



UNIVERSIDAD  
DE CHILE

## INFORME FINAL

“DETERMINACIÓN ZONAS DE SIMILAR POTENCIAL  
PRODUCTIVO SILVOAGROPECUARIO (ZSPPS)”

Licitación LP-184

SII

Servicio de Impuestos Internos

Santiago, 02 de febrero 2024

## Contenido

1.	Introducción .....	1
2.	Metodología y resultados .....	2
2.1	Generación y preparación de la base climática de alta resolución .....	2
2.2	Elaboración de Cartografía de micro-distritos agroclimáticos .....	5
2.3	Preparación de las variables climáticas secundarias para estimar el potencial agrícola de las especies cultivadas. ....	22
2.4	Evaluación del potencial productivo de especies cultivadas.....	27
2.4.1	Variables Bioclimáticas que se utilizaron para la estimación de potenciales de producción para especies frutales, cultivos, praderas y plantaciones forestales. ....	27
2.4.2	Variables Bioclimáticas que se utilizarán para la estimación de potenciales de producción para cultivos anuales .....	29
2.5	Calculo del índice de potencialidad agroclimática (IPAC).....	30
2.5.1	Índices de potencial productivo para especies en riego y en secoano .....	52
2.6	Interfaz para la gestión de las bases de datos .....	55
3.	Referencias bibliográficas .....	59
4.	Descripción del contenido de los shape y archivos adjuntos .....	60
	Anexo 1 .....	60
	Anexo 2 .....	62
	Anexo 3 .....	63
	Anexo 4: Manual de usuario .....	65

## 1. Introducción

La licitación LP-184 tuvo como objetivo la identificación de zonas con similar potencial productivo silvoagropecuario a nivel nacional, considerando particularidades agroclimáticas del territorio y diversas variables ambientales y territoriales que inciden directamente en la capacidad productiva y competitividad de la producción silvoagropecuaria. Esta herramienta está diseñada como un apoyo esencial en el proceso de avalúo de los bienes raíces de la primera serie agrícola, conforme al artículo 4° de la ley 9.886 de bases sobre Contratos Administrativos de Suministro y Prestación de Servicios.

El enfoque técnico adoptado para alcanzar los objetivos de la licitación se basó en una metodología que integra variables climáticas, agroclimáticas, modelación numérica, sistema de información geográfica y características territoriales, adaptándose a la compleja geografía chilena. Considerando la variabilidad climática que caracteriza al territorio, se llevó a cabo una zonificación de microdistritos agroclimáticos, basada en una malla geográfica con información detallada con una resolución de 1 km<sup>2</sup> (1980 - 2020). Cada punto de esta malla incluye datos esenciales como temperaturas extremas, precipitación, humedad del aire, radiación solar, evapotranspiración, número de días cálidos, horas de frío, número de heladas y otras variables relevantes para el potencial productivo agrícola. De este modo, la herramienta se sustenta en información histórica y modelos digitales de elevación para modelar topoclimáticamente variables agroclimáticas primarias, derivando luego variables agroclimáticas secundarias, necesarias para la determinación del potencial productivo de diversas especies agrícolas.

Para sintetizar las complejas relaciones ecofisiológicas que condicionan la adaptación de especies cultivadas a diversas condiciones climáticas, se utilizó el modelo ADAPTCHECK, desarrollado por el equipo ejecutor en las últimas décadas. Este modelo analiza exhaustivamente el ciclo fenológico de cada especie, evaluando en qué medida, las condiciones climáticas satisfacen sus requerimientos para garantizar una producción óptima en calidad y cantidad. Basado en una extensa base de datos, calibración y validación, el sistema proporciona un diagnóstico detallado del comportamiento de cada especie frente a variaciones climáticas, siendo un recurso esencial en la toma de decisiones para el sector agrícola. Finalmente, se determinó la aptitud agroclimática de 11 especies frutales, 5 cultivos anuales, praderas naturales y plantaciones forestales para todo el territorio nacional.

## 2. Metodología y resultados

Como consecuencia de una compleja geografía, las condiciones climáticas del territorio varían significativamente en espacios territoriales relativamente estrechos. Este es el caso de las temperaturas, la ventosidad, el riesgo de heladas y el régimen de precipitaciones. Esto hace que los potenciales de producción cambien abruptamente con la distancia al mar, la altitud o la orientación del relieve. Para capturar esta variabilidad se realizó una zonificación de microdistritos agroclimáticos, en base a una malla geográfica que contiene información con una resolución de 1 Km<sup>2</sup> para el periodo 1980-2020. En cada punto se dispone de las temperaturas extremas, precipitación, humedad del aire, radiación solar, evapotranspiración, número de días cálidos, horas de frío, número de heladas y otras variables relevantes para el potencial productivo agrícola.

A partir de la información histórica y el modelo digital de elevación se modelaron topoclimáticamente las variables agroclimáticas primarias (las que provienen de la red de estaciones de tierra). Una vez modeladas estas variables, en cada punto se calculan variables secundarias o derivadas como horas de frío, días grado, evapotranspiración, déficit hídrico, número de días cálidos. Con este conjunto de variables se determina el potencial productivo de especies agrícolas.

Para sintetizar las relaciones ecofisiológicas que condicionan la adaptación de las especies cultivadas frente a diversas condiciones climáticas, hemos usado el modelo ADAPTCHECK, el cual el equipo ejecutor ha venido desarrollando en los últimos 20 años. Este modelo realiza un completo recorrido del ciclo fenológico de cada especie, verificando en qué medida las condiciones climáticas satisfacen los requerimientos de la especie para garantizar una buena producción en calidad y cantidad. El sistema se basa en una extensa base de datos que sintetiza la información experimental disponible sobre las respuestas adaptativas de las especies frente a las variables del clima, de modo de proveer un acabado diagnóstico del comportamiento que la especie tendrá en diversas condiciones climáticas.

### 2.1 Generación y preparación de la base climática de alta resolución

Se dispone de la línea base climática para el periodo 1980-2020 con datos de temperaturas, humedad del aire, radiación solar y precipitaciones. Esta base de datos se construyó a partir de los datos de las estaciones de la Red Agroclimática Nacional (INIA, FDF, Meteovid, DMC) y datos de la Dirección General de Aguas (DGA).

Dependiendo de la naturaleza de la estación meteorológica se contó con observaciones de: temperatura, precipitación, humedad relativa y/o radiación solar. En total se utilizaron 350

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

estaciones de temperatura, humedad relativa y radiación solar, y 500 estaciones para las precipitaciones distribuidas en el territorio nacional.

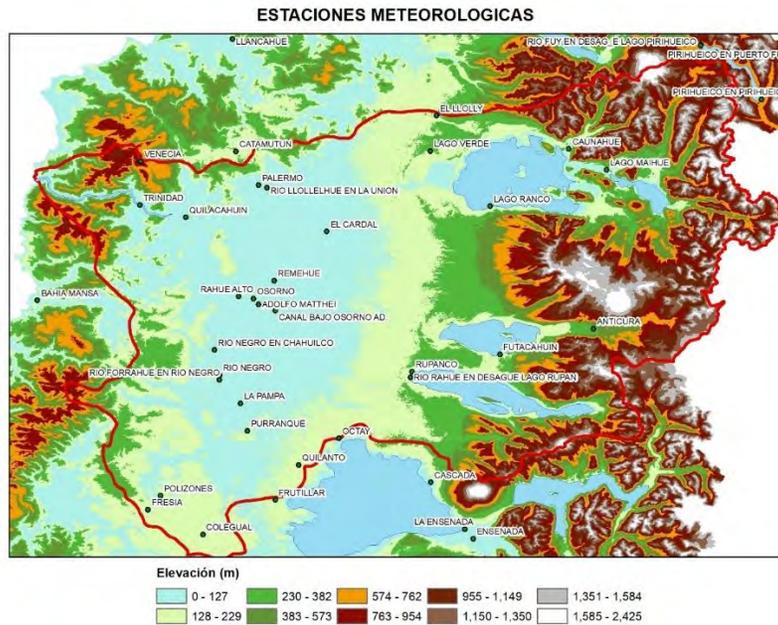


Figura 1. Red de estaciones climatológicas y complejidad del relieve

A pesar de este número de estaciones meteorológicas disponibles, en algunas áreas, especialmente montañosas, existe una baja densidad de estaciones. En estas áreas se requiere densificar los datos climáticos para construir una cartografía de alta resolución espacial. Para las temperaturas, se cuenta con metodologías apoyadas con imágenes térmicas satelitales (NOAA-AVHRR) que permiten mejorar el análisis de los gradientes térmicos generados por el relieve, la distancia al mar y la altitud (Figura 2).

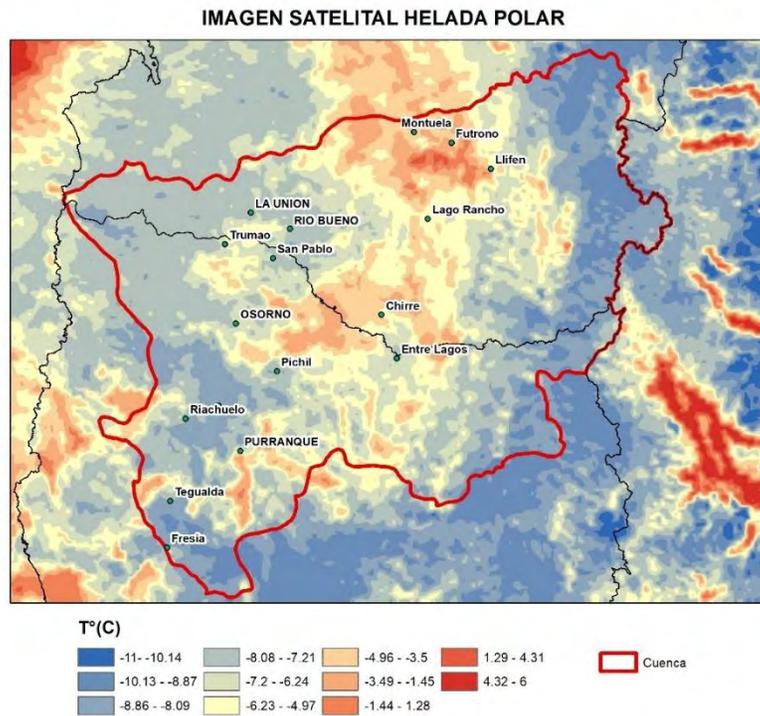


Figura 2. Temperatura de aire desde datos satelitales.

La modelación se realiza con resolución de 1 x 1 km, mediante modelos regresivos no lineales, donde cada punto contiene la información de las variables climáticas primarias modeladas: temperaturas extremas, precipitación, humedad relativa, radiación solar. Una vez modeladas las variables climáticas, los resultados se validaron confrontando los datos modelados con los registros de tierra, en puntos donde se cuenta con estaciones meteorológicas (Figura 3 y 4).

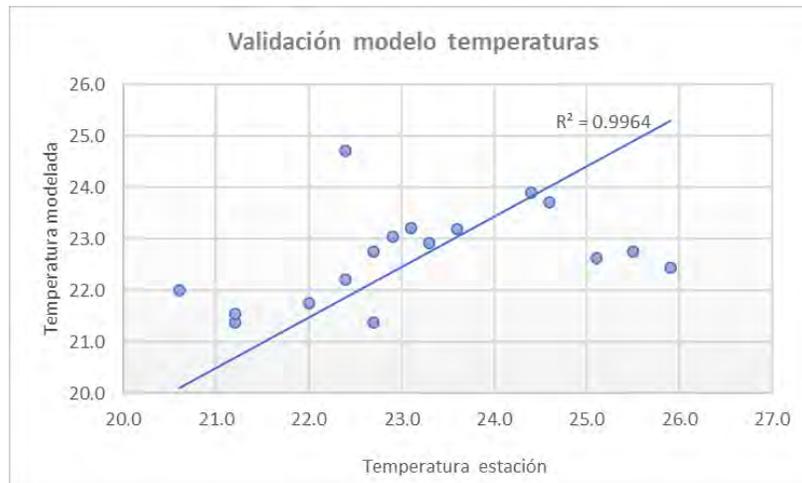


Figura 3. Validación modelo de temperaturas máxima de enero para una cuenca. Temperatura modelada v/s temperatura observada proveniente de las estaciones meteorológicas.

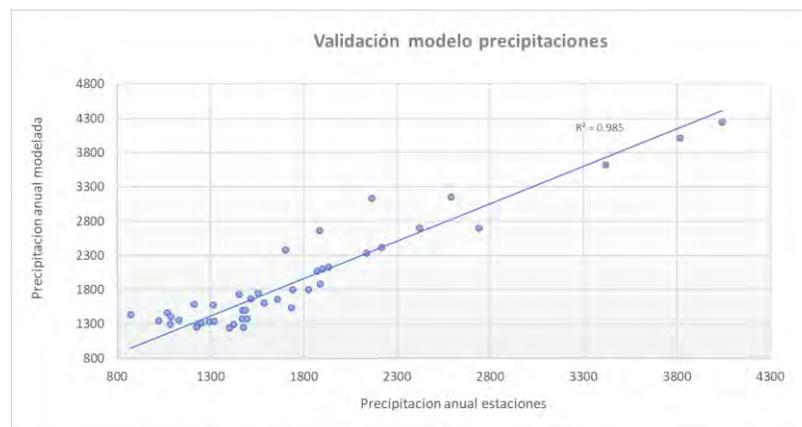


Figura 4. Validación modelo de precipitaciones anuales para una cuenca. Precipitación modelada v/s precipitación observada proveniente de las estaciones meteorológicas.

## 2.2 Elaboración de Cartografía de micro-distritos agroclimáticos

Para establecer los subdistritos agroclimáticos o unidades climáticamente homogéneas, se utilizó la técnica de clustering multivariado que considerará la temperatura máxima de enero (lo que aporta el atributo de calidez del verano), la temperatura mínima de julio, las horas frío, precipitación anual y altitud. El clustering agrupa puntos de una malla geográfica entregando unidades territoriales que cumplen con el requisito de mínima varianza.

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

Una vez definidos los microdistritos, ellos fueron superpuestos con los límites comunales de modo de cortar las comunas, generando así los “sectores” dentro de cada comuna. Cada sector será entonces un territorio de similares condiciones climáticas, al interior de cada comuna (Figura 5 a 20). }

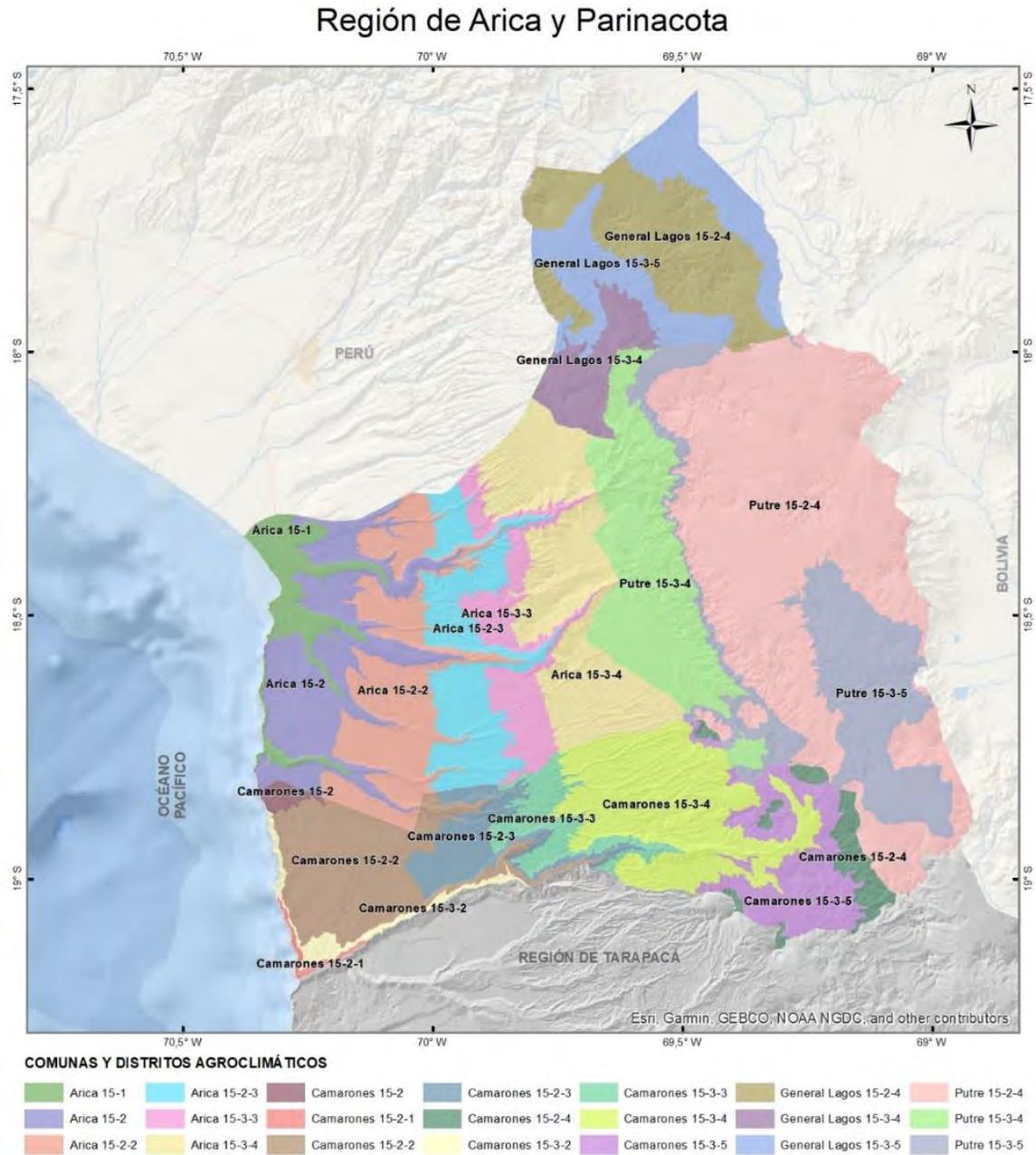


Figura 5. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de Arica y Parinacota







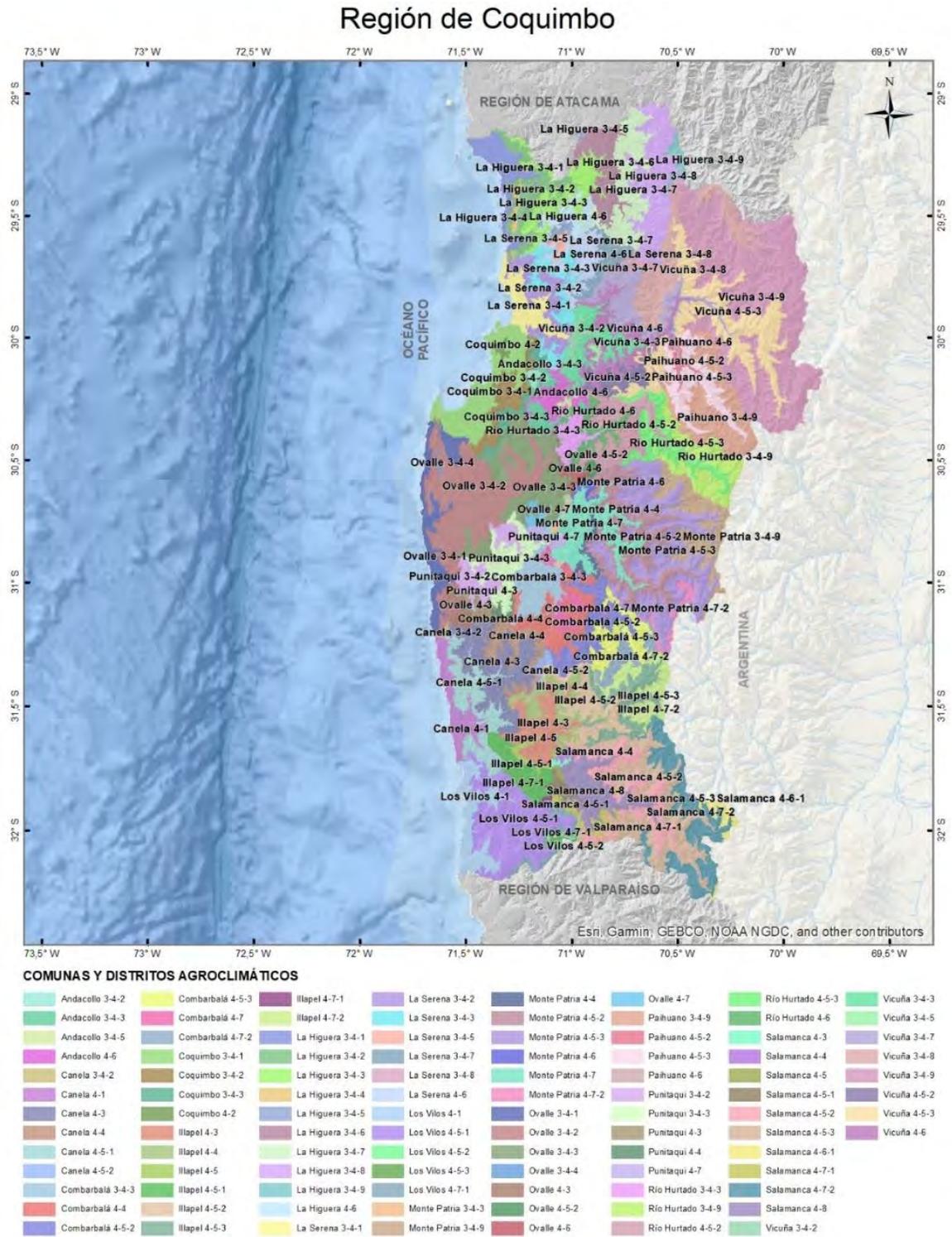


Figura 9. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de Coquimbo.

*Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)*

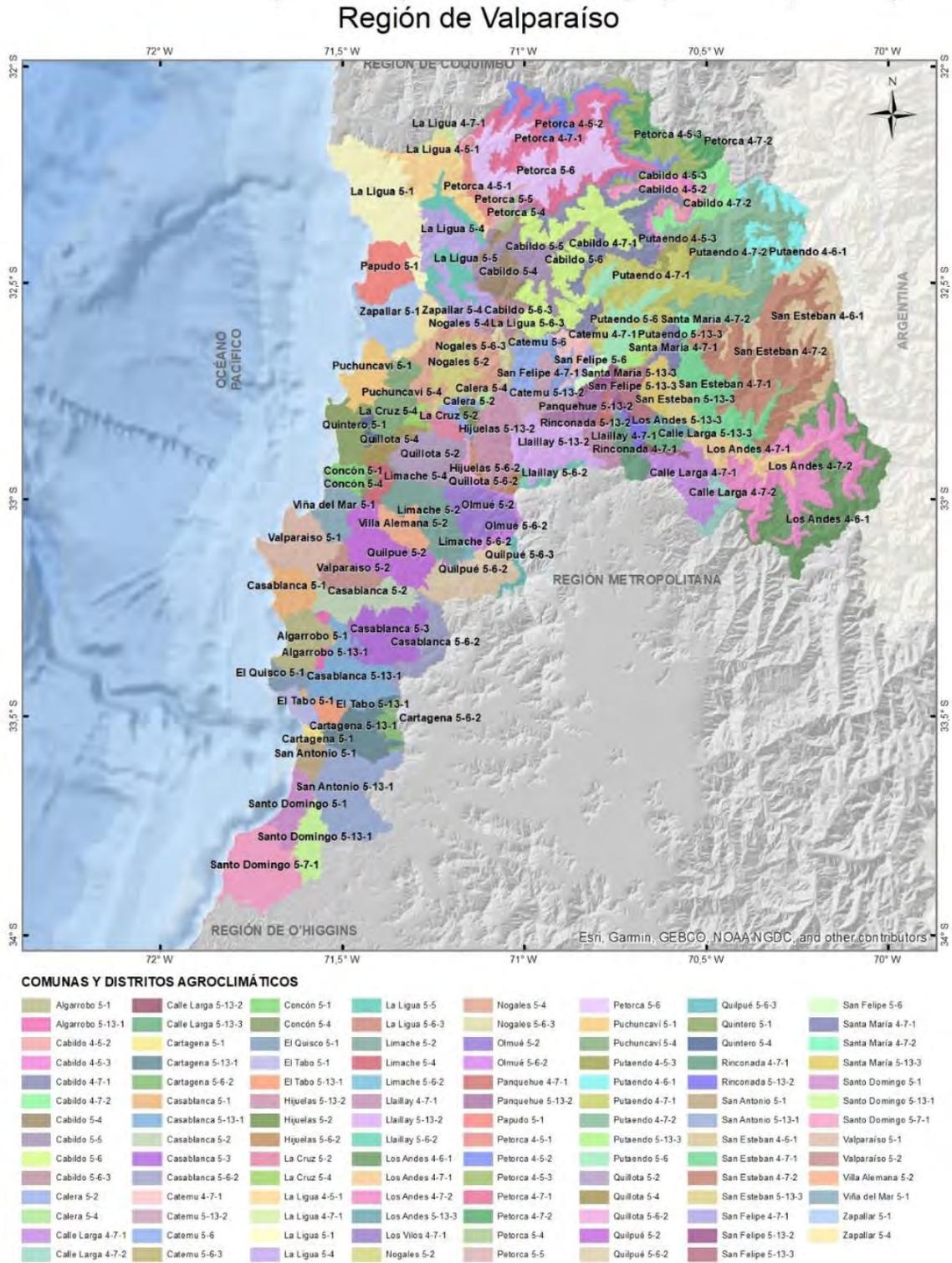


Figura 10. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de Valparaíso.

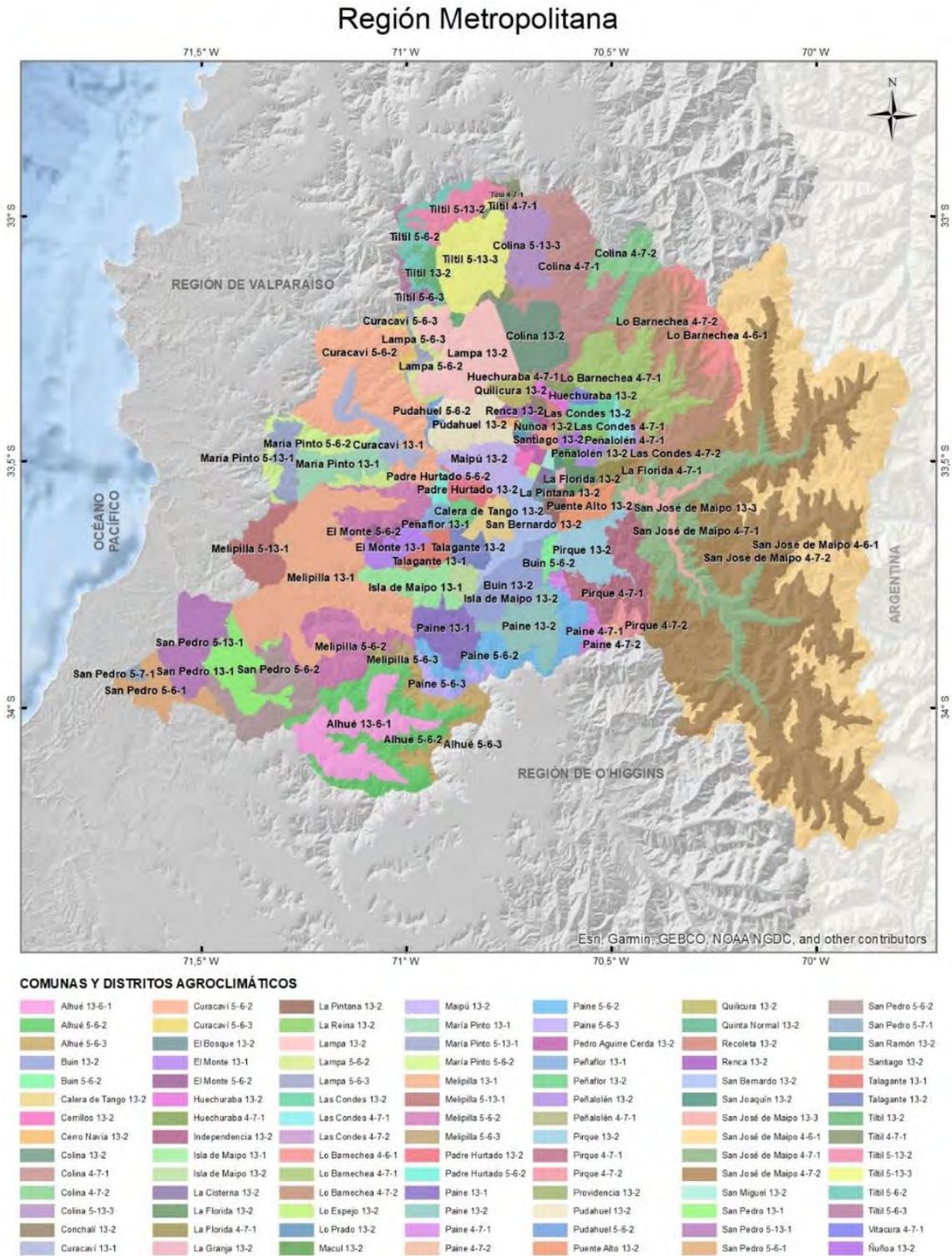


Figura 11. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región Metropolitana.

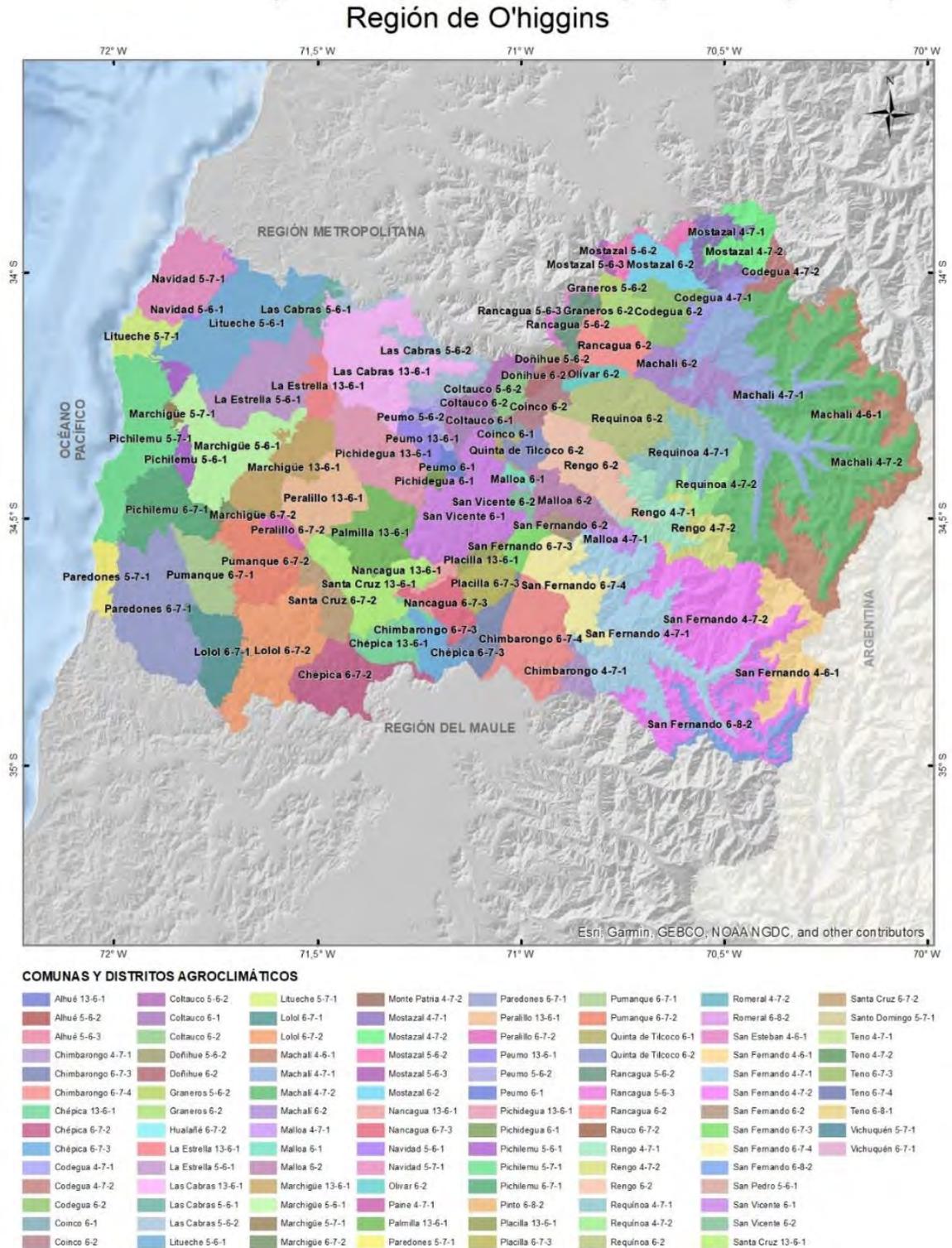


Figura 12. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de O'Higgins.

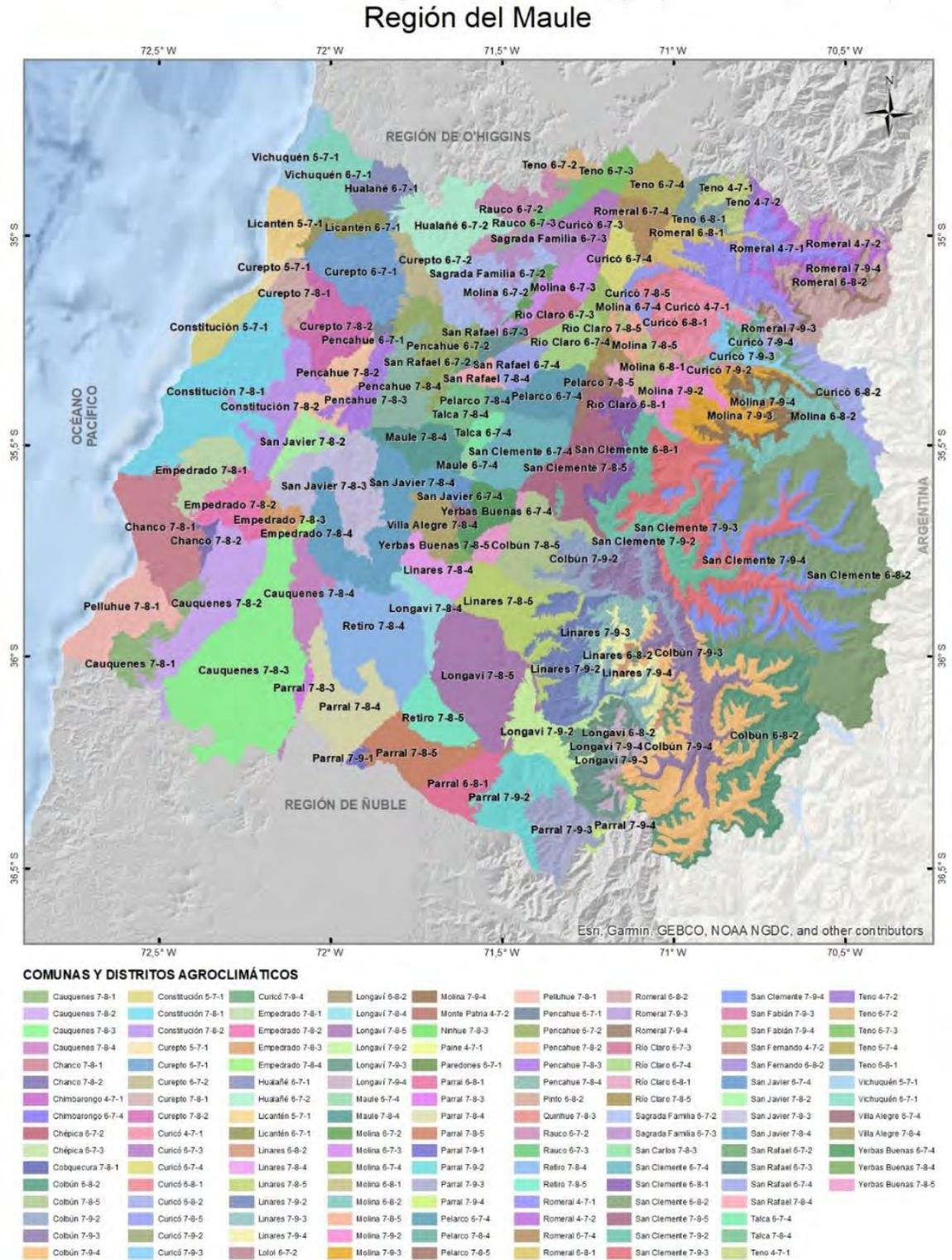


Figura 13. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región del Maule.

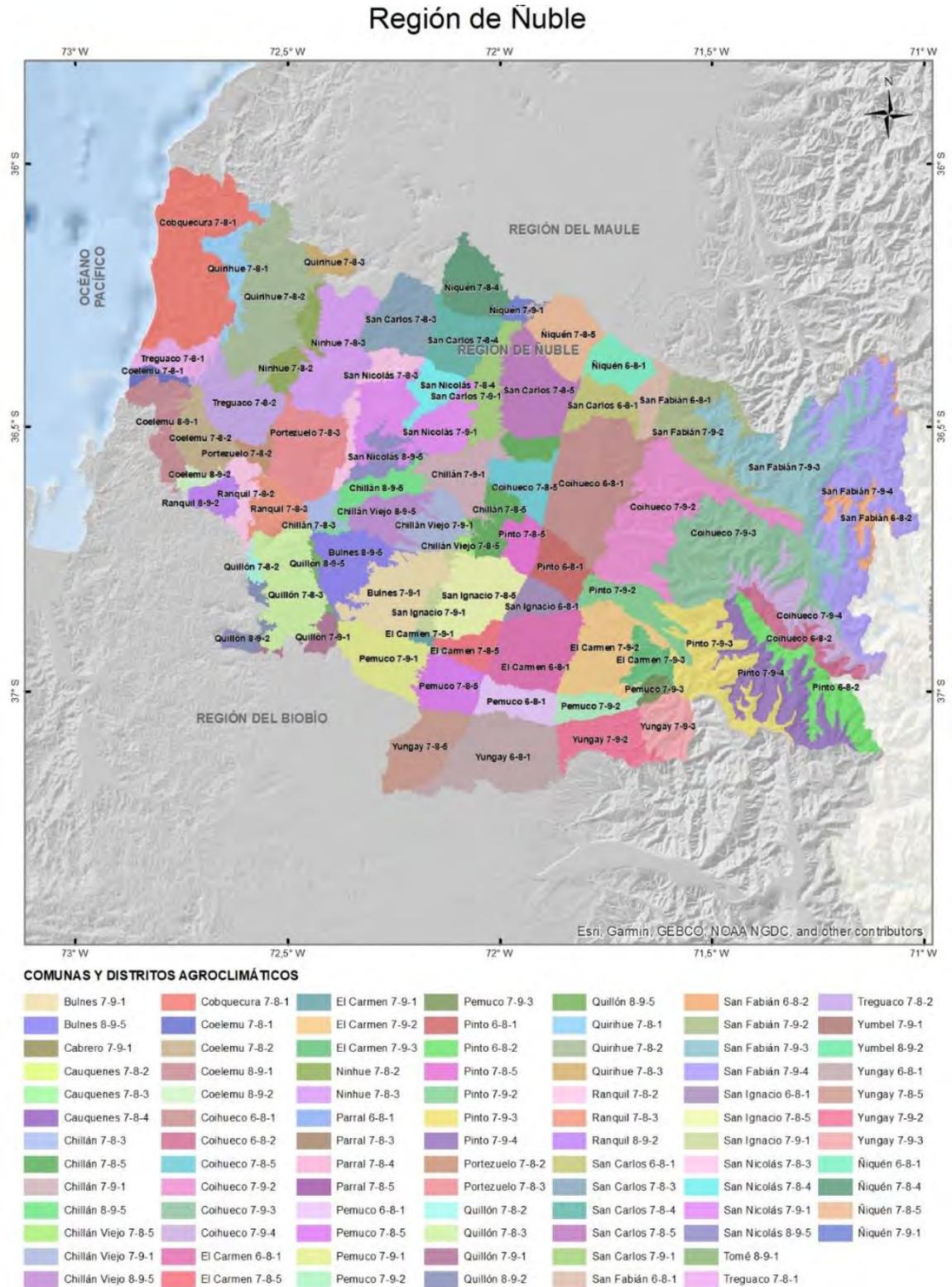


Figura 14. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de Ñuble.

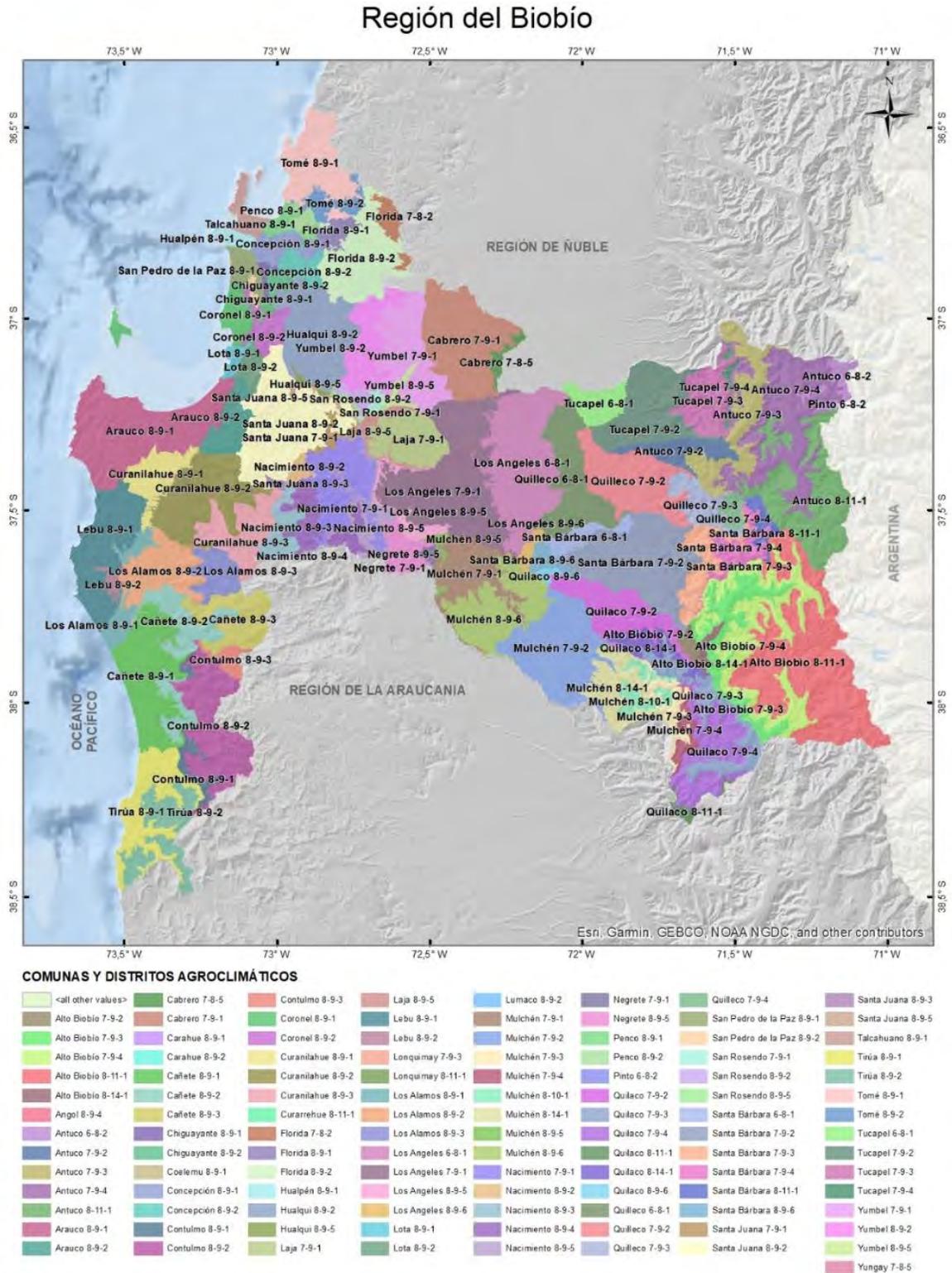
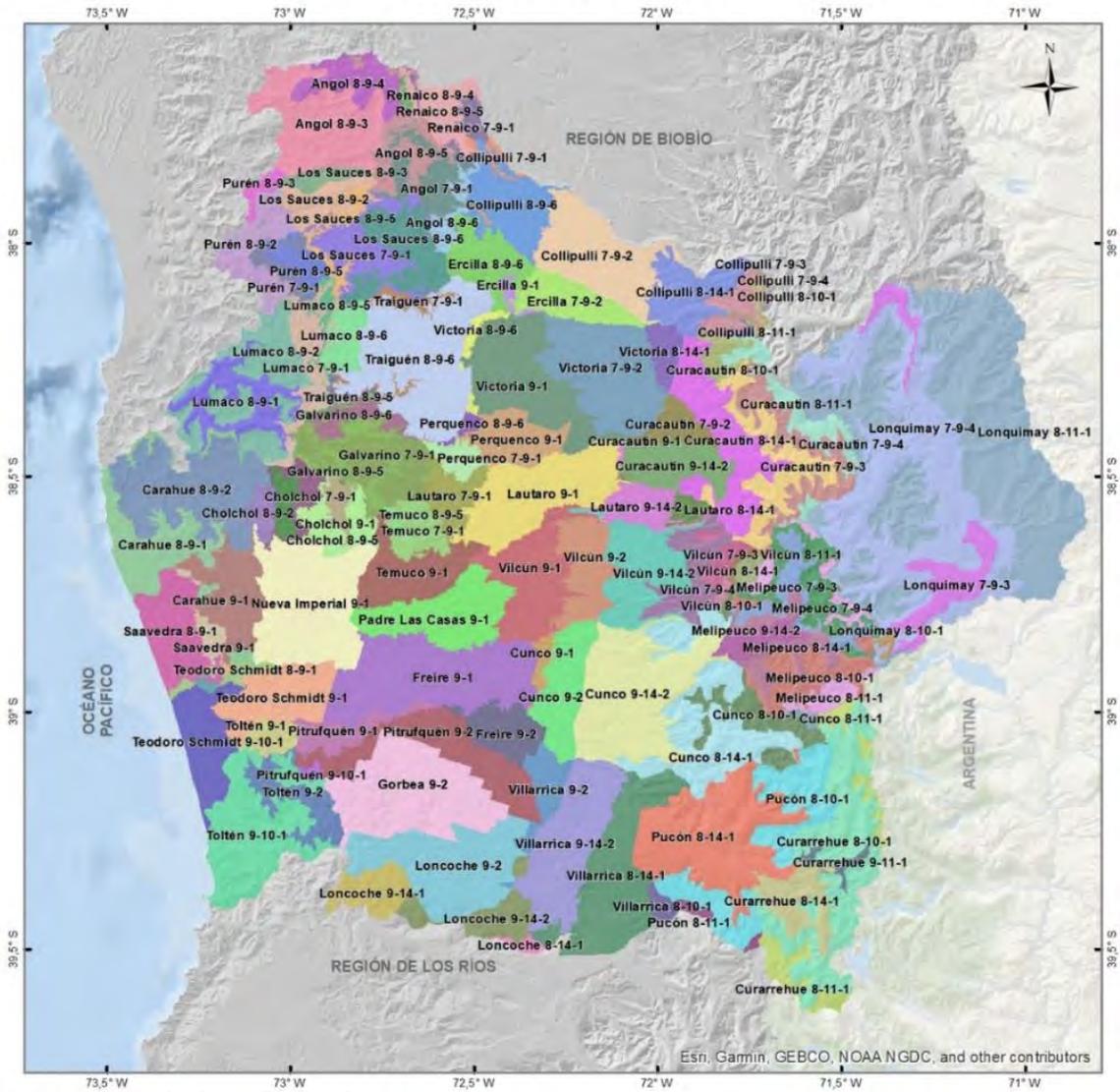


Figura 15. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de Biobío.

### Región de La Araucanía



**COMUNAS Y DISTRITOS AGROCLIMÁTICOS**

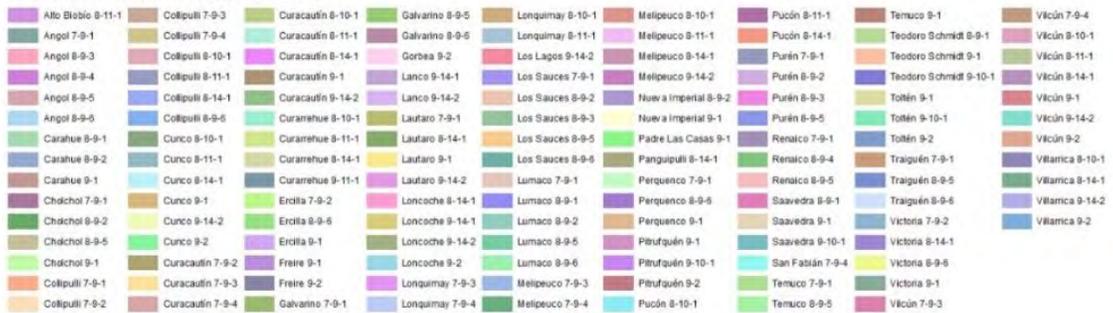


Figura 16. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de La Araucanía.

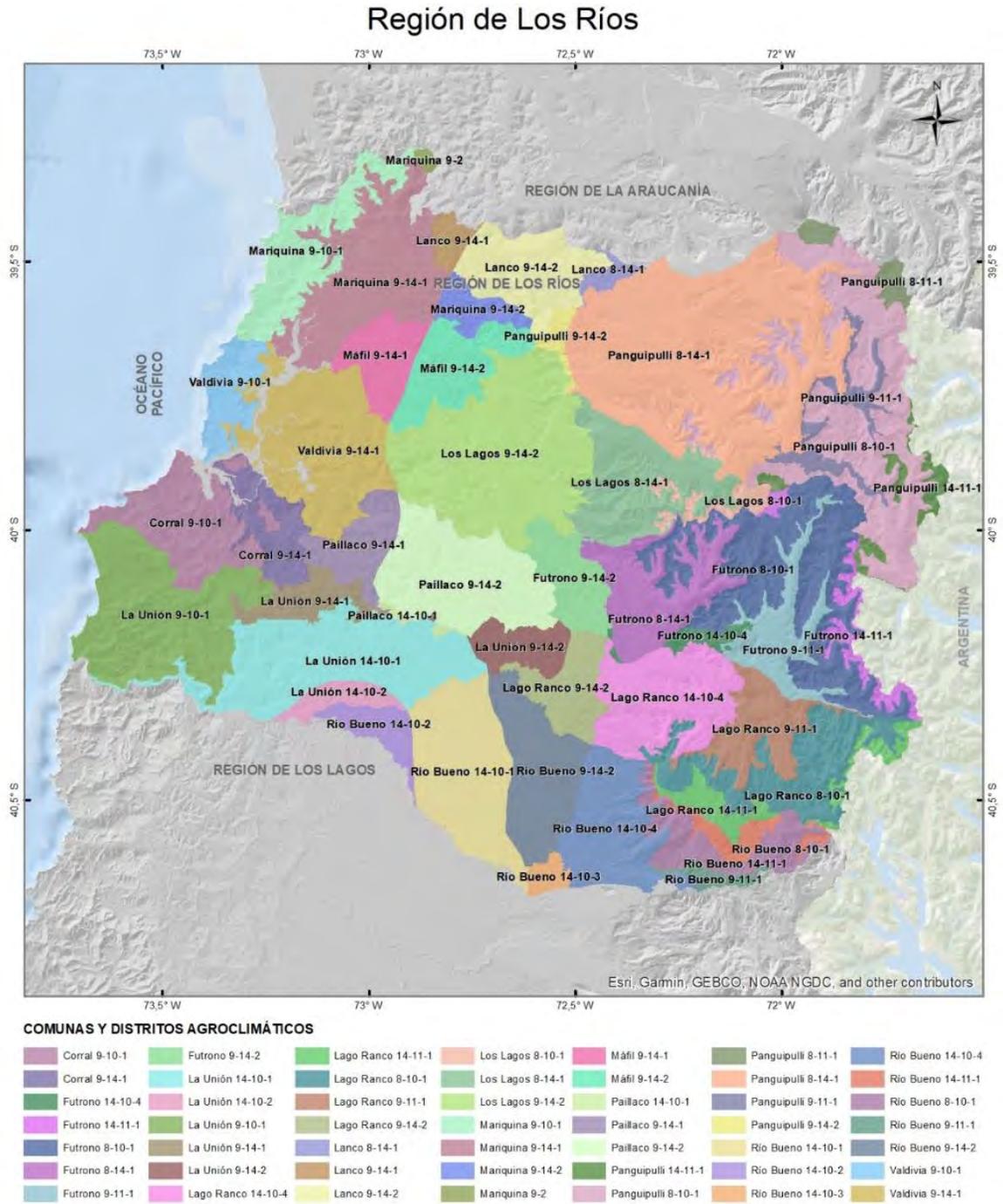


Figura 17. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de Los Ríos.

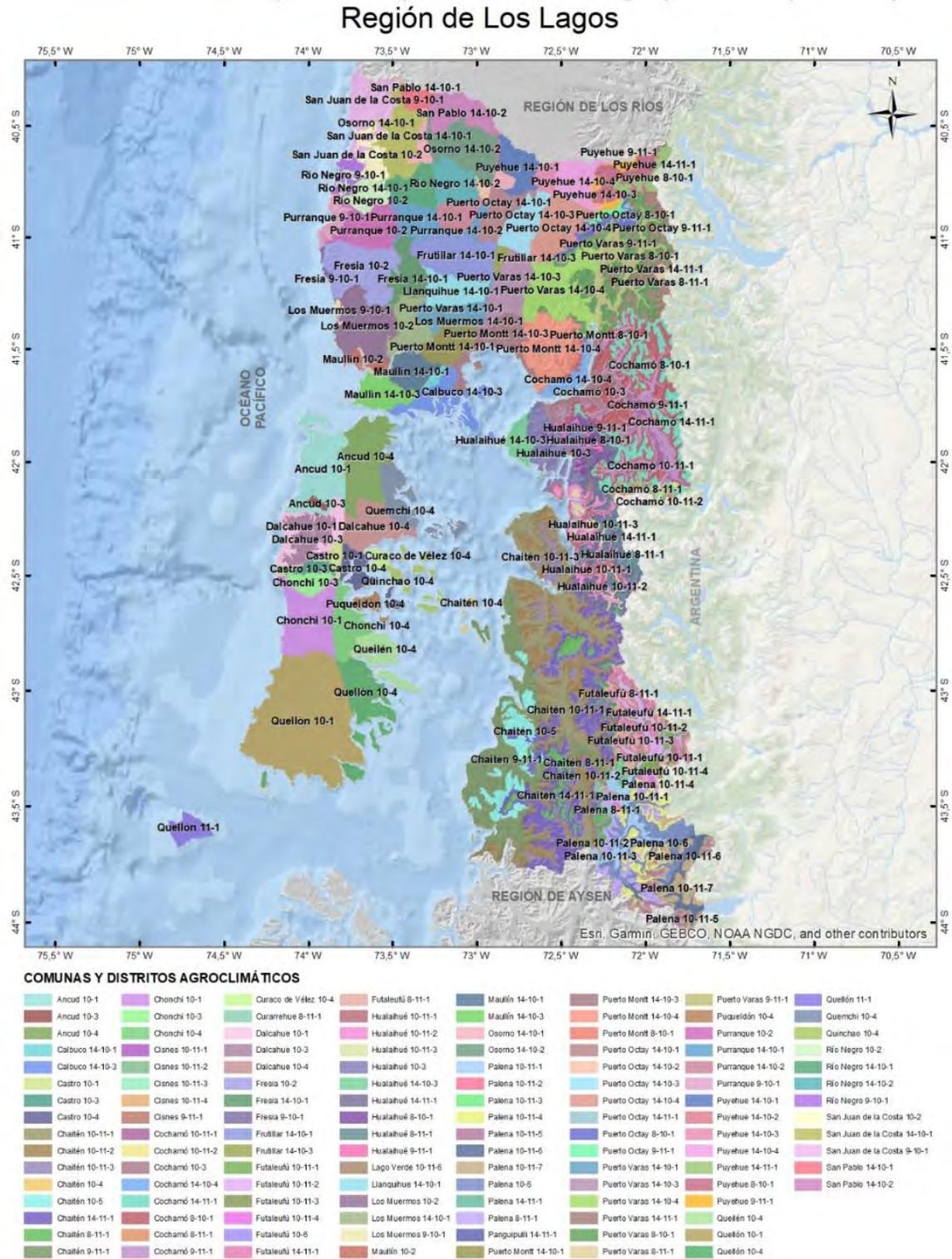


Figura 18. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de Los Lagos.

*Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)*

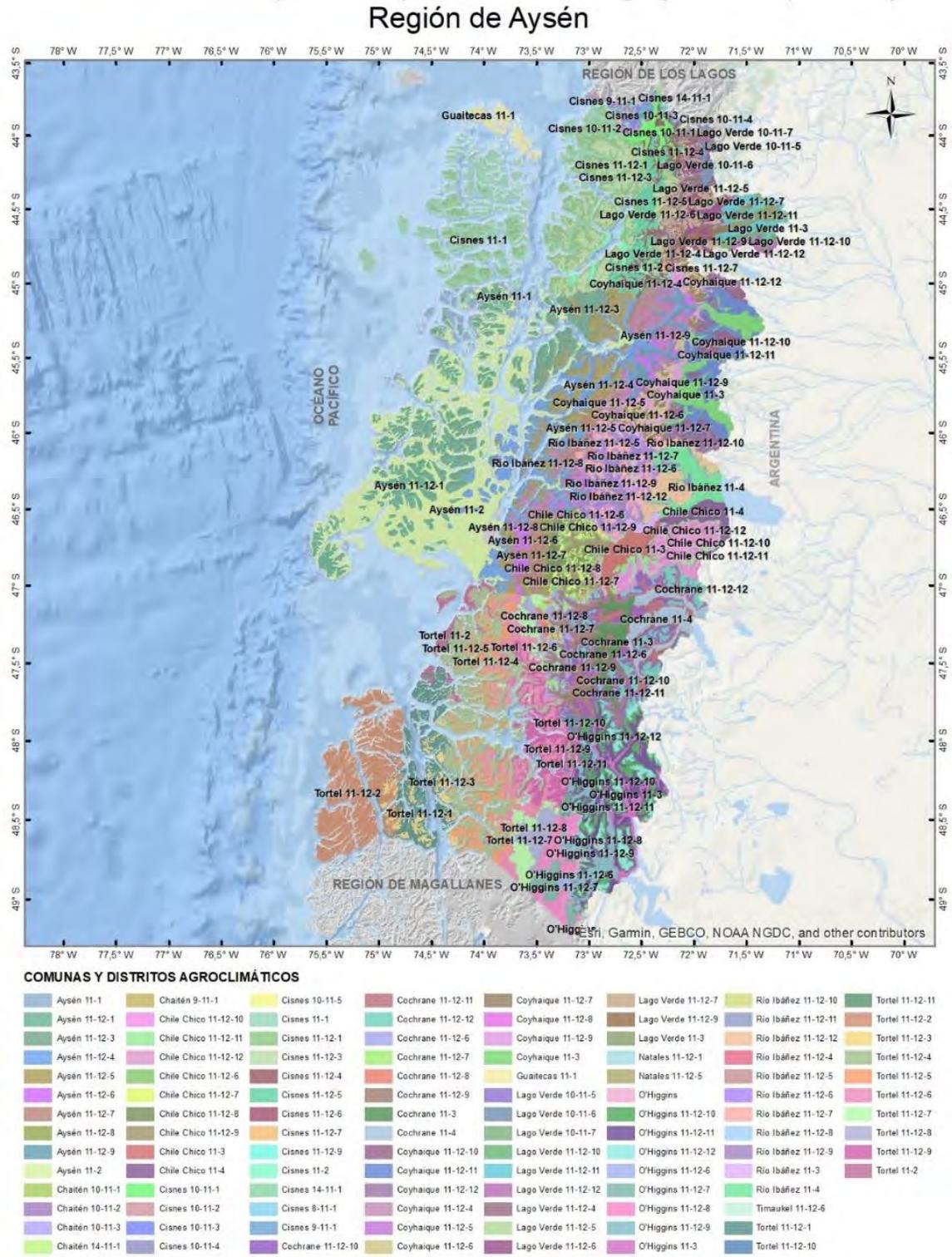


Figura 19. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de Aysén.



Figura 20. Zonas de similares condiciones agroclimáticas para la región de Magallanes.

### 2.3 Preparación de las variables climáticas secundarias para estimar el potencial agrícola de las especies cultivadas.

A través de modelos desarrollados por el equipo de trabajo, se calcularon variables climáticas derivadas a nivel mensual como evapotranspiración de referencia, días grados base 10, horas de frío, déficit hídrico, excedente hídrico, número de heladas, índices de aridez, índices de humedad, entre otras. Todas estas variables son relevantes para la capacidad productiva de la tierra, algunas de ellas actúan como condicionantes del éxito de las especies y otras como riesgos esporádicos, que pueden alcanzar dimensiones catastróficas. Mientras las primeras se les trata como variables de efecto determinístico, las segundas como variables aleatorias, asociadas a una probabilidad de ocurrencia.

Para establecer la micro-zonificación climática se preparan mapas de las variables principales, en alta resolución (1 x 1 Km). A continuación se presentan los resultados para las principales variables obtenidas de la actualización de la cartografía de variables primarias y derivadas complementarias para el periodo 1980 – 2020 (figura 21 a 26)

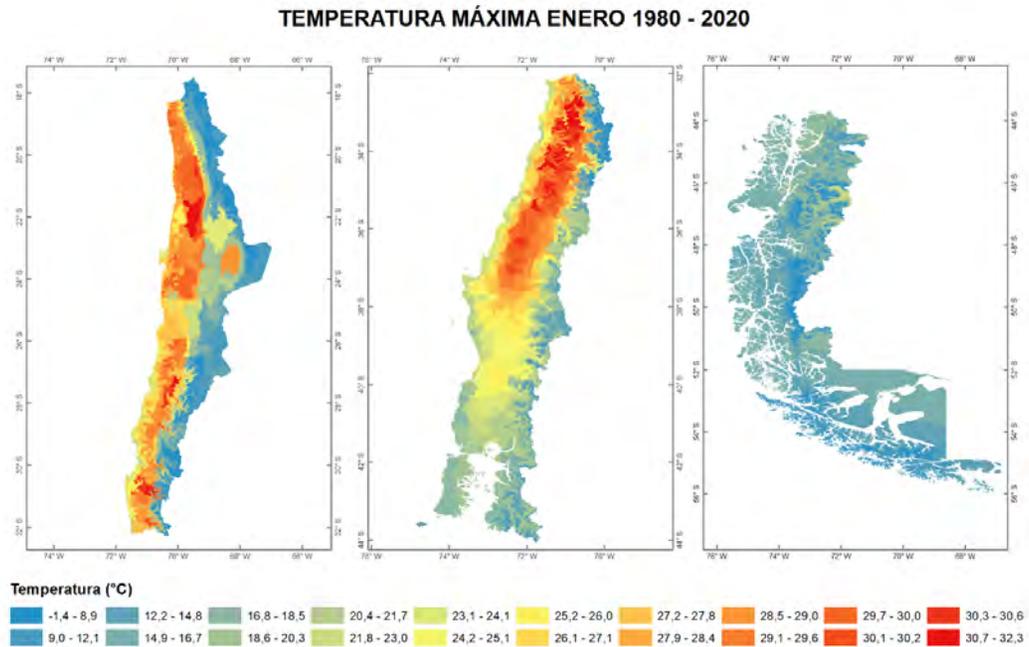


Figura 21. Temperatura máxima para el mes de enero en el periodo 1980-2020 para cada unidad (comuna + distrito agroclimático).

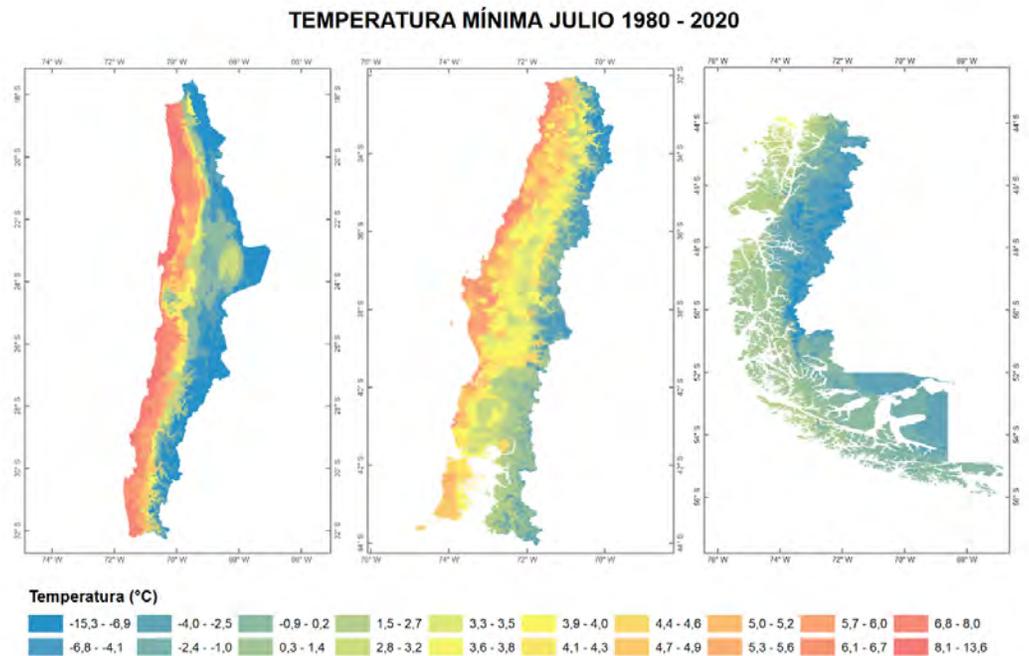


Figura 22. Temperatura mínima para el mes de julio en el periodo 1980-2020 para cada unidad (comuna + distrito agroclimático).

*Precipitación anual:*

La precipitación es una de las condicionantes más fuertes para la agricultura de secano. Por otra parte, la tendencia decreciente en las precipitaciones será uno de los factores más gravitantes en la seguridad de riego a futuro. Contrariamente, la disminución de las lluvias estivales en la zona sur, está siendo un factor favorable para el desarrollo de una fruticultura de clima mediterráneo, lo cual está aumentando las opciones agrícolas en latitudes más altas.

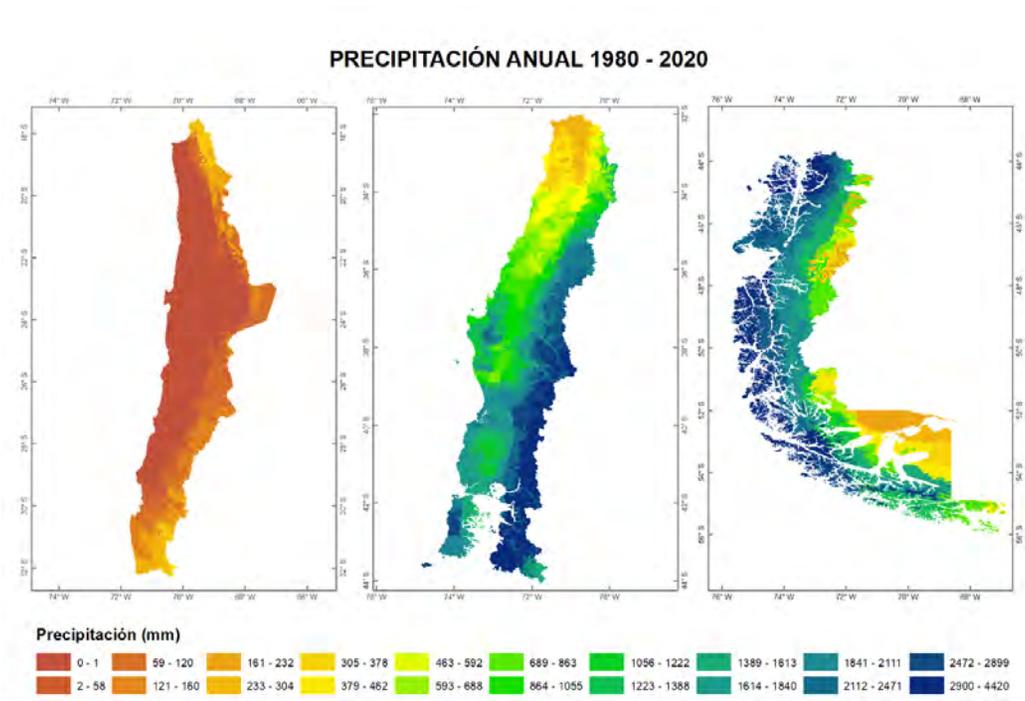


Figura 23. Precipitación anual en el periodo 1980-2020 para cada unidad (comuna + distrito agroclimático).

*Horas de frío:*

Existe una fuerte variación en las horas de frío desde el litoral hacia el interior. Mientras la baja disponibilidad de frío es una adversidad para las especies caducas, es una ventaja para las especies persistentes. Igualmente el menor frío invernal es una ventaja para los cultivos de secano, cuyo rendimiento es claramente más alta en zonas costeras.

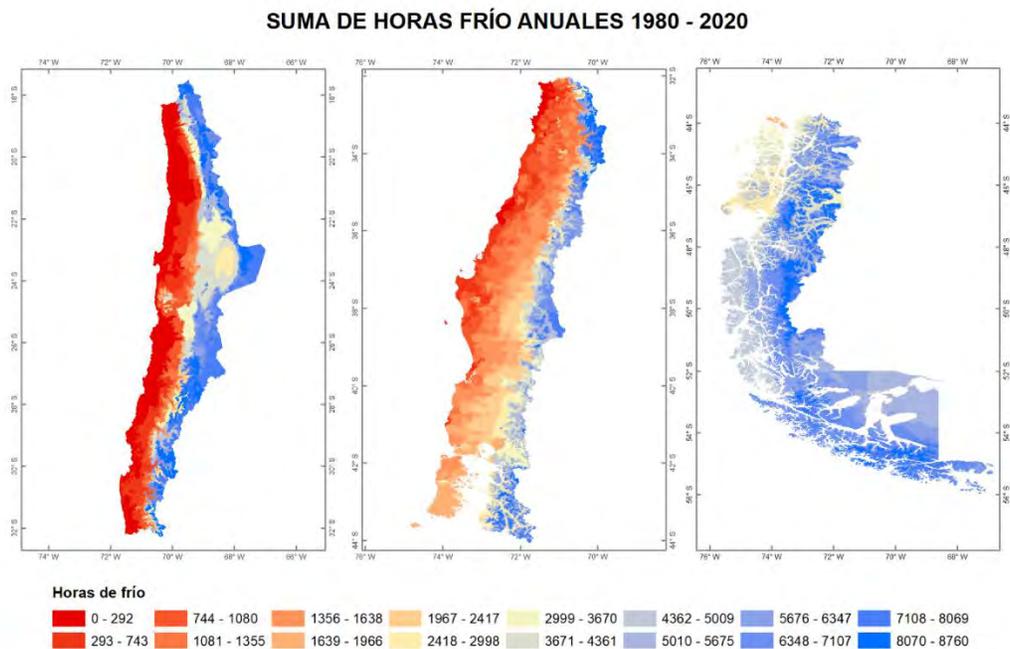


Figura 24. Suma de horas de frío anuales en el periodo 1980-2020 para cada unidad (comuna + distrito agroclimático).

*Días grado:*

Los días grado representa a la disponibilidad de calor para crecer y madurar que encuentran los cultivos. La costa, claramente más fresca limitando a las especies más exigentes en calor, las cuales aumentan su potencial hacia el interior. Por el contrario, las especies menos tolerantes a las altas temperaturas, encuentran condiciones más favorables en las cercanías de la costa.

*Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)*

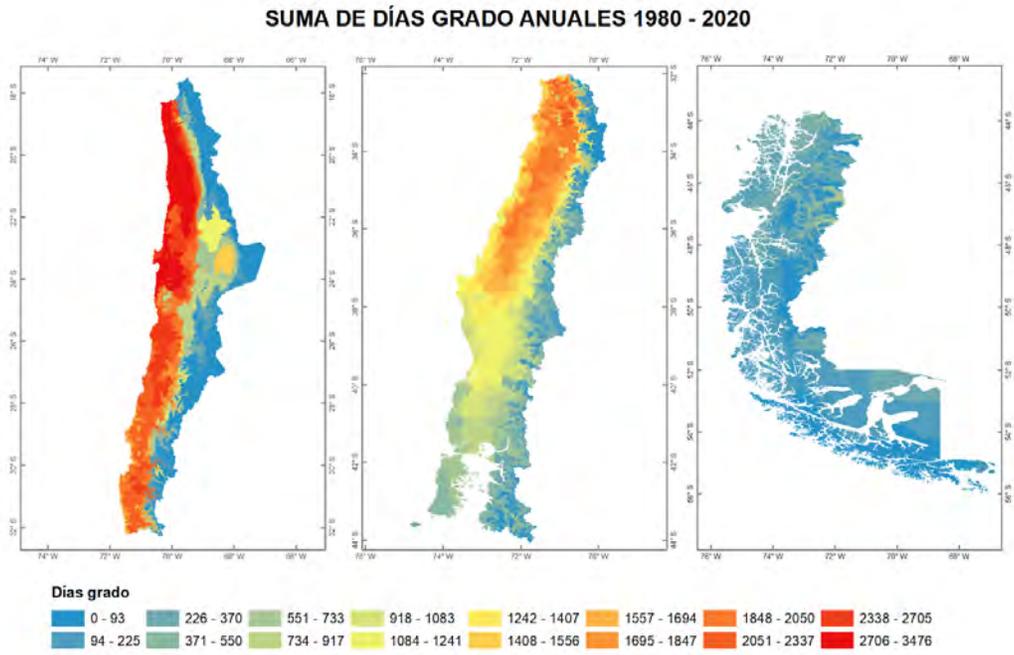


Figura 25. Suma días grado anuales en el periodo 1980-2020 para cada unidad (comuna + distrito agroclimático).

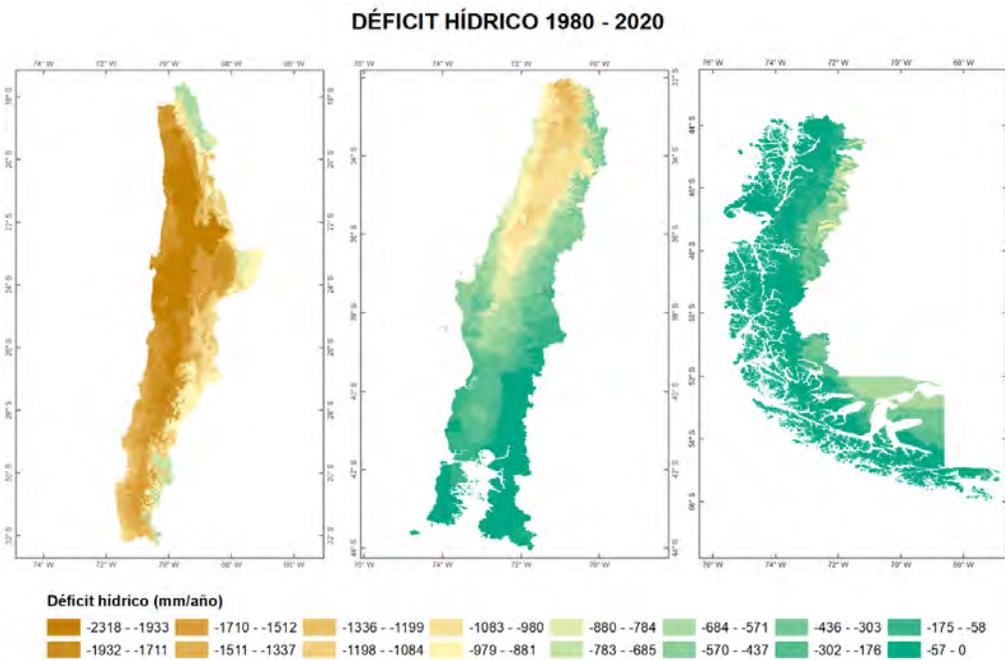


Figura 26. Déficit hídrico en el periodo 1980-2020 para cada unidad (comuna + distrito agroclimático).

## 2.4 Evaluación del potencial productivo de especies cultivadas

La aptitud agroclimática de especies cultivadas se determina mediante el desarrollo de índices de riesgos agroclimáticos que expresan el potencial productivo de estas especies. Los índices proporcionan información sobre el grado de cumplimiento de las exigencias bioclimáticas de las diferentes especies en un sitio. Los índices de riesgo se calculan en base a una serie de variables que afectan al desarrollo y productividad de cada especie durante las distintas fases fenológicas. Un riesgo será más alto en la medida de que más se aparte la conducta de una variable climática del intervalo exigido por una especie.

Cuando se produce un desfase en una variable climática y las exigencias de la especie, los efectos pueden seguir diversos conductos, pero finalmente se propagan hasta la productividad y la calidad de la producción, incidiendo sobre el éxito productivo de la especie en dicha condición climática. Será por lo tanto más riesgoso, colocar una especie donde el número y dimensión de los desfases bioclimáticos sean mayores.

### 2.4.1 Variables Bioclimáticas que se utilizaron para la estimación de potenciales de producción para especies frutales, cultivos, praderas y plantaciones forestales.

Las variables bioclimáticas determinantes del potencial productivo del clima y que serán usadas en esta propuesta de trabajo son:

- Número de heladas en el ciclo anual de cada especie
- Número de heladas en floración
- Temperatura máxima en flor y cuaja
- Temperatura mínima en flor y cuaja
- Precipitación en flor
- Número de días con temperatura máxima sobre 25°C
- Número de días con temperatura máxima sobre 20°C
- Temperatura máxima en madurez
- Temperatura mínima en madurez
- Días cálidos a la madurez
- Precipitación a la cosecha
- Radiación solar a la madurez
- Índice de frío invernal.

### Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

Para cada una de estas variables se define un valor o rango óptimo para cada especie, tal como se muestra en las siguientes tablas.

Las adversidades bioclimáticas pueden operar por déficit o por exceso, de modo que los índices de riesgo se expresan en una escala de -3 a +3 (tabla 1)

Tabla 1. Índice de riesgo bioclimático por fase fenológica y escala de aptitud agroclimática.

Índice riesgo bioclimático por fase fenológica	Aptitud
-3	Fuertemente deficiente
-2	Deficiente
-1	Levemente deficiente
0	Ausencia de riesgo
+1	Levemente excedentario
+2	Moderadamente excedentario
+3	Fuertemente excedentario

A continuación se presenta la aplicación del sistema de índices para dos especies frutales en una localidad X

Tabla 2. Índices de riesgos bioclimáticos por fase fenológica para arándano

VARIABLE	VALOR	UNIDAD	VALOR RECOMENDABLE	Índice riesgo fase fenológica
N° Heladas en el ciclo	0.3	N°	<2	
N° Heladas en floración	0	N°	<1	
T max en flor y cuaja	20.6	°C	15-20	
T min en flor y cuaja	8.7	°C	8-14	
Precipitación en flor	28.1	mm	<50	
N° días con Tmax > 25°C	97.6	N°	50-90	1
N° días con Tmax > 20°C	158.5	N°	>90	
T max pinta-madurez	27.8	°C	20-25	1
T min pinta-madurez	12.3	°C	8-12.5	1
Días cálidos a madurez	46	°C		
Precipitación cosecha	7	mm	<30	
Rad. solar madurez	621.7	cal/cm <sup>2</sup> d	>400	
Índice de frio invernal*	0.7	-	>0.95	-2

Tabla 3. Índices de riesgos bioclimáticos por fase fenológica para cerezo

VARIABLE	VALOR	UNIDAD	VALOR RECOMENDABLE	Índice riesgo fase fenológica
N° Heladas en el ciclo	0.8	N°	<1.0	
N° Heladas en floración	3.6	N°	<0.5	3
T max en flor y cuaja	16.3	°C	15-22	
T min en flor y cuaja	5.5	°C	7-14	-1
Precipitación en flor	87.1	mm	<30	3
N° días con Tmax > 25°C	74.2	N°	40-100	
N° días con Tmax > 20°C	136.5	N°	>80	
T max pinta-madurez	24.2	°C	22-26	
T min pinta-madurez	8.5	°C	8-14	
Precipitación cosecha	86.7	mm	<15	3
Rad. Solar madurez	519.8	cal/cm2 d	450-550	
Índice de frio invernal*	1	-	>0.95	

El índice de aptitud agroclimática (IAA), corresponde a 1 menos la suma de los valores absolutos de todos los riesgos calculados por fase fenológica (ecuación 1) y la normalización de este. Mientras menor sea su valor, más riesgosa se hace la producción de una especie. Por lo general, en base a la experiencia, una especie puede alcanzar producciones competitivas, con un índice integrado sobre 0.5. Las zonas más óptimas se sitúan por encima de 0.7; un sector con índice 1, representa el óptimo bioclimático para la especie, por cuanto representa ausencia de riesgos.

$$\text{Índice aptitud agroclimática} = 1 - \sum_{1}^{12} \text{Abs}(\text{Índices riesgos bioclimáticos por fase})$$

#### 2.4.2 Variables Bioclimáticas que se utilizarán para la estimación de potenciales de producción para cultivos anuales

Las variables bioclimáticas consideradas para la estimación del índice de riesgo, se muestran separadas por cultivos. Al igual que en frutales, para cada variable se define un valor o rango óptimo en las diferentes fases fenológicas, tal como se muestra en las tablas siguientes. El índice integrado en este caso corresponde al promedio de los índices parciales.

*Trigo:*

Las variables bioclimáticas consideradas para la estimación del índice en trigo fueron las siguientes:

Número de heladas en el ciclo, temperatura máxima en flor, temperatura mínima en flor, número de días templados ( $T > 20^{\circ}\text{C}$ ), temperatura máxima a la maduración, temperatura mínima a la maduración, precipitación a la cosecha, radiación solar a la maduración.

Tabla 4. Índices de riesgos bioclimáticos por fase fenológica para trigo

VARIABLE	VALOR	UNIDAD	VALOR RECOMENDABLE	Índice riesgo fase fenológica
N° Heladas en el ciclo	0.1	N°	<10	
T max en flor y cuaja	21.3	°C	12-23	
T min en flor y cuaja	7.5	°C	5-18	-1
N° días con Tmax > 20°C	162	N°	>80	
T max madurez	25.3	°C	18-28	
T min madurez	7.8	°C	8-14	-1
Precipitación cosecha	13.2	mm	<200	
Rad. solar madurez	594.2	cal/cm <sup>2</sup> d	>500	

Para resumir todas las limitaciones del clima en un solo índice para una determinada especie, que llamaremos IAA, se usará un modelo aditivo como el siguiente:

$$\text{Índice aptitud agroclimática} = 1 - \sum_{1}^{10} \text{Abs}(\text{Índices riesgos bioclimáticos por fase})$$

Debido a que los riesgos agroclimáticos afectan de forma diferentes a cada especie, se utilizaron ponderadores para cada índice de riesgo, los cuales pueden ser modificados en la herramienta que se adjunta en esta entrega.

## 2.5 Cálculo del índice de potencialidad agroclimática (IPAC)

Las posibilidades productivas de cada especie “e” en cada “sector climático” en cada comuna, queda representada por un índice de aptitud agroclimática por especie (IACe). De este modo, el índice de potencial agroclimático del sector “s” (IPACs) corresponderá a la suma ponderada de los IACe para todas las especies. Mientras más alto sea el IPAC, mayores serán las opciones productivas del sector y mejores las condiciones de producción que encuentran las especies cultivadas. Para esto, se usarán como indicadores, las mayores

### Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

especies ftales y de cultivos anuales. Se usaran las 8 especies frtales mencionadas anteriormente (arándanos, avellanos, cerezos, cítricos, duraznos, nogales, paltos y uva de mesa)). Adicionalmente se evaluarán 5 especies anuales (trigo, papa, maíz, tomate, porotos).

$$IPACs = \sum_1^N IACe$$

Por este procedimiento, cada sector queda caracterizado por una serie de IACe y un valor IPACs que caracteriza de manera integradora las capacidades productivas que ofrece el clima del lugar. Se podrán usar ponderadores que permitan dar más peso a ciertas especies que a otras, en función de condiciones comerciales y rentabilidad, las cuales son variables en el tiempo.

Las especies analizadas en este estudio fueron: arándano, avellano, cerezo, cítricos, duraznos, nogal, palto, uva de mesa, manzano, , maíz, papa, poroto, tomate, trigo, praderas, eucalipto y pino. En la última etapa se agregaron uva vinífera cepa blanca, uva vinífera cepa tinta, dada la importancia que reviste en la producción nacional. Además, se incorporó especie de pradera más resistente a las bajas temperaturas en la zona austral del país

En la tabla 5 se muestran especies que pueden ser análogas o próximas en sus requerimientos bioclimáticos a las mencionadas anteriormente

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

Tabla 5. Potencial productivo para especies análogas o próximas en sus requerimientos bioclimáticos

Arándano	Frambuesa
Avellano	
Cerezo	
Manzano	Peral
Cítricos	Naranja, limón, Lima, Mandarina
Durazno	Ciruela, Nectarino, Almendro, olivo
Nogales	
Palto	
Uva de mesa	Kiwi
Maíz	Pimentón, Girasol, esparrago, Sorgo, zapallo, melón, sandía
Papa	Cebolla, ajo, remolacha, repollo, raps
Poroto	Garbanzo, Lenteja
Tomate	Arroz
Trigo	Cebada, Centeno, Avena
Eucalipto	
Pino	

A continuación, se presentan los mapas que muestran los resultados obtenidos para los índices de aptitud agroclimática tanto para los frutales como para los cultivos anuales. En el caso de los frutales, se muestran los resultados desde la región de Atacama hasta la región de Los Lagos, con el propósito de distinguir la mayor variabilidad espacial que presentan. Sin embargo, en los shape adjuntos se incluyen los resultados para todo el territorio nacional. Por otro lado, los índices de aptitud agroclimática para los cultivos anuales se presentan en las figuras 27 a 45.

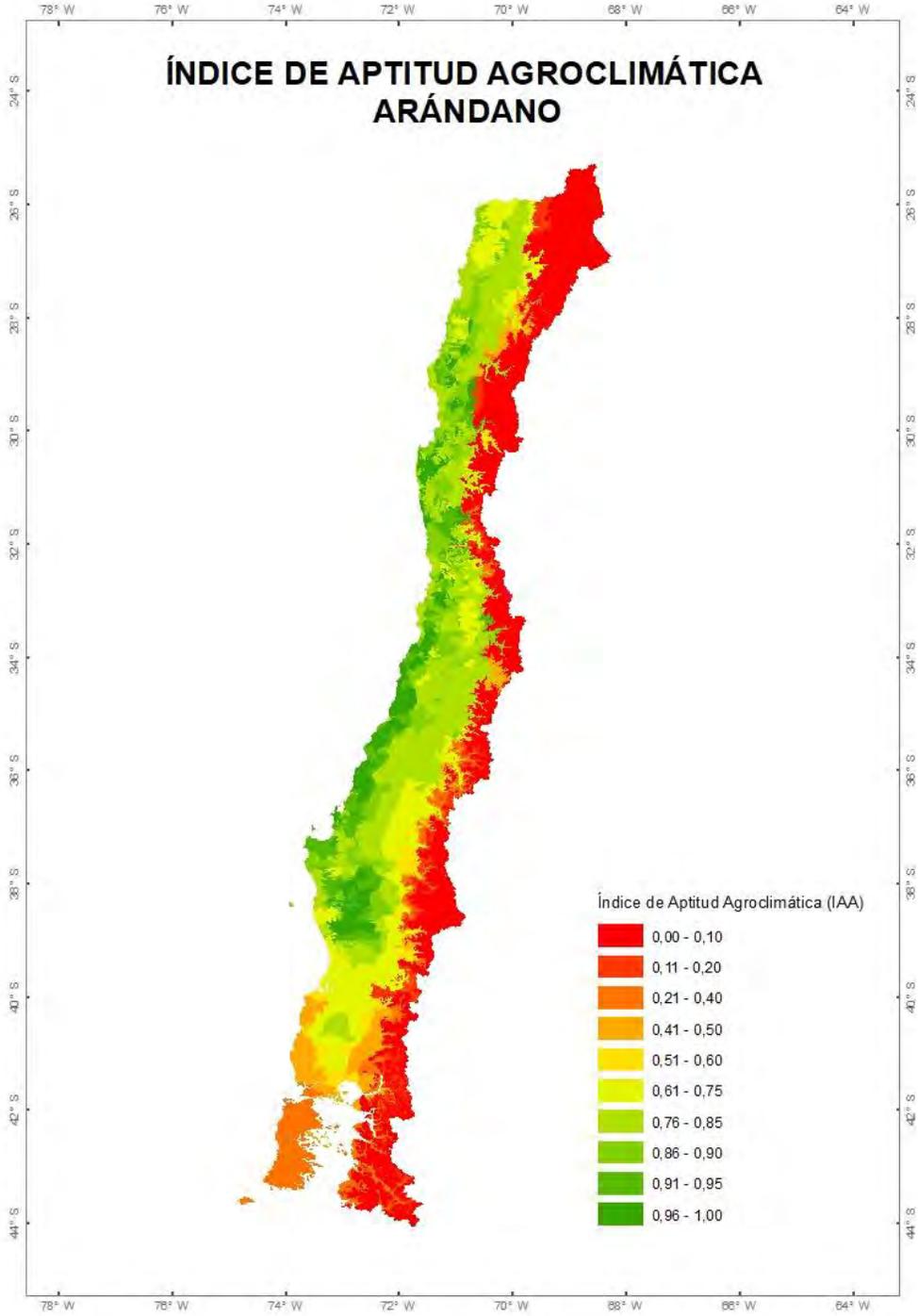


Figura 27. Índice de aptitud agroclimática para el arándano entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

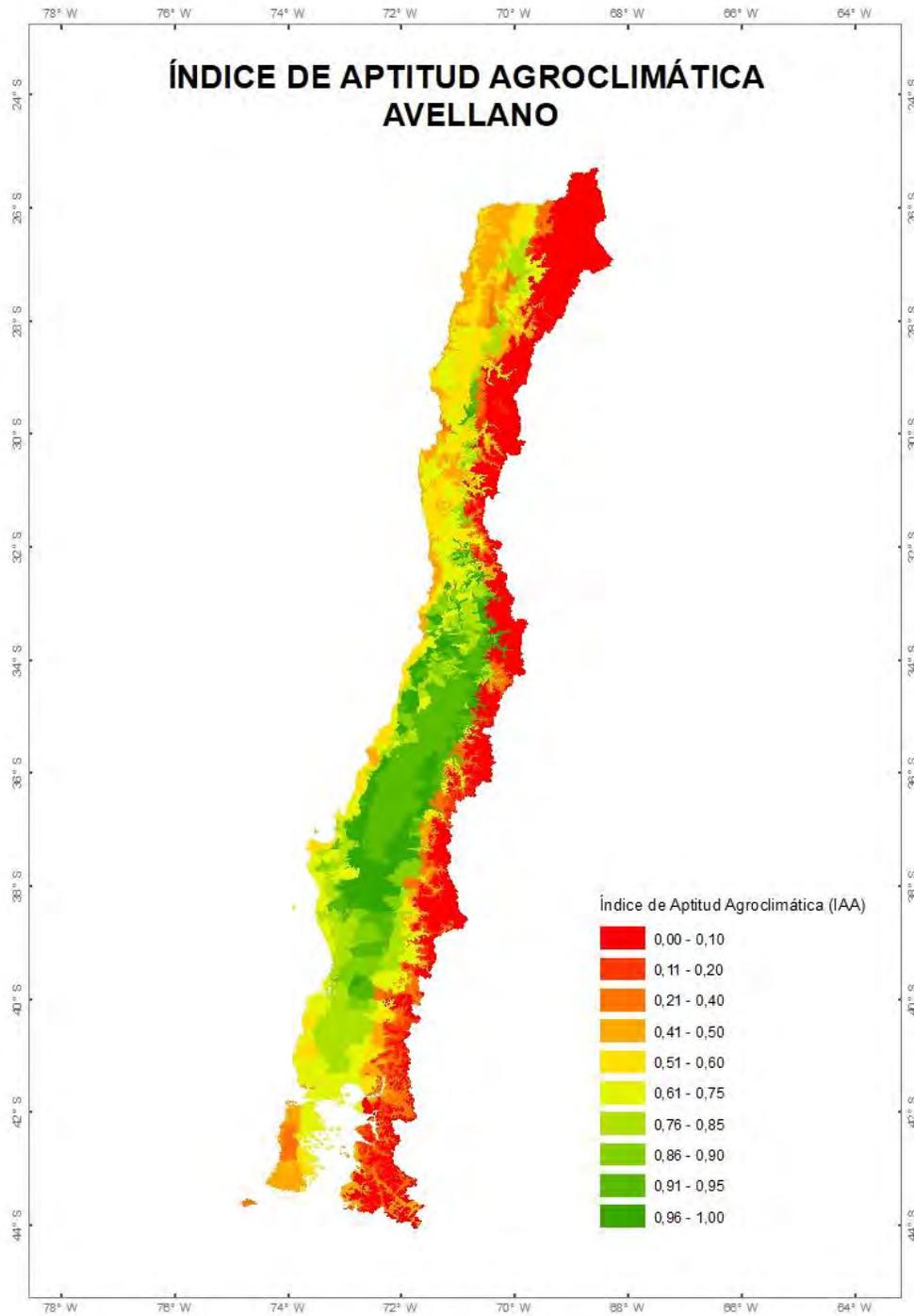


Figura 28. Índice de aptitud agroclimática para el avellano entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

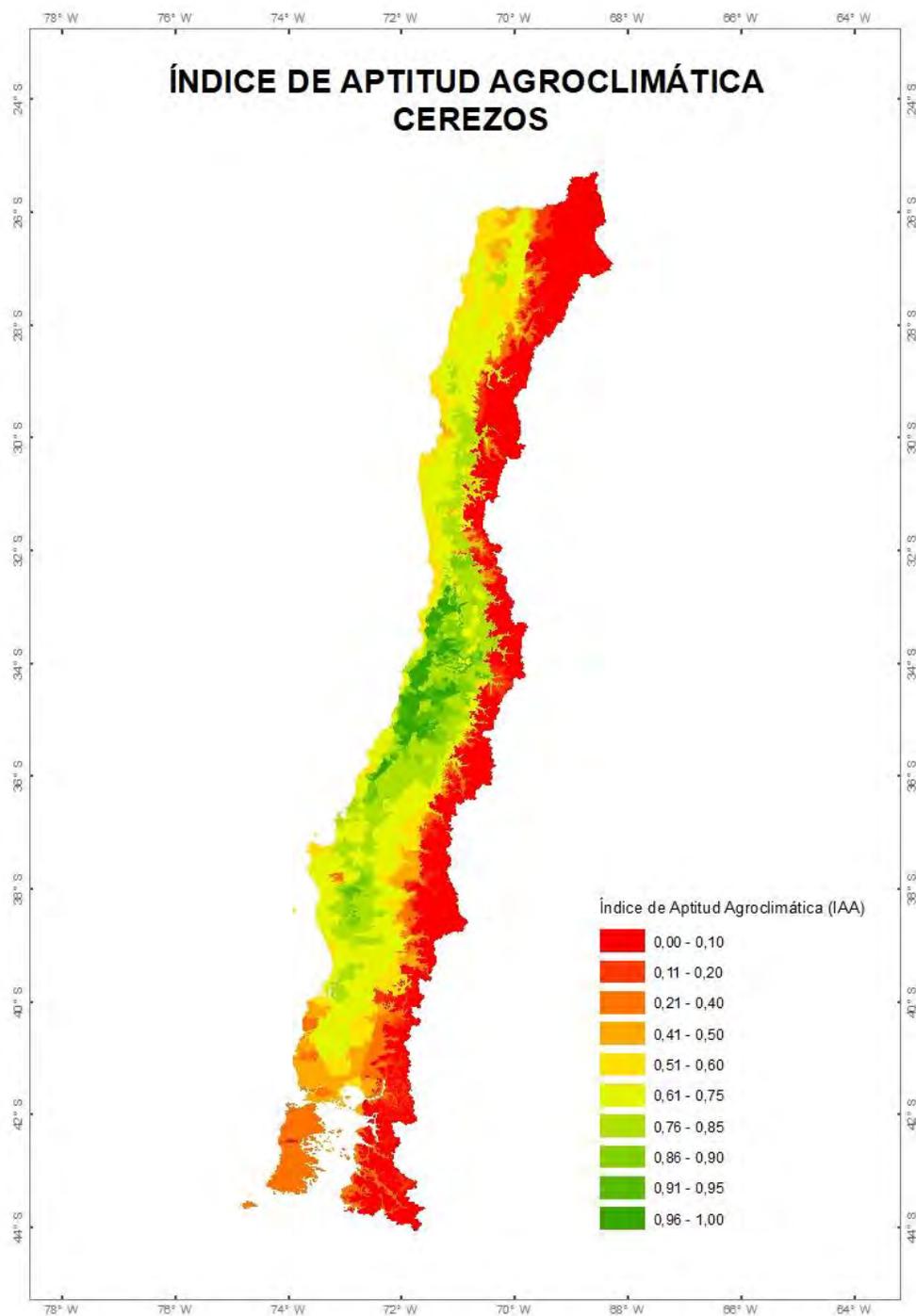


Figura 29. Índice de aptitud agroclimática para el cerezo entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

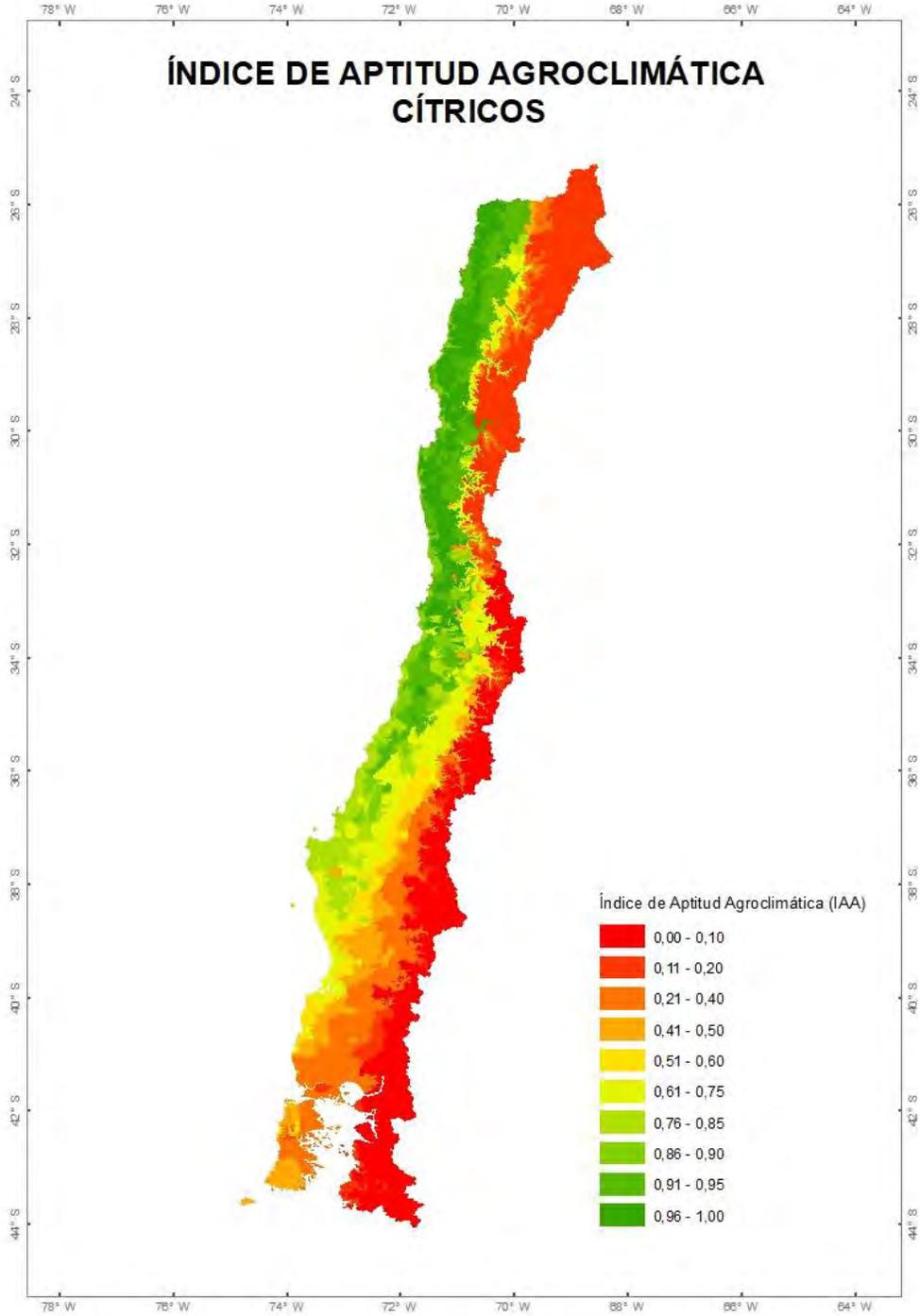


Figura 30. Índice de aptitud agroclimática para los cítricos entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

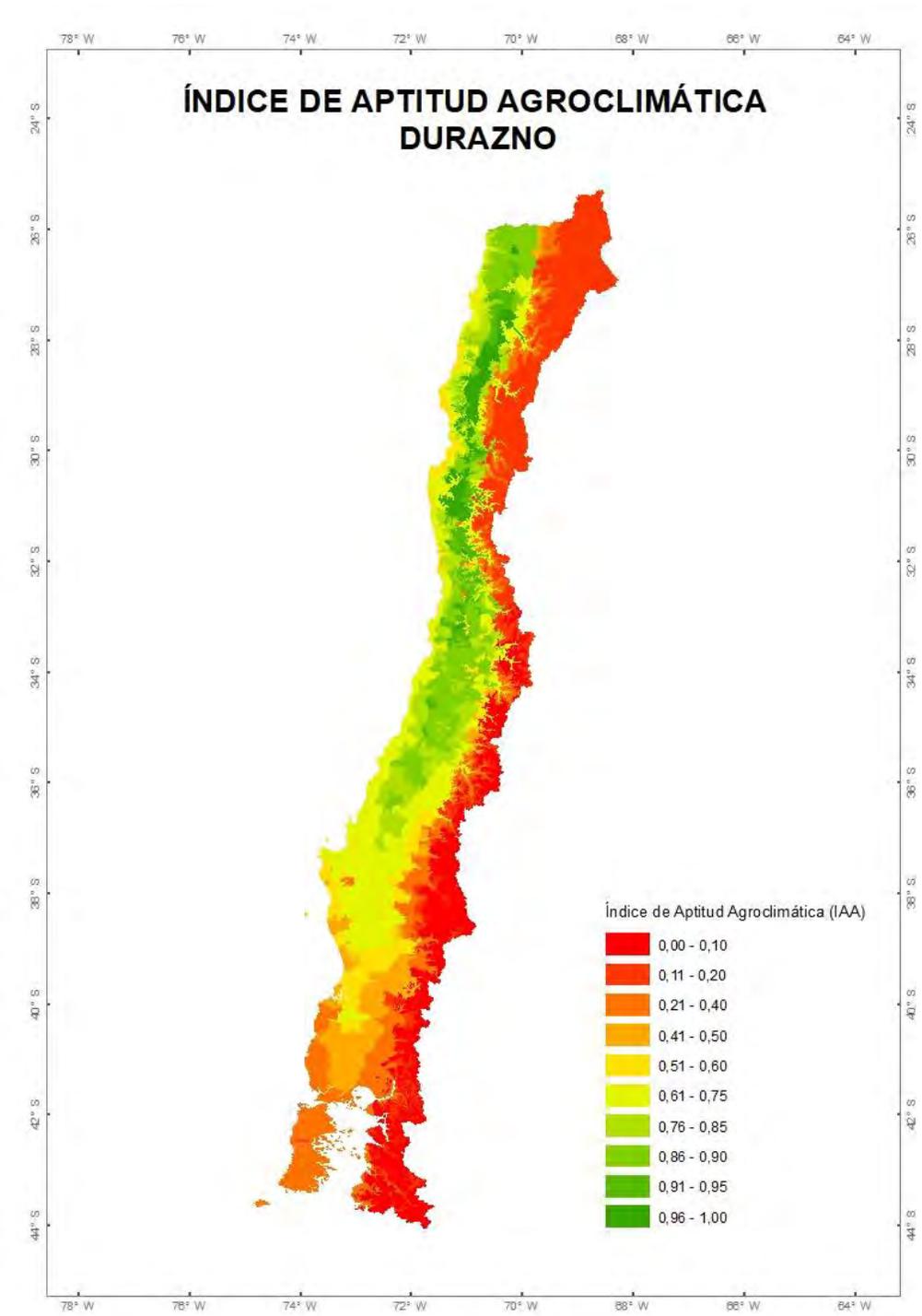


Figura 31. Índice de aptitud agroclimática para el durazno entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

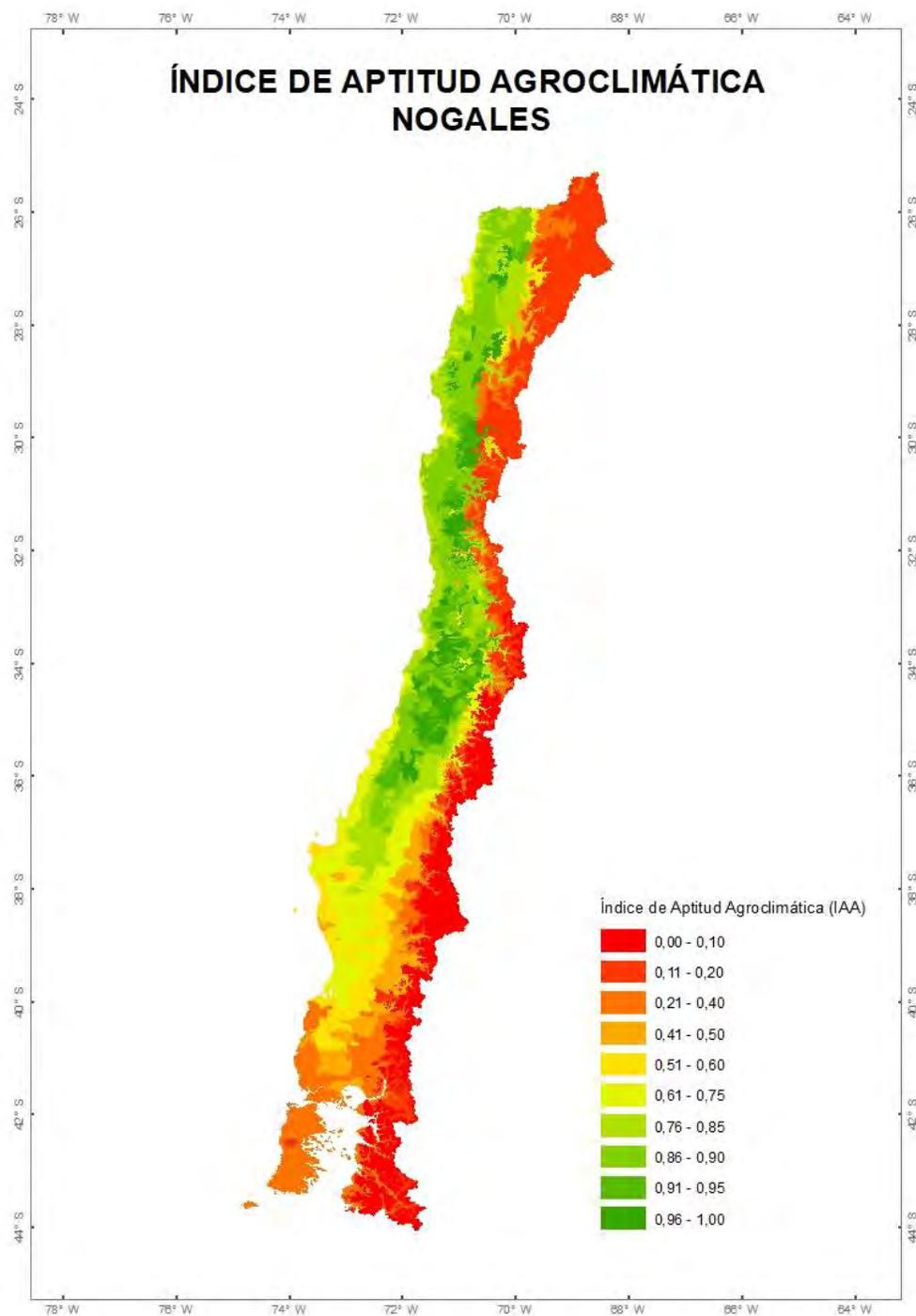


Figura 32. Índice de aptitud agroclimática para el nogal entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

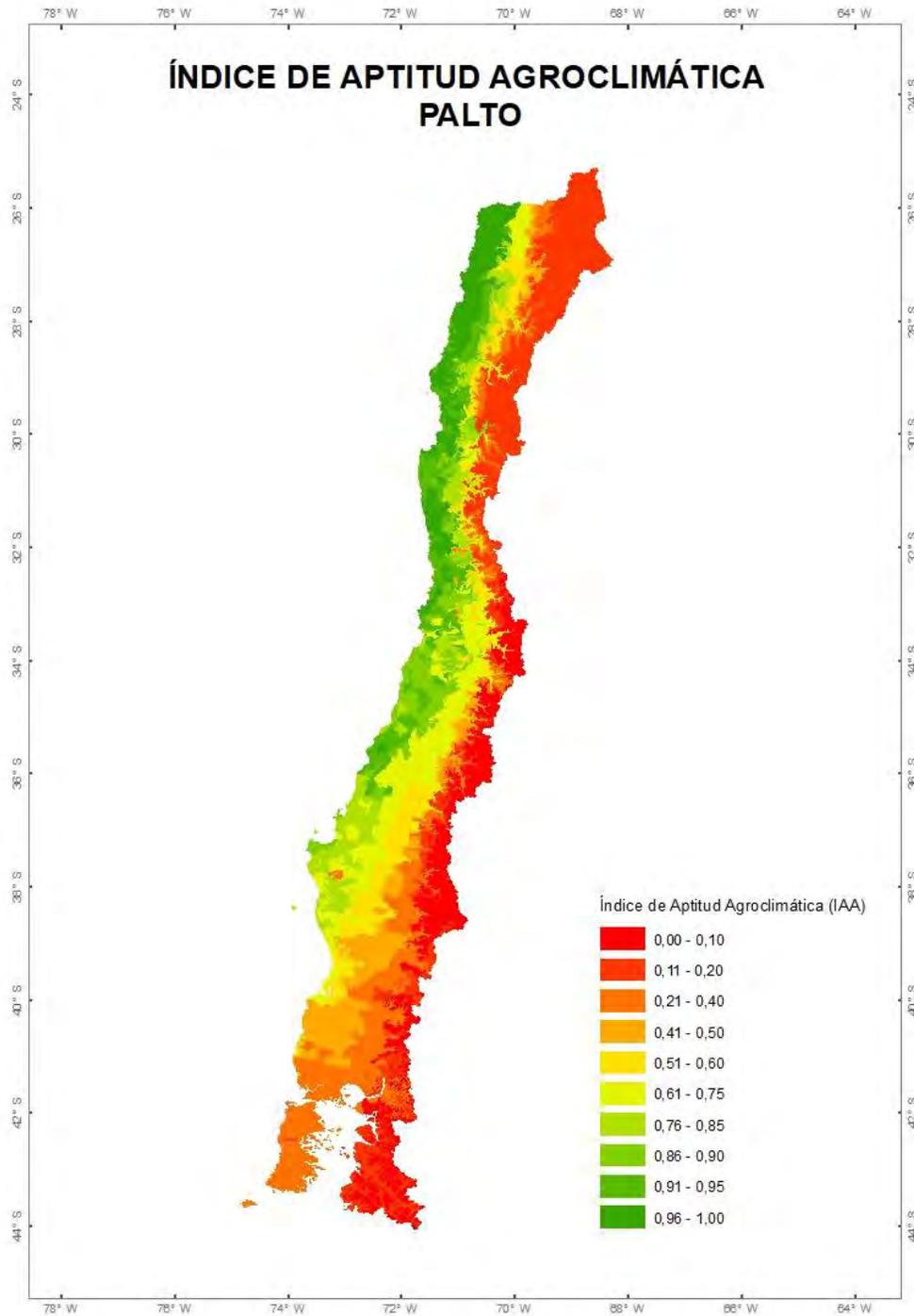


Figura 33. Índice de aptitud agroclimática para el palto entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

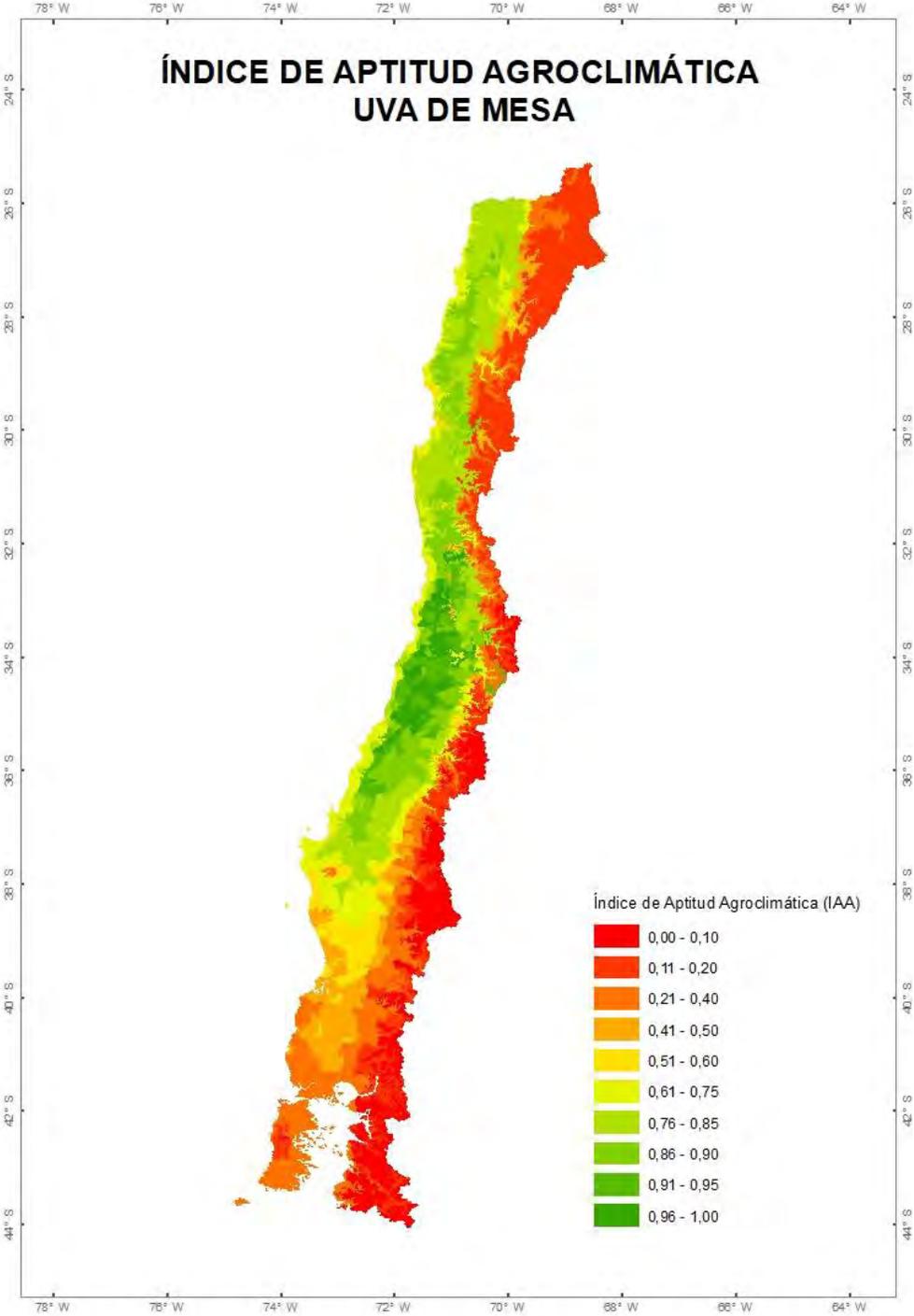


Figura 34. Índice de aptitud agroclimática para la uva de mesa entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

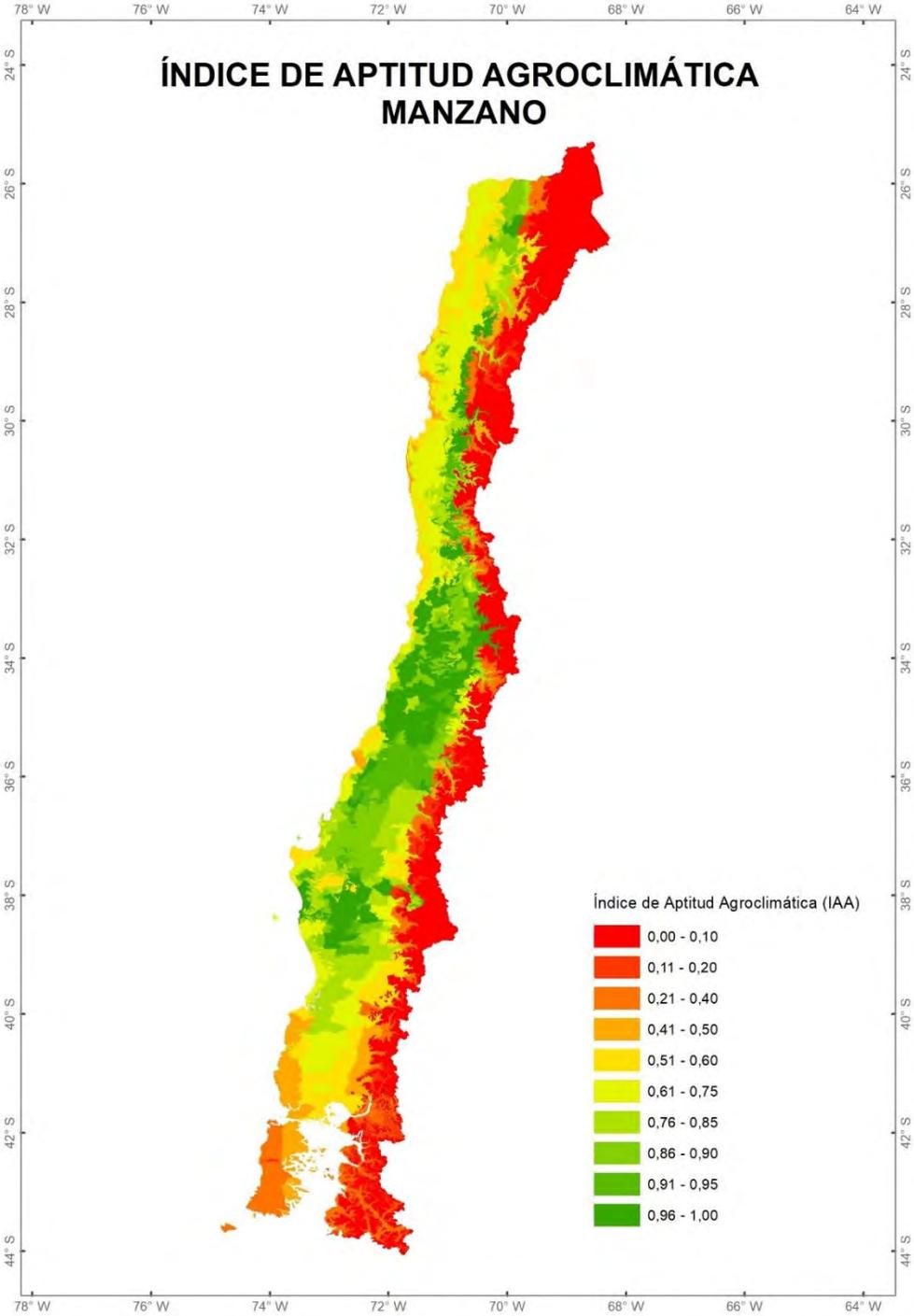


Figura 35. Índice de aptitud agroclimática para el manzano entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

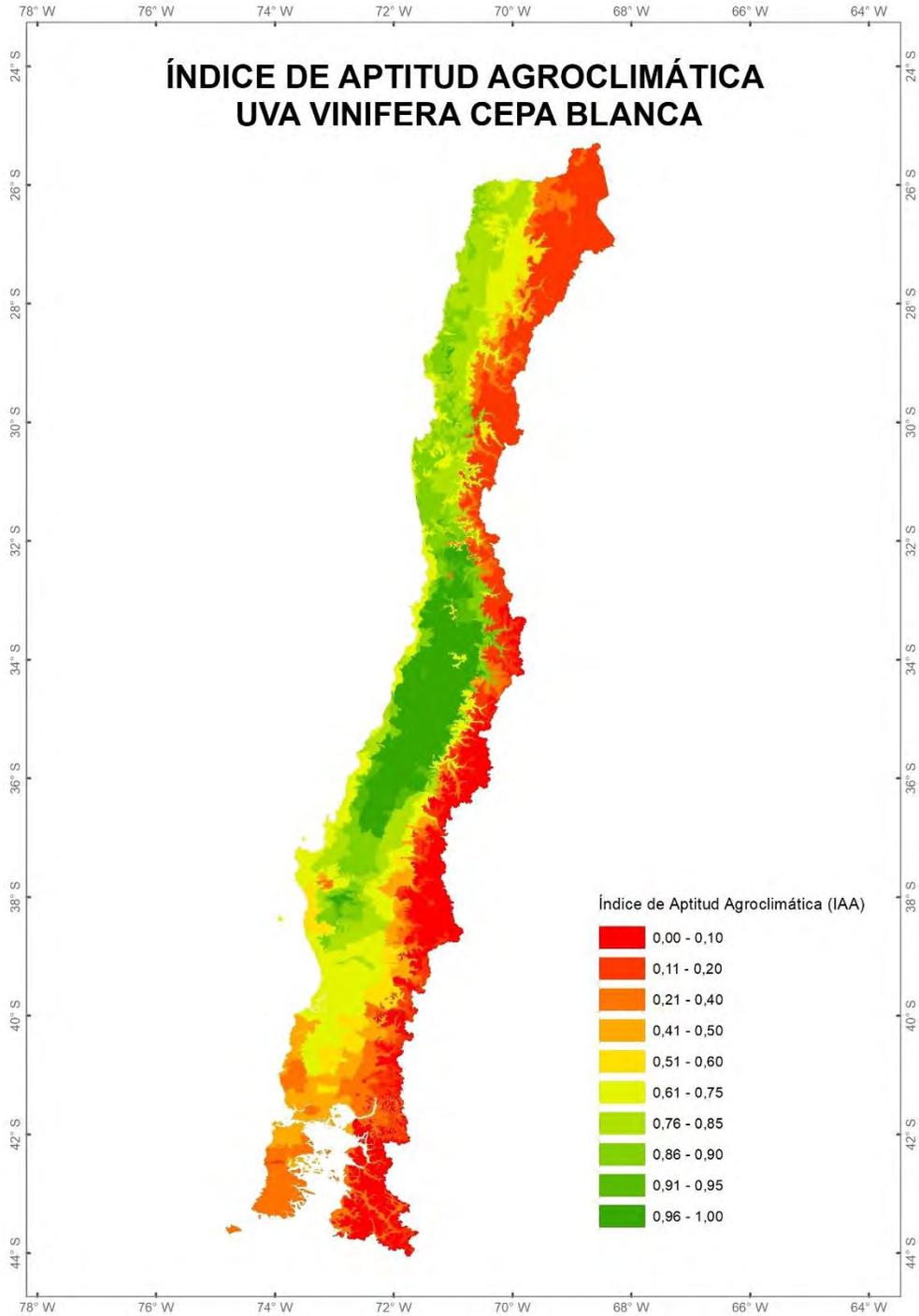


Figura 36. Índice de aptitud agroclimática para la uva vinifera de cepa blanca entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

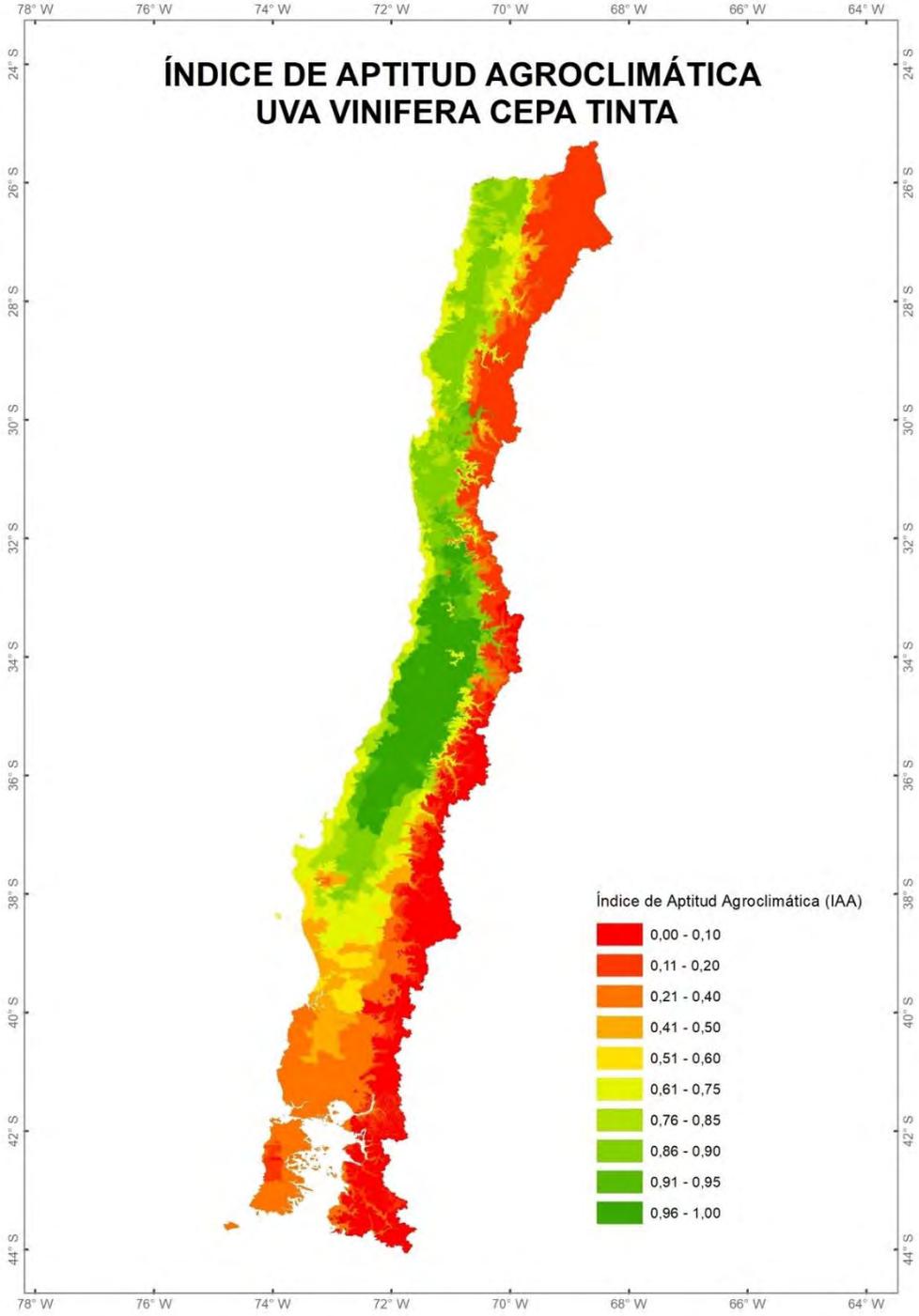


Figura 37. Índice de aptitud agroclimática para la uva vinifera de cepa tinta entre la región de Atacama y la región de Los Ríos.

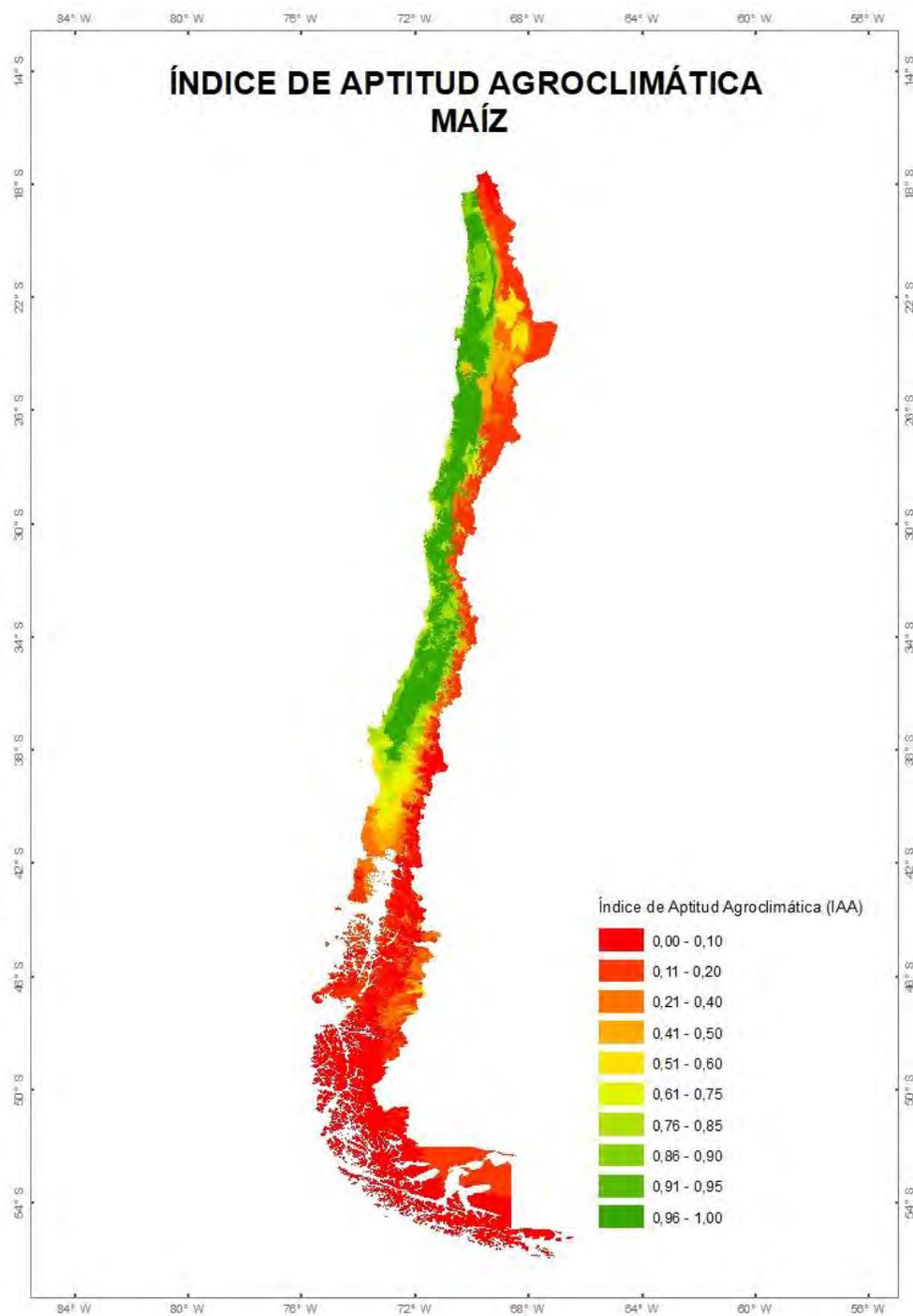


Figura 38. Índice de aptitud agroclimática para el maíz.

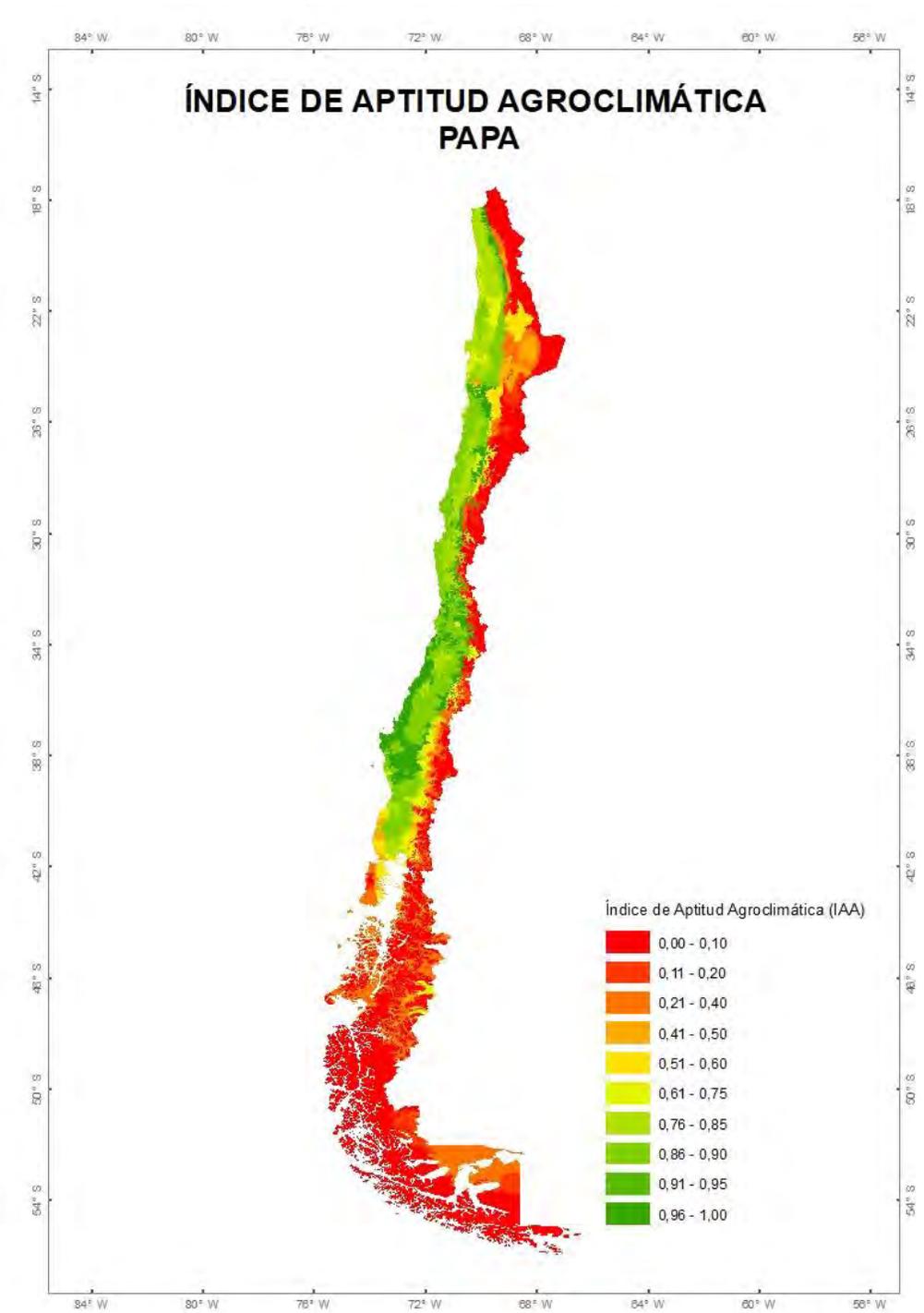


Figura 39. Índice de aptitud agroclimática para la papa.

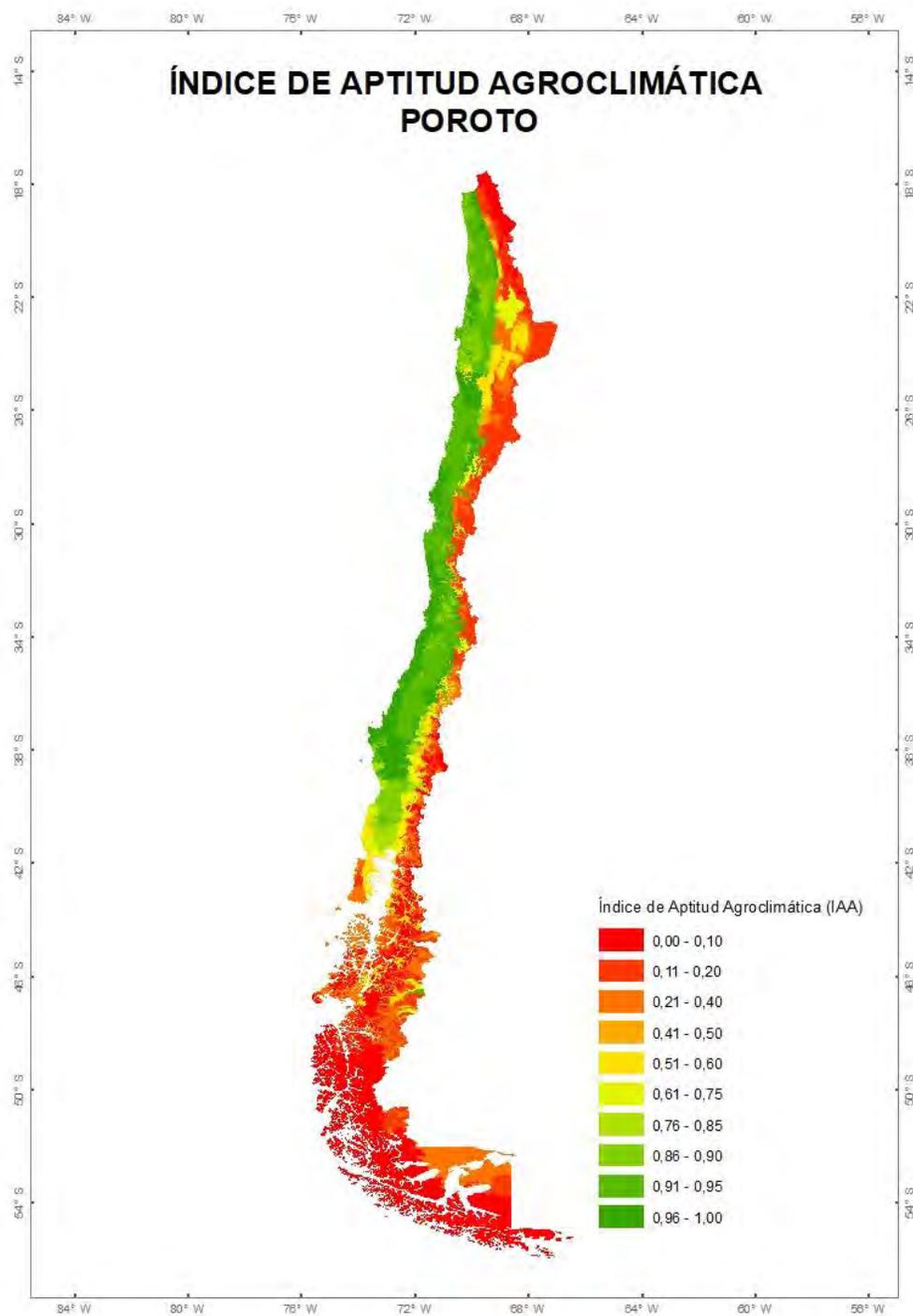


Figura 40. Índice de aptitud agroclimática para el poroto.

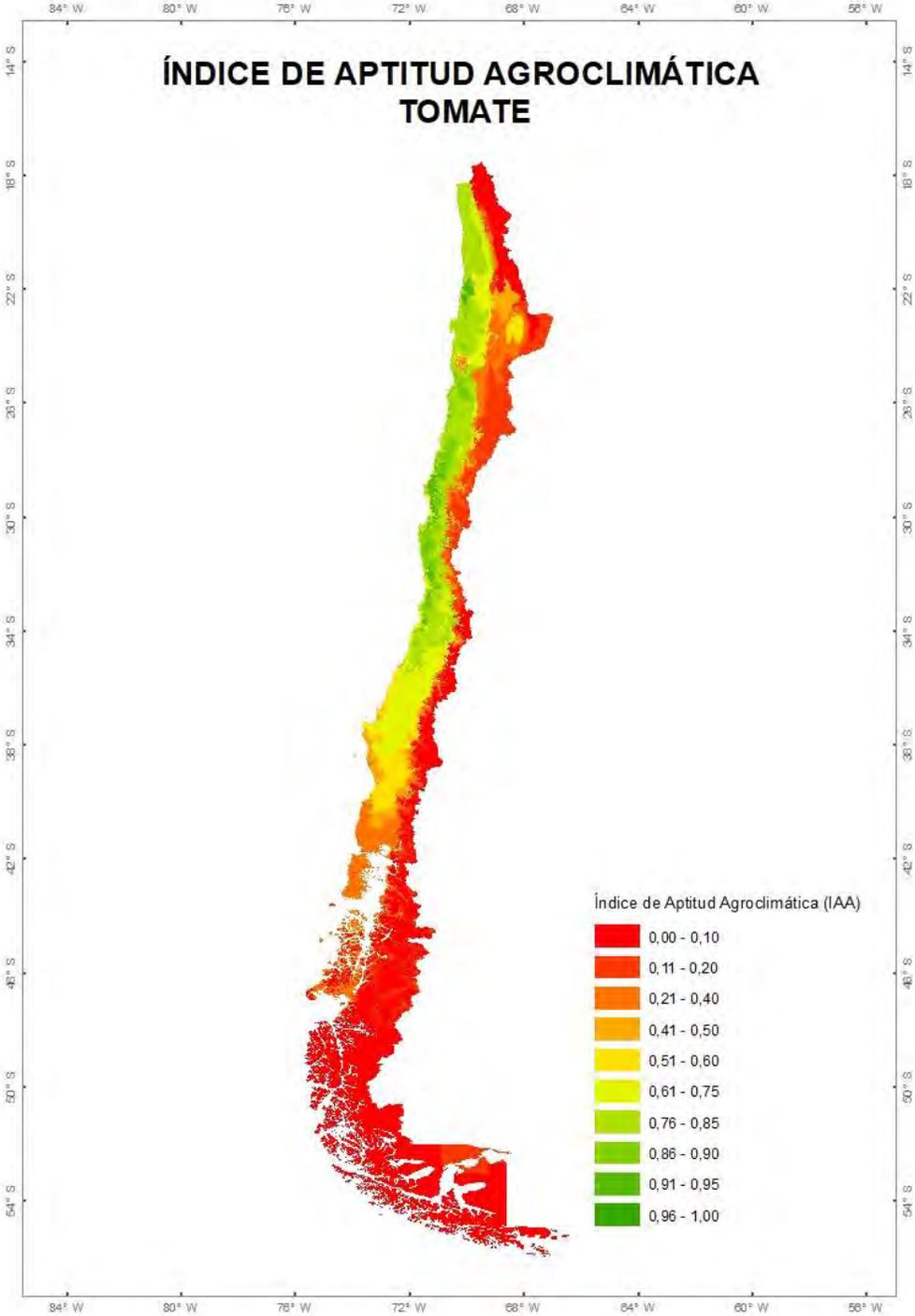


Figura 41. Índice de aptitud agroclimática para el tomate.

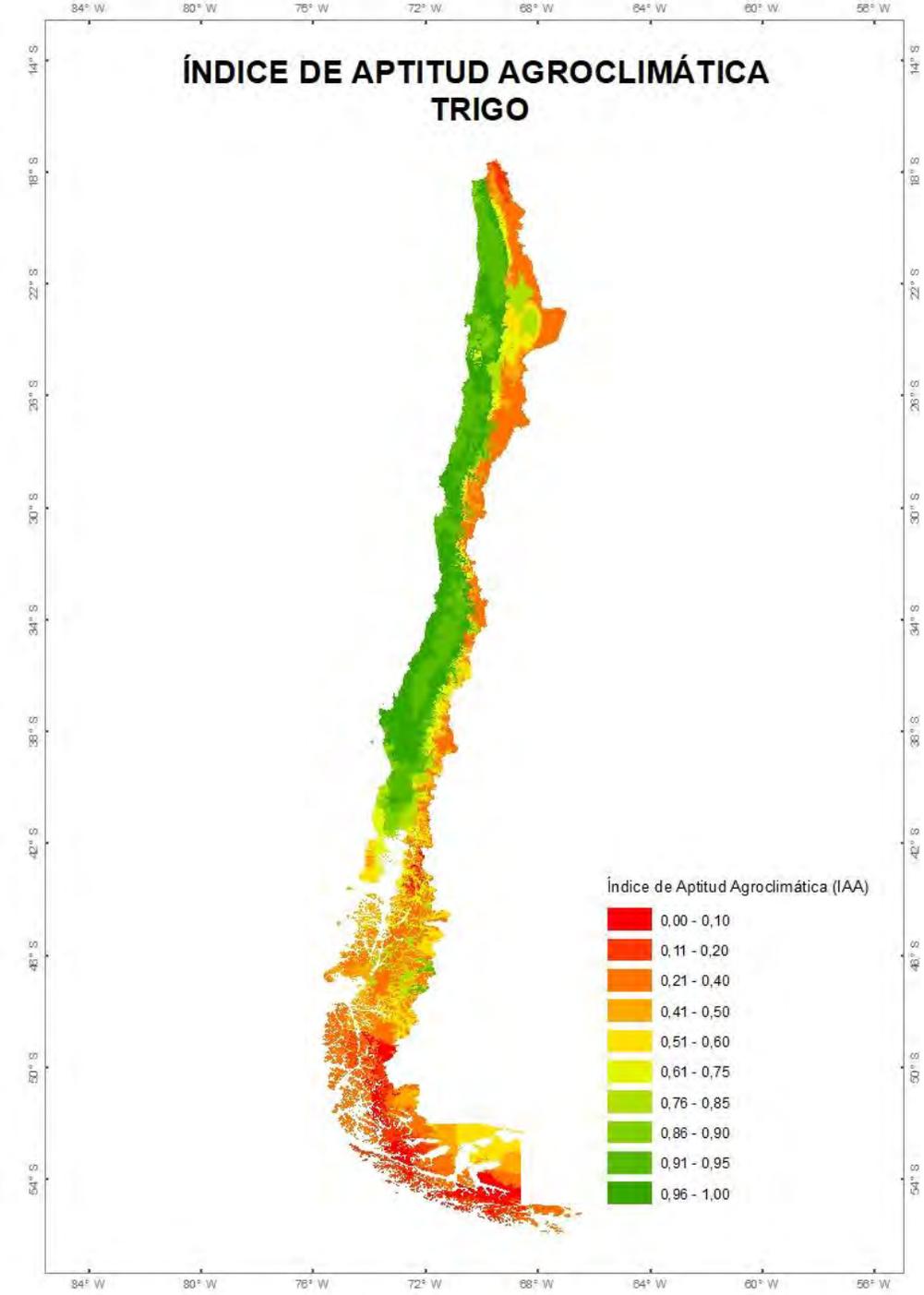


Figura 42. Índice de aptitud agroclimática para el trigo.

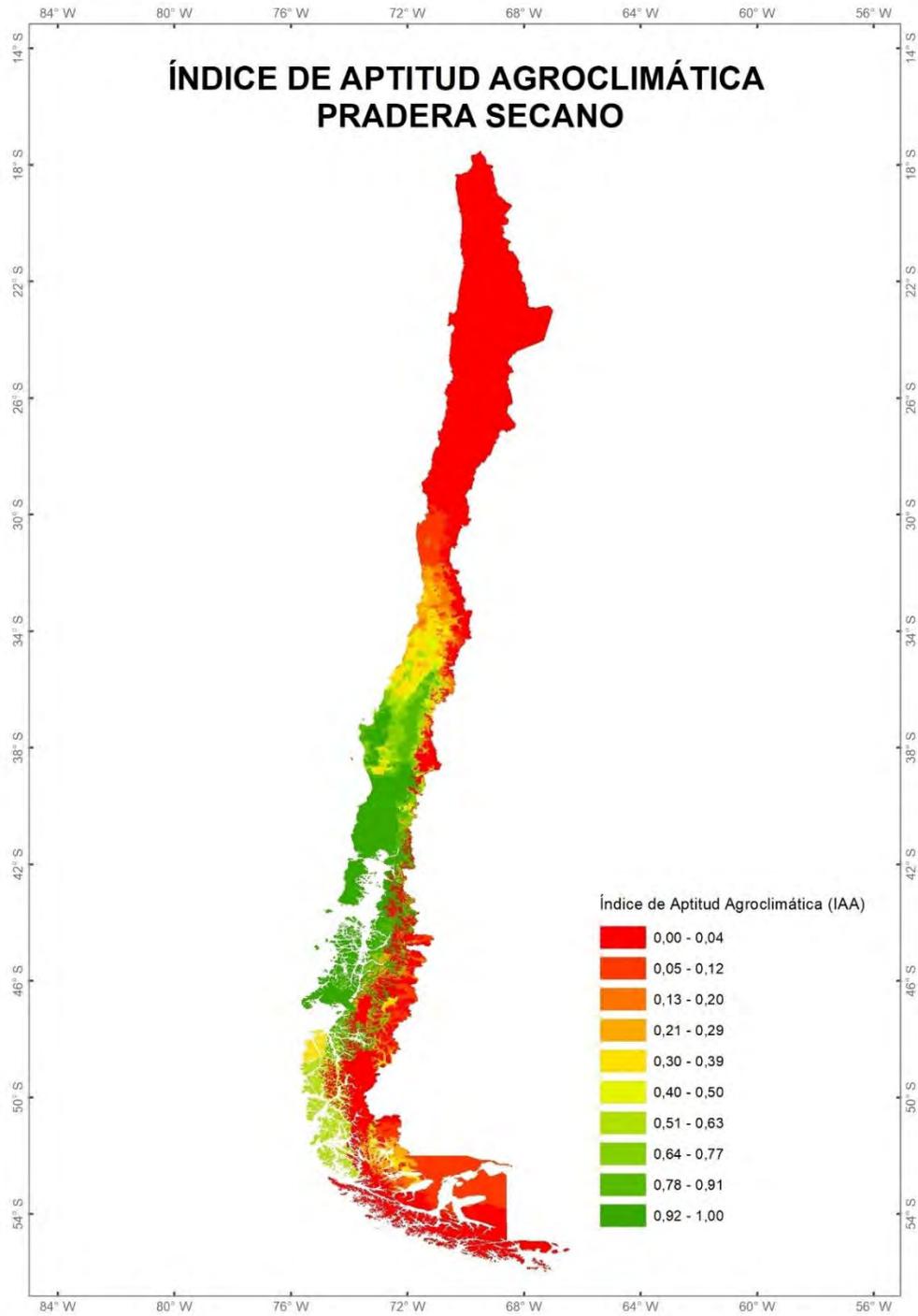


Figura 43. Índice de aptitud agroclimática para las praderas en todo Chile.

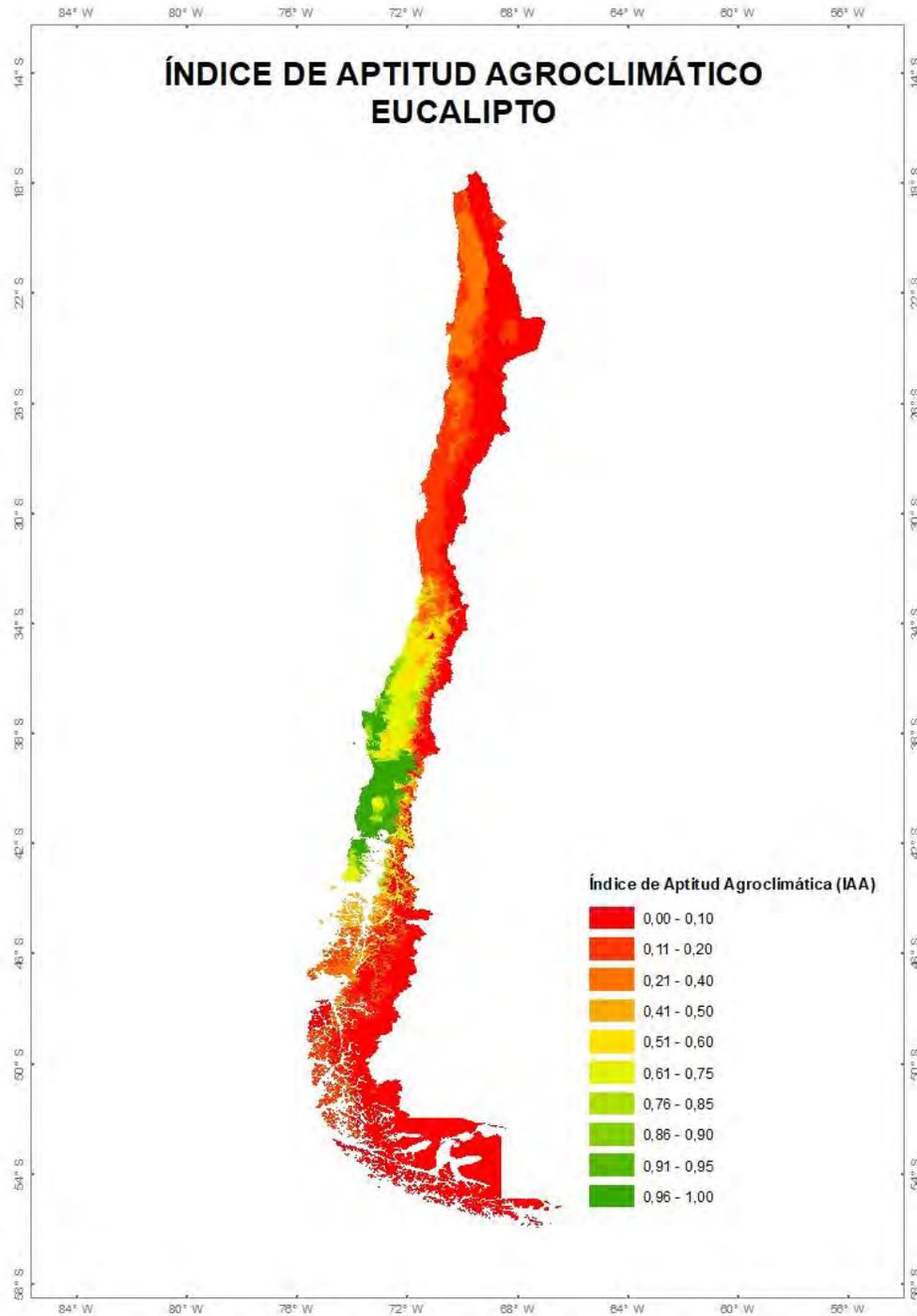


Figura 44. Índice de aptitud agroclimática para eucalipto en todo Chile.

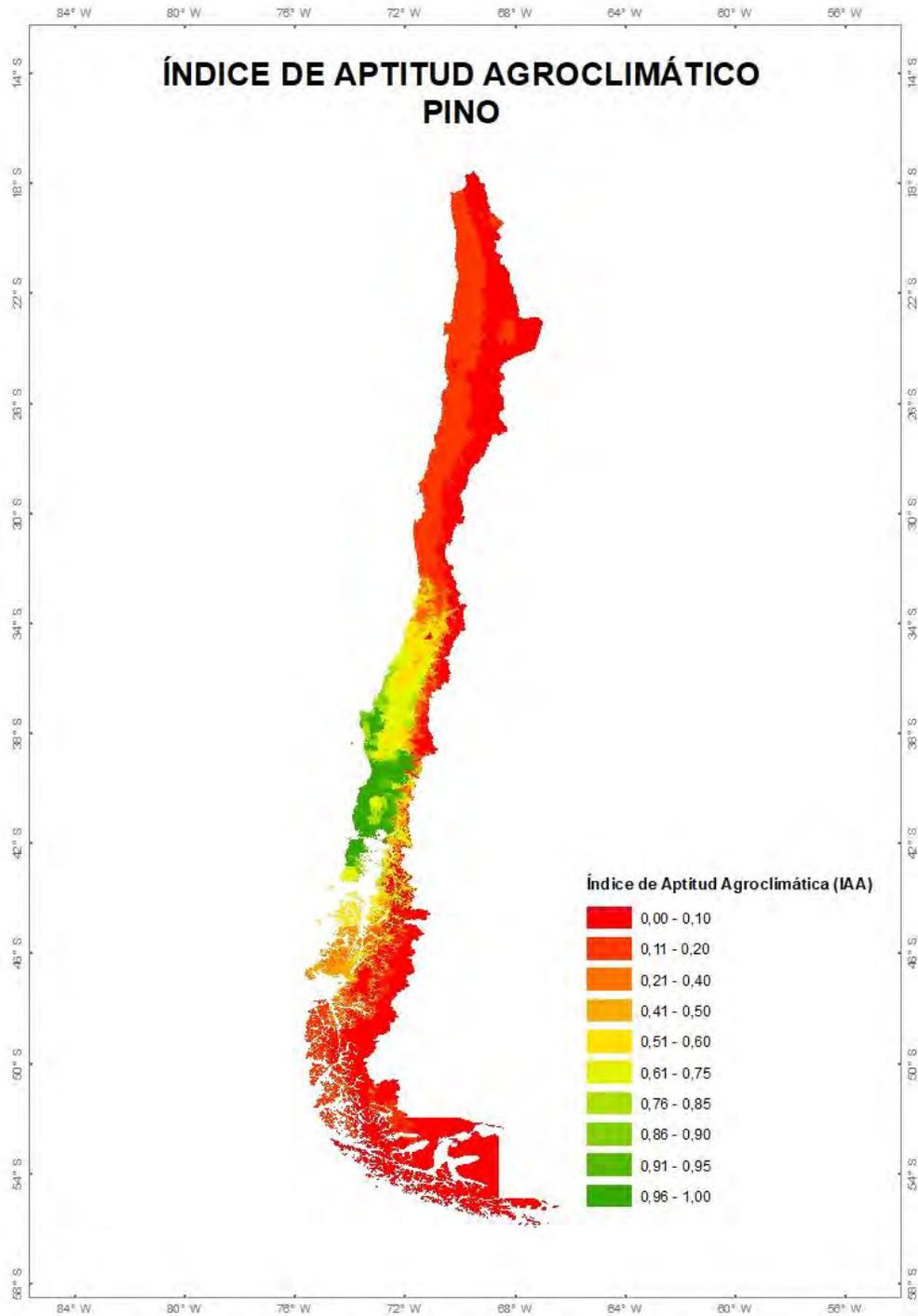


Figura 45. Índice de aptitud agroclimática para pino en todo Chile.

### 2.5.1 Índices de potencial productivo para especies en riego y en seco

Luego de obtenidos los índices de aptitud agroclimática para cada especie (e), se calculó el índice de potencial agroclimático del sector o unidad (IPAC) corresponde al promedio de los IAA para todas las especies bajo condiciones de riego y seco. Lo anterior como un indicador de la aptitud de productiva de ese territorio. Mientras más alto sea el IPAC, mayores serán las opciones productivas del sector (s) y mejores las condiciones de producción que encuentran las especies.

$$IPACs = \frac{\sum IAAe}{\text{Número de especies}}$$

Por este procedimiento, cada sector comunal será caracterizado por una serie de IAA y un valor IPACs que caracteriza de manera integradora las capacidades productivas que ofrece el clima del lugar. Se podrán usar ponderadores que permitan dar más peso a ciertas especies que a otras, en función de condiciones comerciales y rentabilidad, las cuales son variables en el tiempo. La clasificación del potencial productivo agroclimático de acuerdo al IPAC se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Clasificación del potencial productivo agroclimático de acuerdo al IPAC

CLASIFICACIÓN	
IPAC	POTENCIAL PRODUCTIVO
0 > IPAC < 0.2	MUY BAJO
0.2 >= IPAC < 0.4	BAJO
0.4 >= IPAC < 0.6	MODERADO
0.6 >= IPAC < 0.8	ALTO
0.8 >= IPAC < 1	MUY ALTO

Las especies usadas para la obtención del IPAC bajo condiciones de riego son: Arándanos, avellanos, cerezos, cítricos, duraznos, nogal, palto, uva de mesa, manzano, maíz, poroto, tomate, papa y trigo y se muestran en la figura 4. En el caso del IPAC bajo condiciones de seco, se utilizan las mismas especies, pero esta vez en condición de seco y se agregan las praderas, pinos y eucalipto (figura 5).

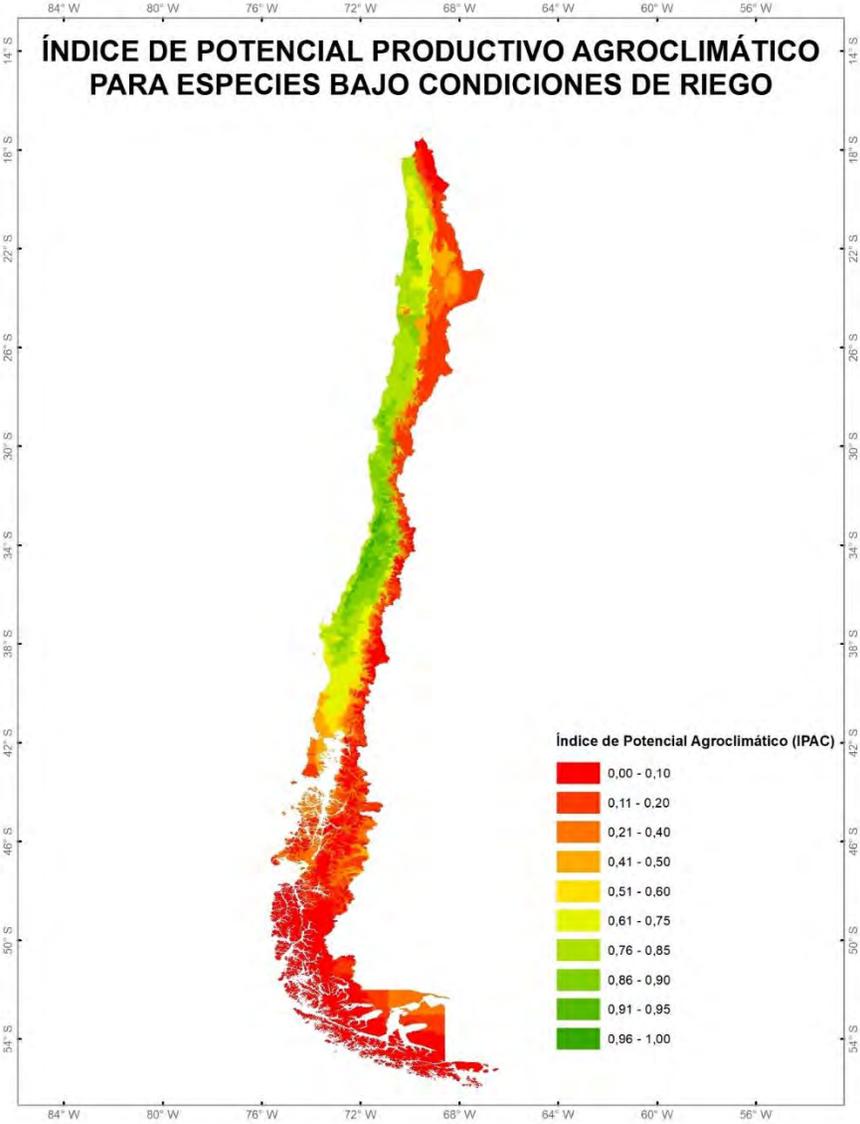


Figura 46. Índice de Potencial Productivo Agroclimático (IPAC) por sector para las especies bajo condiciones de riego.

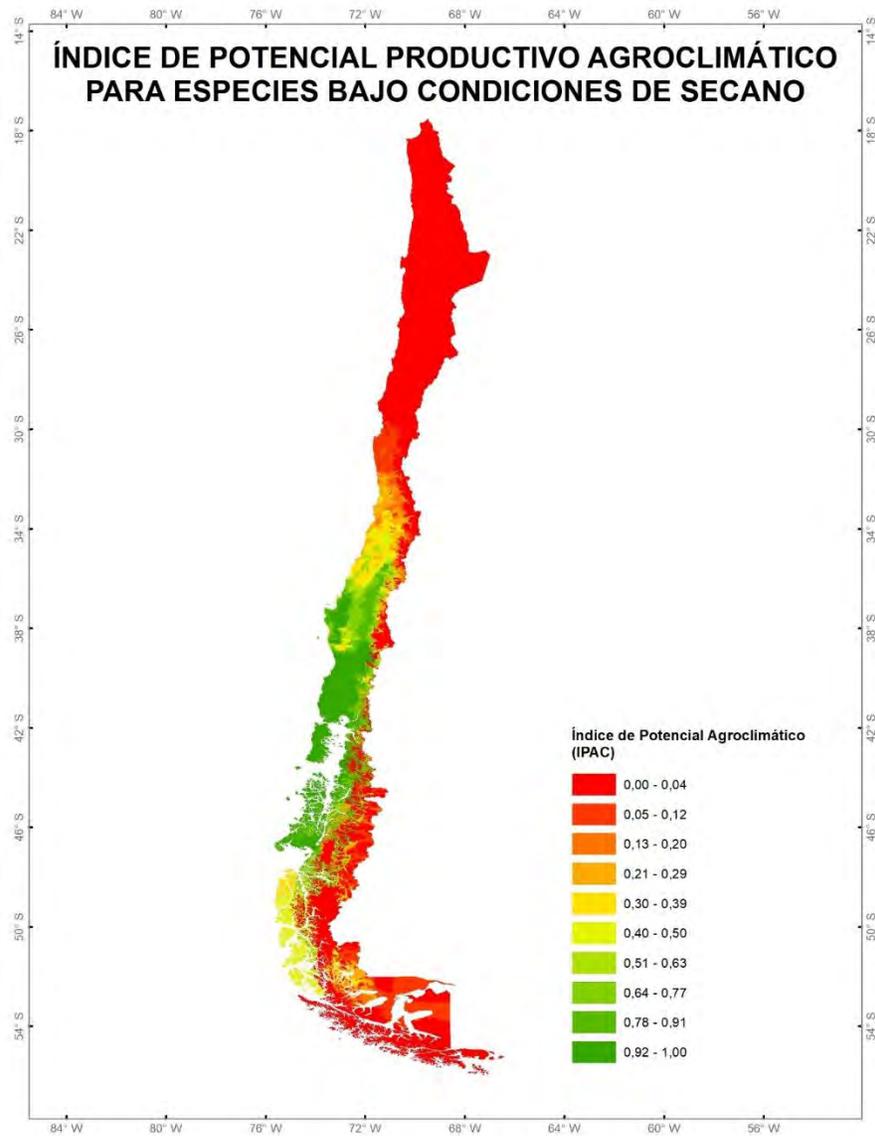


Figura 47. Índice de Potencial Productivo Agroclimático (IPAC) por sector para las especies bajo condiciones de secano.

## 2.6 Interfaz para la gestión de las bases de datos

Para gestionar y mantener actualizadas las bases de datos, así como para aplicar los protocolos de indexación a los casos reales, se creó una interfaz que permita la integración de los atributos de clima, aplicando el modelo de indexación para establecer la realidad de predios agrícolas. Esta interfaz de usuario dispondrá de las herramientas para actualizar la información, modificar el modelo de indexación utilizados ajustar los factores de ponderación de cada una de las variables del modelo.

La herramienta adjunta se construyó en base a los índices obtenidos en las etapas anteriores, para las diferentes especies de frutales, cultivos bajo condiciones de riego y seco y para las praderas y plantaciones forestales. Estos índices representan la aptitud agroclimática de especies cultivadas y se determinó mediante el desarrollo de índices de riesgos agroclimáticos que expresan el potencial productivo de estas especies. Es fundamental tener en cuenta que proporcionan información sobre el grado de cumplimiento de las exigencias bioclimáticas de las diferentes especies en un sitio. Se calcula en base a una serie de variables que afectan al desarrollo y productividad de cada especie durante las distintas fases fenológicas.

El índice de aptitud agroclimática (IAA o IAC), corresponde a 1 menos la suma de los valores absolutos de todos los riesgos calculados por fase fenológica, de modo que mientras menor sea su valor, más riesgosa se hace la producción de una especie. Por lo general, en base a la experiencia, una especie puede alcanzar producciones competitivas, con un índice integrado sobre 0.5. Las zonas más óptimas se sitúan por encima de 0.7; un sector con índice 1, representa el óptimo bioclimático para la especie, por cuanto representa ausencia de riesgos.

$$\text{Indice aptitud agroclimatica} = 1 - \sum_1^{12} \text{Abs}(\text{Indices riesgos bioclimaticos por fase})$$

Debido a que los riesgos agroclimáticos afectan de forma diferentes a cada especie, se utilizaron ponderadores para cada índice de riesgo, los cuales pueden ser modificados en la herramienta que se adjunta en esta entrega.

Luego de obtenidos los índices de aptitud agroclimática para cada especie, se calculó el índice de potencial agroclimático del sector o unidad (IPACs) el que corresponde al promedio de los IAC para las especies bajo condiciones de riego y otro cálculo para las especies cultivadas en seco. Lo anterior representa un indicador de la aptitud de

*Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)*

productiva de ese territorio. Mientras más alto sea el IPAC, mayores serán las opciones productivas del sector y mejores las condiciones de producción encuentran las especies.

$$IPACs = \frac{\sum IAAe}{\text{Número de especies}}$$

Por este procedimiento, cada sector comunal será caracterizado por una serie de IAA y un valor IPACs que caracteriza de manera integradora las capacidades productivas que ofrece el clima del lugar. Se podrán usar ponderadores que permitan dar más peso a ciertas especies que a otras, en función de condiciones comerciales y rentabilidad, las cuales son variables en el tiempo.

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

A continuación, se presentan los detalles del funcionamiento de la herramienta. Se generó una herramienta en excel que permite cambiar los ponderadores utilizados en los índices bioclimáticos utilizados para calcular la aptitud productiva en cada cultivo. Por defecto, se les asignó mayor ponderación a las horas de frío en especies caducas como cerezos, avellano europeo y nogales, especies donde las horas de frío representan un factor determinante en la cuaja y producción final. En el caso de las especies persistentes, como paltos y cítricos se le asignó mayor ponderación a las heladas en floración y en el ciclo ya que este factor es crucial en la obtención de fruta o pérdida de producción.



Figura 48. Sección cálculo de índices de aptitud productiva por especie. En esta sección es posible cambiar el ponderador que se le asigna a cada índice bioclimático por fase fenológica. Los cultivos se encuentran separados en cada una de las hojas de la planilla excel.

En las 4 últimas pestañas de la planilla excel se incluyen las secciones de cálculo de: Índice potencialidad agroclimática integrado por sectores (IPACs) para las especies cultivadas en riego, Índice potencialidad agroclimática integrado por sectores (IPACs) para las especies cultivadas en seco y las zonas con similar potencial productivo

# Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

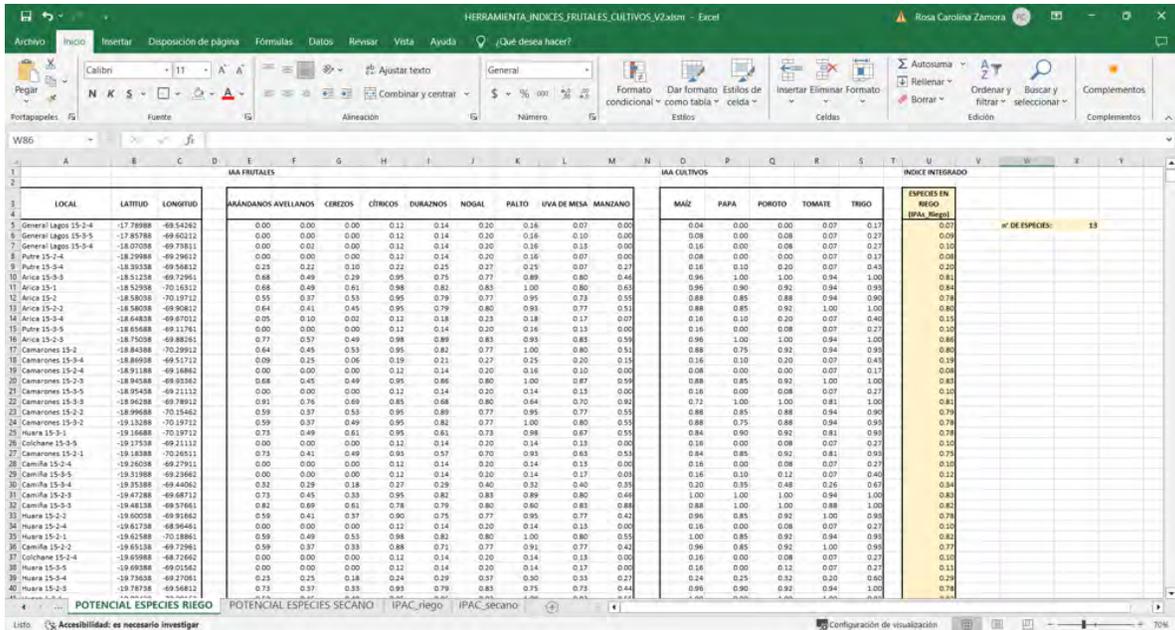


Figura 49. Sección de cálculo de Índice potencialidad agroclimática (IPACe) e índice de potencialidad agroclimática integrado por sector (IPACs)

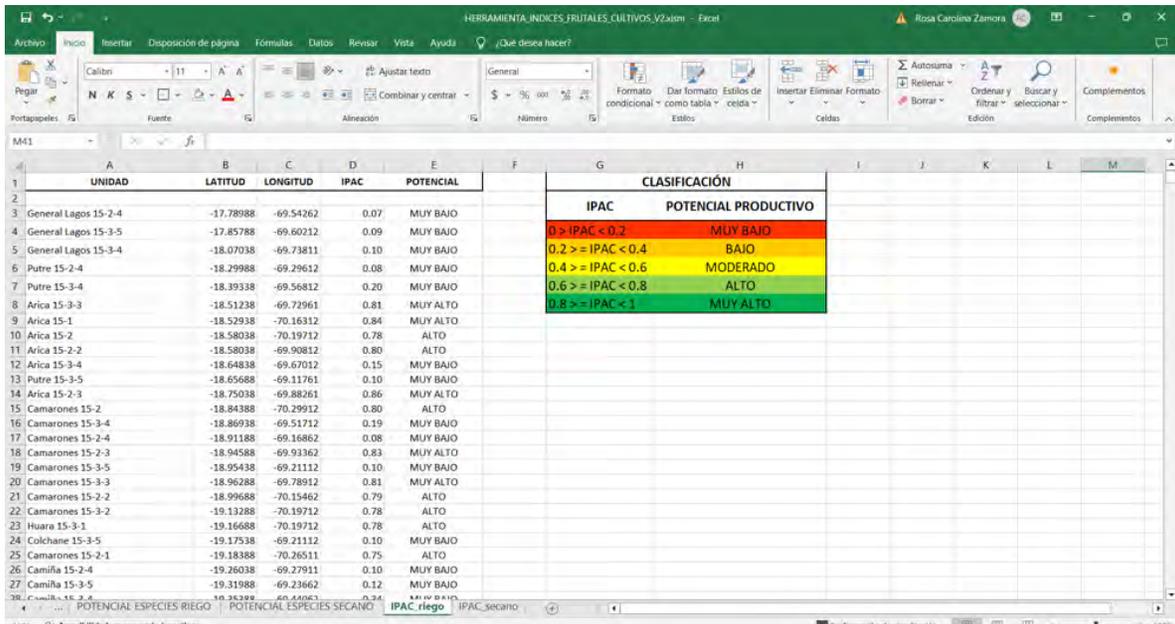


Figura 50: Zonas con similar potencial agroclimático productivo.

### 3. Referencias bibliográficas

- CIREN** 1989 Requerimientos de clima y suelo. Frutales de hoja caduca. Publicación N°83
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones y A. Jarvis.** (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- IPCC.** (2007) **En: Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; Van der Linden, P.J. y Hanson, C.E.** *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- Santibáñez, F.** 2001. El Modelado del Crecimiento, Desarrollo y Producción de Maíz, sobre bases Ecofisiológicas, mediante el modelo SIMPROC. *Revista de Agrometeorología Argentina*. 1: 7-16.
- Santibáñez, F. et al** 2017. Atlas Agroclimático de Chile: Tomo III. Regiones de Valparaíso, Metropolitana O'Higgins y Maule. Facultad de Agronomía. Universidad de Chile. 208 pp.
- WorldClim** - Global Climate Data. <http://www.worldclim.org/>

#### 4. Descripción del contenido de los shape y archivos adjuntos

##### Anexo 1

El archivo adjunto **Unidades\_variables.shp** contiene variables agroclimáticas para cada unidad de similares condiciones climáticas al interior de cada comuna. El significado de las siglas presentes en el archivo se encuentra detallado a continuación:

**TXE:** Temperatura máxima enero (°C)

**TNE:** Temperatura mínima enero (°C)

**TNJ:** Temperatura mínima julio (°C)

**TXJ:** Temperatura máxima de julio (°C)

**HRE:** Humedad relativa enero (%)

**HRJ:** Humedad relativa julio (%)

**RSE:** Radiación solar enero (Cal/cm día)

**RSJ:** Radiación solar julio (Cal/cm día)

**ETE:** Evapotranspiración enero (mm)

**ETJ:** Evapotranspiración julio (mm)

**SDGA:** Suma días grados anuales. Días-grado o temperaturas efectivas ( $T > 10^{\circ}\text{C}$ ). Constituye un índice de disponibilidad de calor para el normal desarrollo y maduración de las especies vegetales. La mayor precocidad se obtendrá en los lugares con la mayor suma de temperaturas efectivas.

**SHFM:** Suma horas de frío mensuales. Suma número de horas en que la temperatura es inferior a o  $7.2^{\circ}\text{C}$ .

**PLH:** Periodo libre de heladas (días).

**NTH:** Número total de heladas. Corresponde al número de días cuyas temperaturas mínimas caen bajo los  $0^{\circ}\text{C}$ , pudiendo con ello crear condiciones adversas, por congelación de los tejidos vegetales. Es una variable muy relevante para la sobrevivencia de las especies, particularmente aquellas de origen subtropical, más sensibles a las heladas.

**DCAL:** Días cálidos. La mayoría de las plantas (principalmente especies templadas) y los animales comienzan a tener problemas con su balance térmico con temperatura por encima

### Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

de los 25° C. Por esta razón a un día con temperatura máxima por encima de los 25° C se le denomina “día cálido”. Mientras más horas la temperatura permanezca por sobre 25°C menos eficiente se hace el metabolismo por cuanto gran parte del esfuerzo de plantas y animales será dedicado a neutralizar los posibles efectos adversos de las altas temperaturas.

**PSEC:** periodo seco. Período del año en que la precipitación es inferior al 50% de la demanda evapotranspirativa ( $pp < 0.5ET$ ). Cuando se produce esta condición normalmente los cultivos necesitan de riego para subsistir. (Número de meses donde  $pp/etp < 0.5$ ).

**PHUM:** Periodo Húmedo. Período del año en que la precipitación es superior a la demanda evapotranspirativa ( $pp > ET$ ). Cuando se produce esta condición, los suelos tienden a estar bien abastecidos de agua y, posiblemente, parte de la lluvia escurre, percola hacia las napas profundas o se acumula superficialmente. (Número de meses donde  $pp/etp \geq 0.5$ ).

**PPA:** Precipitación anual (mm)

**DEFH:** Déficit hídrico. El déficit hídrico es la diferencia negativa entre precipitación (P) y evapotranspiración (Et). Esto representa la cantidad de agua potencialmente evaporada que no está cubierta por la precipitación. Considerando que los suelos tienen una capacidad limitada para almacenar agua, el déficit hídrico es normalmente una expresión del estrés hídrico que las comunidades vegetales tienen que soportar a través del año. Existe una relación proporcional entre el déficit hídrico y el grado de aridez climática. El déficit anual de agua se calcula sumando las diferencias negativas mensuales ( $P - Et$ ).

**EXCH:** Excedente hídrico. El excedente de agua es la diferencia positiva entre la precipitación (P) y la evapotranspiración (Et). El excedente anual de agua se calcula sumando las diferencias positivas mensuales ( $P - Et$ ). Esta variable representa la cantidad de agua potencialmente disponible para escurrir superficialmente y alimentar los cursos de agua superficiales. La mayor parte del excedente de agua puede alimentar la corriente de ríos o infiltrarse en el suelo, alimentando las aguas subterráneas.

## Anexo 2

Descripción de las variables bioclimáticas y el índice de aptitud agroclimática y las siglas asociadas que se encuentran en el los shape de los cultivos y frutales, además en HERRAMIENTA\_INDICES\_FRUTALES\_CULTIVOS\_V3.xlsm. El significado de las siglas presentes en el archivo se encuentra detallado a continuación:

Unidad: Nombre de la comuna y número que identifica el distrito agroclimático al que pertenece.

lat: Latitud

lon: Longitud

nhc: índice de riesgo bioclimático asociado al número de heladas en el ciclo.

nhf: índice de riesgo bioclimático asociado al número de heladas en floración.

txf: índice de riesgo bioclimático asociado a las temperaturas máximas en floración.

tnf: índice de riesgo bioclimático asociado a las temperaturas mínimas en floración.

pflor: índice de riesgo bioclimático asociado a la precipitación en floración.

T\_25: índice de riesgo bioclimático asociado al número de días cálidos con temperaturas superiores a 25°C.

T\_20: índice de riesgo bioclimático asociado al número de días templados con temperaturas superiores a 20°C.

Txmad: índice de riesgo bioclimático asociado a las temperaturas máximas en maduración.

Tnmad: índice de riesgo bioclimático asociado a las temperaturas mínimas en maduración.

ppcos: índice de riesgo bioclimático asociado a la precipitación a la cosecha.

rsmad: índice de riesgo bioclimático asociado a la radiación solar a la maduración.

ifrio: índice de riesgo bioclimático asociado al índice de frío

HR: índice de riesgo bioclimático asociado humedad relativa en floración

IAA: índice de aptitud agroclimática

IPAC: índice de potencial agroclimático integrado del sector o unidad

### Anexo 3

Descripción de las variables bioclimáticas y el índice de aptitud agroclimática y las siglas asociadas que se encuentran en el shape INDICE\_RIEGO e INDICE SECANO y en HERRAMIENTA\_INDICES\_FRUTALES\_CULTIVOS\_V3.xlsm

Unidad: Nombre de la comuna y número que identifica el distrito agroclimático al que pertenece.

lat: Latitud

lon: Longitud

IAA\_ARANDA: Índice de aptitud agroclimática para el arándano.

IAA\_AVELLA: Índice de aptitud agroclimática para el avellano.

IAA\_CEREZO: Índice de aptitud agroclimática para el cerezo.

IAA\_CITRI: Índice de aptitud agroclimática para los cítricos.

IAA\_DURAZN: Índice de aptitud agroclimática para el durazno.

IAA\_NOGAL: Índice de aptitud agroclimática para el nogal.

IAA\_PALTO: Índice de aptitud agroclimática para el palto.

IAA\_UVAMES: Índice de aptitud agroclimática para la uva de mesa.

IAA\_UVABLA: Índice de aptitud agroclimática para la uva vinífera de cepa blanca.

IAA\_UVATIN: Índice de aptitud agroclimática para la uva vinífera de cepa tinta.

IAA\_MANZAN: Índice de aptitud agroclimática para el manzano.

IAA\_MAIZ: Índice de aptitud agroclimática para el maíz.

IAA\_PAPA: Índice de aptitud agroclimática para la papa.

IAA\_POROTO: Índice de aptitud agroclimática para el poroto.

IAA\_TOMATE: Índice de aptitud agroclimática para el tomate.

IAAA\_TRIGO: Índice de aptitud agroclimática para el trigo.

PRADERA: Índice de aptitud agroclimática para la pradera (solo en secano).

IAA\_EUCALIPTO: Índice de aptitud agroclimática para el eucalipto (solo en secano).

PINO: Índice de aptitud agroclimática para el pino (solo en secano).

*Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)*

IPAC\_r: Índice de potencial agroclimático integrado del sector o unidad para condición de riego.

IPAC\_s: Índice de potencial agroclimático integrado del sector o unidad para condición de secano.

#### **Anexo 4: Manual de usuario**

(adjunto como un documento independiente)

##### **1. Introducción**

La licitación LP-184 tuvo como objetivo la identificación de zonas con similar potencial productivo silvoagropecuario a nivel nacional, considerando particularidades agroclimáticas del territorio y diversas variables ambientales y territoriales que inciden directamente en la capacidad productiva y competitividad de la producción silvoagropecuaria. Esta herramienta está diseñada como un apoyo esencial en el proceso de avalúo de los bienes raíces de la primera serie agrícola, conforme al artículo 4° de la ley 9.886 de bases sobre Contratos Administrativos de Suministro y Prestación de Servicios.

El enfoque técnico adoptado para alcanzar los objetivos de la licitación se basó en una metodología que integra variables climáticas, agroclimáticas, modelación numérica, sistema de información geográfica y características territoriales, en torno al potencial productivo de las tierras agrícolas. Considerando la variabilidad climática que caracteriza al territorio, se llevó a cabo una zonificación de microdistritos agroclimáticos, basada en una malla geográfica con información detallada con una resolución de 1 km<sup>2</sup> (1980 - 2020). Cada punto de esta malla incluye datos esenciales como temperaturas extremas, precipitación, humedad del aire, radiación solar, evapotranspiración, número de días cálidos, horas de frío, número de heladas y otras variables relevantes para el potencial productivo agrícola. De este modo, la herramienta se sustenta en información histórica y modelos digitales de elevación para modelar topoclimáticamente variables agroclimáticas primarias, derivando luego variables secundarias, necesarias para la determinación del potencial productivo de diversas especies agrícolas.

Para sintetizar las complejas relaciones ecofisiológicas que condicionan la adaptación de especies cultivadas a diversas condiciones climáticas, se utilizó el modelo ADAPTCHECK, desarrollado por el equipo ejecutor en las últimas décadas. Este modelo analiza exhaustivamente el ciclo fenológico de cada especie, evaluando en qué medida, las condiciones climáticas satisfacen sus requerimientos para garantizar una producción óptima en calidad y cantidad. Basado en una extensa base de datos, calibración y validación, el sistema proporciona un diagnóstico detallado del comportamiento de cada especie frente a variaciones climáticas, siendo un recurso esencial en la toma de decisiones para el sector agrícola. Finalmente, se determinó la aptitud agroclimática de 11 especies frutales, 5 cultivos anuales, praderas naturales y plantaciones forestales para todo el territorio nacional.

## 2. Metodología

Para determinar las zonas de similar potencial productivo en Chile, se siguió la metodología detallada en el diagrama de la figura 1. Los microdistritos agroclimáticos, o unidades climáticamente homogéneas, fueron obtenidos para el período 1980 - 2020 utilizando una técnica estadística que permite la agrupación de unidades territoriales, misma metodología usada y validada en Atlas Agroclimático de Chile (AGRIMED, 2015). Detalles de los datos y la metodología usada en esta licitación se puede revisar en el informe final del proyecto.

Una vez establecidos los microdistritos agroclimáticos, se le superpusieron con los límites comunales, manteniendo cada zona como un área con condiciones climáticas similares. Para cada una de estas áreas, que cumplen con el requisito de homogeneidad, se realizó la modelación topoclimática. Este proceso permitió obtener las variables agroclimáticas primarias, como las temperaturas, humedad, radiación, precipitación, etc., utilizadas posteriormente en el cálculo de variables agroclimáticas secundarias, tales como horas de frío, heladas, déficit hídrico, entre otras.

Se utilizó el modelo ADAPTCHECK, para sintetizar las relaciones ecofisiológicas que condicionan la adaptación de las especies cultivadas frente a diversas condiciones climáticas. Este modelo realiza un completo recorrido del ciclo fenológico de cada especie, verificando en qué medida las condiciones climáticas satisfacen los requerimientos de la especie para garantizar una buena producción en calidad y cantidad. ADAPTCHECK se basa en una extensa base de datos que sintetiza la información experimental disponible sobre las respuestas adaptativas de las especies frente a las variables del clima, de modo de proveer un acabado diagnóstico del comportamiento que la especie tendrá en diversas condiciones climáticas.

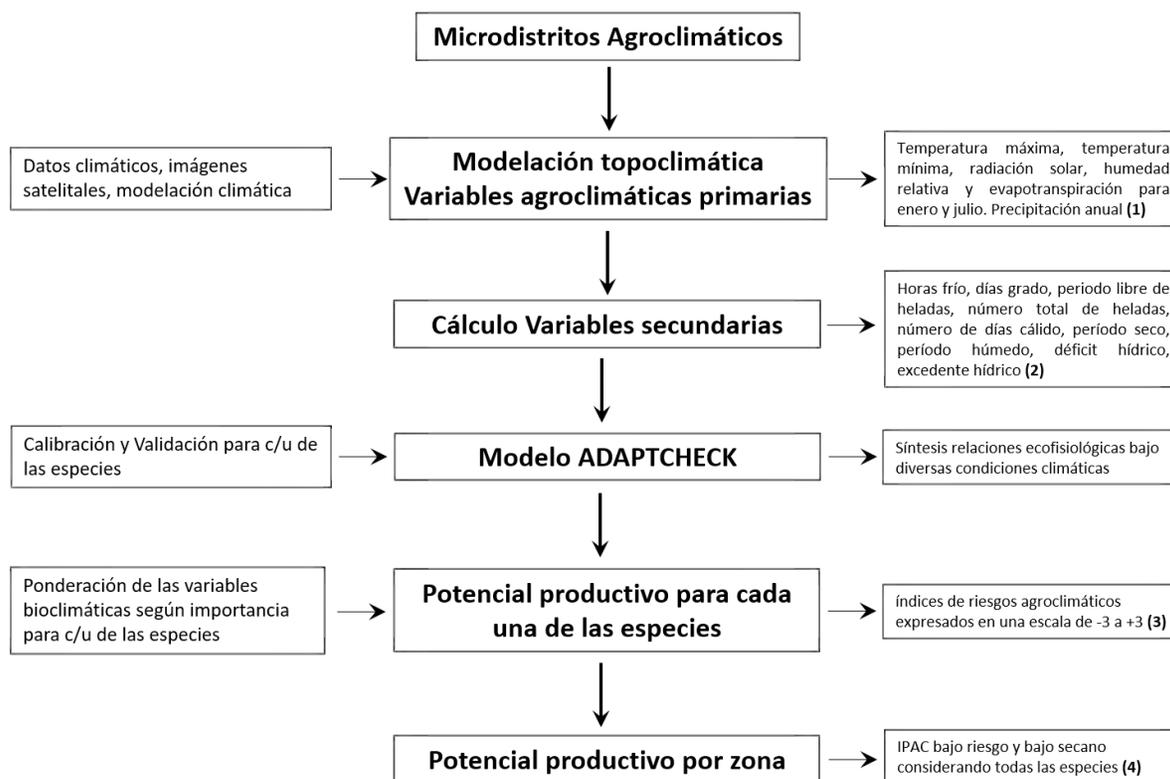


Figura 1. Diagrama explicativo que detalla el proceso llevado a cabo durante el estudio.

(1) Descripción de las variables y siglas utilizadas en el Anexo 1. Los datos están disponibles en el SHAPE\_UNIDADES\_VARIABLES.

(2) Descripción de las variables y siglas utilizadas en el Anexo 1. Los datos están disponibles en el SHAPE\_UNIDADES\_VARIABLES.

(3) Descripción de las variables y siglas utilizadas en el Anexo 2. Los datos están disponibles en los shape de cada especie en las carpetas CULTIVOS Y FRUTALES y en HERRAMIENTA\_INDICES\_FRUTALES\_CULTIVOS\_V3.xlsm

(4) Descripción de las variables y siglas utilizadas en el Anexo 3. Los datos están disponibles en el INDICE\_RIEGO e INDICE SECANO y en HERRAMIENTA\_INDICES\_FRUTALES\_CULTIVOS\_V3.xlsm

La aptitud agroclimática de especies cultivadas se determinó mediante el uso de índices de riesgos agroclimáticos, los cuales expresan el potencial productivo de estas especies. Estos índices proporcionan información sobre el grado de cumplimiento de las exigencias bioclimáticas de las diferentes especies en un sitio determinado. El cálculo de los índices de riesgo se basa en una serie de variables que afectan al desarrollo y productividad de cada especie durante las distintas fases fenológicas (variables consideradas por el modelo ADAPTCHECK). Un riesgo será más alto en la medida de que una variable climática más se aparte del intervalo considerado óptimo para una especie.

Cuando se produce un desfase entre el valor de una variable climática y lo exigido por una especie, los efectos pueden manifestarse de diversas maneras, pero finalmente se propagan hasta la productividad y la calidad de la producción, incidiendo sobre el éxito productivo de la especie en

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

dicha condición climática particular. Será por lo tanto más riesgoso y menos productivo, colocar una especie donde el número y dimensión de los desfases bioclimáticos sean mayores. Estas adversidades bioclimáticas pueden operar por déficit o por exceso, reflejándose en los índices de riesgo en una escala de -3 a +3 (tabla1)

Tabla 1. Índice de riesgo bioclimático por fase fenológica y escala de aptitud agroclimática.

<b>Índice riesgo bioclimático por fase fenológica</b>	<b>Aptitud</b>
-3	Fuertemente deficiente
-2	Deficiente
-1	Levemente deficiente
0	Ausencia de riesgo
+1	Levemente excedentario
+2	Moderadamente excedentario
+3	Fuertemente excedentario

En la figura 2, se presentan las variables bioclimáticas utilizadas para estimar los potenciales de producción del avellano en cinco zonas de la región del Maule. En el punto a, se evidencia la ausencia de riesgo asociado al número de heladas en el ciclo, indicando que el número de ocurrencia de heladas en estas zonas no representan una amenaza suficiente para afectar la producción de avellanos. En el punto b, se observa que el riesgo está asociado a un exceso (+2), específicamente a la temperatura máxima de maduración, o sea, la temperatura será más alta de lo recomendable para esta especie, pudiendo ello representar un riesgo que afectará a la productividad de esta especie. Por último, en el punto c, se observa que hay un déficit asociado al frío invernal, lo que podría afectar al reposo, la inducción y la prolificidad floral de la especie.

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

FID	Shape	Unidad	lat	lon	nhc	nhf	txf	tnf	nflor	T_25	T_20	txmad	tnmad	ppcos	rsmad	HR	ifrio	IAA
728	Polygon	Chanco 7-8-1	-35.69938	-72.49212	0	0	0	0	0	-2	-2	-1	0	0	0	0	-3	0.450971
841	Polygon	Villa Alegre 7-8-4	-35.69088	-71.69312	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0.921565
846	Polygon	Constitución 7-8-1	-35.39338	-72.36462	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	-3	0.529405
852	Polygon	Curepto 7-8-2	-35.21488	-71.99911	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0.960782
865	Polygon	Pencahue 7-8-4	-35.35938	-71.78661	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0.843129

Figura 2. Variables bioclimáticas utilizadas para estimar los potenciales de producción del avellano en cinco localidades de la región del Maule

Una vez calculados los índices de riesgo para cada variable, el sistema suma los valores absolutos de todos los riesgos. Como el valor absoluto de cada índice varía entre 0 y 3, entonces el máximo valor de la suma es (Rmax):

$$R_{max} = 3 * \text{número de variables determinantes del riesgo total}$$

El índice de aptitud agroclimática (IAA), corresponde a 1 menos la suma de los valores absolutos de todos los riesgos normalizados, de modo que mientras menor sea su valor, más riesgosa se hace la producción de una especie. Por lo general, en base a la experiencia, una especie puede alcanzar producciones competitivas, con un índice integrado sobre 0.5. Las zonas más óptimas se sitúan por encima de 0.7; un sector con índice 1, representa el óptimo bioclimático para la especie, por cuanto representa ausencia de riesgos.

$$IAA = 1 - \sum_1^{12} Abs(Indices\ riesgos\ bioclimaticos\ por\ fase) / R_{max}$$

Ecuación 1

Debido a que los riesgos agroclimáticos afectan de forma diferentes a cada especie, se utilizaron ponderadores para cada índice de riesgo, los cuales pueden ser modificados en la herramienta que se adjunta.

Luego de obtenidos los índices de aptitud agroclimática para cada especie, se calculó el índice de potencial agroclimático integrado del sector o unidad (IPACs) el que corresponde al promedio de los IAC (ecuación 2) bajo condiciones de riego y otro cálculo para seco. Lo anterior representa un indicador integrado de la aptitud productiva de ese territorio, considerando el abanico de opciones de cultivo, así como los riesgos que encontrará la agricultura del lugar. Mientras más alto sea el IPAC, mayores serán las opciones productivas del sector y mejores las condiciones de producción encuentran las especies.

$$IPACs = \frac{\sum IAAe}{\text{Número de especies}}$$

# Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

## Ecuación 2

Por este procedimiento, cada sector comunal será caracterizado por una serie de IAA y un valor IPACs que caracteriza de manera integradora las capacidades productivas que ofrece el clima del lugar (figura 3). Se podrán usar ponderadores que permitan dar más peso a ciertas especies que a otras, en función de condiciones comerciales y rentabilidad, las cuales son variables en el tiempo.

### Aptitud agroclimática para todas las especies bajo condiciones de riego

Unidad	LATITUD	LONGITUD	IAA ARAND	IAA AVELLA	IAA CERZO	IAA CITRU	IAA JUANZAN	IAA NOGAL	IAA PALTO	IAA UVA DE	IAA MANZAN	IAA MAIZ	IAA PAPA	IAA POROTO	IAA TOMATE	IAA TRIGO	IPAC
Erizilla 7-9-2	-38.12188	-72.27111	0.93192	1	0.97824	0.39	0.71429	0.46667	0.45181	0.53333	0.8584	0.75	0	0.92	0.62683	1	0.8983
Erizilla 8-9-6	-38.03888	-72.46611	0.90909	1	0.75494	0.512	0.64287	0.83333	0.52778	0.7	0.9596	0.84	1	1	0.69138	1	0.796239
Erizilla 9-1	-38.17438	-72.40142	0.90909	1	0.65476	0.4	0.60743	0.66667	0.52778	0.66667	0.9584	0.84	1	1	0.69138	1	0.796239
Lonquimay 7-8-3	-38.73388	-71.20862	0	0	0.254865	0.0687	0.18743	0.11	0.18333	0	0	0.25	0.4	0.4	0.19731	0.6	0.193815
Lonquimay 8-11-1	-38.40238	-71.96412	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.074074	0.333333	0.037493
Lonquimay 7-9-4	-38.77638	-71.14912	0	0	0.019559	0	0.043	0.071429	0.06667	0.04444	0.03333	0	0	0	0.12	0.15802	0.071864
Lonquimay 8-10-1	-38.85288	-71.36162	0	0	0.019559	0	0.018	0.03714	0.06667	0.04444	0.03333	0	0	0	0.08	0.13802	0.067194
Los Saucos 8-9-2	-37.99338	-72.05962	0.863636	1	0.764894	0.825	0.64287	0.63333	0.74444	0.7	0.67689	0.88	1	1	0.69138	1	0.832429
Los Saucos 7-9-1	-38.01138	-72.19812	0.954545	1	0.921565	0.637	0.75	0.83333	0.64319	0.8	1	0.96	1	1	0.753086	1	0.95619
Los Saucos 8-9-5	-37.99338	-72.05962	0.954545	1	0.882347	0.875	0.714286	0.73333	0.752704	0.76667	0.7172	0.96	1	1	0.753086	1	0.876382
Los Saucos 8-9-3	-37.85038	-72.11711	0.893636	1	0.688271	0.56818	0.775	0.87871	0.83333	0.771296	0.66667	0.72	0.8	0	0	0.62683	0.741002
Los Saucos 8-9-6	-38.04538	-72.13961	0.90909	1	0.84129	0.778	0.67871	0.73333	0.684259	0.73333	1	0.96	1	1	0.753086	1	0.851754
Lumaco 8-9-2	-38.23238	-73.8512	0.863636	1	0.921565	0.80912	0.8	0.87871	0.63333	0.771296	0.7	0.8788	0.84	1	1	0.62683	0.819811
Lumaco 7-9-1	-38.38438	-72.84262	0.954545	1	0.96782	0.882347	0.85	0.74286	0.7	0.840741	0.76667	1	0.96	1	1	0.69138	0.819811
Lumaco 8-9-6	-38.13038	-72.89162	0.954545	1	0.921565	0.562	0.714286	0.73333	0.592222	0.76667	1	0.96	1	1	0.69138	1	0.838537
Lumaco 8-9-5	-38.23238	-72.87862	0.90909	1	0.84129	0.65	0.74286	0.7	0.684259	0.73333	1	0.96	1	1	0.753086	1	0.851754
Lumaco 8-9-1	-38.37688	-73.8512	0.954545	1	0.921565	0.84329	0.825	0.714286	0.7	0.794444	0.7	0.9596	0.84	1	1	0.69138	0.844848
Puñen 8-9-2	-38.02838	-73.14661	0.90909	1	0.921565	0.803912	0.8	0.87871	0.66667	0.794444	0.7	0.8788	0.84	1	1	0.69138	0.831201
Puñen 7-9-1	-38.06238	-73.9312	0.954545	1	0.882347	0.778	0.74286	0.7	0.730556	0.8	0.8	1	1	1	0.753086	1	0.88714
Puñen 8-9-5	-38.04538	-73.97562	0.954545	1	0.921565	0.684	0.714286	0.76667	0.687037	0.76667	1	0.96	1	1	0.753086	1	0.862143
Puñen 8-9-3	-37.87538	-73.0711	0.90909	1	0.84329	0.803912	0.775	0.64287	0.63333	0.56818	0.53333	0.798	0.64	0.9	0.96	0.62683	0.753754
Remaco 7-9-1	-37.73088	-72.50062	0.90909	1	0.803912	0.537	0.73333	0.574074	0.8	1	0.96	1	1	1	0.753086	1	0.832346
Remaco 8-9-5	-37.72238	-72.68862	0.90909	1	0.84129	0.634	0.75	0.76667	0.663889	0.8	1	0.96	1	1	0.753086	1	0.852297
Remaco 8-9-4	-37.68838	-72.8761	0.772727	1	0.764894	0.8	0.74286	0.73333	0.637863	0.8	0.7172	0.75	0.8	1	0.69138	1	0.813422
Trapanil 7-9-1	-38.13038	-72.84512	0.954545	1	0.84129	0.562	0.67871	0.66667	0.574074	0.73333	1	0.96	1	1	0.753086	1	0.825031
Trapanil 8-9-5	-38.32688	-72.84661	0.954545	1	0.921565	0.788	0.74286	0.76667	0.707407	0.73333	0.9596	0.88	1	1	0.69138	1	0.845902
Trapanil 8-9-6	-38.24938	-72.84512	0.954545	1	0.96782	0.84129	0.677	0.64287	0.66667	0.689296	0.73333	1	0.96	1	1	0.69138	0.819811
Victoria 7-9-2	-38.27488	-72.13512	0.772727	1	0.882347	0.588906	0.378	0.39287	0.43333	0.38919	0.46667	0.7172	0.6	0.75	0.72	0.667901	0.933333
Victoria 8-9-6	-38.15588	-72.46661	0.863636	1	0.725476	0.415	0.57429	0.53333	0.52778	0.63333	0.8788	0.84	1	1	0.69138	1	0.75395
Victoria 8-1	-38.25788	-72.41562	0.863636	1	0.725476	0.415	0.607143	0.56667	0.50465	0.56667	0.9596	0.84	1	1	0.62683	1	0.754296
Victoria 8-14-1	-38.23238	-71.98212	0.626836	1	0.764894	0.41735	0.243	0.357143	0.4	0.34537	0.3	0.6364	0.48	0.8	0.72	0.444444	0.833333
Castro 9-3	-42.47388	-73.9761	0.272727	0.333	0.89784	0.84	0.71871	0.66667	0.169189	0.11	0.962	0.04	0	0.2	0.97531	0.4	0.169761
Castro 10-1	-42.42288	-73.83511	0.363636	0.529388	0.372518	0.453	0.21429	0.33333	0.316667	0.3	0.394	0.2	0.4	0.52	0.320988	0.666667	0.392125
Castro 10-4	-42.48238	-73.8919	0.363636	0.647041	0.372518	0.237	0.357143	0.36667	0.27148	0.36667	0.4344	0.32	0.5	0.6	0.320988	0.733333	0.419657
Chochil 10-3	-42.53338	-73.98811	0.318182	0.3333	0.264885	0.356	0.285714	0.21	0.316667	0.166667	0.2204	0.04	0	0.12	0.320988	0.5	0.247105
Chochil 10-1	-42.69488	-73.99662	0.272727	0.294082	0.254865	0.356	0.286714	0.23333	0.27037	0.2	0.2728	0.16	0.15	0.12	0.252929	0.433333	0.252053
Chochil 10-4	-42.72038	-73.77562	0.363636	0.568986	0.372518	0.277	0.31429	0.36667	0.27148	0.36667	0.394	0.32	0.5	0.6	0.320988	0.733333	0.415826
Curaco de Vélez 10-4	-42.42288	-73.8812	0.454545	0.697824	0.372518	0.309	0.357143	0.36667	0.296296	0.33333	0.4344	0.32	0.5	0.6	0.320988	0.733333	0.428588
Dalcahue 10-3	-42.32938	-73.99662	0.318182	0.333	0.254865	0.356	0.285714	0.26667	0.291518	0.16667	0.2204	0.16	0.11	0.2	0.320988	0.5	0.275531
Dalcahue 10-1	-42.31238	-73.83511	0.363636	0.459953	0.372518	0.265	0.31429	0.33333	0.319957	0.3	0.3536	0.2	0.35	0.52	0.320988	0.666667	0.381761
Dalcahue 10-4	-42.28688	-73.62262	0.363636	0.647041	0.372518	0.309	0.357143	0.33333	0.27148	0.36667	0.4344	0.24	0.6	0.6	0.320988	0.733333	0.42437
Puvaldén 10-4	-42.61938	-73.8312	0.363636	0.647041	0.372518	0.277	0.357143	0.36667	0.27148	0.33333	0.4344	0.36	0.5	0.6	0.320988	0.733333	0.425118
Queñen 10-4	-42.82238	-73.52911	0.318182	0.41735	0.333	0.115	0.214286	0.26667	0.160189	0.23333	0.4344	0.36	0.5	0.6	0.320988	0.733333	0.313308
Queñen 10-1	-41.1368	-74.62211	0.363636	0.607824	0.372518	0	0	0	0	0	0.394	0.16	0.35	0.32	0.12246	0.666667	0.211769
Queñen 10-4	-41.00938	-73.66111	0.363636	0.607824	0.372518	0.215	0.31429	0.33333	0.29	0.33333	0.4344	0.36	0.6	0.6	0.320988	0.733333	0.420779
Queñen 11-1	-41.26438	-74.38761	0	0.019559	0.372518	0	0	0.027296	0	0.3132	0.12	0.25	0.29	0.2	0.13802	0.433333	0.131771
Quinchal 10-4	-42.21888	-73.46112	0.363636	0.647041	0.372518	0.237	0.357143	0.36667	0.296296	0.33333	0.4344	0.24	0.65	0.6	0.320988	0.733333	0.424468
Quinchal 10-4	-42.49938	-73.46112	0.454545	0.647041	0.41735	0.262	0.357143	0.33333	0.342953	0.36667	0.4748	0.32	0.6	0.6	0.320988	0.666667	0.444824
Calbuco 14-10-3	-41.72588	-73.29111	0.454545	0.647041	0.459953	0.312	0.39287	0.4	0.319444	0.4	0.5566	0.36	0.6	0.6	0.444444	0.833333	0.474045
Calbuco 14-10-1	-41.63238	-73.08962	0.5	0.725476	0.459953	0.372	0.42871	0.4	0.342953	0.4	0.5566	0.44	0.65	0.72	0.568173	0.8	0.536597
Cochams 8-11-1	-42.11688	-71.99911	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12246	0.166667	0.013777
Cochams 8-10-1	-41.89988	-72.18912	0	0.294082	0.17429	0.018	0.42867	0.16667	0.208481	0.16667	0.2204	0.2	0.2	0.2	0.028269	0.6	0.217092
Cochams 14-10-4	-42.16338	-72.40712	0.318182	0.333	0.215647	0.043	0.214286	0.23333	0.17037	0.13333	0.2728	0.2	0.25	0.28	0.028269	0.666667	0.045667
Cochams 10-3	-41.89188	-72.34762	0.409091	0.459953	0.294082	0.693	0.25	0									

### 3. Descripción de archivos y herramientas entregadas

Dentro de los archivos entregados en el estudio, se incluye un shape denominado “Unidades\_variables”, el cual contiene las variables agroclimáticas primarias y secundarias correspondientes a cada una de las unidades o zonas previamente definidas. La figura 4 muestra la tabla de atributos que se encuentra en este archivo. El glosario de términos se encuentra detallado en el anexo 1.

ID	Shape *	Unidad	TXE	TNE	TXJ	TNJ	HRE	HRJ	RSE	RSJ	ETE	ETJ	SDGM	SDEM	PLH	NHT	D'CAL	PSEC	PHUM	PPA	DEFH	EXCH
0	Polygon	Ercilla 7-9-2	26.5	8.7	10.1	3.7	69	84	558	156	158	37	1074	2027	179	19	66	4	7	1648	-466	843
1	Polygon	Ercilla 8-9-6	27.1	10.1	11.2	3.5	65	83	577	169	169	41	1273	1760	198	18	78	5	5	1200	-638	578
2	Polygon	Ercilla 9-1	26.7	9.8	10.8	3.2	69	84	574	165	163	38	1248	1905	187	22	71	5	5	1275	-581	649
3	Polygon	Longuimay 7-9-3	21.2	2.2	9.7	-0.1	54	73	478	111	128	37	528	4454	0	184	9	0	8	2343	-125	1481
4	Polygon	Longuimay 8-11-1	13.7	-2.9	-0.8	-5	47	60	467	196	106	37	99	7462	0	359	0	0	10	2998	-87	2228
5	Polygon	Longuimay 7-9-4	16.9	1.3	8.4	-3	53	70	474	198	117	36	259	5399	0	269	0	0	10	2932	-70	1784
6	Polygon	Longuimay 8-10-1	17.6	3.3	8.2	-1	51	65	465	198	123	40	347	4527	0	179	0	0	10	2890	-66	1978
7	Polygon	Los Sauces 8-9-2	26.5	9.9	11.9	5.7	75	83	569	171	149	44	1356	973	288	3	71	4	7	1664	-430	934
8	Polygon	Los Sauces 7-9-1	26.7	11.3	12	3.8	65	81	576	177	171	46	1401	1439	219	14	74	7	4	704	-817	218
9	Polygon	Los Sauces 8-9-5	27.2	10.9	12	4.8	68	82	571	176	167	45	1389	1218	245	7	81	5	5	952	-702	384
10	Polygon	Los Sauces 8-9-3	25.3	9.6	11.8	6.5	78	84	550	168	138	43	1197	530	339	1	53	2	7	1966	-335	1216
11	Polygon	Los Sauces 8-9-6	27.3	10.4	11.3	4.8	65	82	577	175	171	43	1315	1302	240	7	81	5	5	1159	-666	537
12	Polygon	Lumaco 8-9-2	25.5	10.1	11.8	5.8	75	85	562	175	147	42	1265	904	300	3	56	5	6	1418	-465	749
13	Polygon	Lumaco 7-9-1	25.8	10.7	11.6	5.2	71	84	559	176	157	43	1283	1164	260	5	60	5	5	974	-639	414
14	Polygon	Lumaco 8-9-5	26	11.5	12	3.6	67	82	571	177	166	44	1377	1455	216	15	64	6	4	850	-730	321
15	Polygon	Lumaco 8-9-6	26.5	10.6	11.5	5	66	83	565	177	168	44	1319	1218	250	6	70	5	5	1194	-640	561
16	Polygon	Lumaco 8-9-1	25.4	10.2	11.8	5.6	74	85	550	175	149	41	1223	988	281	3	55	5	5	1172	-538	570
17	Polygon	Puren 8-9-2	24.9	11.3	12.5	5.3	79	85	545	174	145	42	1327	973	270	4	49	5	6	1341	-471	690
18	Polygon	Puren 7-9-1	26	11.5	12.4	4.5	75	83	561	175	155	43	1400	1264	240	8	65	5	5	933	-652	357
19	Polygon	Puren 8-9-5	26.2	11.6	12.4	-4	73	82	565	174	159	43	1400	1371	227	12	68	6	4	801	-707	296
20	Polygon	Puren 8-9-3	24.5	9.5	11.9	5.2	79	85	531	162	134	39	1105	1218	248	5	43	2	7	2282	-266	1512
21	Polygon	Renaco 7-9-1	27.9	10.7	11.5	3.9	64	81	584	178	181	45	1449	1455	215	14	90	5	5	1047	-752	442
22	Polygon	Renaco 8-9-5	28	10.9	11.7	4.1	65	80	585	180	182	48	1456	1424	222	11	92	5	5	1035	-764	420
23	Polygon	Renaco 8-9-4	26.5	9.9	11.6	5	69	81	580	180	168	46	1446	1248	243	6	98	5	6	1715	-511	539
24	Polygon	Traiguén 7-9-1	26.4	10.8	11.3	3.8	67	84	575	176	167	41	1278	1524	214	14	68	5	4	998	-712	363
25	Polygon	Traiguén 8-9-5	25.6	11	11.4	4.4	66	84	562	176	163	42	1282	1394	232	9	57	6	4	830	-715	317
26	Polygon	Traiguén 8-9-6	25.9	10.6	10.8	3.7	68	86	572	176	164	39	1222	1608	209	16	60	5	5	947	-678	408
27	Polygon	Victoria 7-9-2	25.8	7.9	9.7	3.3	69	84	550	150	152	36	1042	2356	150	26	56	4	7	1660	-437	570
28	Polygon	Victoria 8-9-6	26.7	9.4	10.7	3.5	65	84	574	167	165	39	1233	1675	188	20	71	5	6	1465	-539	781
29	Polygon	Victoria 9-1	26.3	9.6	10.7	3.2	68	84	568	163	161	38	1159	1982	184	23	65	5	5	1256	-674	636

Figura 4. Variables agroclimáticas para cada zona o unidad que se encuentra disponible en el SHAPE\_UNIDADES\_VARIABLES. (Las siglas asociadas a cada variable están descritas en los anexos)

A continuación, se presenta el déficit hídrico como ejemplo de una de las variables obtenidas en la primera parte del estudio y necesarias para la obtención de los potenciales agroclimáticos.

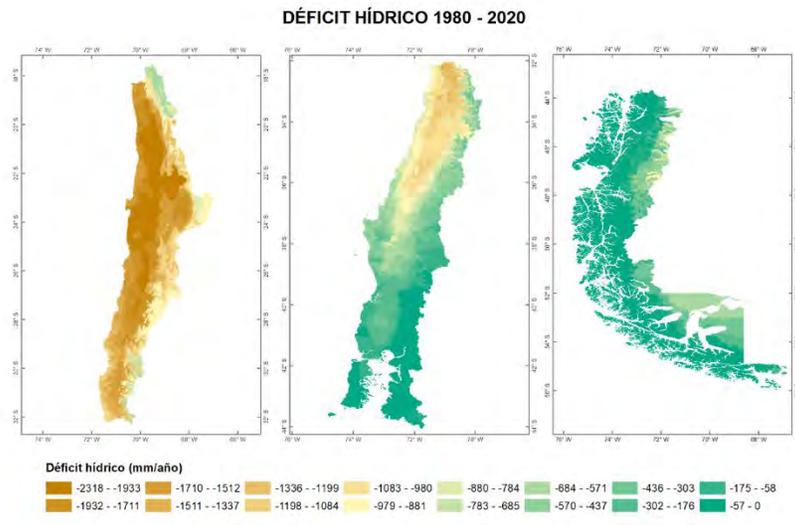


Figura 5. Déficit hídrico para todo el territorio chileno en el periodo 1980- 2020

## Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

Otro de los productos proporcionados en el estudio se presenta en formato shape y como una herramienta modificable (HERRAMIENTA\_INDICES\_FRUTALES\_CULTIVOS\_V3.xlsm). Esto se aplica a cada una de las especies, ya sean frutales, cultivos, praderas o forestales. Cada conjunto de datos incluye los índices relacionados con los distintos riesgos climáticos, así como el Índice de Aptitud Agroclimática específico para la especie.

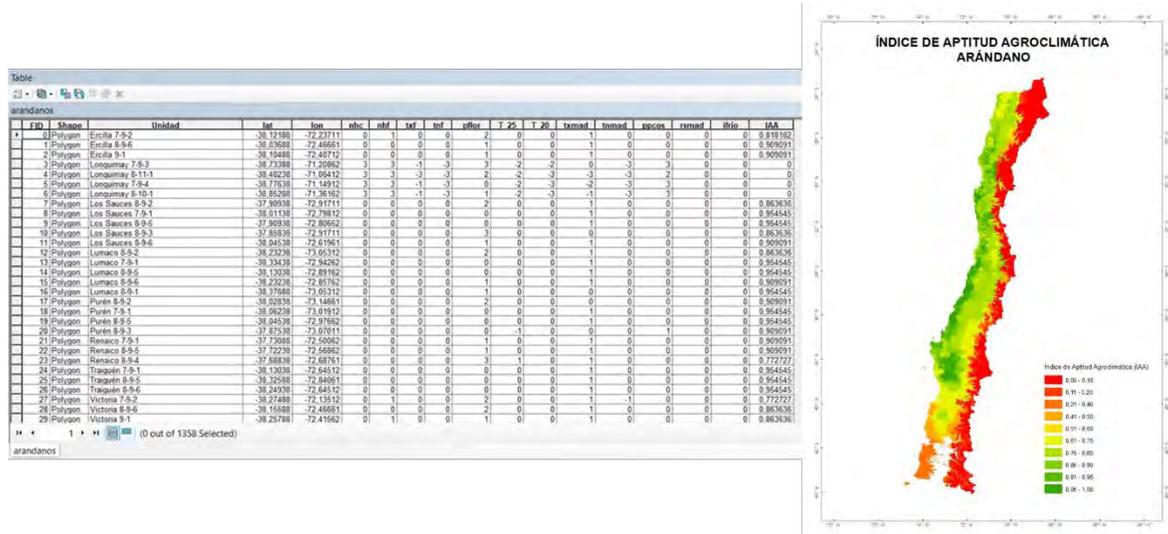


Figura 6. Tabla de atributos con las variables bioclimáticas utilizadas en el cálculo del IAA para arándanos y figura con el índice de aptitud agroclimática. (Las siglas asociadas a cada variable están descritas en los anexos)

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

Si se desea ajustar los ponderadores de las variables bioclimáticas utilizadas en el cálculo del potencial agroclimático, la herramienta facilita la recalibración del Índice de Aptitud Agroclimática (IAA) para cada especie, permitiendo modificar la ponderación asignada a cada variable. Los ponderados que aparecen en la figura 7 son los recomendados para el arándano y los utilizados en el estudio

UNIDAD	LATITUD	LONGITUD	nhc	nhf	txf	tnf	pflor	T 25	T 20	txmad	tnmad	ppcos	rsmad	ifrio	ÍNDICE FINAL
General Lagos 15-2-4	-17,78988	-69,54262	3	3	-3	-3	0	-2	-3	-3	-3	0	0	0	0,06
General Lagos 15-3-5	-17,85788	-69,60212	3	3	-3	-3	0	-2	-3	-3	-3	0	0	0	0,06
General Lagos 15-3-4	-18,07038	-69,73811	3	3	-3	-3	0	-2	-3	-3	-3	0	0	0	0,06
Putre 15-2-4	-18,29988	-69,29612	3	3	-3	-3	0	-2	-3	-3	-3	0	0	0	0,06
Putre 15-3-4	-18,39338	-69,56812	3	3	0	-1	0	-2	-3	-2	-3	0	0	0	0,27
Arica 15-3-3	-18,51238	-69,72961	0	0	3	0	0	1	0	1	0	0	0	-2	0,75
Arica 15-1	-18,52938	-70,16312	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	-3	0,70
Arica 15-2	-18,58038	-70,19712	0	0	2	1	0	2	0	1	1	0	0	-3	0,59
Arica 15-2-2	-18,58038	-69,90812	0	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	-3	0,68
Arica 15-3-4	-18,64838	-69,67012	3	3	-1	-3	0	-2	-3	-3	-3	0	0	0	0,11
Putre 15-3-5	-18,65688	-69,11761	3	3	-3	-3	0	-2	-3	-3	-3	0	0	0	0,06
Arica 15-2-3	-18,75038	-69,88261	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	-1	0,82
Camarones 15-2	-18,84388	-70,29912	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	-3	0,66
Camarones 15-3-4	-18,86938	-69,51712	3	3	-1	-2	0	-2	-3	-3	-3	0	0	0	0,15

Figura 7. Ejemplo de la herramienta que permite el cambio de los ponderadores entre 0 y 1 (W) para las variables bioclimáticas utilizadas en el cálculo del índice final (equivalente al IAA) por especies. (Las siglas asociadas a cada variable están descritas en los anexos)

## Determinación de zonas de similar productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

Para condición de riego y secano están disponibles shape y planillas donde se encuentran disponibles los IAA para todas las especies y el IPAC de riego y secano.

### Aptitud agroclimática para todas las especies bajo condiciones de riego

Unidad	LATITUD	LONGITUD	IAA ARAND	IAA AVELLA	IAA CEREZO	IAA CITR	IAA RUSAZN	IAA NOGAL	IAA PALTO	IAA UVA DE	IAA MANZAN	IAA MAIZ	IAA PAPA	IAA POROTO	IAA TOMATE	IAA TRIGO	IPAC Riego
Enfite 7-2	-38.12181	-72.23711	0.818152	1	0.607824	0.39	0.671429	0.486657	0.481481	0.533333	0.8384	0.75	0.9	0.92	0.62563	0.68833	
Enfite 8-6	-38.03688	-72.46951	0.909091	1	0.764694	0.512	0.642657	0.633333	0.527778	0.7	0.9596	0.84	1	1	0.691358	0.786229	
Enfite 8-1	-38.19488	-72.40712	0.909091	1	0.725476	0.44	0.607143	0.566667	0.527778	0.666667	0.9596	0.84	1	1	0.691358	0.786229	
Lonquimay 7-3	-38.73388	-71.20362	0	0.254865	0.058776	0.068	0.187143	0.1	0.183333	0.1	0.0708	0.2	0.26	0.4	0.197511	0.159815	
Lonquimay 8-11	-38.48238	-71.56412	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.086	0.074074	0.333333	
Lonquimay 7-5-4	-38.77638	-71.14912	0	0	0.019559	0	0.043	0.071429	0.066667	0.044444	0.033333	0	0	0	0.13502	0.071864	
Lonquimay 8-10-1	-38.86288	-71.36162	0	0.019559	0	0.018	0.036714	0.066667	0.044444	0.033333	0	0	0	0.12	0.13502	0.4	
Los Saucos 8-2	-37.89338	-72.31711	0.863636	1	0.764694	0.655	0.642657	0.633333	0.744444	0.7	0.767569	0.88	1	1	0.691358	0.836909	
Los Saucos 7-9-1	-38.01138	-72.19812	0.954545	1	0.921565	0.637	0.75	0.833333	0.643519	0.8	1	0.96	1	1	0.763086	0.966519	
Los Saucos 8-3-5	-37.90938	-72.50962	0.954545	1	0.882347	0.875	0.714286	0.733333	0.751704	0.766667	0.7172	0.96	1	1	0.691358	0.876382	
Los Saucos 8-3-3	-37.86938	-72.31711	0.863636	0.688271	0.56818	0.775	0.878571	0.633333	0.771296	0.666667	0.767669	0.72	0.9	1	0.62963	0.761092	
Los Saucos 8-8-6	-38.04538	-72.31961	0.909091	1	0.843129	0.778	0.678571	0.733333	0.684293	0.733333	1	0.96	1	1	0.763086	0.861754	
Lumaco 8-2	-38.23238	-73.03192	0.863636	0.921565	0.802912	0.8	0.878571	0.633333	0.771296	0.7	0.8788	0.84	1	1	0.62963	0.818611	
Lumaco 7-5-1	-38.33438	-72.34262	0.954545	0.960782	0.882347	0.85	0.714286	0.7	0.840714	0.766667	1	0.96	1	1	0.691358	0.870825	
Lumaco 8-5-6	-38.13038	-72.89162	0.954545	1	0.921565	0.562	0.714286	0.733333	0.597222	0.766667	1	0.96	1	1	0.691358	0.838571	
Lumaco 8-6-6	-38.23238	-72.87662	0.909091	1	0.843129	0.85	0.714286	0.7	0.684293	0.733333	1	0.96	1	1	0.763086	0.861754	
Lumaco 8-9-1	-38.37688	-73.03192	0.954545	0.921565	0.843129	0.825	0.714286	0.7	0.734444	0.7	0.9596	0.84	1	1	0.691358	0.844848	
Lumaco 8-2-2	-38.02638	-73.14661	0.909091	0.921565	0.802912	0.8	0.878571	0.666667	0.734444	0.7	0.8788	0.84	1	1	0.691358	0.831201	
Puán 7-5-1	-38.05938	-73.01912	0.954545	1	0.882347	0.778	0.714286	0.633333	0.735555	0.8	1	0.96	1	1	0.763086	0.867141	
Puán 8-5-5	-38.04538	-72.87662	0.954545	1	0.921565	0.684	0.714286	0.766667	0.687037	0.766667	1	0.96	1	1	0.763086	0.862143	
Puán 8-3-3	-37.87538	-73.07011	0.909091	0.843129	0.802912	0.775	0.842657	0.633333	0.568519	0.533333	0.738	0.84	0.9	0.92	0.62963	0.753764	
Renaico 7-5-1	-37.73088	-72.50062	0.909091	1	0.803912	0.537	0.733333	0.574074	0.4	1	0.96	1	1	1	0.763086	0.832346	
Renaico 8-3-5	-37.72238	-72.58862	0.909091	1	0.843129	0.634	0.75	0.766667	0.683889	0.8	1	0.96	1	1	0.763086	0.852293	
Renaico 8-4-4	-37.68838	-72.69711	0.863636	1	0.764694	0.8	0.714286	0.733333	0.637863	0.8	0.7172	0.95	0.9	1	0.691358	0.813427	
Trapelun 7-9-1	-38.13038	-72.64512	0.954545	1	0.843129	0.562	0.678571	0.666667	0.574074	0.733333	1	0.96	1	1	0.763086	0.825031	
Trapelun 8-5-5	-38.23238	-72.64061	0.954545	0.921565	0.802912	0.786	0.714286	0.666667	0.707497	0.733333	0.9596	0.88	1	1	0.691358	0.845902	
Trapelun 8-5-6	-38.24938	-72.64512	0.954545	0.960782	0.843129	0.537	0.642657	0.666667	0.559026	0.733333	1	0.96	1	1	0.691358	0.818015	
Victoria 5-2	-38.27488	-72.33512	0.777277	0.882347	0.568606	0.318	0.392857	0.433333	0.389519	0.466667	0.7172	0.6	0.75	0.72	0.647901	0.933333	
Victoria 8-4-6	-38.15088	-72.46951	0.863636	1	0.725476	0.455	0.714286	0.633333	0.527778	0.633333	0.8788	0.84	1	1	0.691358	0.75396	
Victoria 8-1	-38.26788	-72.11562	0.863636	1	0.725476	0.455	0.607143	0.566667	0.52483	0.566667	0.9596	0.84	1	1	0.62963	0.756296	
Victoria 8-14-1	-38.23238	-71.98192	0.836364	0.764694	0.411735	0.383	0.357143	0.4	0.34537	0.3	0.6384	0.48	0.6	0.79	0.444444	0.833333	
Castro 10-3	-42.47388	-73.97961	0.272727	0.333	0.037984	0.34	0.18571	0.166667	0.169185	0.1	0.192	0.04	0.12	0.12	0.197511	0.4	
Castro 10-1	-42.42288	-73.83511	0.363636	0.529389	0.372518	0.463	0.321429	0.333333	0.316667	0.3	0.394	0.2	0.4	0.52	0.320988	0.666667	
Castro 10-4	-42.48238	-73.98912	0.363636	0.647041	0.372518	0.277	0.357143	0.366667	0.271148	0.366667	0.4344	0.32	0.5	0.6	0.320988	0.733333	
Chonchi 10-3	-42.53338	-73.98111	0.318182	0.333	0.264865	0.356	0.285714	0.2	0.316667	0.166667	0.2304	0.24	0.4	0.52	0.320988	0.5	
Chonchi 10-1	-42.69488	-73.99662	0.272727	0.294862	0.264865	0.356	0.285714	0.233333	0.271037	0.2	0.2728	0.16	0.15	0.12	0.29259	0.433333	
Chonchi 10-4	-42.72038	-73.71562	0.363636	0.568606	0.372518	0.277	0.321429	0.266667	0.271148	0.366667	0.394	0.32	0.5	0.6	0.320988	0.733333	
Curaco de Vialaz 10-4	-42.42288	-73.88012	0.454545	0.607824	0.372518	0.309	0.357143	0.366667	0.296296	0.333333	0.4344	0.32	0.5	0.6	0.320988	0.733333	
Dalcahue 10-3	-42.20938	-73.99662	0.318182	0.333	0.264865	0.356	0.285714	0.266667	0.293519	0.166667	0.2304	0.16	0.11	0.2	0.320988	0.5	
Dalcahue 10-1	-42.31238	-73.83511	0.363636	0.456953	0.372518	0.525	0.321429	0.333333	0.316667	0.3	0.3536	0.32	0.35	0.52	0.320988	0.666667	
Dalcahue 10-4	-42.28838	-73.62662	0.363636	0.647041	0.372518	0.309	0.357143	0.333333	0.271148	0.366667	0.4344	0.32	0.5	0.6	0.320988	0.733333	
Puqueldón 10-4	-42.61938	-73.83192	0.363636	0.647041	0.372518	0.277	0.357143	0.366667	0.271148	0.333333	0.4344	0.36	0.5	0.6	0.320988	0.733333	
Queñén 10-4	-42.82238	-73.52911	0.318182	0.411735	0.333	0.115	0.214286	0.266667	0.169185	0.233333	0.4344	0.36	0.5	0.6	0.320988	0.733333	
Queñén 10-1	-43.13688	-74.02211	0.363636	0.607824	0.372518	0	0	0	0	0	0.394	0.15	0.35	0.32	0.12346	0.566667	
Queñén 10-2	-43.00938	-73.66511	0.363636	0.607824	0.372518	0.212	0.321429	0.333333	0.25	0.333333	0.4344	0.36	0.6	0.6	0.320988	0.733333	
Queñén 11-1	-43.26438	-74.38761	0.019559	0.372518	0	0	0	0.021296	0	0.3192	0.2	0.25	0.28	0.13502	0.433333	0.131771	
Queñén 10-4	-42.21888	-73.46192	0.363636	0.647041	0.372518	0.277	0.357143	0.366667	0.296296	0.333333	0.4344	0.24	0.65	0.6	0.320988	0.733333	
Queñén 10-4	-42.49238	-73.46192	0.454545	0.647041	0.411735	0.262	0.357143	0.333333	0.342593	0.366667	0.4748	0.32	0.6	0.6	0.320988	0.766667	
Calbuco 14-10-3	-41.72988	-73.20111	0.454545	0.647041	0.459953	0.372	0.328571	0.4	0.319444	0.4	0.5566	0.36	0.8	0.8	0.444444	0.833333	
Calbuco 14-10-1	-41.63238	-73.48962	0	0.725476	0.459953	0.372	0.428571	0.4	0.345937	0.4	0.5566	0.44	0.85	0.72	0.60173	0.9	
Cochams 8-11-1	-42.11688	-71.99911	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12346	0.166667	
Cochams 8-10-1	-41.06688	-72.10912	0.181818	0.294862	0.174286	0.016	0.242857	0.166667	0.206481	0.166667	0.2304	0.2	0.32	0.25059	0.6	0.23709	
Cochams 14-10-4	-41.63238	-72.40712	0.318182	0.333	0.215647	0.043	0.214286	0.137037	0.137037	0.133333	0.2788	0.2	0.25	0.28	0.25059	0.566667	
Cochams 10-3	-41.69188	-72.34762	0.409091	0.459953	0.294862	0.093	0.25	0.266667	0.206481	0.166667	0.2596	0.24	0.6	0.48	0.320988	0.766667	
Cochams 10-11-2	-42.16538	-71.71412	0.090909	0.137129	0.019559	0	0.037143	0.133333	0.113889	0.066667	0.1152	0.04	0.11	0.12	0.197511	0.433333	
Cochams 9-11-1	-41.84688	-71.89712	0.0														

# Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPS)

Aptitud agroclimática para todas las especies bajo condiciones de secano  
Se incluye praderas y plantaciones forestales

The image shows a spreadsheet titled 'Índice Secano' with columns for various species and their attributes. The columns include: ID, Nombre, Unidad, LATITUD, LONGITUD, IAA ARANJAZ, IAA AVELLA, IAA CEBEZO, IAA CITRUA, IAA DURAZO, IAA NOGALIA, IAA PALTORA, IAA UVA, IAA PERA, IAA MANZANA, IAA MACCHA, IAA PAPAIA, IAA PORRIA, IAA TOMATE, IAA TRINGO, IAA PRADIA, IAA CAICA, IAA PINO, and IPAC\_Riego. The IPAC\_Riego column is circled in red. The table contains data for 67 different locations across various regions of Chile, such as Puyallón, Curanilahue, and Quilón.

Índice de potencial agroclimático del sector o unidad  
Promedio de los IAA de todas las especies

Figura 9. Descripción de la tabla de atributos de los IAA por especie e IPAC por sector en condiciones de riesgo. Se incorporaron uvas viníferas de cepa blanca y tinta y praderas con una mayor tolerancia a las bajas temperaturas en la zona austral

Dentro de la herramienta, se disponen de hojas de cálculo específicas utilizadas para el cálculo del IPAC tanto para riego como para secano. El IPAC considera el promedio de los IAA de las especies por zonas (ecuación 2).

A continuación, se presenta como ejemplo la hoja de cálculo que contiene el potencial productivo de las especies condiciones de riego y el promedio de ellas (IPAC\_Riego)

## Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

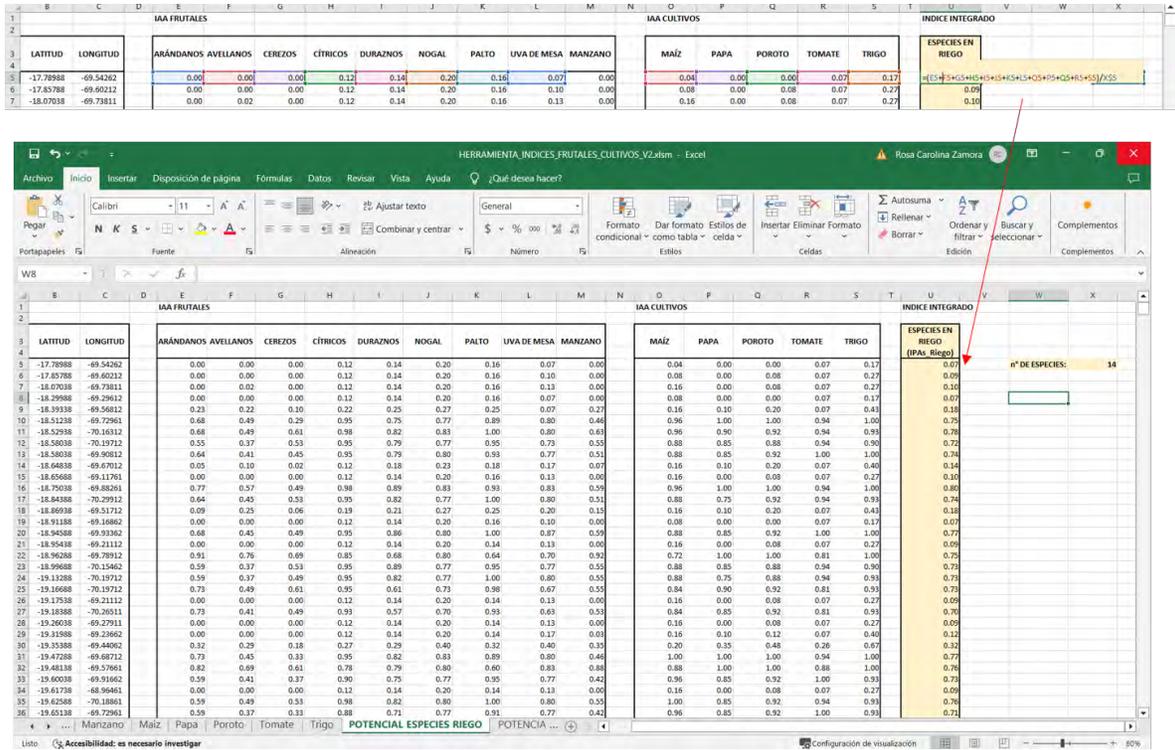


Figura 10. Descripción de la planilla donde se realiza el cálculo de IPAC para el conjunto de las especies por zonas. Se incorporaron uvas viníferas de cepa blanca y tinta.

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

En muchos casos la aptitud productiva es común a especies afines. Para extender el alcance de la evaluación de la productividad, se pueden hacer las analogías siguientes entre especies:

Tabla 1. Potencial productivo para especies análogas o próximas en sus requerimientos bioclimáticos

Arándano	Frambuesa
Avellano	
Cerezo	
Manzano	Peral
Cítricos	Naranja, Limón, Lima, Mandarina
Durazno	Ciruela, Nectarino, Almendro, Olivo
Nogales	
Palto	
Uva de mesa	Kiwi
Maíz	Pimentón, Girasol, Esparrago, Sorgo, Zapallo, Melón, Sandía
Papa	Cebolla, Ajo, Remolacha, Repollo, Raps
Poroto	Garbanzo, Lenteja
Tomate	Arroz
Trigo	Cebada, Centeno, Avena
Eucalipto	
Pino	

## Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

Además, se incluye una clasificación del Índice de Potencial Agroclimático (IPAC) que se ajusta de acuerdo a su potencial productivo en intervalos de 0.2, abarcando categorías desde muy bajo hasta muy alto. Esta clasificación proporciona una perspectiva clara sobre el rendimiento agroclimático de cada zona, permitiendo una evaluación más detallada de su idoneidad para diversos cultivos y actividades agrícolas.

### IPAC calculado usando todas las especies en condición de riego

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data and classification table:

UNIDAD	LATITUD	LONGITUD	IPAC	POTENCIAL
General Lagos 15-2-4	-17.78988	-69.54262	0.07	MUY BAJO
General Lagos 15-3-5	-17.85788	-69.60212	0.09	MUY BAJO
General Lagos 15-3-4	-18.07038	-69.73811	0.10	MUY BAJO
Putre 15-2-4	-18.29988	-69.29612	0.08	MUY BAJO
Putre 15-3-4	-18.39338	-69.56812	0.20	MUY BAJO
Arica 15-3-3	-18.51238	-69.72961	0.81	MUY ALTO
Arica 15-1	-18.52938	-70.16312	0.84	MUY ALTO
Arica 15-2	-18.58038	-70.19712	0.78	ALTO
Arica 15-2-2	-18.58038	-69.90812	0.80	ALTO
Arica 15-3-4	-18.64838	-69.67012	0.15	MUY BAJO
Putre 15-3-5	-18.65688	-69.11761	0.10	MUY BAJO
Arica 15-2-3	-18.75038	-69.88261	0.86	MUY ALTO
Camarones 15-2	-18.84388	-70.29912	0.80	ALTO
Camarones 15-3-4	-18.86938	-69.51712	0.19	MUY BAJO
Camarones 15-2-4	-18.91188	-69.16862	0.08	MUY BAJO
Camarones 15-2-3	-18.94588	-69.93362	0.83	MUY ALTO
Camarones 15-3-5	-18.95438	-69.21112	0.10	MUY BAJO
Camarones 15-3-3	-18.96288	-69.78912	0.81	MUY ALTO
Camarones 15-2-2	-18.99688	-70.15462	0.79	ALTO
Camarones 15-3-2	-19.13288	-70.19712	0.78	ALTO
Huara 15-3-1	-19.16688	-70.19712	0.78	ALTO
Colchane 15-3-5	-19.17538	-69.21112	0.10	MUY BAJO
Camarones 15-2-1	-19.18388	-70.26511	0.75	ALTO
Camilla 15-2-4	-19.26038	-69.27911	0.10	MUY BAJO
Camilla 15-3-5	-19.31988	-69.23662	0.12	MUY BAJO

CLASIFICACIÓN	
IPAC	POTENCIAL PRODUCTIVO
0 > IPAC < 0.2	MUY BAJO
0.2 >= IPAC < 0.4	BAJO
0.4 >= IPAC < 0.6	MODERADO
0.6 >= IPAC < 0.8	ALTO
0.8 >= IPAC < 1	MUY ALTO

Figura 11. Clasificación sugerida para los IPAC

## Ejemplos

El uso del índice de potencial agroclimático (IPAC): En la figura 12, se presenta el índice de potencial agroclimático por sector para condiciones de riego en la región del Maule. Considerando la evaluación de los potenciales agroclimáticos, específicamente en la comuna de Colbún, se puede observar que, en el sector más occidental de la comuna, el IPAC es de 0.84, indicando un potencial productivo muy alto (tabla figura 11) al contar con riego y considerando la batería de especies utilizadas. Al desplazarse a un sector intermedio de la comuna, se observa que el potencial productivo disminuye a valores alrededor del 0.5, lo que implica un potencial moderado. Hacia la cordillera, el potencial productivo cae a valores alrededor de 0.2, indicando un potencial bajo o muy bajo, lo que sugiere que las producciones no son competitivas en esa área.

Es importante tener en cuenta que, en ausencia de riego, sería aplicar el IPAC para condiciones de secano. Las diferencias resultantes se presentarán en ejemplos posteriores para una mejor comprensión.

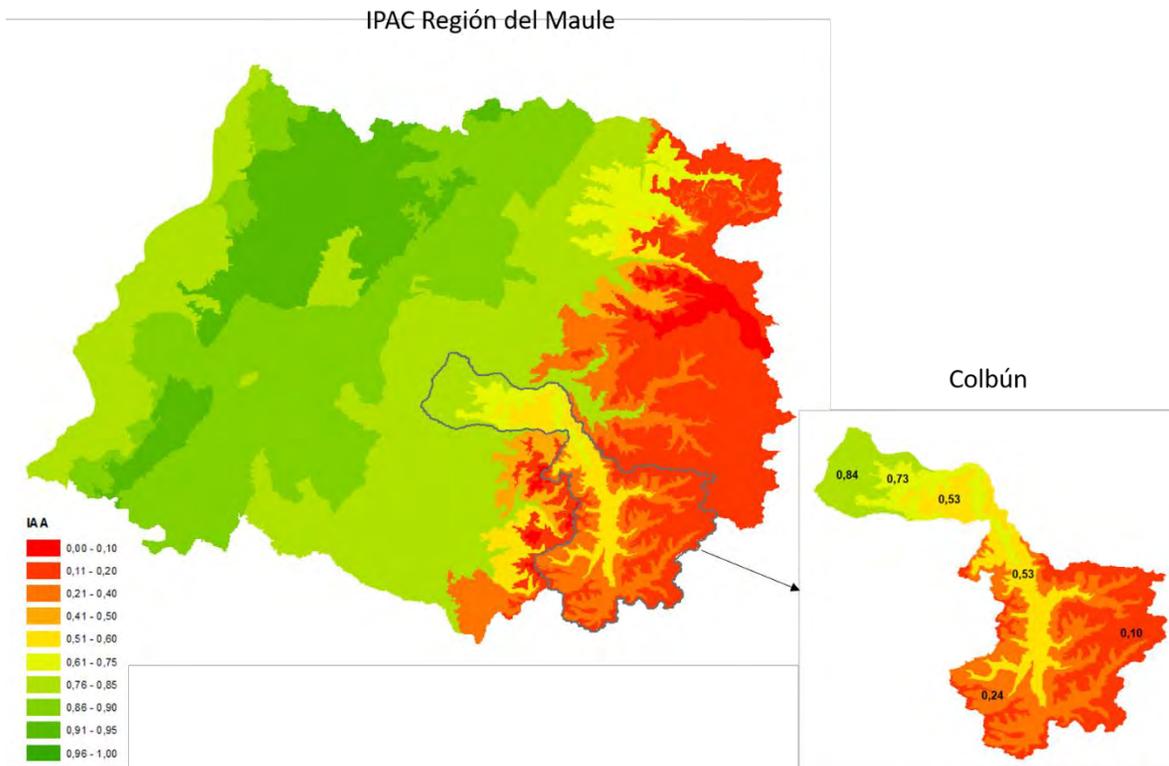


Figura 12. IPAC en condiciones de riego para la Región del Maule y la comuna de Colbún

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

En el caso de la figura 13, se presenta el índice de aptitud agroclimática para el arándano en riego. Se realiza un análisis para evaluar cómo podría verse afectada la rentabilidad de la unidad productiva considerando los factores agroclimáticos.

El índice representa la fracción del potencial máximo de ese cultivo tomando como referencia una condición óptima.

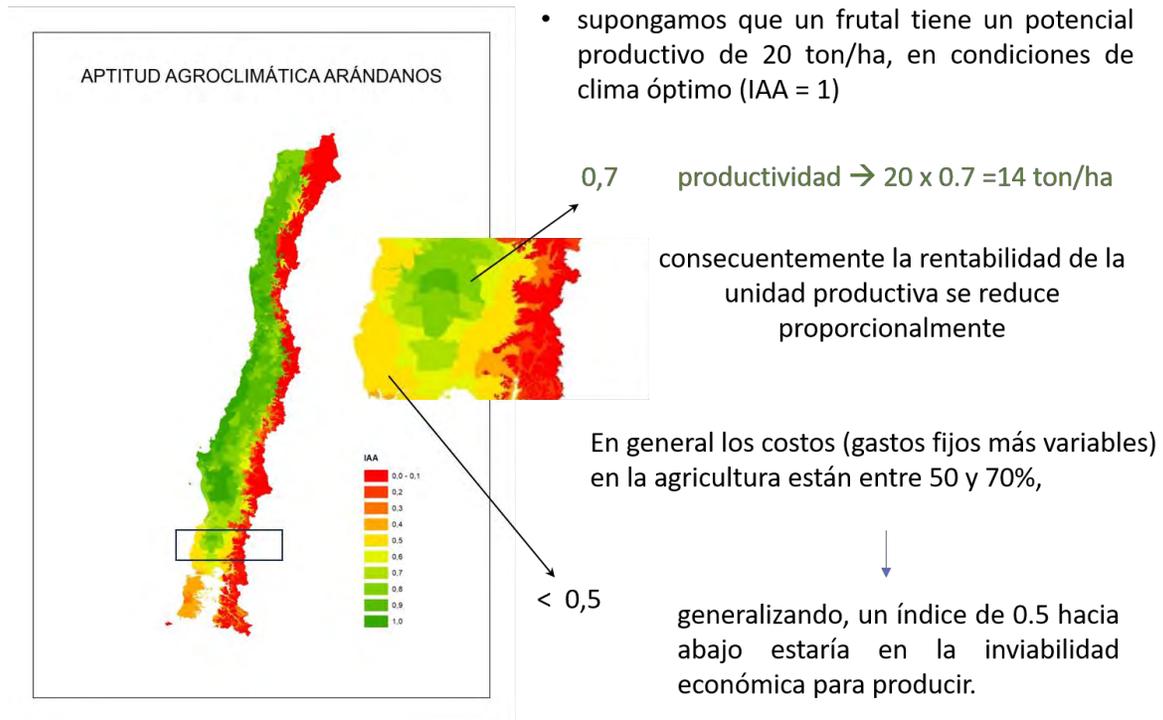


Figura 13. Aptitud agroclimática arándanos

Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

En cuanto al uso de los resultados para el caso de riego o secano se muestra el ejemplo de la figura 14. Un predio que cuenta con riego ubicado en el punto morado en la figura, tendría valores de IPAC de 0,6, indicando un alto potencial productivo según las condiciones agroclimáticas. Mientras que, si el predio carece de riego, es decir bajo una condición de secano, los valores de IPAC disminuirían a 0,27 de IPAC, representando un potencial productivo más bajo.

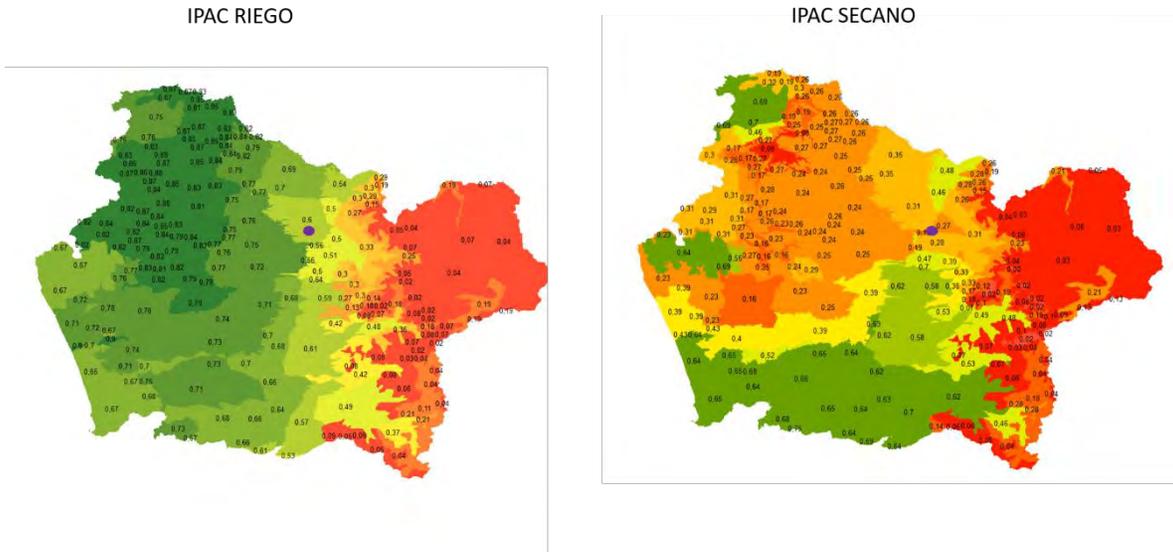


Figura 14. IPAC en condiciones de riego y secano para la Región de La Araucanía.

### Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

Las limitaciones del suelo son adicionales a las climáticas, las cuales, por analogía pueden tratarse de la misma forma. La inclusión de las variables de suelo está fuera del alcance de este proyecto, no obstante, sugerimos usar una escala de evaluación como la siguiente:

Clase I, factor 1

Clase II, factor 0.9

Clase III, factor 0.70

Clase IV, factor 0.5

Clase V, factor Clase Variable según la limitación transitoria

Clase VI, FACTOR 0.25

Clase VII, factor 0.1

Clase VIII, factor 0, no agrícola

El índice de capacidad productiva final para cada especie quedaría como sigue:

$$I_p = I_c * I_s$$

Donde,  $I_p$ : índice de potencial productivo clima-suelo,  $I_c$ : índice de potencial climático (IPAC),  $I_s$ : índice de clase de suelo,

## Anexo 1

El archivo adjunto **Unidades\_variables.shp** contiene variables agroclimáticas para cada unidad de similares condiciones climáticas al interior de cada comuna. El significado de las siglas presentes en el archivo se encuentra detallado a continuación:

**TXE:** Temperatura máxima enero (°C)

**TNE:** Temperatura mínima enero (°C)

**TNJ:** Temperatura mínima julio (°C)

**TXJ:** Temperatura mínima de julio (°C)

**HRE:** Humedad relativa enero (%)

**HRJ:** Humedad relativa julio (%)

**RSE:** Radiación solar enero (Cal/cm día)

**RSJ:** Radiación solar julio (Cal/cm día)

**ETE:** Evapotranspiración enero (mm)

**ETJ:** Evapotranspiración julio (mm)

**SDGA:** Suma días grados anuales. Días-grado o temperaturas efectivas ( $T > 10^{\circ}\text{C}$ ). Constituye un índice de disponibilidad de calor para el normal desarrollo y maduración de las especies vegetales. La mayor precocidad se obtendrá en los lugares con la mayor suma de temperaturas efectivas.

**SHFM:** Suma horas de frío mensuales. Suma número de horas en que la temperatura es inferior a  $7.2^{\circ}\text{C}$ .

**PLH:** Periodo libre de heladas (días).

**NTH:** Número total de heladas. Corresponde al número de días cuyas temperaturas mínimas caen bajo los  $0^{\circ}\text{C}$ , pudiendo con ello crear condiciones adversas, por congelación de los tejidos vegetales. Es una variable muy relevante para la sobrevivencia de las especies, particularmente aquellas de origen subtropical, más sensibles a las heladas.

## Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)

**DCAL:** Días cálidos. La mayoría de las plantas (principalmente especies templadas) y los animales comienzan a tener problemas con su balance térmico con temperatura por encima de los 25° C. Por esta razón a un día con temperatura máxima por encima de los 25° C se le denomina “día cálido”. Mientras más horas la temperatura permanezca por sobre 25°C menos eficiente se hace el metabolismo por cuanto gran parte del esfuerzo de plantas y animales será dedicado a neutralizar los posibles efectos adversos de las altas temperaturas.

**PSEC:** periodo seco. Período del año en que la precipitación es inferior al 50% de la demanda evapotranspirativa ( $pp < 0.5ET$ ). Cuando se produce esta condición normalmente los cultivos necesitan de riego para subsistir. (Número de meses donde  $pp/etp < 0.5$ ).

**PHUM:** Periodo Húmedo. Período del año en que la precipitación es superior a la demanda evapotranspirativa ( $pp > ET$ ). Cuando se produce esta condición, los suelos tienden a estar bien abastecidos de agua y, posiblemente, parte de la lluvia escurre, percola hacia las napas profundas o se acumula superficialmente. (Número de meses donde  $pp/etp \geq 0.5$ ).

**PPA:** Precipitación anual (mm)

**DEFH:** Déficit hídrico. El déficit hídrico es la diferencia negativa entre precipitación (P) y evapotranspiración (Et). Esto representa la cantidad de agua potencialmente evaporada que no está cubierta por la precipitación. Considerando que los suelos tienen una capacidad limitada para almacenar agua, el déficit hídrico es normalmente una expresión del estrés hídrico que las comunidades vegetales tienen que soportar a través del año. Existe una relación proporcional entre el déficit hídrico y el grado de aridez climática. El déficit anual de agua se calcula sumando las diferencias negativas mensuales ( $P - Et$ ).

**EXCH:** Excedente hídrico. El excedente de agua es la diferencia positiva entre la precipitación (P) y la evapotranspiración (Et). El excedente anual de agua se calcula sumando las diferencias positivas mensuales ( $P - Et$ ). Esta variable representa la cantidad de agua potencialmente disponible para escurrir superficialmente y alimentar los cursos de agua superficiales. La mayor parte del excedente de agua puede alimentar la corriente de ríos o infiltrarse en el suelo, alimentando las aguas subterráneas.

*Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)*

Descripción de las variables bioclimáticas y el índice de aptitud agroclimática y las siglas asociadas que se encuentran en el los shape de los cultivos y frutales, además en HERRAMIENTA\_INDICES\_FRUTALES\_CULTIVOS\_V3.xlsm. El significado de las siglas presentes en el archivo se encuentra detallado a continuación:

Unidad: Nombre de la comuna y número que identifica el distrito agroclimático al que pertenece.

lat: Latitud

lon: Longitud

nhc: índice de riesgo bioclimático asociado al número de heladas en el ciclo.

nhf: índice de riesgo bioclimático asociado al número de heladas en floración.

txf: índice de riesgo bioclimático asociado a las temperaturas máximas en floración.

tnf: índice de riesgo bioclimático asociado a las temperaturas mínimas en floración.

pflor: índice de riesgo bioclimático asociado a la precipitación en floración.

T\_25: índice de riesgo bioclimático asociado al número de días cálidos con temperaturas superiores a 25°C.

T\_20: índice de riesgo bioclimático asociado al número de días templados con temperaturas superiores a 20°C.

Txmad: índice de riesgo bioclimático asociado a las temperaturas máximas en maduración.

Tnmad: índice de riesgo bioclimático asociado a las temperaturas mínimas en maduración.

ppcos: índice de riesgo bioclimático asociado a la precipitación a la cosecha.

rsmad: índice de riesgo bioclimático asociado a la radiación solar a la maduración.

ifrio: índice de riesgo bioclimático asociado al índice de frío

HR: índice de riesgo bioclimático asociado humedad relativa en floración

IAA: índice de aptitud agroclimática

*Determinación de zonas de similar potencial productivo Silvoagropecuario (ZSPPS)*

IPAC: índice de potencial agroclimático integrado del sector o unidad

### Anexo 3

Descripción de las variables bioclimáticas y el índice de aptitud agroclimática y las siglas asociadas que se encuentran en el shape INDICE\_RIEGO e INDICE SECANO y en HERRAMIENTA\_INDICES\_FRUTALES\_CULTIVOS\_V3.xlsm

Unidad: Nombre de la comuna y número que identifica el distrito agroclimático al que pertenece.

lat: Latitud

lon: Longitud

IAA\_ARANDA: Índice de aptitud agroclimática para el arándano.

IAA\_AVELLA: Índice de aptitud agroclimática para el avellano.

IAA\_CEREZO: Índice de aptitud agroclimática para el cerezo.

IAA\_CITRI: Índice de aptitud agroclimática para los cítricos.

IAA\_DURAZN: Índice de aptitud agroclimática para el durazno.

IAA\_NOGAL: Índice de aptitud agroclimática para el nogal.

IAA\_PALTO: Índice de aptitud agroclimática para el palto.

IAA\_UVAMES: Índice de aptitud agroclimática para la uva de mesa.

IAA\_UVABLA: Índice de aptitud agroclimática para la uva vinífera de cepa blanca.

IAA\_UVATIN: Índice de aptitud agroclimática para la uva vinífera de cepa tinta.

IAA\_MANZAN: Índice de aptitud agroclimática para el manzano.

IAA\_MAIZ: Índice de aptitud agroclimática para el maíz.

IAA\_PAPA: Índice de aptitud agroclimática para la papa.

IAA\_POROTO: Índice de aptitud agroclimática para el poroto.

IAA\_TOMATE: Índice de aptitud agroclimática para el tomate.

IAAA\_TRIGO: Índice de aptitud agroclimática para el trigo.

PRADERA: Índice de aptitud agroclimática para la pradera (solo en seco).

IAA\_EUCALIPTO: Índice de aptitud agroclimática para el eucalipto (solo en seco).

PINO: Índice de aptitud agroclimática para el pino (solo en seco).

IPAC\_r: Índice de potencial agroclimático integrado del sector o unidad para condición de riego.

IPAC\_s: Índice de potencial agroclimático integrado del sector o unidad para condición de seco.

