

La organización de las variables se presenta en la figura N°7.



**Figura 7: Diagrama de ordenamiento de variables para clasificación de aptitud. Fuente: Elaboración propia.**

La aptitud climática representa la clasificación de condiciones tanto hídricas como térmicas para una plantación de Diente de León. Las variables de temperatura permiten construir una escala de aptitud térmica en los cuales las especies pueden desarrollarse, considerando los valores extremos y asegurando la supervivencia de la especie durante el período de cultivo. La precipitación media y la evapotranspiración permiten obtener la aptitud hídrica para las especies, que expresa los requerimientos del recurso durante su etapa de desarrollo.

La aptitud geomorfológica se obtiene en base a la pendiente, exposición y altitud, que hace referencia a las condiciones del relieve que cumplen con las condiciones en que se dan las especies.

La aptitud geológica se obtiene en base a la cartografía de grandes grupos de suelo, considerando texturas y características de los suelos que las plantas prefieren para ubicarse en un área.

La aptitud territorial indica en qué áreas se encuentran presentes usos de suelo que no se ven afectados por la actividad productiva de Diente de León como zonas urbanas y suelos de uso agrícolas, entre otros, y considerando también a las SNASPE, las SPC y las ASPP, en la cual se dejaron como zonas aptas todas aquellas superficies que no sean áreas protegidas de cualquier tipo, para plantar las especies.

La cartografía de Aptitud Agroecológica es la resultante de la superposición de las aptitudes climática, geomorfológica, geológica y territorial, usando técnicas de álgebra de mapas, obteniendo las áreas de convergencia. Esta cartografía estará compuesta por lo que se conoce como celda agroecológica en la metodología FAO (1997) de zonificación y es la representación de las distintas aptitudes para el establecimiento de Diente de León.

Al realizar el álgebra de mapas (superposición de mapas de aptitudes térmica e hídrica, por ejemplo), el código obtenido pasará a ser separado en base a los dígitos y dichos dígitos se ponderarán para obtener rangos de aptitud más precisos. Esto permitirá obtener un valor estandarizado, cuyo rango estará entre 1 y 3, y que entre más cercano al valor 3, mejores serán las condiciones de aptitud. Por otro lado, entre más cercano al valor 1, peor será la aptitud de la unidad territorial para colocar las especies. En vista de que la ponderación generará valores decimales, se trabajará con rangos en base a un incremento, lo cual permitirá clasificar dichos valores en una categoría que se muestran en el cuadro N°13.

**Cuadro N°13: Reclasificación de valores de aptitud en base a ajuste**

<b>Rango</b>		<b>Nomenclatura</b>
1	1,66666667	Marginal
1,66666667	2,33333333	Apto
2,33333333	3	Óptimo
INCREMENTO= 0.66666667		

**Fuente: Elaboración Propia.**

Las aptitudes que sean sometidas al proceso de álgebra de mapas serán ponderadas con distintos valores. Las variables (sobre todo climáticas) no se pueden controlar, como es el caso de las temperaturas, ya que si bien las especies se pueden desarrollar en un amplio rango de aptitud térmica, una zona no puede ser óptima o apta, si es que las condiciones de temperatura son marginales. En cambio, las condiciones hídricas, a pesar de que no existan precipitaciones suficientes para las especies, se puede realizar un manejo del recurso hídrico. Por esto se definieron las ponderaciones en base a un criterio experto para cada tipo de variable y también una ponderación distinta a cada aptitud de las que se muestran en la figura 7, con excepción de la aptitud territorial, cuya categoría solo busca delimitar las áreas excluyentes para la ubicación del cultivo.

### Escala de clasificación

Las aptitudes se clasificaron para identificar las zonas con diferentes potenciales de cultivo. La nomenclatura de óptimo/apto/marginal cumple esa función pero además se le dio un sub-código que representa la restricción asociada a la celda agroecológica (Rossiter, 1994; Rossiter, 1996). En los cuadros N°14 y 15 se entrega la nomenclatura asociada del sub-código en base a las variables y también la del nivel de restricción en caso de que la celda agroecológica presente alguna.

**Cuadro N°14: Nomenclatura sub-códigos de las variables**

Variable	Nomenclatura
Altitud	A
Exposición	E
Pendiente	P
Temperatura	T
Precipitación	H
Evapotranspiración	K
Variables Hídricas	L
Grupos de Suelo (órdenes)	S
Clima (V. hídricas y térmicas)	C
Relieve (Geomorfología)	R

**Fuente: Elaboración Propia**

**Cuadro N°15: Nivel de Restricción para los sub-códigos**

Nivel de Restricción	Nomenclatura
Restricción Fuerte	1
Restricción Leve	2
Sin Restricción	S/R

**Fuente: Elaboración Propia**

Se muestra el cuadro N°16 para la aptitud Morfológica (Altitud, Exposición y Pendiente, respectivamente), aplicando ponderaciones (aleatorias) al código obtenido para la celda, y el sub-código correspondiente de la ponderación para la restricción de dicha celda.

**Cuadro N°16: Escala para la clasificación de aptitudes**

Código	Ponderaciones			Ponderado	Nomenclatura	Sub-Código
	Altitud 0,3	Exposición 0,45	Pendiente 0,25			
333	3	3	3	3	Óptimo	S/R
133	1	3	3	2,4	Óptimo	A1
312	3	1	2	1,85	Apto	E1 /P2
323	3	2	3	2,55	Óptimo	E2
132	1	3	2	2,15	Apto	A1/P2
332	3	3	2	2,75	Óptimo	P2
112	1	1	2	1,25	Marginal	A1 / E1 / P2
211	2	1	1	1,3	Marginal	A2 / E1 /P1

**A: altitud; E: exposición; P: pendiente; S/R: sin restricción. e.g. realizado considerando tres variables determinantes para la aptitud morfológica. Fuente: Elaboración Propia.**

Con la obtención del valor ponderado y la nomenclatura, esta modifica el valor de la celda, haciendo que si la celda queda clasificada como óptima, entonces adquiere un valor igual a 3, si la celda es apta, adquiere un valor 2 y si es marginal, adquiere un valor 1. Lo anterior, se hace para estandarizar la información y evitar usar valores decimales cuando se utilice una segunda operación de álgebra con otras aptitudes. Es por lo anterior que para no perder información con respecto a las restricciones, se utiliza el sub-código que indica el tipo de restricción en la celda, para considerarla durante todo el trabajo.

### **Sistema de Ponderaciones para la determinación de aptitud de tierras**

El álgebra de mapas realizado, emplea un método de ponderación, el cual fue considerado en base a los requerimientos de los cultivos y corroborado por el experto J.M. Uribe. El cuadro N°17, presenta las ponderaciones específicas utilizadas para cada una de las variables, y también se presentan las ponderaciones de cada una de las aptitudes por separado, que se utilizaron para obtener la aptitud agroecológica.

**Cuadro N°17: Escala para la clasificación de aptitudes**

Variable/Aptitud	Ponderación
Precipitación	0,5
Evapotranspiración	0,5
Temp. Med. Mínima Jul	0,95
Temp. Med. Máxima Ene	0,05
Pendiente	0,45
Exposición	0,35
Altitud	0,2
Apt. Hídrica	0,1
Apt. Térmica	0,9
Apt. Climática	0,6
Apt. Geomorfológica	0,25
Aptitud Geológica	0,15
Aptitud Territorial	1

**Fuente: Elaboración Propia.**

A la precipitación se le otorgó un ponderador de 0,5 puesto a que influye en el período de crecimiento de las especies, no obstante, no fue un factor decisivo ya que en caso de no existir suficientes precipitaciones en una zona, se puede realizar tecnificación o manejo del recurso hídrico para lograr satisfacer la demanda de ambos cultivos. La evapotranspiración por su parte, se le otorgó la ponderación de 0,5 restante, puesto que, además de influir en el crecimiento de *T. officinale* y *kok-saghyz*, explica la demanda hídrica de ambas especies durante todo su ciclo de vida. Con esta ponderación se obtiene la aptitud hídrica.

La temperatura media máxima de enero se ponderó con 0,05, puesto que los rangos térmicos de las especies son muy amplios y resisten temperaturas por sobre los 20[°C], aunque son sensibles a las olas de calor (Lipschitz, 1953; UBC, 2013). La temperatura media mínima, es mucho más explicativa, puesto que las especies prefieren climas más fríos, siendo en las temporadas otoño e invierno donde sus semillas germinan. Por estas razones se ponderó a esta variable con 0,95. Al combinar estas variables se obtiene la aptitud térmica para el cultivo de las especies.

La pendiente se ponderó con 0,45, ya que su gradiente está asociado a procesos de formación del suelo y es vital para la instalación de los cultivos. La exposición recibió un 0,35, ya que la preferencia de las especies a la exposición solar hace que se deba considerar su ubicación cuando se trabaja en zonas con laderas. Sin embargo, se debe considerar que ambas especies pueden sobrevivir sin problemas en las laderas de exposición sur, resultando en que la ponderación no puede ser muy alta debido a que todas las áreas presentes pueden ser de utilidad para la instalación de un cultivo. Por otro lado, la altitud solo indica el rango que soportan las especies, lo cual está más asociado a las variables térmicas, ponderándolo con 0,2.

La aptitud hídrica se ponderó con 0,1, por la posibilidad de manejo del recurso hídrico para poder lograr que las áreas que presentan una aptitud marginal, puedan mejorarse llegando a niveles aptos e incluso óptimos. La aptitud térmica no puede ser modificada fácilmente, puesto a que son condiciones externas y que no son modificables o el costo asociado para cambiarlas es muy alto, por lo anterior, se ponderó con 0,9 a esta última.

La aptitud climática fue la de mayor ponderación (0,6), ya que determina la adaptabilidad productiva y las variables no pueden ser alteradas con medidas simples.

La aptitud geológica se ponderó con 0,15, ya que da cuenta de las condiciones del suelo y de la cantidad de materia orgánica presente.

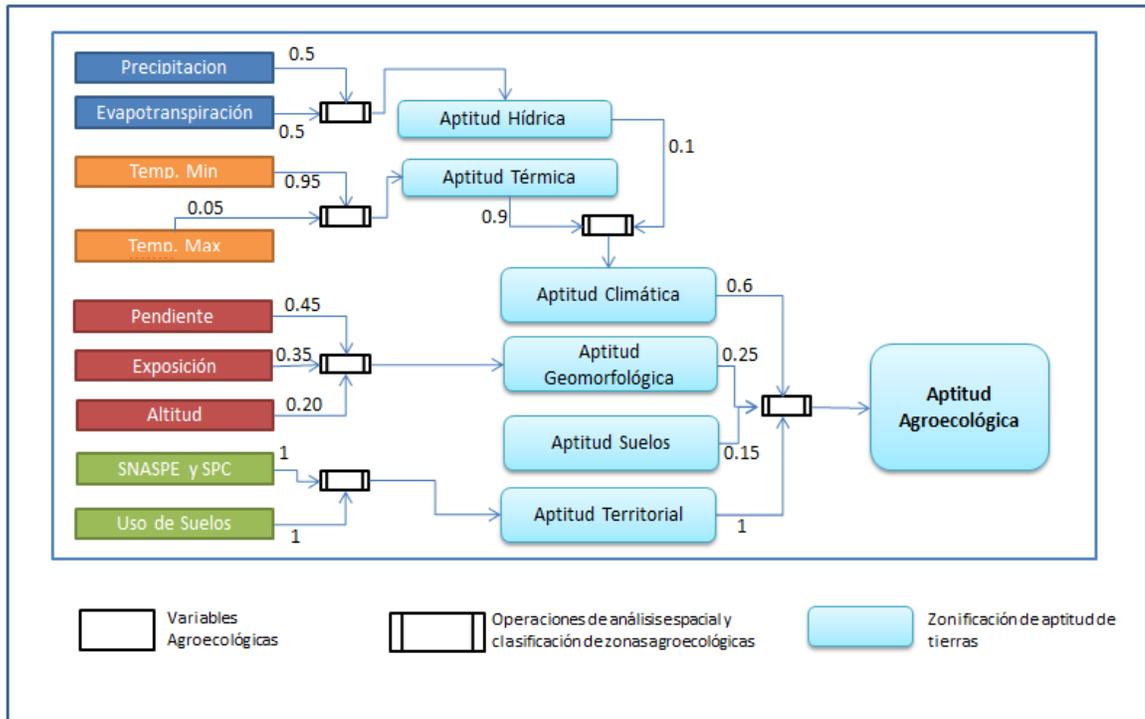
La aptitud geomorfológica se consideró importante ya que explica los procesos formativos de suelo, de radiación necesaria para la especie y por su relación con las temperaturas presentes en el área de estudio, dándole un factor ponderante de 0,25.

La aptitud territorial recibió una ponderación de 1 puesto que solo explica disponibilidad del suelo para ser utilizado, siendo la más determinante de las cuatro aptitudes.

Con las ponderaciones definidas se procedió a cruzar la información, la cual se detalla en el siguiente ítem, en un diagrama de flujos para la aptitud de tierras.

### **Diagrama de Flujo para la determinación de aptitud de tierras**

La combinación de las variables para la determinación de la aptitud de tierras se llevó a cabo mediante el procedimiento explícito en la Figura 8. En ésta se aprecia el orden de procesamiento de las zonificaciones de los recursos de tierras en conjunto a su respectiva ponderación, para su posterior evaluación mediante las operaciones de análisis espacial y de clasificación de zonas agroecológicas.



**Figura 8: Diagrama de Flujo genérico, para la determinación de aptitudes de tierra, en base al modelo de evaluación establecido. Fuente: Elaboración Propia.**

Las operaciones de análisis espacial identificadas hacen referencia al proceso de combinación algebraica entre las variables agroecológicas codificadas y de interpretación de los códigos de las combinaciones resultantes. La clasificación de zonas agroecológicas se refirió al proceso de asignación y/o agrupación con categorías representativas de los niveles de aptitud y de restricciones del área de estudio.

### **Codificación de aptitudes de las variables agroecológicas**

Con el álgebra de mapas de las variables individuales, para obtener las aptitudes relacionadas a los cultivos, se procede a establecer la codificación de las cuatro aptitudes determinantes para obtener las zonas agroecológicas dentro del área de estudio. Para la clasificación se utilizaron los códigos que se presentan en el cuadro N°18. Como se consideraron 4 categorías de aptitud para realizar la zonificación se le otorgaron distintas unidades numéricas a cada una para poder realizar la clasificación.

**Cuadro N°18: Codificación de Aptitudes de síntesis para zonificación agroecológica**

Variable Agroecológica	Nivel de Aptitud	Código
Aptitud Climática	Marginal	1
	Apto	2
	Óptimo	3
Aptitud Geomorfológica	Marginal	10
	Apto	20
	Óptimo	30
Aptitud Suelos	Marginal	100
	Apto	200
	Óptimo	300
Aptitud Territorial	Apto	1000

**Fuente: Elaboración Propia.**

Se reclasificaron las imágenes de las aptitudes seleccionadas según la codificación establecida, se identificaron las zonas agroecológicas mediante el diagrama de flujo. La codificación fue diseñada para combinar algebraicamente las imágenes de preferencia mediante sumatorias.

Las zonas agroecológicas correspondieron a todas las áreas que exhibieron un valor de píxel distinto de cero luego de las combinaciones. A modo de ejemplo, el código combinado con valor 1233 quiere decir que esta zona (grupo de píxeles con igual valor) no genera competencias de uso de suelo con actividades agrícolas o urbanas y tampoco afecta un área protegida; presenta suelos con materia orgánica y desarrollo estructural aptos para colocar el cultivo, el relieve y condiciones de radiación son idóneos o necesitan poco manejo para emplazar un campo de cultivo y no presenta restricciones fuertes desde el punto de vista de necesidades hídricas o térmicas para el Diente de León.

### **Zonificación Productiva del área de estudio para determinar la aptitud productiva para *Taraxacum officinale* y *kok-saghyz*.**

Para la zonificación productiva se utilizará el modelo de simulación empleado por ODEPA (2010) en su metodología de zonificación de aptitud productiva, este modelo está basado en la relación propuesta por Monteith (1996) en la cual establece como indicador aceptable de la producción a la cantidad de biomasa seca obtenida por unidad de superficie. Este modelo se desarrolló para condiciones de secano y de riego integrando componentes tales como el paso de tiempo diario, el crecimiento de la planta, el balance fotosintético, el balance hídrico del cultivo y el control térmico.

**Fórmula N°1: Modelo de Producción en Secano (Monteith, 1996)**

$$PCS = E \cdot EURS \cdot I \cdot FT \cdot FH$$

Donde;

- PCS: Producción potencial de biomasa en condiciones de secano (kg ms/ha d).  
 E: Radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>\*d).  
 EURS: Eficiencia de uso de la radiación solar (kg ms/ha//MJ/m<sup>2</sup> d).  
 I: Intercepción de la luz por el cultivo.  
 FT: Función de control térmico. Esta función toma valores entre 0 y 1 en función del grado de proximidad de la temperatura al valor óptimo definido para la especie.  
 FH: Función de control hídrico. En este caso FH toma valores desde 0 a 1, en función del balance hídrico del cultivo.

La función de control térmico se obtiene convirtiendo la aptitud térmica del cultivo a una escala de 0 hasta 1, donde los valores que más cercanos al 0 son aquellos valores de demanda que están más lejanos al óptimo para las especies (Monteith, 1996). En otras palabras, si para un cultivo su óptimo es 12[°C] y su rango se mueve entre 3[°C] y 20[°C], entonces los valores que sean menores o iguales a 3 y mayores o iguales a 20, adquirirán un valor igual a 0. Todos los valores que estén entre 3 y 20, se establecerán en una escala entre 0 y 1, tomando valor 1 si es que la temperatura en ese pixel es igual a 12[°C]. Para la función de control hídrico, se utilizó la demanda evapotranspirativa del cultivo y se fijó el rango de aptitud óptimo de las especies, lo cual permite por medio de la fórmula de conversión reclasificar dichos valores de evapotranspiración en la escala de 0 a 1.

La radiación solar corresponde al mapa de radiación solar para el área de estudio.

Para la eficiencia de uso de la radiación solar, se trabajó en conjunto con el experto J.M. Uribe, para la determinación de producción de materia seca y su respectiva conversión a energía en MegaJoules (MJ).

Para la intercepción de la luz por el cultivo, se trabajó en base al área foliar y cobertura de ambas especies y se estimó un porcentaje de cobertura.

Se realizó una cartografía que contemple la zonificación agroecológica en conjunto con la productiva, por medio de un cruzamiento de ambas zonificaciones. Esta cartografía final combinará los aspectos territoriales para elegir áreas de establecimiento del cultivo en función de su adaptabilidad integrando la producción estimada que puede ser alcanzada en las mismas áreas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Variables agroecológicas para el establecimiento de las especies Diente de León Común y Diente de León Ruso.**

Se consideró como prioridad las condiciones y parámetros de zonas climáticas similares a Chile (Longyear, 1918; Matthei, 1995; Molina-Montenegro y Cavieres, 2010; Struik, 1967), debido a que no existen estudios en Chile sobre Diente de León común como cultivo; y debido a que el Diente de León Ruso no se encuentra en el área de estudio.

#### *Taraxacum officinale*

##### Rango Altitudinal

El Diente de León Común se distribuye desde los 0 metros a los 800m en Chile (Matthei, 1995), 900m en algunas partes de Inglaterra (PFAF, 2012), 1400m en el reino unido (Menéndez, 2006), 2600m en la cordillera de Chile (Molina-Montenegro y Cavieres, 2010), 2900m en el bajío de México (Rzedowski, 1997), 3200m en Chile (Cavieres *et al.*, 2008) y 4000m en el valle de México (Perdomo, 2009).

##### Clima

*Taraxacum officinale* prefiere principalmente climas de tipo templado (Rzedowski, 1997). Se encuentra en climas áridos, atlánticos, continentales y montañosos, entre otros (JEA, 2012). Soporta tanto heladas como sequías (PFAF, 2012; USDA, 2013). En Chile, la especie se encuentra en zonas con temperaturas de hasta -8[°C] e incluso soporta nevadas ocasionales (ChileFlora, 2006). Existen registros en otros países donde ha llegado a soportar -29[°C] (PFAF, 2012; UBC, 2013). En Chile, Matthei (1995) describe que la especie se encuentra en zonas de secano, con 3 a 5 meses secos y con precipitaciones que van desde los 400 a los 800 [mm] anuales. Prefiere zonas con plena exposición solar, no obstante, también se pueden encontrar individuos ubicados en zonas de poca exposición, en Estados Unidos (UBC, 2013). Le favorecen suelos de poca pendiente, con inclinaciones que no superen al 14%, pero se distribuye en suelos con pendientes de hasta un 100% (UBC, 2013).

#### *Taraxacum kok-saghyz*

##### Rango Altitudinal

El rango altitudinal para esta especie es similar al del Diente de León común (entre 0 y 2900m; Rzedowski, 1997). En su lugar de origen, autores la han descrito en zonas de valles que alcanzan entre 1800 y 2300 [m] sobre el nivel del mar (Lipschitz, 1934).

## Clima

*T. Kok-saghyz* prefiere climas de tipo templado (Whaley, 1944), aunque también se encuentra en climas continentales y montañosos. En base a la distribución nativa y los registros disponibles para esta especie, se puede inferir que *T. Kok-saghyz* presenta condiciones para desarrollarse en suelos de hasta 5 en la escala de rusticidad de la USDA (ver anexo II), permitiendo su presencia en zonas muy frías. Presenta condiciones de tolerancia climática muy similares a los de *T. officinale*, solo con pequeñas diferencias en su proceso de germinación y de crecimiento, siendo *T. kok-saghyz* menos resistente que *T. officinale* (Volis, 2009). En cuanto a sus requerimientos hídricos, esta especie se encuentra en zonas donde precipitan como mínimo entre 350 y 400 [mm] anuales. En cuanto a sus requerimientos térmicos, *T. Kok-saghyz* en su hábitat natural sobrevive en rangos de temperaturas en los meses de verano que van desde los 12 [°C] hasta los 17 [°C]. Por otra parte, en los meses de invierno, los rangos de temperatura bajan hasta los -12 [°C] llegando a alcanzar 18[°C], sin que el cultivo se vea afectado (Lipschitz, 1953).

**Cuadro N°19: Cuadro comparativo de variables entre Diente de León común (*T. officinale*) y Diente de León Ruso (*T. kok-saghyz*).**

Variable	<i>T. officinale</i>	<i>T. kok-saghyz</i>	Rango común
Precip. Med. Anual (mm)	400 – 900	350 - 900	350 - 900
Temp. Med. Anual (°C)	-8 – 25	-12 - 18	-8 – 18
Evapotrans. Med. Mensual (mm/mes)	0 – 200	0 - 175	0 – 175
Altitud (MSNM)	0 – 2900	0 - 2300	0 – 2300
Pendiente (%)	0 – 100	0 - 100	0 – 100
Exposición (°)	0 – 360	0 - 360	0 - 360

Fuente: Elaboración Propia.

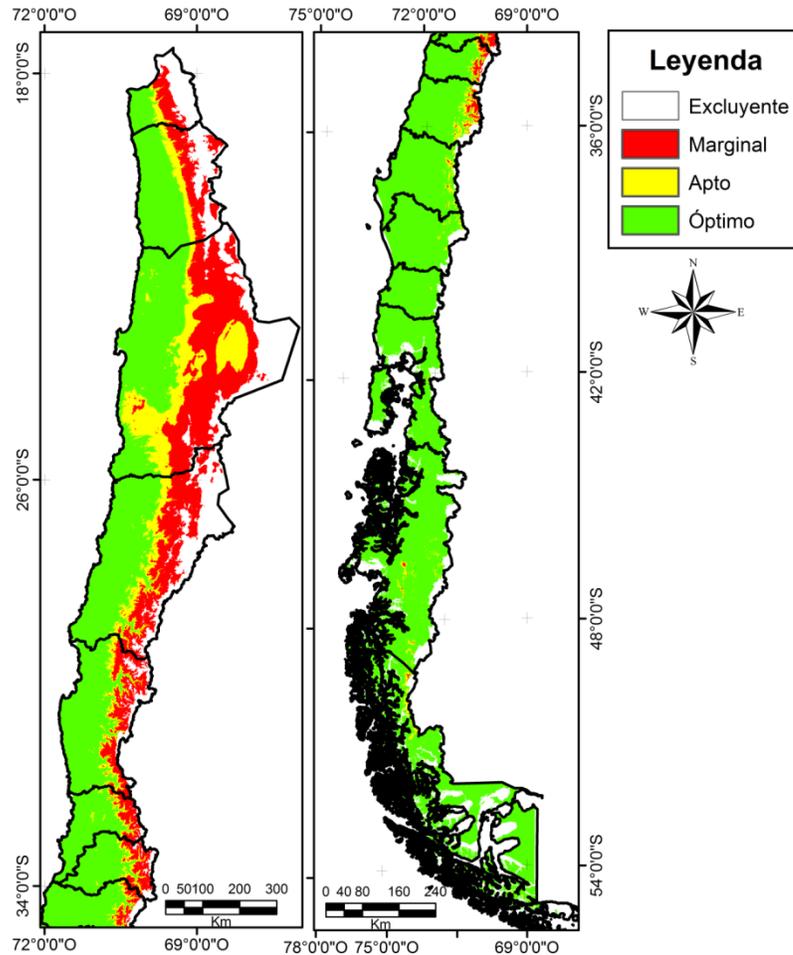
**Zonificación agroecológica del área de estudio para determinar la superficie potencial de establecimiento y de aptitud productiva para *Taraxacum officinale* y *kok-saghyz*.**

### **Clasificación Individual de Variables**

Los recursos de tierra se pre-clasificaron mediante la regla de decisión para cada variable por separado.

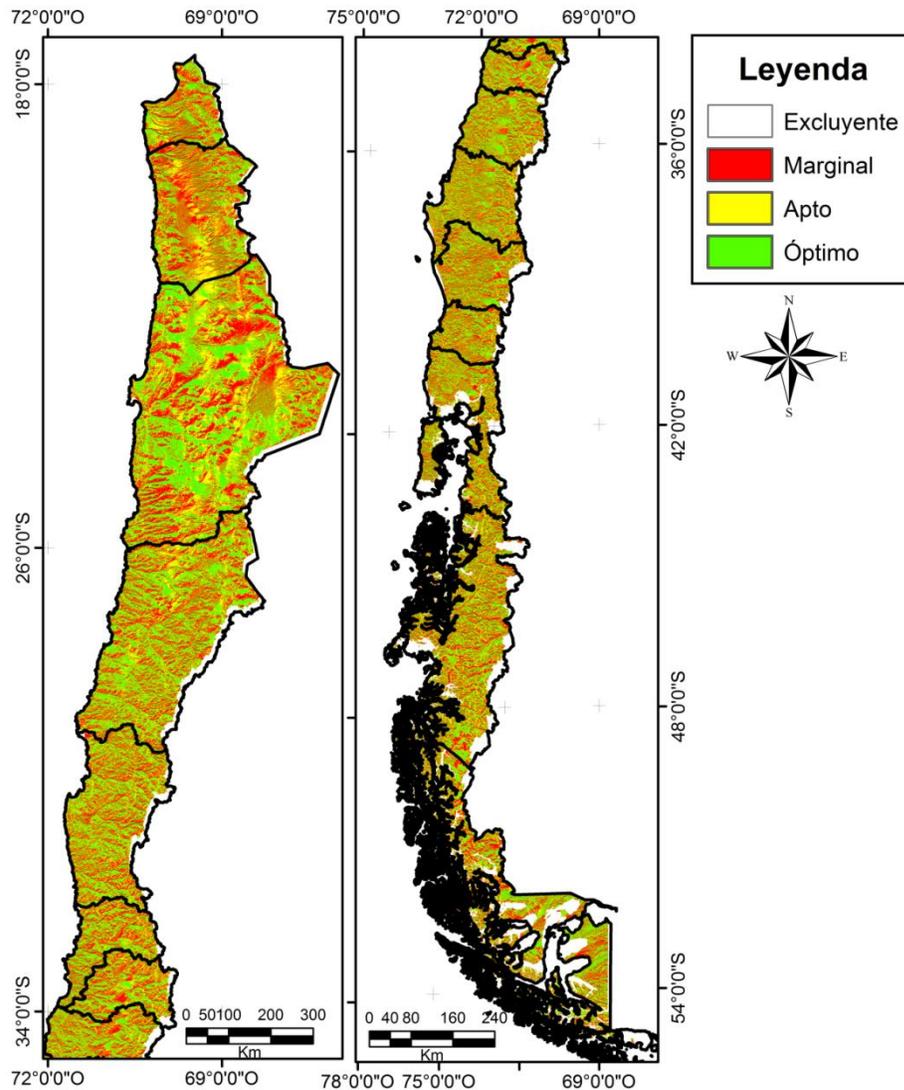
La altitud muestra que una gran proporción del área de estudio (>90%) presenta al menos las condiciones mínimas para la supervivencia de las especies y un porcentaje mayoritario de suelos están dentro del rango altitudinal óptimo para ambas especies (>65%). Las zonas excluidas se extienden desde la XV región, hasta la zona sur (XII R), concentrándose en la zona norte por la presencia de la Cordillera de los Andes, que ejerce su influencia altitudinal, disminuyendo su presencia hacia la zona sur, y haciendo que las áreas

marginales para la instalación de las especies casi no existan en esas latitudes. El mapa de aptitud de altitud se presenta en la figura N°9.



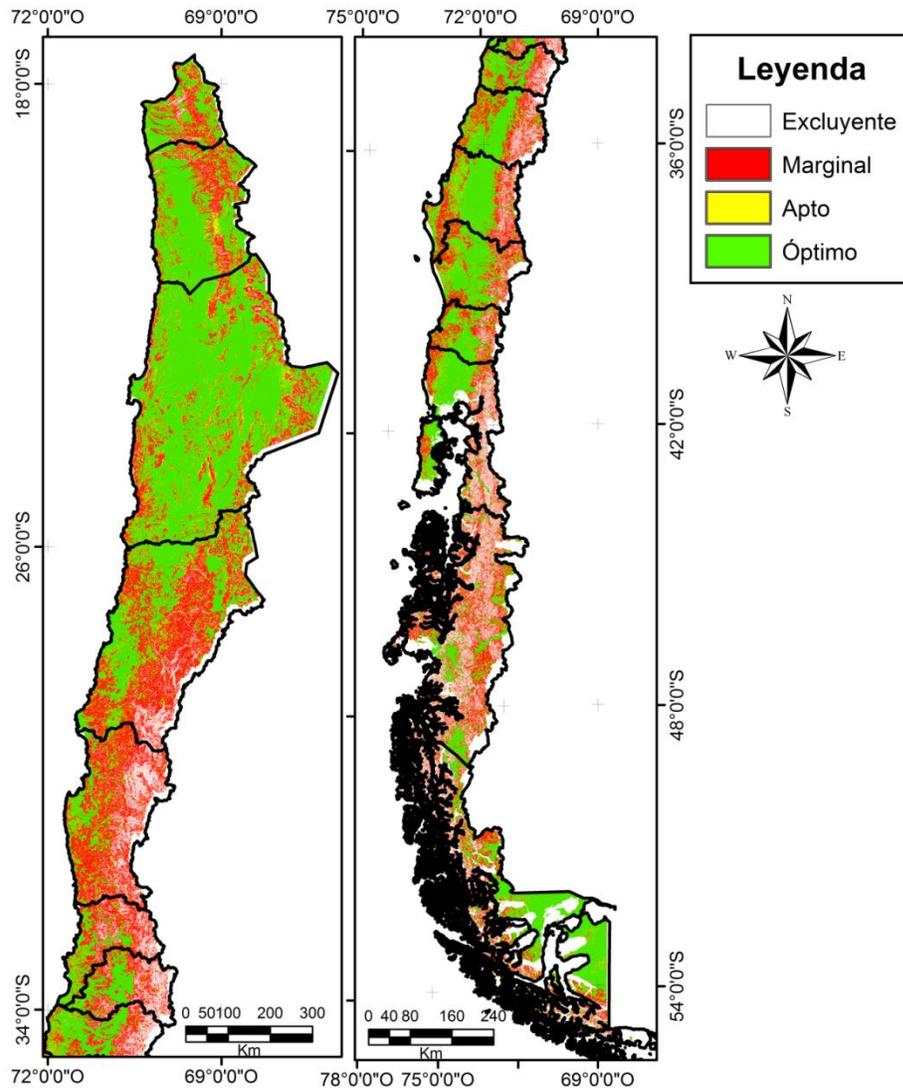
**Figura 9: Mapa de Aptitud Altitudinal para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*. Fuente: Elaboración Propia.**

La variable de exposición o también llamada orientación, muestra que casi la totalidad de la superficie (>95%) presenta condiciones para el desarrollo de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*, habiendo zonas con excepciones, que se aprecian con mayor facilidad en la XI región y que corresponden a zonas casi sin pendientes o fondos de quebradas. La mayor concentración de zonas óptimas encontradas en base a la exposición se ubican en la II Región, donde se aprecia una preponderancia representada de color verde (figura N°10).



**Figura 10: Mapa de Aptitud de Exposición para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*. Fuente: Elaboración Propia.**

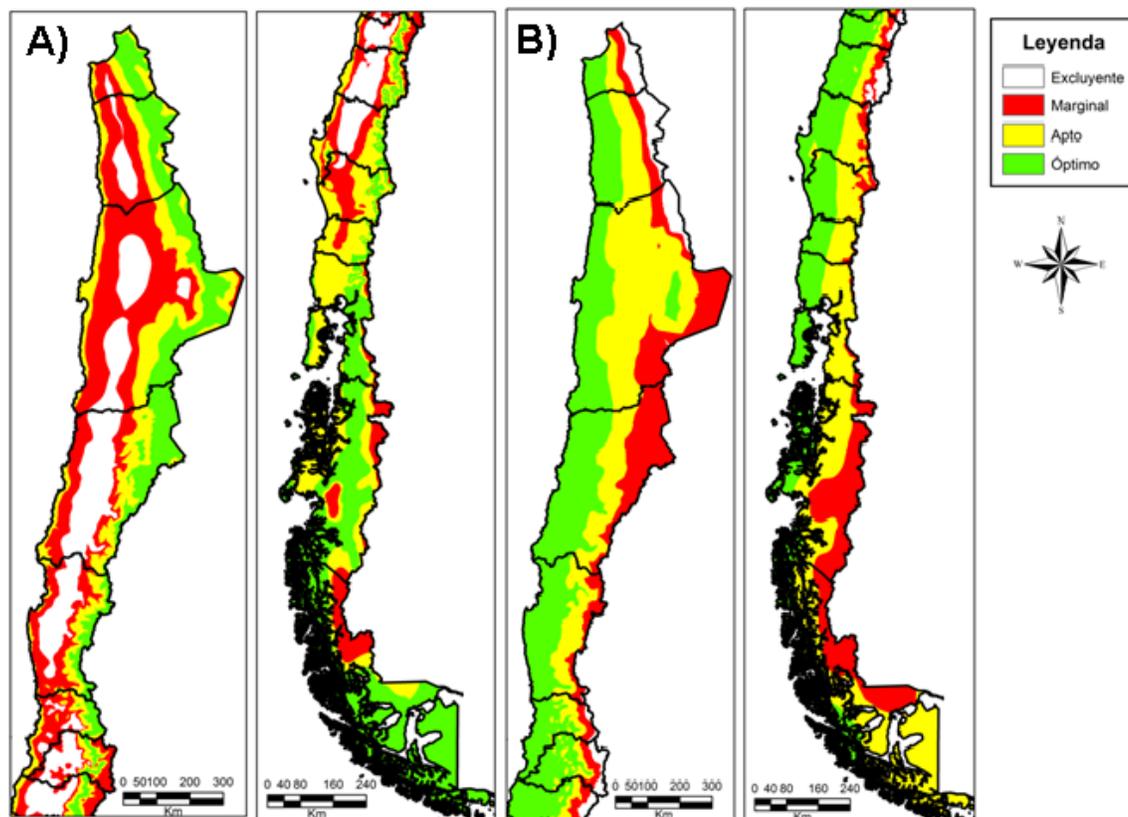
Las pendientes con las mejores condiciones para que las especies tengan una buena profundidad de suelo y puedan desarrollarse sin restricciones asociadas a este se concentran principalmente en la zona norte entre la I y III región; y hacia la zona sur desde la VI hasta la X, con algunas áreas ubicadas en el límite continental con Argentina de la XII región (figura N°11).



**Figura 11: Mapa de Aptitud de Pendientes para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*. Fuente: Elaboración Propia.**

Las variables térmicas, muestran que hay una fuerte restricción en gran parte del territorio nacional, a causa de la temperatura media máxima del mes más cálido (Figura 12A). Esta influencia se extiende desde la XV hasta partes de la X región, abarcando principalmente la zonas de valles entre la cordillera de la costa y la cordillera de los Andes. La zona de depresión intermedia queda excluida en su mayoría a partir de la II región, extendiéndose hasta la IX región. Se debe destacar que analizando las temperaturas medias mínimas del mes de julio, existe una amplia superficie que presenta condiciones óptimas (figura 12B), desde la zona norte del territorio nacional, hasta la zona sur (XII región). Esto permite la

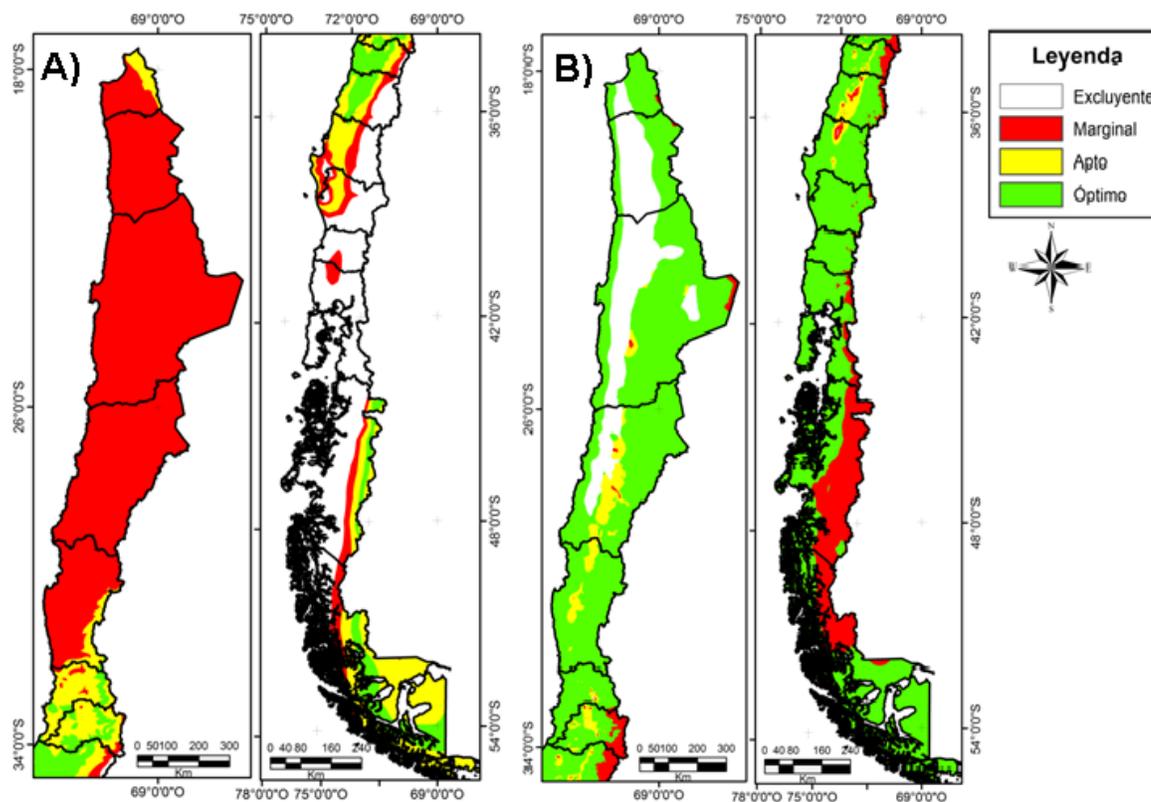
plantación de los cultivos, puesto que ambas especies soportan heladas y en las épocas del año donde las temperaturas son cercanas a 0[°C], no debiesen tener problemas en su desarrollo, a lo largo del territorio nacional.



**Figura 12: Mapa de Aptitudes térmicas: (A) Mapa de Aptitud de Temperatura Media Máxima en Enero; y (B) Mapa de Aptitud de Temperatura Media Mínima en julio para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*. Fuente: Elaboración Propia.**

El análisis de las precipitaciones medias anuales, muestra que las zonas que cumplen con las mejores condiciones para la supervivencia de los cultivos se concentran en la zona central a partir de la Región Metropolitana extendiéndose hasta la VII región. El exceso de precipitaciones genera que los suelos comprendidos hasta gran parte de la XI región sean excluidos, con algunas excepciones ubicadas hacia la zona cordillerana de la región, extendiéndose hasta la XII región. La zona norte presenta condiciones marginales, debido a que las precipitaciones no son suficientes para abastecer la demanda hídrica tanto de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*, no obstante, son áreas potencialmente utilizables mientras exista

provisión de agua con métodos de manejo del recurso. En la figura 13A se presenta el mapa de aptitud de precipitaciones.

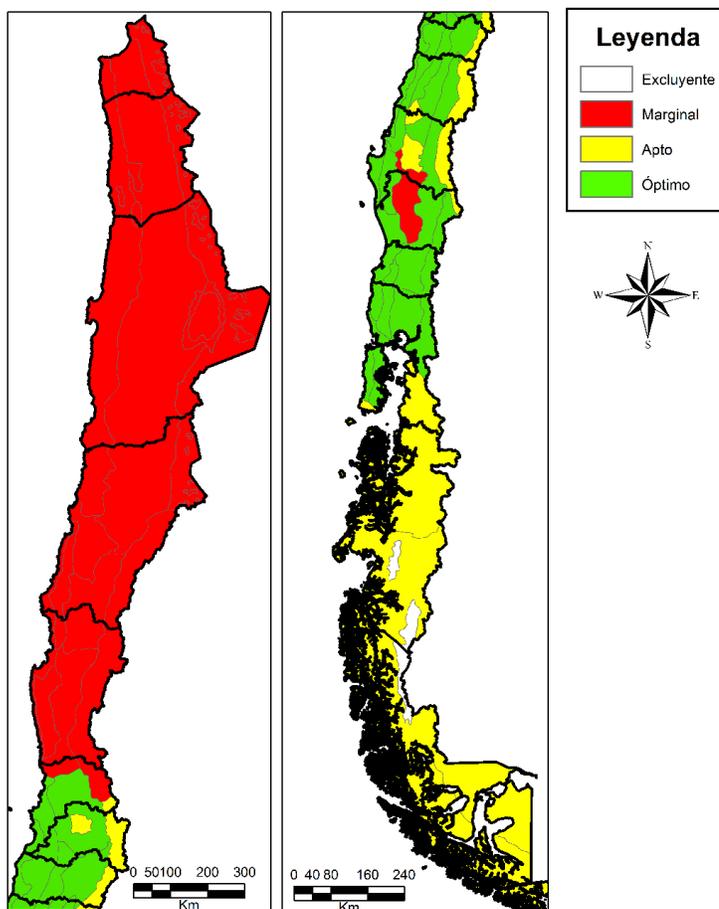


**Figura 13: Mapa de Aptitudes de variables hídricas: Mapa de aptitud de Precipitación media Anual (A); y Mapa de Aptitud de Evapotranspiración (B) para T. Officinale y T. Kok-saghyz. Fuente: Elaboración Propia.**

La aptitud evapotranspirativa (figura 13B), se mantiene óptima casi en la totalidad del territorio, con excepciones en las regiones XV, I, II y III, donde existe una tasa mayor de evapotranspiración para lo necesitado por el Diente de León Común y Ruso. Desde el punto de vista cuantitativo, las zonas que presentan condiciones óptimas, alcanzan un 73,8% del territorio nacional, lo que equivale a una superficie de 47.764.210 [Ha] y cuya extensión está acotada desde la XV región, hasta la XII. Los suelos con condiciones aptas se concentran en la III región con una leve influencia en la IV y una mayor presencia en la zona central de la VII región. Dichas superficies alcanzan en su conjunto un 3,35% del territorio nacional lo que se traduce en 2.169.407 [Ha] con estas características. En cuanto a suelos que presentan una aptitud marginal, el porcentaje del total nacional que ocupan es de un 14,6% aproximadamente, lo que corresponde a 9.472.667[Ha]. En cuanto a los suelos

excluyentes, estos se concentran en la zona norte y el porcentaje que ocupan es del 8,2%, lo que en área se traduce en 5.307.875[Ha].

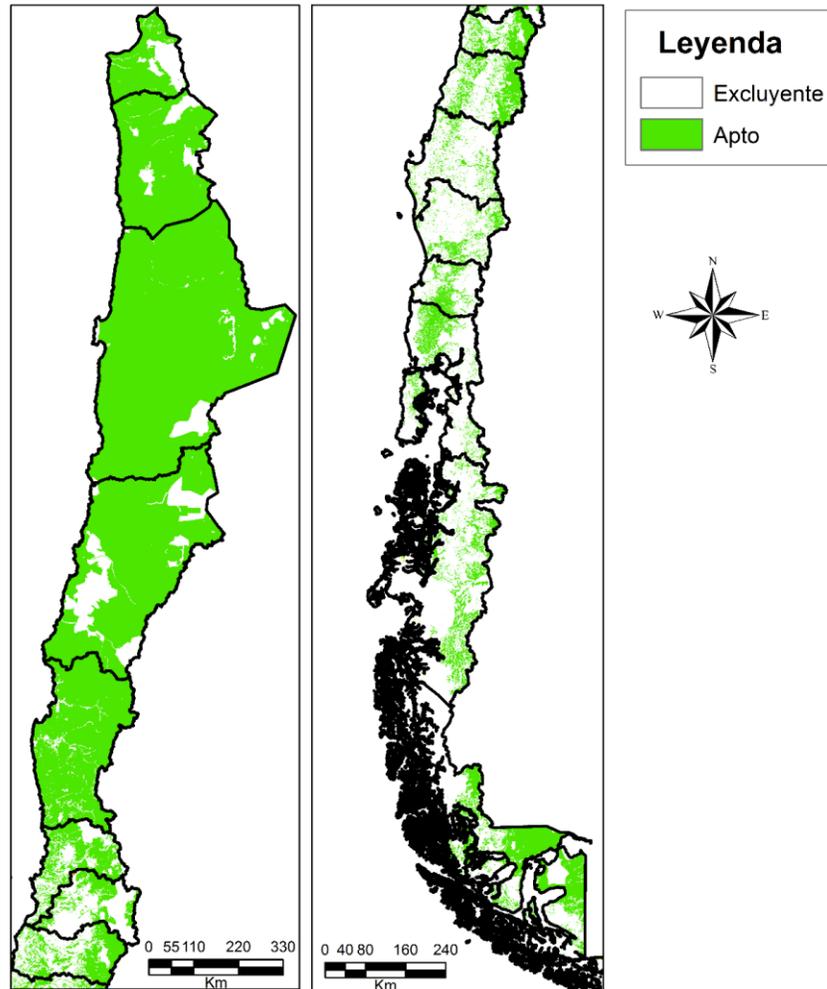
La aptitud geológica, se puede apreciar que los mejores órdenes de suelos para la plantación de las especies se concentran entre la V y la X región del territorio nacional, con algunas áreas dispersadas en otras latitudes, como por ejemplo en el límite con argentina, en la región de Magallanes. El área con menores condiciones para esta actividad se concentra en la zona norte, debido a la mayoritaria proporción de entisoles y aridisoles, que son suelos con un horizonte petrocálcico y con niveles de salinidad elevados (Seguel, 2013). No obstante, estos suelos no son excluyentes, puesto que las especies soportan altos niveles de salinidad (Krotkov, 1945), aunque esto signifique que no se desarrollarán de manera óptima. En la zona sur se aprecian zonas que no califican para ser utilizadas, las cuales son los gelisoles, suelos cubiertos por hielos, y que no son aptos para el establecimiento de Diente de León Común y Ruso. En cuanto a porcentajes, las áreas óptimas ocupan un 20,4% aproximado del total del área de estudio. Las áreas aptas y marginales, representan un 36% y 42,1% respectivamente, dejando solo un 1,36% para zonas excluyentes. En la figura 14 se presenta el mapa de aptitud para los órdenes de suelo.



**Figura 14: Mapa de Aptitud Geológica para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.: Elaboración Propia.**

El 51,22% de la superficie total del área de estudio se encuentra disponible por concepto de usos del suelo, considerando en la estimación como limitante estricto a los terrenos agrícolas, los SPC, los APP y las SNASPE además de los otros usos limitantes como zonas de bosque nativo, áreas actividades industriales y servicios turísticos. La VII región es la que presenta menor disponibilidad de terrenos desde este punto de vista, debido a la fuerte actividad forestal y silvoagropecuaria presente en esta. Las regiones del norte (desde la XV R, hasta la IV R) presentan una disponibilidad promedio aproximada superior al 90%. Esto se debe a que gran parte de esa área se encuentra catalogada como áreas desprovistas de vegetación, praderas y matorrales. Mediante el análisis de esta cobertura se verifica que desde la IV R y V R existe una mayor cobertura vegetal así como mayor presencia de actividad agrícola, debido a las mejores condiciones climáticas y edáficas. Analizando las

regiones de la zona centro-sur (RM hasta XII R), las condiciones de disponibilidad disminuyen en comparación con la zona norte. Esto se debe a la presencia de bosque nativo y actividades productivas que, en conjunto con las áreas protegidas y prioritarias para conservación, ocupan la superficie comprendida entre estas regiones.



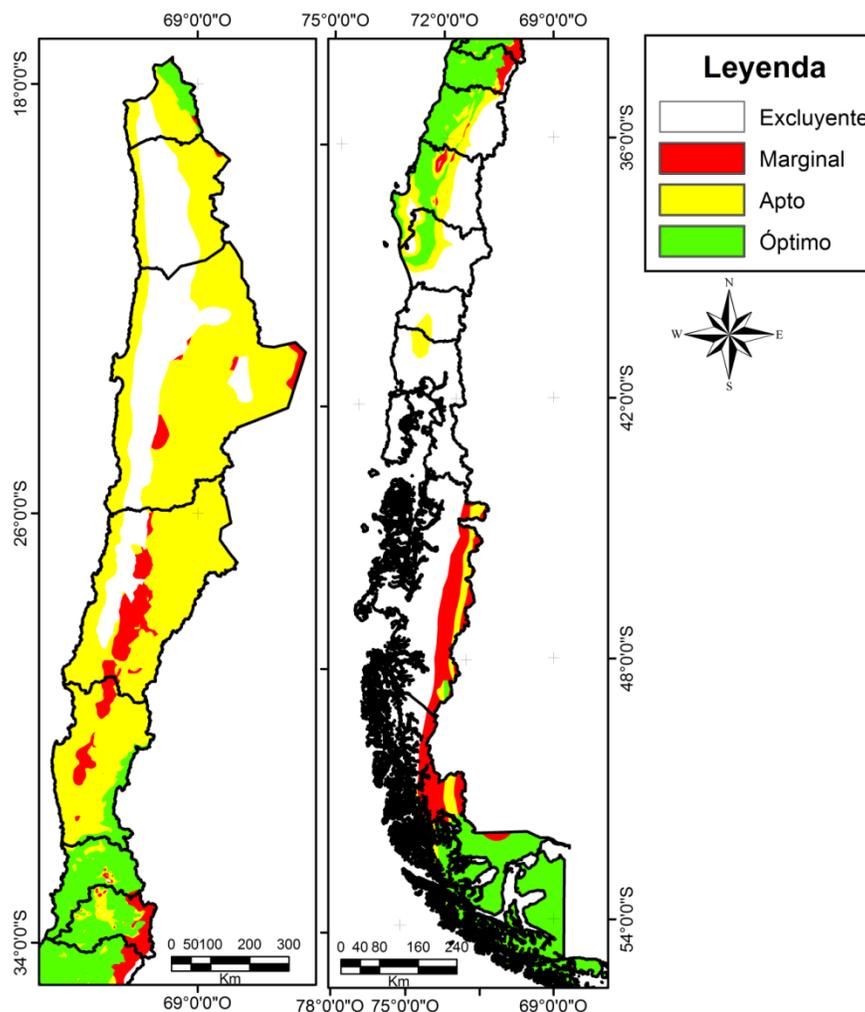
**Figura 15: Mapa de Aptitud Territorial para *T. officinale* y *T. kok-saghyz*. Fuente: Elaboración Propia.**

### **Cartografías de Síntesis de áreas potenciales**

En este apartado se exponen las zonificaciones de aptitud de tierras en conjunto con un respectivo análisis cualitativo y cuantitativo de la información generada para la ubicación de zonas de cultivo de Diente de León Común y Ruso.

## Zonificación de Aptitud Hídrica

La zonificación de aptitud hídrica se condice en su mayoría con la aptitud de las precipitaciones, la cual marca limitantes asociadas a un exceso de precipitación. El área de aptitud para el cultivo de las especies desde un punto de vista hídrico queda acotada a las zonas que se muestran en la figura N°16.



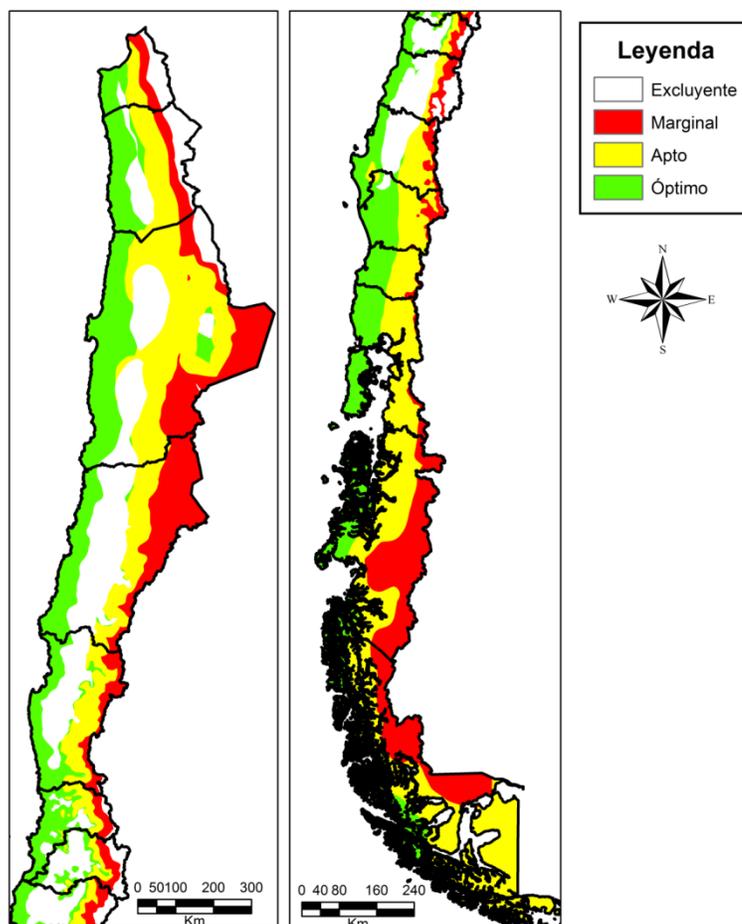
**Figura 16: Mapa de Aptitud hídrica para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*. Fuente: Elaboración Propia.**

El análisis cuantitativo revela que un 61% de Chile continental presentó algún nivel de aptitud hídrica. Desde la IV hasta la VI Región el 100% del territorio mostró distintos niveles de aptitud para el establecimiento de estas especies. La categoría óptima representa el 22,4% del territorio, concentrándose entre las regiones de Valparaíso y del Biobío, con presencia también en la XII y XV R. Las superficies con categoría apta fueron un 29,8%

del total disponible distribuyéndose a partir de la XV región hasta la IV R. Las superficies marginales solo representaron un 8,5% y su principal ubicación es en las regiones II, III y XI R.

### **Zonificación de Aptitud Térmica**

La aptitud térmica para el área de estudio presenta como característica una distribución longitudinal de las distintas aptitudes, provocada por la influencia preponderante de las temperaturas medias mínimas del mes más frío, sumando también las exclusiones generadas por la presencia de altas temperaturas medias máximas en el mes de Enero, que se distribuyen desde la zona norte (XV, I y II R) en la zona altiplánica y con mayor influencia en la zona de depresión intermedia desde la II R hasta la VIII R. Hacia la zona sur (IX R en adelante) se aprecia que las áreas excluyentes desaparecen, puesto que las temperaturas medias máximas en verano son el factor limitante y, al no haber área de exclusión por concepto de altas temperaturas, las áreas quedan consideradas en el peor de los casos como marginales. No obstante, la alta ponderación otorgada a la TMMin por sobre la TMMax genera que zonas que no tienen una buena aptitud en los meses de calor, finalmente presenten condiciones iguales o mejores para el resto del año, considerando que son valores extremos y que su duración puede llegar a 3 o 4 meses de influencia en todo el año.



**Figura 17: Mapa de Aptitud térmica para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*. Fuente: Elaboración Propia.**

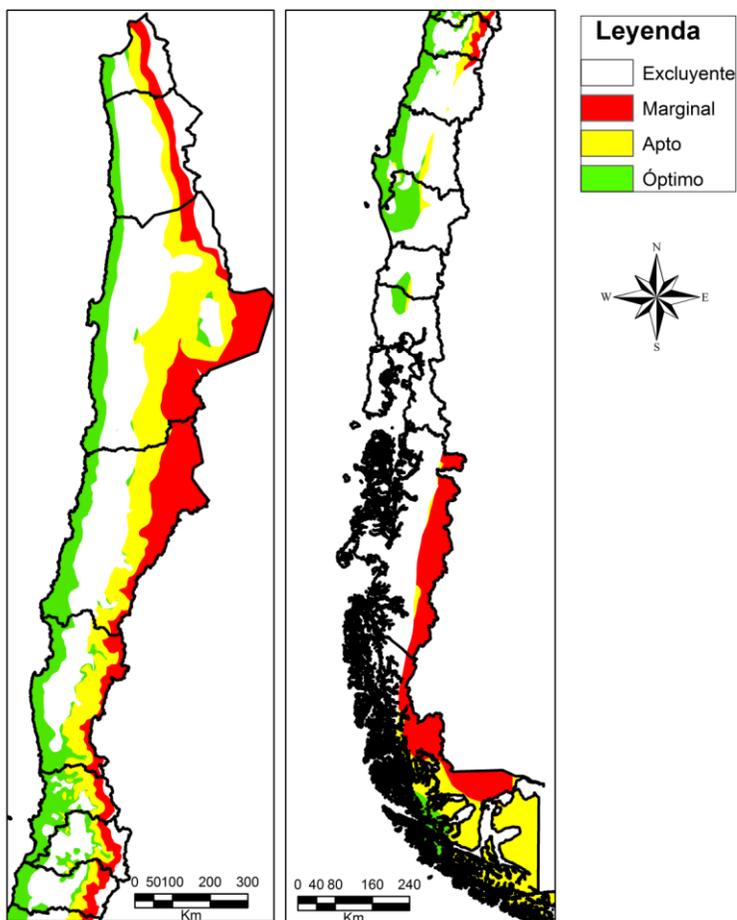
El análisis cuantitativo muestra que del total del área de estudio, un alto porcentaje (84,7%) presenta condiciones para generar cultivos de *Taraxacum officinale* y *Taraxacum kok-saghyz*. De este porcentaje, las regiones que mayor aptitud presentaron, proporcionalmente a su superficie disponible, son la XIV y X R, ya que la totalidad posee algún nivel de aptitud para estos cultivos. Además, las regiones XI y XII R presentan una aptitud total desde el punto de vista de superficie, sin embargo, el nivel de aptitud alcanzado en estas es en su mayoría apto y marginal, dejando solo una pequeña parte del total como óptimo. Del total nacional, los suelos con condiciones óptimas corresponden a un 25,49% lo que en medida de superficie se traduce en 16.496.526,9[Ha] y que se distribuyen principalmente en toda la zona costera del área de estudio. Por su parte, los suelos aptos concentraron un porcentaje mayoritario, alcanzando el 38,9% de la superficie total de Chile, distribuyéndose hacia la zona cordillerana de los Andes y ocupando un área estimada de 25.203.873,12[Ha].

Las áreas marginales por otro lado, representan el 20,33%, distribuido en la zona de cordillera de los Andes, limitando con Argentina y ocupando 13.161.568,58[Ha] de extensión superficial. Por último, las zonas excluyentes abarcan un 15,22% del territorio nacional lo que se traduce en un área total de 9.852.190,21[Ha].

### **Zonificación de Aptitud Climática**

La aptitud climática muestra un alto nivel de exclusión impuesto por la combinación de la aptitud hídrica para la zona sur, con las áreas de exclusión de la zona norte por concepto de temperaturas. Sumado a esto, se debe considerar que el resultado obtenido muestra que las áreas con una leve o sin restricción (óptimas) se limitan a casi toda la zona costera del país, desde la XV R hasta la IX R aproximadamente, con algunos casos particulares como en la V R y parte de la IX R, donde la aptitud se extiende hacia los valles interiores de la respectiva región. También, existen algunos casos particulares como en la XIV y X R donde se encontraron áreas óptimas para el desarrollo de los cultivos.

Según el mapa de aptitud climática, se infiere que las mejores condiciones desde el punto de vista climático para llevar a cabo una plantación de Diente de León tanto común como ruso, es en la V región que es la que presenta una mayor superficie clasificada como óptima y cuya extensión alcanza a la zona sur de la región de Coquimbo. Las zonas menos aptas (incluidas las marginales) se distribuyen hacia los extremos norte y sur, marcando una fuerte influencia en la zona de cordillera, sobre todo en las regiones II y III para el norte; y en el límite con Argentina para la zona sur, específicamente en la región XII de Magallanes y la Antártica Chilena. Para la zona en estudio, las principales restricciones se asociaron a las temperaturas, a causa de la mayor ponderación, consecuencia de una mayor dificultad para manejar estas variables en comparación con las variables hídricas. Lo anterior generó que si la aptitud térmica en una zona determinada era apta o marginal, incluso si las condiciones hídricas eran óptimas, al no poder cambiar las condiciones térmicas del lugar, este ya no podía clasificarse como óptimo y por consiguiente, podía solo clasificarse como apto, en caso de que las temperaturas también lo fueran, o marginal si la aptitud térmica también caía en esa clasificación.



**Figura 18: Mapa de Aptitud climática para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*. Fuente: Elaboración Propia**

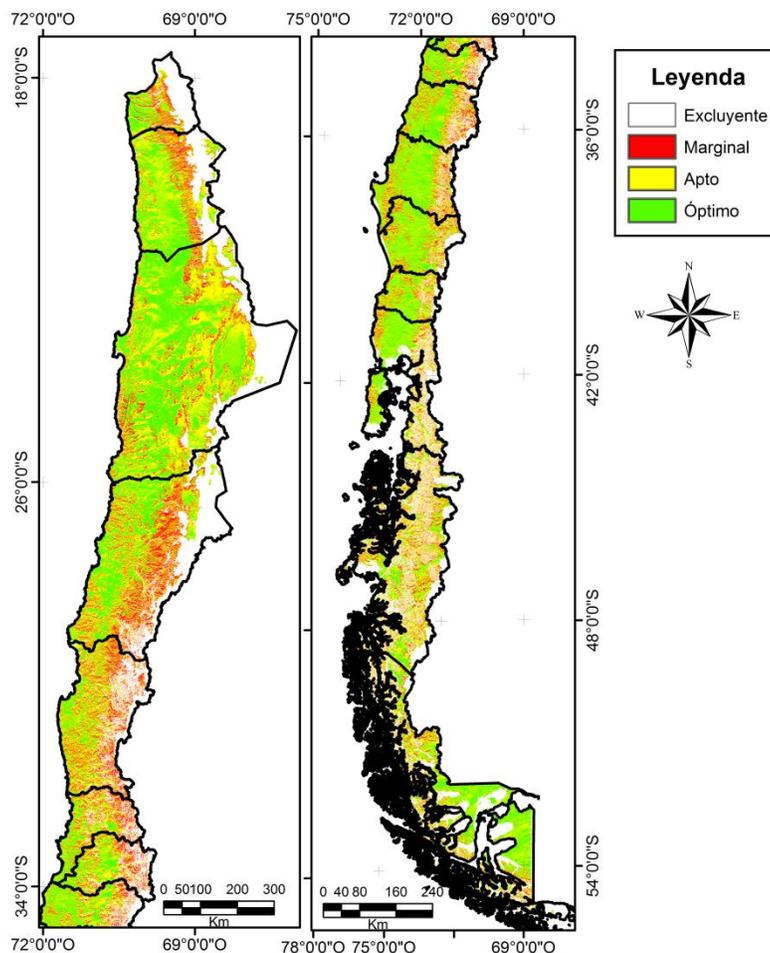
A través del análisis cuantitativo de la información obtenida, se apreció que las áreas excluidas aumentaron de manera abrupta en comparación a otras variables medidas, alcanzando más de la mitad del territorio disponible a nivel nacional (50,6%) alcanzando una superficie estimada en 32.750.329,47 [Ha], cuya presencia se hace notoria desde la XV R hacia el sur, ocupando segmentos en todas las regiones hasta la XII R. Por su parte, las áreas cuya restricción es mínima o nula para las especies, alcanzó un porcentaje de 12,44% que se extiende por toda la zona costera del territorio y se concentra en la V R de Valparaíso. Lo anterior llevado a unidad de superficie es 8.054.042,2 [Ha] con aptitud óptima. En cuanto a las superficies que presentan restricciones considerables y fuertes para una plantación de *T. officinale* y de *T. kok-saghyz*, su porcentaje del total es de 36,9% lo que en área utilizable se traduce en 23.909.787,1 [Ha].

### **Zonificación de Aptitud Geomorfológica**

Al analizar la aptitud de geoformas, se puede apreciar que una parte mayoritaria del área de estudio presenta condiciones para el establecimiento de estas especies. Las zonas con las mejores condiciones se ubican principalmente en la II R, ya que posee grandes extensiones de superficie que cumplen con la altitud requerida como óptima, con pendientes dentro del rango que permiten procesos de formación de suelo apropiados además de evitar procesos de erosión y de arrastre de material, y con una exposición plena que genera condiciones ideales de iluminación para el cultivo.

En cuanto a las regiones en general, todas presentan áreas de exclusión, principalmente por el factor altitudinal, ya que al estar bajo la influencia de la cordillera de los Andes, la altitud aumenta conforme se acerca al límite fronterizo con Argentina, alcanzando altitudes superiores a las consideradas para plantaciones. Otro factor a considerar es la presencia de una mayor pendiente, también generada por la elevación cordillerana, que limita los procesos formativos del suelo, no cumpliendo con el requisito necesario para poder mantener una buena profundidad de este y por lo tanto, se excluyeron.

Al analizar las regiones de manera individual, se puede apreciar que la región con menor aptitud es la XI R, por su relieve accidentado, posee pendientes mayores a las requeridas por las especies, en conjunto con laderas de exposición sur cuya aptitud genera restricciones para la iluminación de los cultivos. Esta suma de factores provoca que dicha región presente, mayoritariamente, áreas con aptitud marginal, sino también una alta dispersión en la distribución de los suelos, que a menudo se encuentran separados por fondos de quebradas o zonas con un gradiente muy inclinado.



**Figura 19: Mapa de Aptitud Geomorfológica para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.  
Fuente: Elaboración Propia**

El 79,5% del área de estudio presenta condiciones para el desarrollo de los cultivos. Esta área representada en unidad de superficie significa que existen 51.612.172,01[Ha] disponibles y que cumplen con los criterios de relieve mínimos para poder cultivar *Taraxacum officinale* y *Taraxacum kok-Saghyz*. De esta cantidad, los suelos que presentan las mejores condiciones para plantar estas especies ocupan 18.598.372,59[Ha] y la principal restricción presente en ellos está asociada al factor altitudinal.

Las zonas con una clasificación apta para los cultivos ocupan un 37,8% del total concentrándose principalmente en la I y II región del país y ocupando una superficie total de 24.416.200,9[Ha]. Los suelos con las mayores restricciones, pero aún útiles para colocar el cultivo, ocupan una superficie de 8.597.598,5[Ha] abarcando un 13,28% del total del territorio nacional y se concentra principalmente en la zona norte-centro del país. La

principal restricción para estos suelos fue el factor de pendientes, el cual tenía la mayor ponderación y por consiguiente, influía de mayor medida sobre estas celdas.

### Zonificación de Aptitud Agroecológica

En la figura 20 se presenta la zonificación agroecológica para Diente de León común y ruso, resultante de la evaluación de combinaciones entre las aptitudes climáticas, geomorfológicas y geológicas, además de la aptitud territorial, la cual eliminó los suelos con características limitantes por concepto de uso actual.

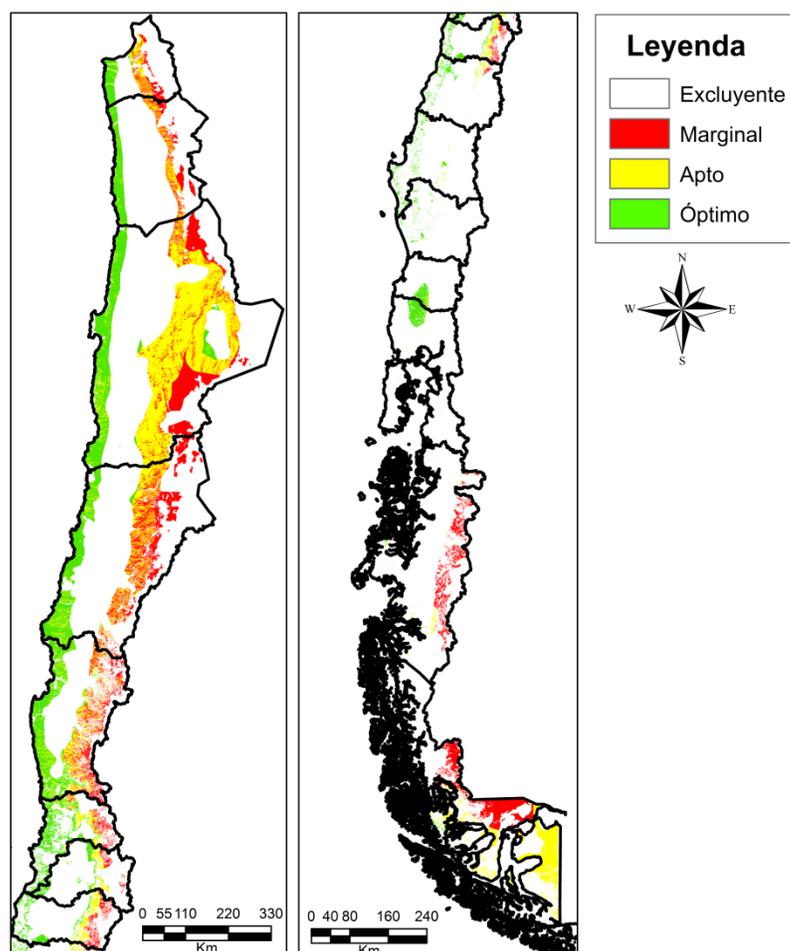


Figura 20: Mapa de Aptitud Agroecológica para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*.  
Fuente: Elaboración Propia

Luego de considerar las variables limitantes, las áreas disponibles para las especies se redujeron drásticamente, alcanzando una superficie de 15.539.813,1[Ha]. Dicha área se divide de la siguiente forma; áreas óptimas 4.540.562,5[Ha] equivalente a un 7% del total del área de estudio, áreas aptas 6.392.014,2[Ha] que corresponden a un 9,87% y áreas marginales 4.607.236,4[Ha] con un 7,1%. Las superficies excluidas ocupan el 75,9% restante lo que en hectáreas se traduce a un valor de 49.174.345,68.

Desde el punto de vista cualitativo, la región que contempla la mayor cantidad proporcional de área considerada como óptima es la IV Región, las cuales se concentran en la zona costera de la región y con un leve aumento en la zona sur de la provincia del Choapa, específicamente en la comuna de Los Vilos. Por otro lado, si se considera la superficie total disponible por región, la II Región es la que presenta la mayor extensión.

Las condiciones climáticas en la II Región presentan fuertes restricciones desde el punto de vista hídrico, por lo cual se debe contemplar un manejo de este recurso que permita satisfacer la demanda hídrica de las especies en caso de colocar una plantación en las áreas que fueron clasificadas como aptas y marginales. La III y V Región, presentan condiciones para la instalación de los cultivos a lo largo de toda la zona costera para la primera; y desde la costa hacia el interior para el caso de la segunda, en comunas como La Ligua, Zapallar y Nogales. La RM por su parte, posee suelos que se pueden utilizar para plantaciones de estos cultivos, específicamente en las comunas de Colina y Lo Barnechea, no obstante, debido al fuerte crecimiento que ha experimentado la ciudad de Santiago y su consecuente expansión, es probable que estos suelos identificados con aptitud, puedan entrar en conflicto en un futuro, a causa de la competencia por el uso de suelo, y por consiguiente habría que hacer un mayor análisis, utilizando el plan regulador metropolitano por ejemplo, para determinar si es factible colocar un cultivo de este tipo en el lugar físico.

Al comparar la zonificación obtenida con otros estudios de similares características se aprecian diferencias en cuanto a forma y detalle de resultados. El estudio realizado por Falasca y Ulberich (2008) presenta cierta dificultad para una comparación cualitativa, ya que la resolución utilizada fue menor a la empleada en este estudio y la representación cartográfica de los resultados posee un escaso detalle (mapa con necesidades de riego). Si bien utilizaron variables de temperatura y precipitación, en la metodología no se explica de manera clara como es que se utilizó dicha información y bajo qué técnica se procesó, por lo que buscar diferencias en el procedimiento no tiene ningún objetivo. Se debe considerar que este estudio fue llevado a cabo para una especie (*Jatropha Curcas L.*) con distintos requerimientos climáticos, edáficos y geológicos, entre otros. Cuantitativamente, tampoco se expresan unidades de medida para las áreas obtenidas, y dado que este estudio solo abarca las primeras regiones del área de estudio (XV, I y II R), tampoco se pueden hacer estimaciones para el territorio nacional en hectáreas.

Según los estudios de Labra (2009) y Vázquez (2009) para *Jatropha Curcas L.*, los resultados obtenidos por ellos responden a un procedimiento similar al empleado, pero con importantes diferencias, tanto en el procesamiento como en la clasificación de las áreas. Al analizar las cartografías se aprecia una clasificación mucho más detallada de las superficies

en comparación con los resultados obtenidos en este estudio. Esto se debe al método de procesamiento de imágenes, que consideró una ponderación de las variables a utilizar, en la cual el criterio de un experto fue el factor influyente en cada ponderación realizada, a diferencia del estudio de cada uno de estos autores que procesaron la información dándole igual importancia (misma ponderación) a cada una de las variables a utilizar. Con este método, la información explícita en el mapa de aptitudes debe ser mucho más detallada, ya que debe considerar cada variable como un valor distinto, permitiendo un mayor grado de detalle.

La metodología de Labra (2009) y Vázquez (2009), muestra una mayor cantidad de polígonos distintos en una misma área, lo que puede representar la variabilidad del territorio en las zonas donde haya dos clasificaciones distintas, muy cerca una de otra. La ventaja del modelo empleado en este estudio, es la simplicidad del mapa generado, donde se aprecian todas las áreas disponibles con un menor número de clasificaciones de aptitud. Si bien se puede creer que la información está generalizada, este método permite seleccionar un área de interés y por medio de la base de datos obtenida en el software, corroborar las restricciones asociadas a ese territorio en particular, lo cual permite tener una imagen más clara sin perder la información. En la escala de detalle presentada por Labra (2009), se distinguen notables diferencias con respecto a este estudio. Si bien la resolución en las regiones fue la misma que se utilizó para el Diente de León, en la V Región Labra utilizó una escala de 1:50.000, lo cual le permitió un grado de detalle mucho mayor que el alcanzado por este estudio para esa región. Considerando que, según la cartografía de aptitud agroecológica la V Región es la que presenta las mejores condiciones, sería óptimo el poder generar información a una escala similar.

El estudio de Riveros (2012), cuyo objetivo fue una zonificación del granado (*Punica granatum L.*), se diferencia de este estudio, en que la zonificación era de tipo edafoclimática, característica que la convierte en una zonificación que considera solo variables de carácter edáficas y climáticas, como probabilidades de heladas y de precipitaciones, cociente de radiación solar, entre otras. Al comparar los estudios, se puede apreciar que no se consideraron variables territoriales ni geomorfológicas y no se contempló la protección de áreas silvestres o sitios prioritarios para conservación. Otra desventaja de ese estudio es que al solo considerarse las variables edáficas y no las geomorfológicas, no se considera la pendiente y exposición para colocar los cultivos, trayendo consecuencias productivas o de adaptabilidad en zonas que no sean aptas para la especie. La metodología empleada por Riveros utiliza como fórmula base el índice de Aptitud edafoclimático, la cual combina otras fórmulas de un índice edáfico y un índice climático, cuyo resultado entrega un porcentaje de aptitud para cada región.

Para el área de estudio existen zonas con diferencias de aptitud asociadas a restricciones para el establecimiento de cultivos de *Taraxacum officinale* y *Taraxacum kok-Saghyz* con fines bioenergéticos. Dicha diferenciación se pudo llevar a cabo gracias a la metodología de EMC, la cual permitió incorporar variables agroecológicas relevantes para el establecimiento del cultivo de manera progresiva y que permitió identificar los niveles de restricción asociados a dichas variables. Estas variables ocupadas corresponden a factores

térmicos (temperatura media máxima del mes más cálido y temperatura media mínima del mes más frío), definitorios de los límites de las áreas a ocupar, debido a sus efectos sobre el desarrollo, crecimiento y producción de las especies; parámetros geomorfológicos (altitud, pendiente y exposición), que limitan el territorio en base a la capacidad física de los cultivos para establecerse; factores hídricos (precipitación media anual y evapotranspiración media de enero y julio), que restringen la superficie disponible en base a los requerimientos del cultivo (agua) para su supervivencia; factores geológicos que delimitan el área disponible en base a la capacidad del Diente de León para establecerse en suelos con poco desarrollo; y el parámetro de usos actuales del suelo, que limitan las zonas utilizables a aquellas que no sean áreas protegidas, terrenos con actividad agrícola o industrial, ni tampoco zonas urbanizadas o de bosque nativo, con el objetivo de no generar competencias de uso del suelo y evitar conflictos con respecto a este ámbito.

El factor térmico influye y determina el resultado de la superposición de capas, puesto que se aprecia que las zonas ubicadas hacia la costa (zonas bajo la influencia del océano), son las que presentan las mejores condiciones de aptitud para la ubicación del cultivo. Esto se debe probablemente a que por efecto de esta influencia, las temperaturas se mantienen más homogéneas durante todo el año y por consiguiente, existe una menor probabilidad de olas de calor, que podrían perjudicar al cultivo en las épocas de primavera y verano

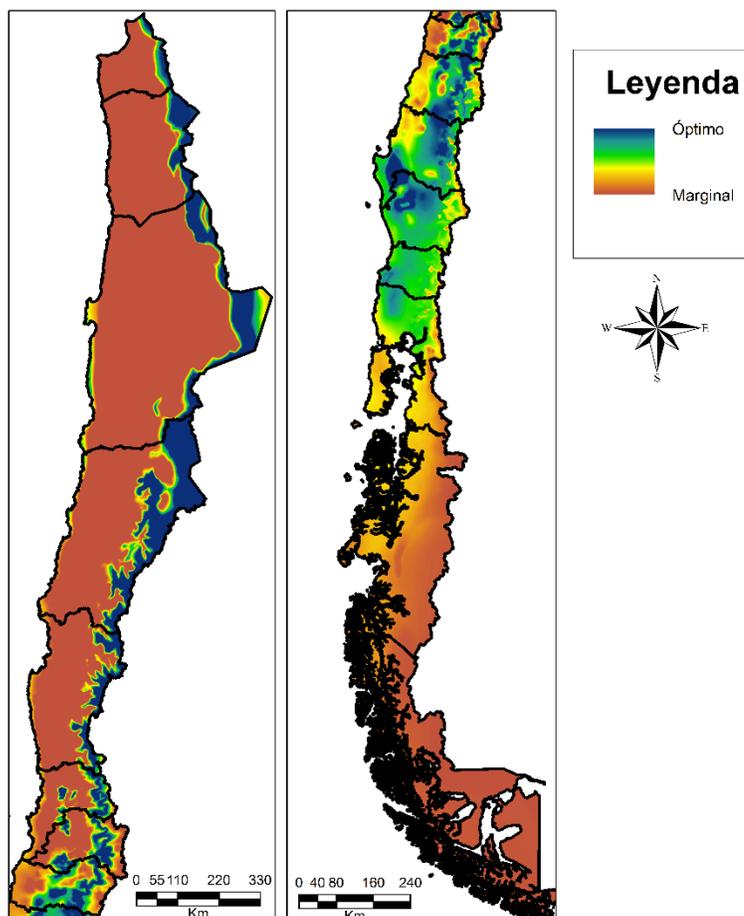
En relación a la aptitud geológica, se debe considerar para este estudio y posteriores que la escala de las cartografías tiene que tener un mayor grado de detalle, puesto que al trabajar con escalas muy grandes (nivel nacional) se tiende a omitir información que puede ser de suma importancia. Para evitar lo anterior, se debe buscar información que sea lo más precisa posible y corroborarla con un experto. Para este estudio en específico se debe mencionar que los suelos clasificados en el orden de Histosoles, si bien presentan condiciones muy buenas para el establecimiento del cultivo, son suelos que están asociados a formaciones vegetacionales muy delicadas y por consiguiente no se pueden clasificar como óptimos, por el posible impacto que se podría generar sobre el ecosistema al emplazar un cultivo de este tipo.

Los resultados obtenidos son una primera aproximación a la identificación de áreas potenciales en Chile para el cultivo de Diente de León con fines bioenergéticos. Considerando que se ha usado como base la metodología ZAE de la FAO, con algunas modificaciones; y que esta metodología se ha replicado en estudios a distinta escala e investigaciones validadas científicamente, se puede decir que estos resultados tienen una buena precisión y validez, de manera preliminar a un estudio en terreno, en las zonas disponibles.

### **Cartografía de Síntesis de Zonificación Productiva**

El Diente de León común y ruso, tienen un tamaño semejante y tienen rangos de tolerancia a las variables muy similares, así que se generó un mapa utilizando los mismos rangos (CFIA, 2011). El Diente de León Ruso tiene una mayor resistencia a temperaturas bajas (por ejemplo), pero las mínimas alcanzadas en el área de estudio no son suficientes para

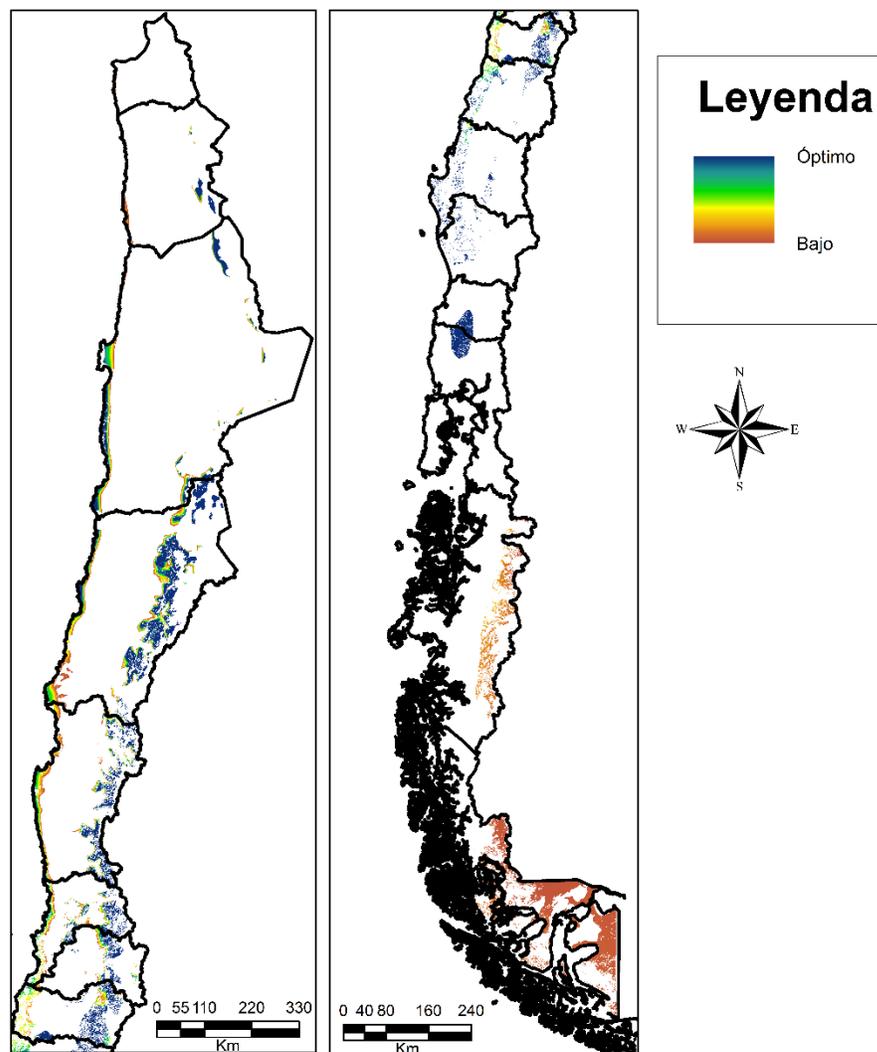
que el Diente de León común no pueda establecerse en algún lugar, debido a su resistencia a temperaturas bajo los 0[°C]. Las zonas con las mejores aptitudes para estos cultivos se ubican entre las regiones Metropolitana y la X Región. Esto permite inferir que en las zonas al sur de la X Región las especies no serán viables desde el punto de vista productivo.



**Figura 21: Mapa de Aptitud productiva para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*, utilizando el modelo de zonificación productiva en áreas de secano.**

**Fuente: Elaboración Propia**

Luego de aplicar la fórmula de zonificación productiva, se procedió a generar una máscara de la zonificación agroecológica, para poder dejar solo las zonas que no fueron excluidas producto de una limitante. Con esto se obtuvo un mapa de aptitud productiva acotada a las áreas de interés (figura 22).



**Figura 22: Mapa de Aptitud productiva para el establecimiento de *T. officinale* y *T. kok-saghyz*, acotado a las áreas disponibles dentro del territorio nacional y que tienen condiciones agroecológicas para su desarrollo. Fuente: Elaboración Propia.**

La mayor actitud productiva para ambas especies fue de 24,47 [Kg MS/ Ha\*d], que en términos de productividad equivale a 8,9 [Ton MS/Ha\*año] y se concentran en la III Región, con presencia de áreas disponibles que se distribuyen en la zona cordillerana desde la IV Región hasta la VII Región. En el borde costero del área de estudio, se puede apreciar que existen áreas disponibles y que presentan condiciones desde el punto de vista productivo, no obstante la extensión de dichos suelos está muy acotada a los primeros kilómetros del territorio, probablemente por la influencia del océano pacífico. En la XIV

Región y en la X Región, se puede apreciar que existe una concentración de áreas óptimas, que se emplaza en las provincias del Ranco y en la provincia de Osorno (Figura 22). Es debido a la homogeneidad de toda esa extensión, que se podría concluir que esos suelos contienen las mejores condiciones para producir *T. officinale* y *kok-saghyz* con objetivos bioenergéticos. Sin embargo, se debe considerar que esta metodología productiva no considera las variables geomorfológicas, exposición, altitud y pendiente. Esta consideración induce que la metodología pueda presentar algún grado de error asociado, el cual se debe corroborar con las condiciones presentes en el lugar, ya sea a través de una visualización de condiciones en terreno, o por medio de otras fuentes de información como el mapa de zonificación agroecológica, con el fin de saber si dichas áreas óptimas de producción también tienen buenas condiciones de relieve para el desarrollo de ambas especies.

La zona sur del país, presenta superficies que tienen condiciones óptimas productivas, no obstante dichos valores de rendimiento en kilogramos de materia seca, son muy bajos (inferiores a 10 [Kg]). En caso de querer realizar una plantación en esos lugares es probable que el rendimiento no sea el esperado.

La principal ventaja que tiene el uso de este modelo combinado es la exclusión inmediata de zonas que tengan algún grado de restricción. Desde el punto de vista territorial, por presencia de áreas protegidas y de conservación, en conjunto con la presencia de actividad agrícola, la zona centro sur se excluyó en su mayoría. Considerando otras variables climáticas que afectan la adaptabilidad de las especies, la zonificación agroecológica permite que el mapa de productividad generado en primera instancia sea más preciso y con un detalle mayor. Se puede apreciar en la figura n°21 que a lo largo de todo el territorio nacional existen condiciones productivas para que el Diente de León se pueda utilizar como biocombustible, no obstante, al comparar con la figura n°22, estas áreas se ven disminuidas por las áreas excluyentes de la zonificación agroecológica, entregando solo las extensiones de suelo disponibles y que no están siendo utilizadas para otra actividad que genere competencia. Considerando que el modelo se enfoca a zonas de secano, existe también un error asociado a la aplicación de este en las zonas sur del país, donde las precipitaciones son mucho más frecuentes durante el año en comparación con la zona norte del territorio y habría que ver una forma de realizar un ajuste para estas zonas que sea más explicativo de la realidad del lugar y que disminuya el grado de incertidumbre para las especies en estudio.

Se deben tener consideraciones con respecto a las zonas cercanas a la zona de plantación, puesto que son ambas muy resistentes y potenciales invasoras por la facilidad de dispersión de sus semillas a través del viento. Si bien en Chile no se encuentra el *T. kok-saghyz*, el *T. officinale* se presenta con mucha facilidad en todo tipo de suelos, lo cual podría traer conflictos si se llegase a introducir a un ecosistema delicado o si se plantase cerca de una zona de producción agrícola. Dada la similitud de las especies, se prevé que el Diente de León Ruso pudiese tener un comportamiento similar y por consiguiente se recomienda tomar las medidas necesarias y llevar a cabo un estudio más profundo que involucre el proceso de dispersión y un análisis con una escala detallada para el lugar de emplazamiento.

## CONCLUSIONES

La zonificación agroecológica del Diente de León (*Taraxacum officinale*) y el Diente de León Ruso (*Taraxacum kok-saghyz*) con fines bioenergéticos en Chile, estimó una superficie aproximada de 15.539.813 ha, equivalente al 24,1 % del territorio que es utilizable para establecer plantaciones. Esta superficie susceptible de plantar, y que representa un área de oportunidad para diversificar la matriz energética se distribuye en 6.392.014,2 ha Aptas, 4.540.562,5 ha Optimas y 4.607.236,4 ha marginalmente aptas.

La competencia del Diente de León por el uso del suelo en relación al utilizado por los cultivos y plantación para alimentación humana y animal, tampoco debiera representar mayor riesgo, ya que los sitios con nivel de aptitud óptimo y apto no entran en conflicto con el uso agrícola para el área de estudio, ya que estas últimas son áreas que no se consideran en la suma de superficie disponible.

Las áreas óptimas se distribuyen en la zona costera de manera uniforme, desde la XV Región hasta la V Región, con algunas superficies menores presentes en la zona centro-norte de la RM, y entre la VI y VII Región. Comprende un área entre la XIV y XI Región, correspondiente a 4.540.562 ha, equivalente al 7% del territorio nacional, con restricciones mínimas para ambas especies.

Las áreas consideradas como aptas se distribuyen por todo el territorio nacional, concentrándose entre la XV y IV Región; y en el límite sur en la XII Región., y comprende una superficie de 6.392.014 ha, equivalente al 9,9% del territorio total nacional , y estos suelos presentan restricciones leves de condiciones climáticas asociadas a estrés hídrico y altas temperaturas para las especies; y restricciones geológicas, correspondientes a los órdenes aridisoles y entisoles (suelos áridos, salinos y con poca materia orgánica).

Los suelos marginalmente aptos se distribuyen desde la XV Región hasta la VII Región y entre la XI y XII Región, y abarca una superficie de 4.607.236 ha, equivalente al 7,1% del territorio nacional, y presenta fuertes restricciones tanto en clima, como en relieve y geología.

Las superficies delimitadas, con mejor aptitud, para establecer una plantación de Diente de León (*Taraxacum officinale*) y/o el Diente de León Ruso (*Taraxacum kok-saghyz*), se ubican en la zona costera de la V Región de Valparaíso, ya que la aptitud térmica es óptima al igual que la hídrica y los suelos poseen una buena cantidad de materia orgánica. Las condiciones de relieve presentan leves o nulas restricciones para el emplazamiento de los cultivos. La cartografía desarrollada representa una aproximación aceptable en las zonas de alto potencial productivo.

La zonificación productiva del Diente de León (*Taraxacum officinale*) y el Diente de León Ruso (*Taraxacum kok-saghyz*) con fines bioenergéticos en Chile, estimó la mayor aptitud productiva para ambas especies de 24,47 [Kg MS/ Ha\*d] y se concentran en la III Región, con presencia de áreas disponibles que se distribuyen en la zona cordillerana desde la IV Región hasta la VII Región.

La documentación bibliográfica sobre el Diente de león todavía es escasa, y es necesario hacer mayores estudios sobre la fisiología y fenología de la planta, conducentes a obtener datos principalmente sobre resistencia a estrés térmico (olas de calor) y a la eficiencia y uso del agua por parte de la especie. Es recomendable poder hacer un estudio a escala de por lo menos 3 a 5 años obteniendo datos experimentales, antes de tomar alguna decisión de producciones a escalas mayores.

Se debe tener en consideración el establecimiento de plantaciones en áreas cercanas a zona agrícolas, ya que el Diente de León (*Taraxacum officinale*) y el Diente de León Ruso (*Taraxacum kok-saghyz*) son muy resistentes en diferentes climas y potenciales invasoras por la facilidad de dispersión de sus semillas a través del viento.

La zonificación climática y agroecológica, así como la zonificación productiva, obtenida mediante cartografías generadas, resultan en una buena aproximación que entrega posibilidades directas en la futura toma de decisiones, por parte de productores y el ámbito de proyectos de desarrollo local. Sin embargo, se hace necesario integrar y utilizar una mayor base de datos de información climatológica y agrológica, para lograr resultados más precisos y confiables.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, E. 2006. Bioenergía y Medio Ambiente, Un Circulo Virtuoso. pp. 7-16. *In*: ACEVEDO, E (Ed). Agroenergía: Un Desafío para Chile. Universidad de Chile. Serie Ciencias Agronómicas N°11. Santiago. Chile. 176p.
- ALLARDICE, P. 1993. A – Z of Companion Planting. Angus and Robertson. Londres. 208p.
- BAINES, C. 2000. Making a Wildlife Garden. Francis Lincoln. 2ed. Inglaterra. 192p.
- BALLEÑILLA, F. 2004, julio. El Final del Petróleo Barato. *El Ecologista*, ISSN 1575-2712, n° 40: 20-24. Madrid.
- BALLEÑILLA, F. 2005, febrero. La sostenibilidad desde la perspectiva del agotamiento de los combustibles fósiles, un problema socio-ambiental relevante. *Investigación en la escuela*, ISSN 0213-7771, n° 55: 73-88. Madrid.
- BARREDO, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio. RA-MA, Madrid. 263p.
- BARREDO, J. 1999. Los SIG en la ordenación del territorio: posibilidades y desarrollo utilizando Evaluación Multicriterio. *Sistemas de Información Geográfica y Teledetección Espacial aplicadas a la Ordenación del Territorio y el Medio Ambiente*. Primera edición 110pp.
- BOJŇANSKÝ, V. 2007. Atlas of Seeds and Fruits of Central and East-European Flora, 1046p. Londres.
- BONNER, J., AND GALSTON, A.W. 1947. The physiology and biochemistry of rubber formation in plants. *The Botanical Review* 13(10).
- BOWN, D. 1995. *RHS Encyclopedia of Herbs and Their Uses*, Dorling Kindersley, Londres. 424p.
- CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY (CFIA). 2011. RMD-11-05: Taraxacum kok-saghyz (Russian dandelion) in Canada. [En Línea]. Recuperado en: <<http://www.inspection.gc.ca/plants/plant-protection/directives/risk-management/rmd-11-05/eng/1328551496234/1328552974173>>. Consultado el: 28 de Septiembre de 2013.

- CAMPBELL, C y LAHERRÈRE, J. 1998, marzo. The End of Cheap Oil. Scientific American. pp. 78-84. U.S.A.
- CARTER, D. 1982. Butterflies and Moths in Britain and Europe. Macmillan. Londres. 192p.
- CAVIERES, L.A., C.L. QUIROZ & M.A. MOLINA-MONTENEGRO. 2008. Facilitation of the non-native *Taraxacum officinale* by native nurse cushion species in the high Andes of central Chile: are there differences between nurses? Functional Ecology 22: 148-156.
- CAVIERES, P. 2009. El Biodiesel en Chile. [En Línea]. Recuperado de: < <http://www.ingenierosagronomos.cl/pcomciac/archives/590>>. Consultado el 4 de marzo de 2014.
- CHILEFLORA. 2006. Descripción de la especie *Taraxacum officinale*. [En Línea]. Recuperado de: <<http://www.chileflora.com/Florachilena/FloraSpanish/HighResPages/SH0659.htm>>. Consultado el 7 de julio de 2013.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). 2011. Balance nacional de energía año 2010. Santiago, Chile. [En Línea]. Recuperado de: < [http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/14\\_portal\\_informacion/06\\_Estadisticas/Documentos/BNE2010.xls](http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/14_portal_informacion/06_Estadisticas/Documentos/BNE2010.xls)>. Consultado el 25 de Mayo de 2013
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). 2008. Política Energética: Nuevos Lineamientos. Santiago, Chile. 108p. [En Línea]. Recuperado de: < [http://www.cne.cl/archivos\\_bajar/Politica\\_Energetica\\_Nuevos\\_Lineamientos\\_08.pdf](http://www.cne.cl/archivos_bajar/Politica_Energetica_Nuevos_Lineamientos_08.pdf)>. Consultado el: 28 de mayo de 2013
- COMITÉ EDITORIAL DE FLORA DE CHINA. 1959. Flora de China. [En Línea]. Recuperado de: < <http://flora.huh.harvard.edu/china/mss/intindex.htm>>. Consultado el: 5 de julio de 2013.
- CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (CONICET). 2011. Catálogo de Plantas Vasculares: Detalle de la Especie *Taraxacum officinale* G. Weber ex F.H. Wigg. [En Línea]. [Argentina]. Recuperado de: < <http://www2.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=officinale&genero=Taraxacum&espcod=17827>> Consultado el: 24 de marzo de 2013
- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 1999. Usos de Suelo. Esc. 1: 250.000.

- CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (CORFO). 2008. \$7.000 millones se invertirán en proyectos de investigación para el desarrollo de biocombustibles en Chile. [En Línea]. Recuperado de: <www.corfo.cl>. Consultado el: 4 de marzo de 2014.
- CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (CORFO). 2010. US\$31,6 millones para investigación de biocombustibles de segunda generación en base a algas. [En Línea]. Recuperado de: <www.corfo.cl>. Consultado el: 4 de marzo de 2014.
- CORVALÁN, P; RODRÍGUEZ, M. 2006. Plantaciones Bioenergéticas. (ed.) Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Agroenergía, un desafío para Chile. Santiago. Serie Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas, N°11. pp: 33-44. Capítulo 4.
- CURTIS, F. 2009, Abril. Peak globalization: climate change, oil depletion and global trade. ECOLOGICAL ECONOMICS, ELSEVIER. n°69: 427-434
- DEPARTMENT OF ENERGY OF THE U.S. (DOE), 2011. ETHANOL MYTHS AND FACTS. [En Línea]. Recuperado de: <http://www1.eere.energy.gov/biomass/ethanol\_myths\_facts.html> Consultado el: 24 de marzo de 2013.
- DÍAS-PEREIRA, E.; M. ANAYA-ROMERO y D. DE LA ROSA. 2011. Modelos de evaluación agroecológica de tierras: erosión y contaminación en el entorno MicroLEIS. Teoría y Praxis. 9: 91 – 107.
- EASTMAN, J. 2003. IDRISI Kimanjaró. Guía de SIG y procesamientos de imágenes. Manual versión 14.00 Clarck Labs. Clarck University. 312p.
- FALASCA, S. y A., ULBERICH. 2008. Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones con *Jatropha* sp. (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*). Centro Boliviano de Estudios Multidisciplinarios. Redesma. 102-115 pp. Recuperado de: <http://www.darwinnet.org/docs/potenci\_bioeneg.pdf>. [Visitado en Diciembre de 2013].
- FAO. 1976. A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin 32, Rome, FAO.
- FAO. 1978. Report on the Agro-Ecological Zones Project. Vol. 1. Methodology and Results for Africa. Rome, FAO.
- FAO. 1983. Guidelines: land evaluation for rainfed agricultura. FAO Soils Bulletin 52. Rome, FAO.
- FAO. 1984. Land evaluation for forestry. FAO Forestry Paper 48. Rome, FAO.

- FAO. 1985. Guidelines: land evaluation for irrigated agricultura. FAO Soils Bulletin 55. Rome, FAO.
- FAO. 1991. Guidelines: land evaluation for extensive grazing. FAO Soils Bulletin 58. Rome, FAO.
- FAO. 1994. AEZ in Asia. Proceedings of the regional workshop on Agro-Ecological Zones Methodology and Applications. Bangkok, Thailand, 17-23 November 1991. World Soil Resources Report 75. Rome, FAO.
- FAO. 1997. Zonificación Agroecológica. Guía General. Boletín de Suelos de la FAO N°73. 82p.
- FAO. 2008a. Bioetanol de caña de azúcar: una energía sostenible para el desarrollo sostenible. Resumen Ejecutivo: 32p.
- FAO. 2008b. El estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación, Biocombustibles; perspectivas, riesgos y oportunidades. Ed. Subdivisión de Políticas y apoyo en Materia de Publicación Electrónica, División de Comunicación, 146.
- FAO. 2009. Guía para la Descripción de Suelos. [En Línea] Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0541s/a0541s00.pdf>. Consultado el 14 de Abril de 2013.
- FARRELL, A; PLEVIN, R; TURNER, B; JONES, A; O'HARE, M; KAMMEN, D. 2006, enero. Ethanol Can Contribute to Energy and Enviromental Goals. Science Magazine. Vol 311: 506-508. U.S.A.
- FLANN, C. 2013. GCC: Global Compositae. In: Species 2000 & ITIS Catalogue of Life. [En Línea]. Recuperado de: <www.catalogueoflife.org/col/>. Consultado el 15 de Abril de 2013.
- FLORA OF CHINA EDITORIAL COMMITTEE. 2011. Fl. China 20–21: 1–992. Science Press & Missouri Botanical Garden Press, Beijing & St. Louis. [En Línea]. Recuperado de: <http://www.tropicos.org/Reference/100006787>. Consultado el: 15 de Abril de 2013.
- GISDATA CHILE. 2007. Capas temáticas y límites políticos administrativos de Chile en formato vectorial. [En Línea]. Recuperado de: <http://www.rulamahue.cl/mapoteca/catalogos/chile.html>. Consultado el: 20 de marzo de 2013.

- GLOBAL HEALING CENTER (GHC). 2013. Tips for Growing Dandelion. [En Línea]. Recuperado de: <<http://www.globalhealingcenter.com/organic-herbs/growing-dandelion>>. Consultado el: 28 de marzo de 2013.
  
- GONZÁLEZ, A.; I. JIMÉNEZ, M. RODRÍGUEZ, S. RESTREPO y J. GÓMEZ. 2008. Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. *Revista de Ingeniería* 28: 70 – 82.
  
- GRIEVE, M. 1930. *A Modern Herbal*. Londres. 929p.
  
- HATFIELD, A. 1974. *How to Enjoy Your Weeds*. Frederick Muller Ltd. Londres. 116p.
  
- HELLER, J. 1996. *Physic Nut. Jatropha curcas L. Promoting the conservation and of underutilized and neglected crops. 1*. Institute of Plant Genetics and Crops Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome. 66p. [En Línea]. Recuperado de: <[www.bioversityinternational.org/publications/Pdf/161.pdf](http://www.bioversityinternational.org/publications/Pdf/161.pdf)>. Consultado el: 21 de marzo de 2013.
  
- HERNÁNDEZ, M. y HERNÁNDEZ, J. 2008. Verdades y mitos de los biocombustibles. *Elementos* 71: 15-18.
  
- HUXLEY, A. 1992. *New RHS Dictionary of Gardening 3*. Macmillan. 532p.
  
- IGLESIAS, R. 2008. Biomasa, agroenergía, bioenergía, eficiencia energética, ahorro energético: ¿tienen sentido?. Publicaciones de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 26 p.
  
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA). 2009. *Inventarios Anuales de Gases de Efecto Invernadero de Chile: Serie Temporal 1984/2003 para Sectores No-Energía*. Boletín Técnico N° 185. 260p.
  
- JARDINEROS EN ACCIÓN (JEA). 2012. Listado de Plantas: *Taraxacum officinale*. [En Línea]. Recuperado de: <[http://www.jardinerosenaccion.es/planta.php?id\\_pla=345](http://www.jardinerosenaccion.es/planta.php?id_pla=345)>. Consultado el: 4 de Abril de 2013.
  
- KHARECHA, P y HANSEN, J. 2007. Implications of “Peak Oil” for atmospheric CO<sub>2</sub> and climate. *Global biogeochemical Cycles*, Vol 22, doi: 10.1029/2007GB003142: 10p. Gran Bretaña.

- KROTKOV, G. 1945. A Review of Literature on *Taraxacum Kok-Saghyz* Rod. The Botanical Review. Vol. 11(8): 45p.
- LABRA, F. 2009. Zonificación Agroecológica preliminar para el establecimiento de áreas potenciales de cultivo de *Jatropha Curcas* L. Con Fines Bioenergéticos Entre Las Regiones De Antofagasta Y Valparaíso. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 143p.
- LIPSCHITZ, S. 1934. Novyi kauchukonosnyl oduvanchik *Taraxacum kolesager*. [A new rubber plant of Kazajastan the *Taraxacura koksaghyz*]. Rubber and Guttapercha Res. Inst., 123p. Moscú.
- LONGYEAR, B. 1918, Enero. The Dandelion in Colorado. (Boletín técnico N°236), Estación Experimental de la Universidad Agrícola de Colorado. Fort Collins, Colorado: Universitaria, 36p
- LIPSCHITZ, S. 1953. Rubber and rubber producing plants: *Koksaghyz*. Academia de Ciencias de la USSR: 149-172p. Moscú.
- LUZIO, W. y S. ALCAYAGA. 1992. Mapas de asociación de grandes grupos de suelo de Chile. Agricultura Técnica 52(4): 347-353.
- LUZIO, W. y S. ALCAYAGA. 1990. Mapa de Asociaciones de grandes grupos de suelo. Esc. 1:6.000.000. [1]Lám. Blanco y negro.
- MATTHEI, O. 1995. Manual de Malezas que crecen en Chile, 545p. Chile.
- MENÉNDEZ, R. 2006. Species Richness changes Lag Behind Climate Change. [En Línea]. Recuperado de: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16777739>>. Consultado el: 8 de abril de 2013.
- MISSOURI BOTANICAL GARDEN (MOBOT). 2013. *Taraxacum officinale* L.H. Wigg. [En Línea]. Recuperado de: <<http://tropicos.org/Name/2726999>>. Consultado el: 26 de marzo de 2013.
- MOLINA-MONTENEGRO, M y CAVIERES, L. 2010. Variación Altitudinal de los Atributos Morfo-Fisiológicos en dos Especies de Plantas Alto-Andinas y sus Implicancias contra la Fotoinhibición. *Gayana Bot.*; 67(1): 1-11, ILUS, TAB. Recuperado de: < <http://www.scielo.cl/pdf/gbot/v67n1/art01.pdf>>. Consultado el: 12 de abril de 2013.
- MONTEITH, J. 1996. The quest for balance in crop modeling. *Agronomy Journal* 88: 695-697.

- OBSERVATORIO DE DINÁMICA TERRITORIAL (ODITE). 2012. Capas temáticas de variables bioclimáticas en formato vectorial. Esc. 1:250.000.
- OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA). 2010. Mapas de zonificación de aptitud productiva del territorio nacional de especies vegetales con potencial de producción de biocombustibles. Informe final. 235p.
- ORTIZ, S. 2003, julio. Buscando combustibles alternativos: el bioetanol. Anales de mecánica y electricidad. Vol 80 (4): 46-53. Madrid.
- OSSA, F. 2012, Julio. Cultivos energéticos para biocombustibles, 43p. Argentina.
- OXLADE, E. y CLIFFORD, P. 1999. The Versatile Dandelion. Journal of Biological Education. [En Línea]. Recuperado de: <<http://connection.ebscohost.com/c/articles/2034601/versatile-dandelion>>. Consultado el: 26 de marzo de 2013.
- PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO (IPCC). 2007. Cambio Climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. Ginebra, Suiza. 104p.
- PERDOMO, F y VIBRANS, H. 2009. *Taraxacum officinale* G. H. Weber ex Wigg. [En Línea]. Recuperado de: <<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/taraxacum-officinale/fichas/ficha.htm>>. Consultado el: 24 de marzo de 2013.
- PÉREZ-PORTILLA, E. y GEISSERT-KIENTZ D. 2006. Zonificación Agroecológica de Sistemas Agroforestales: El Caso Café (*Coffea arabica* L.) – Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). INCI; 31(8): 556-562. Recuperado de: <[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442006000800004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442006000800004&script=sci_arttext)> Consultado el: 20 de marzo de 2013.
- PINTO, M y ACEVEDO, E. 2006. Cultivos Bioenergéticos. Pp 27-32. (ed.) Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Agroenergía, un desafío para Chile. Santiago. Serie Ciencias Agronómicas Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas n°11. 176p. 198 ref.
- PLANTS FOR A FUTURE (PFAF). 2012. *Taraxacum officinale* – Webb. [En Línea]. Recuperado de: <<http://www.pfaf.org/user/plant.aspx?LatinName=Taraxacum+officinale>>. Consultado el: 4 de abril de 2013.

- POLHAMUS, L. 1962. Rubber: Botany, Cultivation and Utilization. Interscience Magazine. 449p. Londres.
- RIVEROS, C. 2012. Zonificación edafoclimática del Granado (*Punica granatum* L.) entre las regiones de Atacama y del Maule. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 46p.
- ROBLEDO, A y CORREAL, E. 2013. Cultivos energéticos de segunda generación para producción de biomasa lignocelulósica en tierras de cultivo marginales. [En Línea]. Recuperado de: < [http://www.imida.es/docs/libros/Biomasa\\_2013.pdf](http://www.imida.es/docs/libros/Biomasa_2013.pdf) >. Consultado el: 15 de julio de 2013.
- RODIN, L. 1933. Taxonomic Description of *Taraxacum Kok-Saghyz*. Acta Instituti Botanici Academiae Scientiarum, Ser. I, Fase. 1:187-189.
- ROJO, F. y ACEVEDO, E. 2006. Biodiesel. pp. 83-98. In: ACEVEDO, E (Ed). Agroenergía: Un Desafío para Chile. Universidad de Chile. Serie Ciencias Agronómicas. N°11. Santiago. Chile. 176p.
- ROSSITER, D. 1996. A theoretical framework for land evaluation. Geoderma. 72: 165-190.
- ROSSITER, D. 1994. Evaluación de Tierras. Cochabamba, Bolivia. 49p.
- RZEDOWSKI, G. C. de. 1997. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes: Familia Compositae. [En Línea]. Recuperado de: < <http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenes/FLOBA/Flora%2054.pdf> > Consultado el: 28 de marzo de 2013.
- RZEDOWSKI, J. y CALDERÓN, G. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. [En Línea]. Recuperado de: <[http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora\\_del\\_Valle\\_de\\_Mx1.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora_del_Valle_de_Mx1.pdf)> Consultado el: 28 de marzo de 2013.
- SCHMIDT-HEBBEL, K. 2012. El crecimiento económico de Chile. [En Línea]. Recuperado de: <<http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=99911>>. Consultado el: 8 de octubre de 2013.
- SELVARADJOU, S.K., MONTANARELLA, L., SPAARGAREN, O. AND DENT, D. 2005. European Digital Archive of Soil Maps (EuDASM) - Soil Maps of Latin America and Carribean Islands .EUR 21822 EN. Office of the Official Publications of the European Comunities, Luxembourg.

- SERNA, F.; L. BARRERA y H. MONTIEL. 2010. Impacto Social y Económico en el Uso de Biocombustibles. [En Línea]. Recuperado de: <<http://www.scielo.cl/pdf/jotmi/v6n1/art09.pdf>> Consultado el: 24 de marzo de 2013.
- SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG). 26 de noviembre de 2013. Consulta introducción semillas Taraxacum Kok-saghyz. [Correo Electrónico]. Recuperado de: <mmanzur87@gmail.com>. Consultado el: 31 de noviembre de 2013.
- SIRI, G; TERZAGHI, L; RIBERO, H; GANDOLFO, D y MOSQUEIRA, J. 2008 Potencialidad del sorgo dulce como biocombustible en el Uruguay, 47p. Uruguay.
- SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN TERRITORIAL (SIIT). 2012. Chile, nuestro país: Regiones. [En Línea]. Recuperado de: <<http://siit2.bcn.cl/nuestropais/regiones.htm>> Consultado el: 05 de julio de 2013.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL (SINIA). 2008. Capas temáticas agroecológicas. Esc. 1:250.000. [En Línea]. Recuperado de: <[www.sinia.cl](http://www.sinia.cl)>. Consultado el 28 de mayo de 2013.
- STRUIK, G. 1967. Growth habits of dandelion, daisy, catsear, and hawkbit in some New Zealand grasslands, New Zealand Journal of Agricultural Research, 10:3-4, 331-344.
- (SUBDERE) SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL. CHILE. 1977. Zonificación agroclimática de la VI Región de Chile. Santiago, Chile: SUBDERE. 115p
- THE PLANT LIST. 2010. Taraxacum Genus. [En Línea]. Recuperado de: <<http://www.theplantlist.org/>>. Consultado el 25 de septiembre de 2013.
- THOMPSON, B. 1904. The Gardener's Assistant. Londres, Inglaterra. 224p.
- TRUMBULL, H. 1942. Ind. Eng. Chem 34: 1328p
- UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA (UBC). 2013. Electronic atlas of the flora of british Columbia: Taraxacum officinale F.H. Wigg. [En Línea]. Recuperado de: <<http://linnet.geog.ubc.ca/Atlas/Atlas.aspx?sciname=Taraxacum%20officinale&redbl ue=Both&lifeform=7>>. Consultado el 7 de abril de 2013.
- UNIVERSIDAD DE CHILE (UCHILE), CHILE. 1982. Zonificación agroecológica de la IX Región de Chile (modelo MODAR). Santiago, Chile: INDAP. 222p.

- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). 2013. Conservation Plant Characteristics for *Taraxacum officinale*. [En Línea]. Recuperado de: <<http://plants.usda.gov/java/charProfile?symbol=TAOF>>. Consultado el: 4 de abril de 2013.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). 2000. Digital Elevation Model (DEM), 90m Resolution. [En Línea]. Recuperado de: <<http://www.usgs.gov/default.asp>>. Consultado el: 5 de julio de 2013.
- VÁSQUEZ, K. 2009. Zonificación Agroecológica preliminar para el establecimiento de áreas potenciales de cultivo de *Jatropha Curcas* L. con Fines Bioenergéticos Entre la Región Metropolitana y del Bio-Bio. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 99p.
- VOLIS, S; UTELIN, K y MILLS, D. 2009. Russian dandelion (*Taraxacum kok-saghyz*): one more example of overcollecting in the past?. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 83: 60 – 63.
- VOOGD, H. 1983. *Multicriteria Evaluation for urban and regional Planning*. Pion, Inglaterra: Primera Edición. 355p.
- WHALEY, G. 1946. Russian Dandelion, an Emergency Source of Natural Rubber. *USDA Misc. Publicación n° 618*: 218p.

## APÉNDICES

**Apéndice I. Base de datos de localidades de referencia para la identificación de parámetros de adaptabilidad del cultivo de *Taraxacum officinale* y *kok-saghyz*.**Cuadro A1. *Taraxacum officinale*

País	Localidad	Clima	Altitud (m.s.n.m.)	Temperatura (°C)			PPM (mm)
				TMA	TMmín	TMmáx	
Chile	-	Secano	800	13,9	7,5	31,6	350
Chile	Constitucion	Medit. Seco en verano	-	12,6	7	21	728
Chile	curicó/linares	-	-	13,5	7,2	20,3	838
Chile	Chillán	-	-	-	-	-	1021
Chile	Cordillera	-	2600	10,2	-	-	400-900
Chile	Alta Cordillera	-	3600	3,4	-	-	S/R
EEUU	-	húmedo	-	-	-3,9	-	-
España	-	Medit. Cobertura elevada	2000	25	13,8	24	1000<
Inglaterra	-	templado humedo	900	9,5	3,85	16	838
Inglaterra	-	-	-	-	-	-	-
Mexico	Alta Cordillera	-	4000	-	-	-	-

Cuadro A2. *Taraxacum kok-saghyz*

País	Provincia/Región	Localidad	Clima	Altitud (m.s.n.m.)	Temperatura (°C)			PPM (mm)
					TMA	TMmín	TMmáx	
Kazakhstan	almaty	tekes	-	1760	8,9	-12	30	581
Kazakhstan	zhambyl	tuzkol	-	1970	-	-	-	-
Kirguistán	Ysyk-Kol	sarydzhas	-	1880	-6,46	-28	12	270,4
Kazakhstan	almaty	kegen	-	1830	9,6	-12	30	429
China	Tien Shan	-	Montaña	1800-2000	5,8	-19	28	398

**Apéndice II. Ponderaciones y códigos obtenidos por medio de la metodología empleada.**

Cuadro A3. Ponderaciones para aptitud geomorfológica

	<b>Expo</b>	<b>Pend</b>	<b>Altit</b>					
<b>VALUE</b>	0,35	0,45	0,2	Ponderado	Nomenclatura	SubCodigo	(%)	Area (ha)
<b>0</b>	0	0	0	0,00	Excluyente	-	20,24	13101987
<b>111</b>	1	1	1	1,00	Marginal	E1/P1/A1	1,61	1046419
<b>112</b>	1	1	2	1,20	Marginal	E1/P1/A2	0,85	555359,3
<b>113</b>	1	1	3	1,40	Marginal	E1/P1	8,26	5346217
<b>121</b>	1	2	1	1,45	Marginal	E1/P2/A1	0,51	333108,2
<b>122</b>	1	2	2	1,65	Marginal	E1/P2/A2	0,23	155194,7
<b>123</b>	1	2	3	1,85	Apto	E1/P2	2,43	1578223
<b>131</b>	1	3	1	1,90	Apto	E1/A1	1,83	1184286
<b>132</b>	1	3	2	2,10	Apto	E1/A2	1,28	831166,1
<b>133</b>	1	3	3	2,30	Apto	E1	11,2	7263030

---

<b>211</b>	2	1	1	1,35	Marginal	E2/P1/A1	1,18	764602,8
<b>212</b>	2	1	2	1,55	Marginal	E2/P1/A2	0,61	396697,2
<b>213</b>	2	1	3	1,75	Apto	E2/P1	5,64	3655499
<b>221</b>	2	2	1	1,80	Apto	E2/P2/A1	0,46	299682,2
<b>222</b>	2	2	2	2,00	Apto	E2/P2/A2	0,19	125101,7
<b>223</b>	2	2	3	2,20	Apto	E2/P2	1,72	1118699
<b>231</b>	2	3	1	2,25	Apto	E2/A1	1,92	1248714
<b>232</b>	2	3	2	2,45	Optimo	E2/A2	1,23	801716,6
<b>233</b>	2	3	3	2,65	Optimo	E2	8,93	5782516
<b>311</b>	3	1	1	1,70	Apto	P1/A1	1,55	1005414
<b>312</b>	3	1	2	1,90	Apto	P1/A2	0,86	557127,7
<b>313</b>	3	1	3	2,10	Apto	P1	8,08	5231923
<b>321</b>	3	2	1	2,15	Apto	P2/A1	0,49	317336,3
<b>322</b>	3	2	2	2,35	Optimo	P2/A2	0,24	160283,4
<b>323</b>	3	2	3	2,55	Optimo	P2	2,54	1648854
<b>331</b>	3	3	1	2,60	Optimo	A1	1,97	1278839
<b>332</b>	3	3	2	2,80	Optimo	A2	1,28	828758,9
<b>333</b>	3	3	3	3,00	Optimo	S/R	12,51	8097404

---

Cuadro A4. Ponderaciones obtenidas para aptitud hídrica.

VALUE	Apt_Pp	Apt_Et	Ponderado	Nomenclatura	SubCodigo	(%)	Area (Ha)
	0,4	0,6					
<b>0</b>	0	0	0,00	Excluyente	Excluyente	39,22	25380802
<b>11</b>	1	1	1,00	Marginal	L1	3,15	2036885
<b>12</b>	1	2	1,60	Marginal	L1	1,79	1156066
<b>13</b>	1	3	2,20	Apto	L2	27,28	17651907
<b>21</b>	2	1	1,40	Marginal	L1	3,57	2313376
<b>22</b>	2	2	2,00	Apto	L2	0,91	590590,1
<b>23</b>	2	3	2,60	Optimo	L2	15,70	10159049
<b>31</b>	3	1	1,80	Apto	L2	1,65	1065761
<b>32</b>	3	2	2,40	Optimo	L2	0,65	422751,9
<b>33</b>	3	3	3,00	Optimo	S/R	6,08	3936971

Cuadro A5. Ponderaciones obtenidas para la aptitud Térmica.

VALUE	Tmin	Tmax	Ponderado	Nomenclatura	SubCodigo	Porcentaje	Area (Ha)
	0,95	0,05					
<b>0</b>	0	0	0	Excluyente	Excluyente	15,22	9852190
<b>11</b>	1	1	1	Marginal	T1	4,70	3040077
<b>12</b>	1	2	1,05	Marginal	T1	6,37	4124165
<b>13</b>	1	3	1,1	Marginal	T1	9,27	5997327
<b>21</b>	2	1	1,95	Apto	T2	6,86	4436270
<b>22</b>	2	2	2	Apto	T2	10,50	6798150

<b>23</b>	2	3	2,05	Apto	T2	21,59	13969453
<b>31</b>	3	1	2,9	Optimo	T2	10,15	6566645
<b>32</b>	3	2	2,95	Optimo	T2	9,45	6117634
<b>33</b>	3	3	3	Optimo	S/R	5,89	3812248

Cuadro A6. Ponderaciones obtenidas para la aptitud climática.

VALUE	Apt_Hid Apt_Term		Ponderado	Nomenclatura	Sub Codigo	Porcentaje	Area (Ha)
	0,1	0,9					
<b>0</b>	0	0	0	Excluyente	Excluyente	3,84	2482663
<b>1</b>	0	1	0,9	Excluyente	Excluyente	4,26	2753638
<b>2</b>	0	2	1,8	Excluyente	Excluyente	18,08	11702017
<b>3</b>	0	3	2,7	Excluyente	Excluyente	13,05	8442485
<b>10</b>	1	0	0,1	Excluyente	Excluyente	2,37	1536885
<b>11</b>	1	1	1	Marginal	C1	5,56	3597112
<b>12</b>	1	2	1,9	Apto	C2	0,58	372329,7
<b>20</b>	2	0	0,2	Excluyente	Excluyente	5,65	3657378
<b>21</b>	2	1	1,1	Marginal	C1	7,84	5072008
<b>22</b>	2	2	2	Apto	C2	8,82	5710516
<b>23</b>	2	3	2,9	Optimo	C2	7,52	4868357
<b>30</b>	3	0	0,3	Excluyente	Excluyente	3,36	2175265
<b>31</b>	3	1	1,2	Marginal	C1	2,69	1738811
<b>32</b>	3	2	2,1	Apto	C2	11,46	7419010
<b>33</b>	3	3	3	Optimo	S/R	4,92	3185686

Cuadro A7. Ponderaciones obtenidas para la aptitud Geológica.

VALUE	Ponderado	Nomenclatura	SubCodigo	(%)	Area (Ha)
0	0	Excluyente	-	1,36	879831
1	1	Marginal	S1	42,18	27293312
2	2	Apto	S2	36,07	23344792
3	3	Óptimo	S/R	20,39	13196225

Cuadro A8. Ponderaciones obtenidas para la aptitud territorial.

VALUE	Ponderado	Nomenclatura	(%)	Area (Ha)
0	0	Excluyente	48,78	31567633,8
1	1	Apto	51,22	33146525,0

Cuadro A9. Ponderaciones obtenidas para la aptitud Agroecológica

VALUE	Territ				Pond	Nomenclatura	SubCodigo	(%)	area (Ha)
	geol	geom	clima						
0	0	0	0	0	0	Excluyente		75,99	49175035,1
1111	1	1	1	1	1	Marginal	S1/R1/C1	0,62	399993,1
1112	1	1	1	2	1,6	Marginal	S1/R1/C2	2,29	1479861,7
1113	1	1	1	3	2,2	Apto	S1/R1	0,86	558012,6
1121	1	1	2	1	1,25	Marginal	S1/R2/C1	1,32	852645,1
1122	1	1	2	2	1,85	Apto	S1/R2/C2	4,49	2904935,2
1123	1	1	2	3	2,45	Optimo	S1/R2	2,83	1831221,3
1131	1	1	3	1	1,5	Marginal	S1/C1	0,48	311781,1
1132	1	1	3	2	2,1	Apto	S1/C2	2,10	1358685,7
1133	1	1	3	3	2,7	Optimo	S1	2,22	1438506,1

<b>1211</b>	1	2	1	1	1,15	Marginal	S2/R1/C1	0,30	193515,2
<b>1212</b>	1	2	1	2	1,75	Apto	S2/R1/C2	0,15	100044,2
<b>1213</b>	1	2	1	3	2,35	Optimo	S2/R1	0,02	14935,8
<b>1221</b>	1	2	2	1	1,4	Marginal	S2/R2/C1	1,05	678786,0
<b>1222</b>	1	2	2	2	2	Apto	S2/R2/C2	0,86	553568,5
<b>1223</b>	1	2	2	3	2,6	Optimo	S2/R2	0,05	29824,6
<b>1231</b>	1	2	3	1	1,65	Marginal	S2/C1	0,92	595024,5
<b>1232</b>	1	2	3	2	2,25	Apto	S2/C2	1,01	655465,9
<b>1233</b>	1	2	3	3	2,85	Optimo	S2	0,02	10567,9
<b>1311</b>	1	3	1	1	1,3	Marginal	R1/C1	0,10	61981,1
<b>1312</b>	1	3	1	2	1,9	Apto	R1/C2	0,15	94047,6
<b>1313</b>	1	3	1	3	2,5	Optimo	R1	0,19	121644,9
<b>1321</b>	1	3	2	1	1,55	Marginal	R2/C1	0,06	38460,9
<b>1322</b>	1	3	2	2	2,15	Apto	R2/C2	0,26	165290,1
<b>1323</b>	1	3	2	3	2,75	Optimo	R2	0,81	526904,2
<b>1331</b>	1	3	3	1	1,8	Apto	C1	0,01	3523,2
<b>1332</b>	1	3	3	2	2,4	Optimo	C2	0,10	67402,7
<b>1333</b>	1	3	3	3	3	Optimo	S/R	0,76	492494,6

## ANEXOS

**Anexo I. Clasificación y descripción de órdenes de suelos según la USDA para su identificación.**

Cuadro A10. Clasificación de órdenes de suelo y descripción.

<b>Clasificación (Nombre)</b>	<b>Descripción</b>
Alfisol	Suelos con horizonte B arcilloso enriquecido por iluviación; suelos jóvenes, comúnmente bajo bosques de hoja caediza.
Andisol	Suelos asociados a depositaciones volcánicas en diferentes climas. Presentan estratificación a consecuencia de diferentes períodos de depositación. Compuesto principalmente por minerales primarios.
Aridisol	Suelos secos (climas áridos); sales, yeso o acumulaciones de carbonatos frecuentes.
Entisol	Casi nula diferenciación de horizontes; distinciones no climáticas: aluviones, suelos helados, desierto de arena
Gelisol	Suelos asociados a climas fríos, cubiertos durante la mayor parte del año por hielos que alcanzan hasta 2 metros de profundidad desde la superficie.
Histosol	Suelos de carácter orgánicos. Asociados a depósitos orgánicos como turba y lignito. Sin distinción climática.
Inceptisol	Suelos con débil desarrollo de horizontes. Suelos de tundra, suelos volcánicos recientes y zonas recientemente deglaciadas
Mollisol	Suelos de zonas de pradera en climas templados. Presentan horizonte superficial blando, rico en materia orgánica, espeso y de color oscuro.
Oxisol	Suelos asociados a zonas tropicales y subtropicales. Intensamente meteorizados, formándose recientemente horizontes lateríticos y suelos bauxíticos
Spodosol	Suelos de tipo forestales húmedos. Se encuentra frecuentemente bajo coníferas. Presenta un horizonte B enriquecido en hierro y/o en materia

Ultisol	orgánica y comúnmente, un horizonte A gris-ceniza, producto de procesos de lixiviado. Suelos de zonas húmedas templadas a tropicales sobre antiguas superficies intensamente meteorizadas; suelos enriquecidos en arcilla.
Vertisol	Suelos ricos en arcilla; generalmente en zonas subhúmedas a áridas, con hidratación y expansión en húmedo y agrietados cuando secos.

## Anexo II. Zonas de Rusticidad de la USDA.

Cuadro A11. Zonas de Rusticidad según Rangos Térmicos.

Zona	Desde	Hasta
<b>0</b>		
a		< -53,9 °C
b	-53,9 °C	-51,1 °C
<b>1</b>		
a	-51,1 °C	-48,3 °C
b	-48,3 °C	-45,6 °C
<b>2</b>		
a	-45,6 °C	-42,8 °C
b	-42,8 °C	-40 °C
<b>3</b>		
a	-40 °C	-37,2 °C
b	-37,2 °C	-34,4 °C
<b>4</b>		
a	-34,4 °C	-31,7 °C
b	-31,7 °C	-28,9 °C
<b>5</b>		
a	-28,9 °C	-26,1 °C
b	-26,1 °C	-23,3 °C
<b>6</b>		
a	-23,3 °C	-20,6 °C
b	-20,6 °C	-17,8 °C
<b>7</b>		
a	-17,8 °C	-15 °C
b	-15 °C	-12,2 °C
<b>8</b>		
a	-12,2 °C	-9,4 °C
b	-9,4 °C	-6,7 °C
<b>9</b>		
a	-6,7 °C	-3,9 °C
b	-3,9 °C	-1,1 °C
<b>10</b>		
a	-1,1 °C	1,7 °C

	b	1,7°C		4,4°C
<b>11</b>	a	4,4°C		7,2°C
	b	7,2°C		10°C
<b>12</b>	a	10°C		12,8°C
	b		>+12,8°C	

---