

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EVENTOS ENOS EN EL SECTOR  
AGROPECUARIO DE LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE (V - IX REG.)**

**RODRIGO IGNACIO CABRERA LIRA**

**Santiago, Chile**

**2009**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EVENTOS ENOS EN EL SECTOR  
AGROPECUARIO DE LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE (V - IX REG.)**

**RISK EVALUATION OF ENSO EVENTS AFFECTING THE AGRICULTURAL  
SECTOR IN THE CENTRAL-SOUTH ZONE OF CHILE (V – IX REGIONS)**

**RODRIGO IGNACIO CABRERA LIRA**

**Santiago, Chile**

**2009**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EVENTOS ENOS EN EL SECTOR  
AGROPECUARIO DE LA ZONA CENTRO-SUR DE CHILE (V - IX REG.)**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero en Recursos  
Naturales Renovables.

**RODRIGO IGNACIO CABRERA LIRA**

<b>Profesor Guía</b>	<b>Calificaciones</b>
Sr. Fernando Santibáñez Q. Ingeniero Agrónomo, Dr. Es. Sci.	6,0
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Sr. Juan Manuel Uribe M. Ingeniero Agrónomo.	7,0
Sr. Wilfredo Vera E. Ingeniero Agrónomo, M.S.	7,0

**Santiago, Chile**

**2009**

*Dedicado a mis padres, Gabriel y Cecilia,  
mis hermanas y mi novia Lorena.*

## AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a quienes, de alguna u otra forma, colaboraron en el desarrollo de esta memoria, en especial a mi familia, por el amor y apoyo incondicional que siempre me han dado, ayudándome a crecer como persona y a enfrentar con fortaleza los desafíos de la vida.

A Lorena, quien con su amor, apoyo y comprensión fue un pilar fundamental en el término de esta etapa de mi vida.

A mi profesor guía Don Fernando Santibáñez, por su interés y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A Juan Manuel Uribe, por su amistad, apoyo y su valioso conocimiento entregado durante esta etapa, y por haberme animado a concluirla.

A Don Wilfredo Vera, por la revisión y aportes entregados a esta memoria.

A Paula Santibáñez, por sus consejos en el uso de programas e información proporcionada para este trabajo.

A mis amigos y amigas de la vida, especialmente a Francisco “Pancho” Alfaro y Eduardo “Lalo” Lagos. De igual manera a Cecilia Melillán, por su amistad y apoyo durante este proceso.

Y a mi querida “Montaña”, por la paz y serenidad otorgada en los momentos difíciles.

Muchas Gracias...

## ÍNDICE

RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
Objetivo General .....	13
Objetivos Específicos .....	13
MATERIALES Y MÉTODO .....	14
Área de Estudio .....	14
Materiales .....	15
Metodología .....	15
Información Base .....	15
Recopilación de la información .....	15
Clasificación de eventos El Niño y La Niña .....	16
Selección de la información .....	16
Procesamiento de la información .....	18
Generación y trazado de isoyetas .....	18
Interpolación de las cartas de isoyetas .....	20
Método Natural Neighbor .....	21
Evaluación de la Amenaza .....	22
Evaluación de la Vulnerabilidad .....	26
Cálculo de los índices componentes de la vulnerabilidad .....	26
Índice de fragmentación de tenencia de la tierra (FT) .....	26
Índice del balance riego/secano (IRS) .....	27
Índice de ruralidad (IRU) .....	28
Índice de intensidad de la agricultura (IT) .....	29
Índice de vulnerabilidad global de la agricultura (VA) .....	30
Evaluación del Riesgo .....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33

Análisis espacial de los escenarios pluviométricos asociados a los eventos El Niño y La Niña de intensidad Fuerte.....	33
Análisis de la Amenaza.....	38
Análisis de los índices componentes de la vulnerabilidad del sistema agrícola .....	40
Fragmentación de la propiedad agrícola .....	40
Balance Riego/Secano.....	40
Intensidad de la agricultura .....	41
Ruralidad .....	42
Vulnerabilidad Global de la agricultura .....	43
Análisis del Riesgo.....	44
CONCLUSIONES .....	48
BIBLIOGRAFÍA. ....	49
ANEXO.....	51
APÉNDICE.....	64

## RESUMEN

El Niño – Oscilación del Sur (ENOS), es un fenómeno climático natural que se desarrolla en las aguas del Océano Pacífico Tropical. Consiste en una fluctuación entre una fase cálida, conocida como El Niño, y una fase fría, conocida como La Niña. En Chile, la agricultura se ve altamente afectada ante la presencia de estos fenómenos, debido a las características ambientales asociadas a ellos. En la zona central, El Niño se asocia a una intensificación de las precipitaciones en invierno. La Niña, en cambio, se manifiesta con un notable déficit pluviométrico, provocando un impacto adverso en la agricultura, debido principalmente a la falta de agua.

El objetivo de esta memoria fue evaluar el riesgo que presenta el sector agropecuario de la zona centro-sur de Chile ante la presencia de eventos El Niño y La Niña, considerando la vulnerabilidad que presentan las distintas comunas. Para este propósito, fueron generados diferentes escenarios pluviométricos.

Se consideraron cuatro condiciones de precipitación, correspondientes a dos eventos cálidos de El Niño (Moderado y Fuerte) y dos eventos fríos de La Niña (Moderado y Fuerte). En todos los casos, fue usado como referencia un escenario normal de precipitaciones. Luego, combinando la amenaza asociada a cada fenómeno natural con la vulnerabilidad que presenta el sector agropecuario, fue determinado el nivel de riesgo al cual están expuestos estos sistemas.

Los resultados revelaron dos áreas de riesgo claramente definidas. La primera de ellas la constituyen las regiones de Valparaíso, Metropolitana y el sector oriente de la región del Gral. Libertador Bernardo O’Higgins, donde la mayor parte de las comunas presentan bajos niveles de riesgo. La segunda, en cambio, está formada por las regiones del Maule, del Bío-Bío y La Araucanía, las cuales presentan altos niveles de riesgo.

En síntesis, la metodología utilizada permitió determinar áreas de riesgo asociadas a los efectos que el ENOS tiene sobre el comportamiento del régimen de precipitaciones de la zona centro-sur de Chile. Además, el método propuesto podría ayudar al establecimiento de medidas de prevención ante una potencial amenaza de sequías o lluvias intensas asociadas a episodios ENOS.

Palabras Clave: ENOS, riesgo climático, vulnerabilidad, precipitaciones, sequías.

## ABSTRACT

El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is a natural climatic phenomenon that develops in the waters of the Tropical Pacific Ocean. It consists of a fluctuation between a warm phase, known as El Niño, and a cold one, known as La Niña. Chilean agriculture is highly affected by the presence of these phenomena, due to the environmental characteristics associated to them. In the central zone, El Niño is associated to an intensification of rainfall in the winter. Conversely, La Niña manifests itself with a remarkable pluviometric deficit, causing an adverse impact on agriculture mainly due to the lack of water.

The objective of this thesis was to evaluate the risk at which the agricultural sector (devoted to both plant and animal production) of the central-south zone of Chile is exposed to in the presence of El Niño and La Niña events, considering the vulnerability the different communes. Different pluviometrics sceneries were generated for this purpose.

Four rainfall conditions were considered. They included two El Niño warm events (Moderate and Strong) and two La Niña cold ones (Moderate and Strong). In all cases a normal scenery was used as reference. Then, combining the hazard associated to each natural phenomenon with the vulnerability of the agricultural central-south zone of Chile, the level of risk to which these systems are exposed was determined.

The results revealed two clearly defined risk areas. The first one includes the Valparaíso and Metropolitan regions as well as the eastern sector of the General Libertador Bernardo O'Higgins region, where most of the communes present low risk levels; the second one is made up of the Maule, Bío-Bío and La Araucanía regions, which show high risk levels.

To conclude, the methodology tested allowed to establish risk areas associated to ENSO effects on the rainfall regime of the central-south zone of Chile. Also, the proposed method could help in establishing prevention measures in the presence of a potential hazard of drought or intense rain associated to ENSO episodes.

Keywords: ENSO, climatic risk, vulnerability, rainfall, droughts.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, diversas investigaciones oceanográficas y meteorológicas demuestran la existencia de eventos climáticos extremos de escala global, asociados a interacciones inestables entre el océano y la atmósfera. Uno de los eventos de interacción océano-atmósfera que repercute con mayor intensidad en diversos aspectos de nuestro medio geográfico, es el fenómeno conocido como “El Niño – Oscilación del Sur” (ENOS) (Avaria *et al.*, 2004). Este fenómeno natural se asocia a una perturbación interanual del sistema climático, donde el océano y la atmósfera actúan conectadamente en las aguas del Océano Pacífico Tropical (Rodríguez, 1999).

El ciclo ENOS consiste en una fluctuación entre una fase cálida, conocida como El Niño, y una fase fría, conocida como La Niña. La fase cálida de ENOS se manifiesta principalmente por un aumento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y una disminución de los vientos alisios en el lado Este del Océano Pacífico. Estas condiciones anómalas generan fuertes precipitaciones y cambios notables en el clima, tanto en los países ribereños del Pacífico Suroriental, como en otras partes del mundo. La fase inversa o fría de ENOS, se caracteriza por presentar TSM más frías que lo normal, intensificación de los vientos alisios en el Este del Océano Pacífico y períodos de sequía (Maturana *et al.*, 2004). Cabe señalar que el concepto de sequía corresponde a la definición de tipo meteorológico, entendido como un “fenómeno que ocurre durante uno o varios meses cuando hay una ausencia prolongada, una deficiencia marcada o una pobre distribución de la precipitación pluvial que afecta adversamente las actividades humanas y agrícolas” (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales [INETER] / Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación [COSUDE], 2005).

En el escenario actual, debido al cambio climático global, al crecimiento demográfico mundial y al desarrollo tecnológico que atenta contra el medio ambiente, la vulnerabilidad de la población mundial frente a eventos atmosféricos de alcance mayor, como son El Niño y La Niña, ha aumentado, siendo difícil cuantificar sus efectos en toda su magnitud.

En la relación clima-agricultura hay dos conceptos clave: el de riesgo y vulnerabilidad. Riesgo es el resultado de la existencia de un peligro latente, asociado con la posibilidad que se presenten fenómenos peligrosos para la producción, y ciertas características propias o intrínsecas de la sociedad que la predisponen a sufrir daños en diversos grados (Cardona, 2001). Vargas (2002) define el riesgo como la “magnitud probable de daño de un ecosistema específico o en algunos de sus componentes, en un período determinado, ante la presencia de una actividad con potencial peligroso”.

El riesgo, entonces, estaría definido por dos elementos básicos: la amenaza y la vulnerabilidad. La primera, que constituye el factor externo del riesgo, está representada por “la magnitud y duración de una fuerza o energía potencialmente peligrosa, por su capacidad de destruir o desestabilizar un ecosistema o los elementos que lo componen, y la

probabilidad de que esa energía se desencadene”; la segunda, en tanto, constituye el factor interno de riesgo y corresponde a la “propensión interna de un ecosistema o de algunos de sus componentes a sufrir daño ante la presencia de determinada fuerza o energía potencialmente destructiva (Vargas, 2002). De lo anterior se desprende que, para que exista riesgo, debe necesariamente existir una condición de amenaza frente a la cual el sujeto o sistema debe estar expuesto y ser vulnerable (Cardona, 2001).

Uno de los riesgos más importantes en el sector agropecuario lo constituye la sequía o las lluvias intensas; lo anterior no sólo se debe a la sensibilidad que presentan estos sistemas frente a éstas anomalías climáticas sino que, además, los daños derivados de la presencia de los eventos El Niño y La Niña suelen verse agravados por condiciones regionales propias, tales como imprevisión frente al potencial riesgo climático, el uso de espacios físicos vulnerables o por la presencia de una topografía que puede atenuar o amplificar su impacto (González, 2004).

Según González (1995), cuando los elementos del clima se mantienen en torno a valores normales, no se producen problemas en los cultivos, al contrario, pueden beneficiarse logrando óptimas producciones. Sin embargo, basta que una de estas variables se desvíe, de forma positiva o negativa respecto a la normal, para que se produzcan daños en la agricultura. Éstos dependerán no sólo de la magnitud de la variación, sino también del tiempo que permanezcan en ese estado.

En Chile, la agricultura se ve altamente afectada ante la presencia de los fenómenos de El Niño y La Niña, debido a las características ambientales asociadas a cada uno de ellos. En la zona central, El Niño se asocia a una intensificación de las precipitaciones y un aumento en la temperatura del aire, especialmente en invierno. Esto provoca enormes daños por inundaciones, afectando directamente a los cultivos, la ganadería, los invernaderos y, en general, la infraestructura predial de riego. Además, altera el ciclo vegetativo de los cultivos, tanto por la falta del frío necesario para los frutales caducifolios como por las condiciones ambientales altamente propicias para el desarrollo y proliferación de plagas y enfermedades vegetales (Sepúlveda & Piuzzi, 2005).

Por otra parte, La Niña se manifiesta con un notable déficit pluviométrico y un marcado descenso de las temperaturas en otoño y primavera, provocando un impacto adverso en la agricultura, debido principalmente a la falta de agua. El descenso térmico produce una mayor ocurrencia de heladas, poniendo en riesgo no sólo la floración y posterior cosecha de los cultivos, sino también al ganado mayor y menor recién nacido (Sepúlveda & Piuzzi, 2005).

Lo vulnerable que está el ser humano frente a estos fenómenos climáticos, hace necesario investigar las causas que los generan e intentar modelar sus variables. Lo anterior, permitirá minimizar sus impactos en el medio agrícola, reduciendo las pérdidas económicas.

De este modo, el presente estudio pretende evaluar el riesgo que presentan los sistemas agropecuarios de la zona centro-sur de Chile ante la presencia de eventos El Niño y La

Niña, generando escenarios que describan cuantitativa y cualitativamente su distribución espacial mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de proporcionar una base para la planificación de medidas de prevención ante una potencial amenaza de sequías o lluvias intensas.

## **Objetivo General**

Determinar áreas de riesgo asociadas a los efectos que los eventos de El Niño y La Niña tienen sobre el comportamiento del régimen de precipitaciones de la zona centro-sur de Chile (V – IX reg.), de acuerdo al grado de vulnerabilidad que presenta el sector agropecuario en las distintas comunas de la zona de estudio.

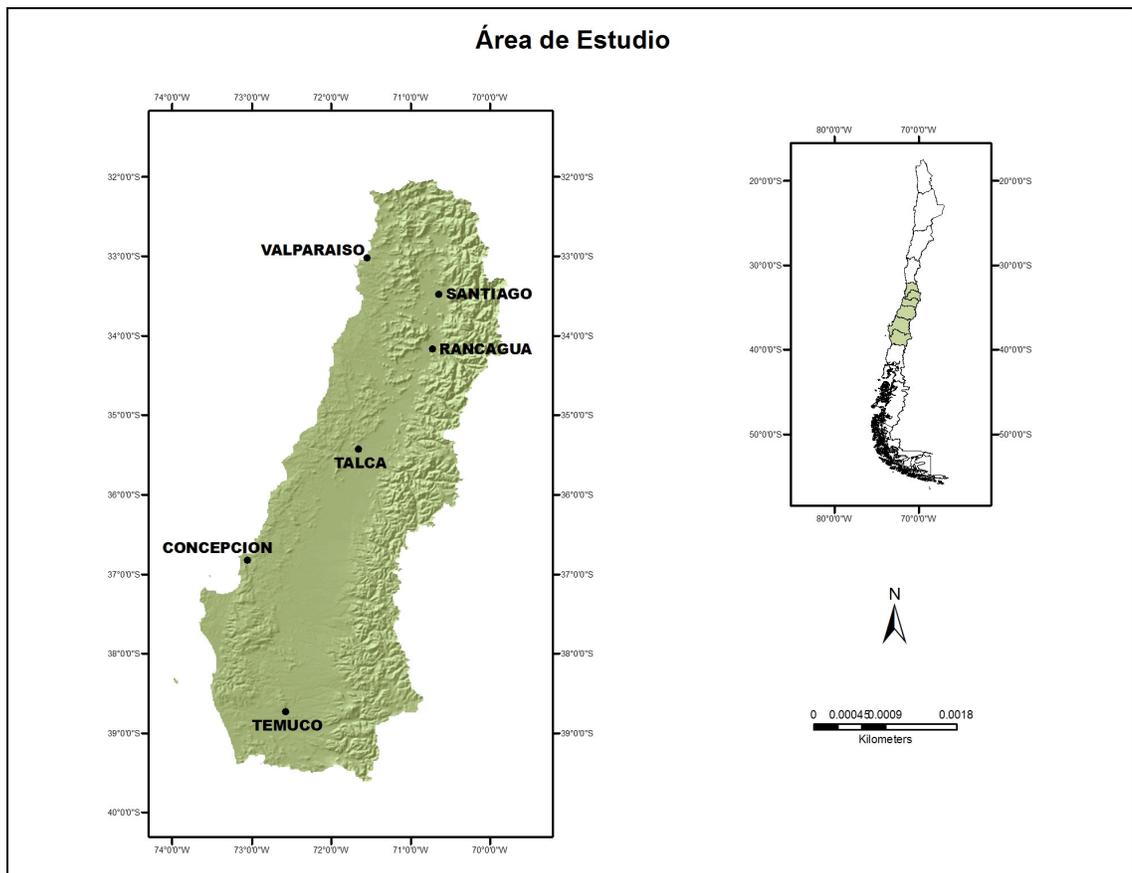
## **Objetivos Específicos**

1. Determinar la distribución espacial de las anomalías pluviométricas asociadas a un evento cálido de El Niño y frío de La Niña, con el fin de delimitar la extensión territorial del área potencialmente afectable por cada uno de estos fenómenos extremos y compararlos con el régimen normal de precipitación.
2. Determinar la vulnerabilidad para el sector agropecuario frente a un evento de El Niño y La Niña, con la finalidad de delimitar áreas homogéneas o zonas con distintos grados de vulnerabilidad.
3. Determinar, espacialmente, áreas con distintos niveles de riesgo, relacionando el tipo de evento (El Niño/La Niña) y la vulnerabilidad que presenta el sector agropecuario en la zona de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Área de Estudio

El presente estudio se realizó en la zona centro-sur de Chile, específicamente en el área comprendida entre las regiones de Valparaíso y de La Araucanía, zona ubicada entre los 32° y 39° 40' S, aproximadamente (Figura 1).



**Figura 1.** Cartografía de la zona de estudio.

De acuerdo a la clasificación bioclimática propuesta por Di Castri y Hajek (1976), el área de estudio se encuentra dentro de la zona bioclimática mediterránea (subtipos semiárido, subhúmedo, húmedo y perhúmedo). Esta zona muestra cierta diferenciación en sentido longitudinal, presentando un tipo mediterráneo marino y uno interior que es más evidente en sectores donde la Cordillera de la Costa presenta mayor desarrollo, dificultando la penetración de las masas de aire marino, lo cual da lugar a una región más húmeda en la

costa y seca en el interior del continente. Además de la diferenciación longitudinal, esta zona muestra diferencias latitudinales, donde la más evidente es la progresiva disminución de la aridez de norte a sur. Este gradiente latitudinal y longitudinal se ve alterado en forma local por factores como la humedad elevada y neblinas persistentes en el sector costero de la zona norte, el aumento de las precipitaciones en el sector preandino, o la penetración de masas de aire de origen marino por los valles hacia el interior.

## **Materiales**

Para la elaboración del presente estudio, se utilizaron los siguientes materiales:

- Datos de precipitación media mensual, proporcionados por la Dirección General de Aguas (DGA) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).
- Datos estadísticos de población urbana y rural (INE, 2002).
- Datos estadísticos de tipo de tenencia de la tierra y superficie asociada a cada clase; superficie de riego, secano y total cultivada; superficie total cultivada por cada rubro productivo (INE, 2007).
- Cartografía digital con la división político-administrativa de Chile (IGM).
- Cartografía topográfica a escala 1:1.000.000 (IGM).
- Atlas agroclimático de Chile, regiones V y Metropolitana (Santibáñez y Uribe, 1990).
- Atlas agroclimático de Chile, regiones VI, VII, VIII y IX (Santibáñez y Uribe, 1993).
- Computador personal (PC).
- Planilla electrónica Excel.
- Software de Sistemas de Información Geográfica.

## **Metodología**

### **Información Base**

La información pluviométrica base que permitió caracterizar la zona de estudio en su totalidad, corresponde a la proporcionada por el Atlas Agroclimático de Chile.

### **Recopilación de la información**

Se recopilieron series de datos pluviométricos registrados por estaciones meteorológicas y/o pluviométricas ubicadas en la zona de estudio. Dicha información fue proporcionada por el Departamento de Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y por el Centro de Información de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas (DGA), para el período 1970 - 2000.

Los datos obtenidos corresponden a valores de precipitación media mensual (ordenados cronológicamente por años), con su respectivo total anual. Además, cada estación cuenta con sus respectivas coordenadas espaciales, permitiendo conocer su ubicación geográfica dentro del área de estudio.

### **Clasificación de eventos El Niño y La Niña**

Tanto el fenómeno de El Niño como el de La Niña pueden presentar diferentes intensidades, lo que se traduce en distintos tipos de eventos para cada anomalía. Para determinar la intensidad que presenta cada uno de los fenómenos señalados pueden utilizarse diferentes indicadores, como por ejemplo la Temperatura Superficial del Mar o el Índice de Oscilación del Sur (IOS), entre otros.

En este estudio se utilizó la clasificación propuesta por el Western Regional Climate Center (2005), el cual considera como indicador el IOS. De este modo, tanto los eventos de El Niño como los de La Niña pueden clasificarse en fuertes y moderados.

**Cuadro 1.** Clasificación de El Niño y La Niña según el Índice de Oscilación del Sur (IOS).

IOS	Clasificación
-1.0 o menos	“El Niño Fuerte”
-0.5 o menos	“El Niño Moderado”
Entre -0.5 y +0.5	“Neutro”
+0.5 o más	“La Niña Moderada”
+1.0 o más	“La Niña Fuerte”

### **Selección de la información**

En primer lugar, se identificaron aquellos eventos El Niño y La Niña ocurridos durante el período 1970 – 2000, según la clasificación propuesta por el WRCC (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Eventos El Niño y La Niña ocurridos durante el período 1970 – 2000.

<b>Año</b>	<b>Evento</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Año</b>	<b>Evento</b>	<b>Intensidad</b>
1970	La Niña	Moderada	1987	El Niño	Fuerte
1971	La Niña	Moderada	1988	La Niña	Fuerte
1972	El Niño	Fuerte	1991	El Niño	Moderada
1973	La Niña	Fuerte	1992	El Niño	Moderada
1974	La Niña	Moderada	1993	El Niño	Fuerte
1975	La Niña	Fuerte	1994	El Niño	Fuerte
1976	El Niño	Moderada	1997	El Niño	Fuerte
1977	El Niño	Fuerte	1998	La Niña	Fuerte
1982	El Niño	Fuerte	2000	La Niña	Moderada

Luego, para cada uno de los años El Niño y La Niña identificados, se evaluó la calidad de la información pluviométrica registrada por las estaciones disponibles. Dicha evaluación permitió seleccionar las estaciones con las cuales se trabajó, de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Aquellas que contasen con un registro completo de sus valores de precipitación media mensual y anual, ya que cada evento ENOS se caracteriza por presentar un comportamiento anómalo en la pluviometría, haciendo de cada uno de ellos un suceso único e irreplicable.
- b) Aquellas estaciones que, en conjunto, presentasen una mayor densidad dentro del área de estudio, para cada uno de los eventos identificados.
- c) Aquellas que, en conjunto, mostrasen una mejor distribución dentro del área de estudio.

Así, bajo estos criterios, se logró reducir el número de años El Niño y La Niña a utilizar para la generación de los escenarios pluviométricos.

Finalmente, los eventos El Niño y La Niña de mayor incidencia en Chile, que cumplieron en mejor grado los criterios mencionados anteriormente, corresponden a los ocurridos en los años que se muestran en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Eventos El Niño y La Niña seleccionados.

<b>El Niño</b>		<b>La Niña</b>	
<b>Año</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Año</b>	<b>Intensidad</b>
1992	Moderada	1995	Moderada
1997	Fuerte	1998	Fuerte

### Procesamiento de la información

Tanto en la elaboración como en la representación espacial de los escenarios pluviométricos, fue necesario que las estaciones seleccionadas estuvieran bajo un mismo sistema de referencia, ya que provenían de diferentes fuentes de información. Por esta razón, dicha información se homogenizó bajo el sistema de referencia WGS84.

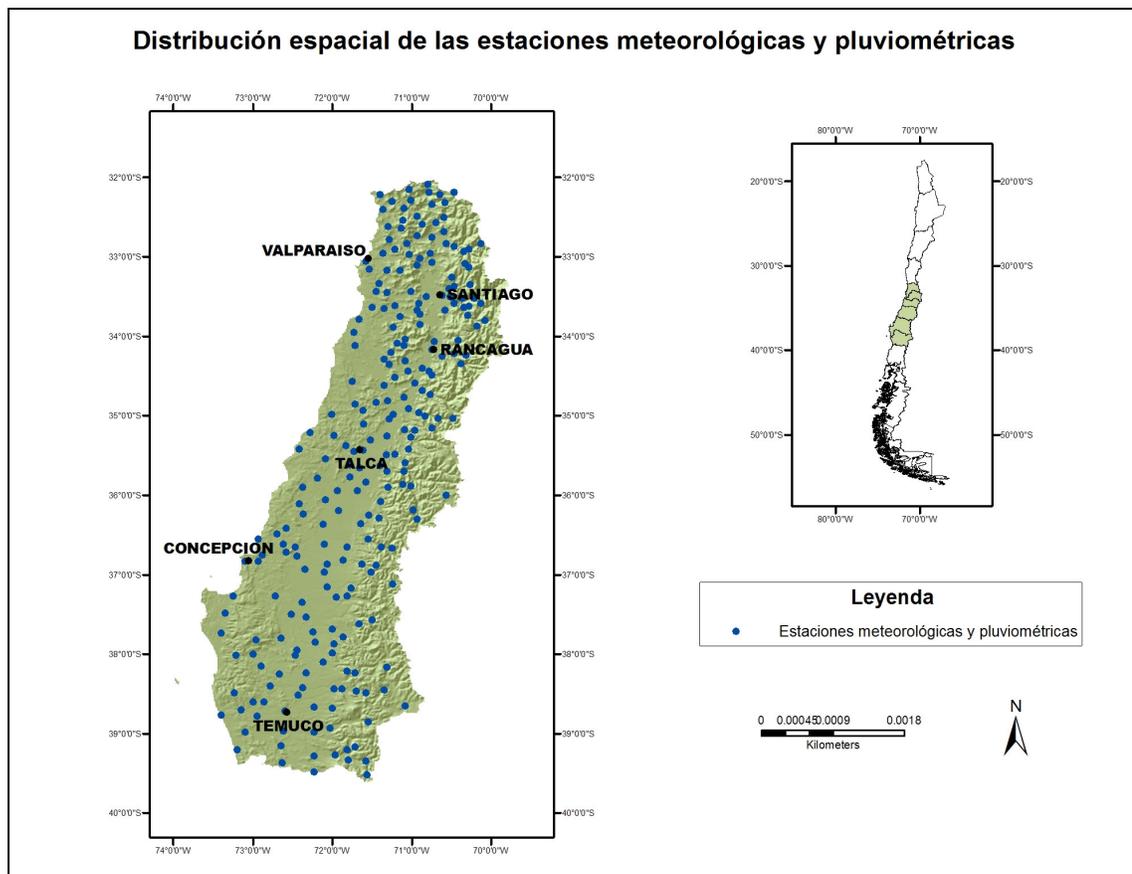
Por otra parte, dada la resolución espacial del trabajo (escala 1:1.000.000), resulta difícil representar individualmente las comunas que integran el área metropolitana. Además, debido a la condición no agrícola de la mayoría de estas comunas, no se justificaba su representación espacial. Por esta razón, se creó la unidad administrativa llamada “Gran Santiago”, la cual está compuesta por las comunas presentes en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Comunas que conforman la unidad administrativa “Gran Santiago”.

Unidad administrativa “Gran Santiago”			
Cerrillos	La Florida	Macul	Quinta Normal
Cerro Navia	La Granja	Maipú	Recoleta
Conchalí	La Pintana	Ñuñoa	Renca
El Bosque	La Reina	Pedro Aguirre	San Joaquín
Estación Central	Las Condes	Cerda	San Miguel
Huechuraba	Lo Barnechea	Peñalolén	San Ramón
Independencia	Lo Espejo	Providencia	Santiago
La Cisterna	Lo Prado	Pudahuel	Vitacura
		Quilicura	

### Generación y trazado de isoyetas

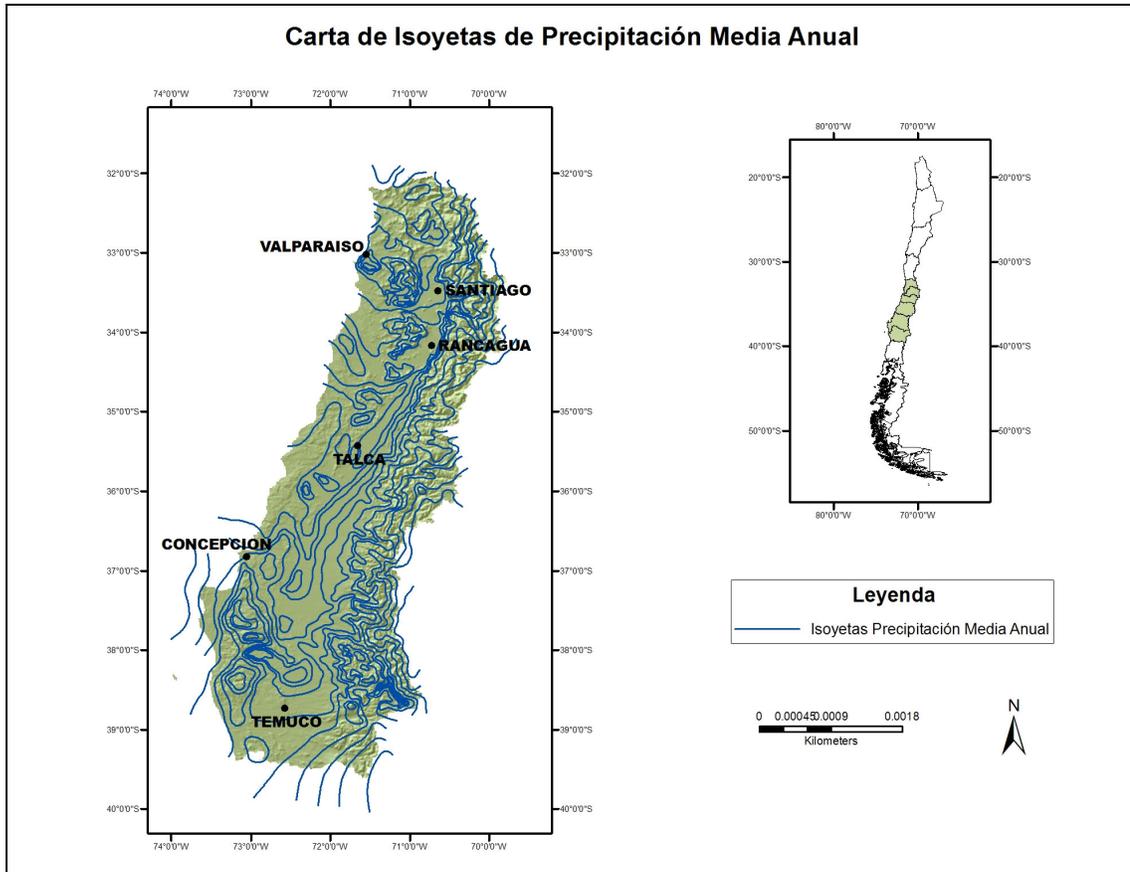
Con las estaciones pluviométricas distribuidas según su ubicación dentro de la zona de estudio (Figura 2), se generó una cartografía con los montos de precipitación de las estaciones para cada uno de los eventos El Niño y La Niña seleccionados. Con esto, y utilizando cartografía topográfica como base, se realizó el trazado de las cartas de isoyetas de los eventos seleccionados.



**Figura 2.** Cartografía de la ubicación espacial de las estaciones meteorológicas y pluviométricas disponibles.

El proceso de trazado necesitó del trabajo de un experto, quien consideró al momento del diseño una serie de factores que influyen sobre la precipitación, como la latitud, longitud, altitud, exposición y sombra de lluvias, basándose para esto en la topografía y los tipos de precipitaciones asociadas a cada evento El Niño y La Niña.

Luego de trazar las cartas de isoyetas para cada evento, se procedió a su digitalización, con el fin de traspasar a formato digital la interpretación climática del experto. El resultado fue un archivo de tipo vectorial, donde cada isoyeta representa un vector asociado a un monto de precipitación (Figura 3). Posteriormente, dicha información se llevó a formato raster, con el fin de representarla en píxeles de tamaño predefinido de 1000 x 1000 metros. Así, este tipo de archivo permite aplicar con mayor facilidad los distintos métodos de interpolación existentes.



**Figura 3.** Cartografía de Isoyetas de Precipitación Media Anual, trazadas con criterio experto.

### Interpolación de las cartas de isoyetas

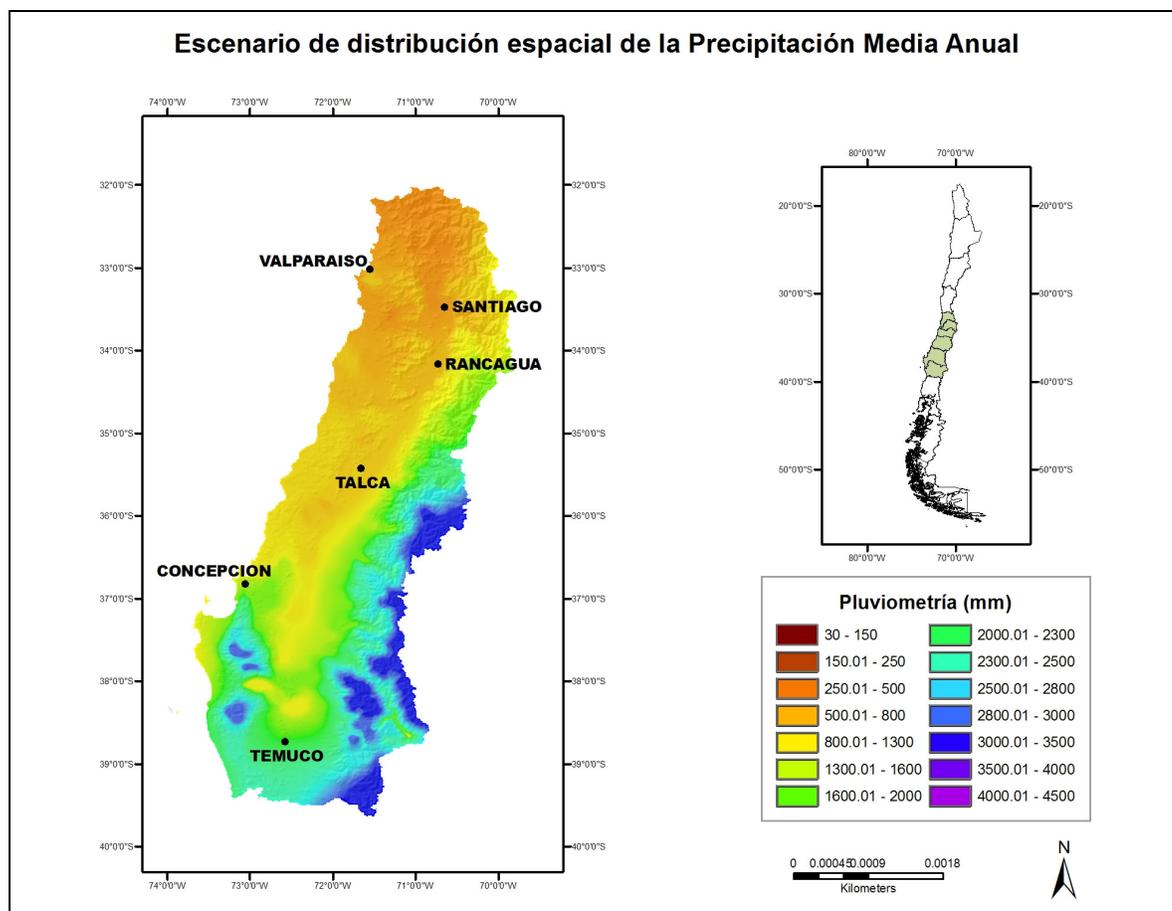
Con el fin de distribuir y representar la información de forma continua sobre la zona de estudio, se realizó la interpolación de las cartas de isoyetas. Sin embargo, debido a la gran variedad de posibles métodos de interpolación disponibles, se analizaron algunos criterios con la finalidad de elegir el mejor método a implementar.

En primer lugar, se identificó qué programas poseen la capacidad de realizar la interpolación, tomando en cuenta las exigencias que posee cada uno de los métodos. Así, luego de examinar una gran variedad de software, se optó por los programas ArcView, ArcGIS e Idrisi, debido a la compatibilidad presente entre éstos y el formato digital en que se encuentra la información pluviométrica.

Una vez realizadas las interpolaciones, según las posibilidades y métodos que ofrece cada programa, se observó la cantidad de errores o defectos apreciables a simple vista en cada interpolación. De este modo, con el fin de corregir dichos errores, se modificaron los parámetros de interpolación en aquellos métodos que ofrecían esta posibilidad. Finalmente,

se eligieron aquellos métodos que presentaron una distribución espacial más continua en sus resultados.

Así, el método de interpolación que aprobó todos los criterios fue “Natural Neighbor” del programa ArcGis, del cual se obtuvieron 5 escenarios pluviométricos con un tamaño de píxel de 1000 x 1000 metros y una escala cartográfica de 1:1.000.000 (Figura 4).



**Figura 4.** Cartografía de la distribución espacial de la Precipitación Media Anual en la zona de estudio.

### Método Natural Neighbor

La interpolación de tipo Natural Neighbor (“Cercanía” o “Proximidad Natural”) utiliza un método de ponderación promediada. De esta forma, genera una triangulación de Delauney a partir de las locaciones medidas y selecciona los nodos más cercanos para crear polígonos o escudos convexos alrededor de las locaciones que los conforman. Luego, pondera sus valores en base a un área proporcionada.

Este es el método más adecuado cuando los valores se encuentran distribuidos de manera desigual. Es una técnica de interpolación muy adecuada para propósitos genéricos y posee la ventaja de no necesitar introducir parámetros adicionales (Morillo *et al.*, 2002).

### **Evaluación de la Amenaza**

El nivel de amenaza asociado a los eventos de El Niño y La Niña, se definió sobre la base de las características pluviométricas que presenta cada uno de ellos, las cuales fueron clasificadas según montos de precipitación. Esta clasificación se realizó mediante un panel de expertos vinculados al tema, los cuales ponderaron la relevancia de los distintos montos asociados a estos eventos, en su condición de anomalía positiva y negativa.

Dada la imposibilidad de estimar la probabilidad de excedencia, por no contar con registros pluviométricos que garanticen un mínimo de 30 años de observación, y que, además, metodológicamente se trabajó con la unidad administrativa de “comuna”, la cual impide asociar una estación meteorológica o pluviométrica como elemento de análisis (representatividad espacial de la precipitación), se determinó un monto de precipitación promedio para cada comuna, el cual se ponderó por la superficie agrícola de ésta. De este modo, se obtuvo un valor pluviométrico representativo de cada evento El Niño y La Niña seleccionado. Posteriormente, se escogió para cada comuna el valor o monto con la mayor amplitud respecto al valor medio pluviométrico, el cual permitió que cada comuna fuera asociada a un evento ENOS característico. Dicho valor o monto pluviométrico se denominó “monto característico”. Así, en la comuna de Buin, por ejemplo, cuyos montos pluviométricos anuales asociados a los eventos El Niño Fuerte, El Niño Moderado, La Niña Moderada y La Niña Fuerte corresponden a 907.5 mm, 485 mm, 297 mm y 97.5 mm respectivamente, y una Precipitación Media Anual de 457 mm, se estimó la mayor amplitud para el caso del evento El Niño Fuerte (mayor diferencia entre el valor medio anual y el monto pluviométrico anual registrado). En consecuencia, el monto característico de la pluviometría registrada asoció a la comuna de Buin el evento El Niño Fuerte, dado que éste presenta la mayor intensidad entre los eventos analizados.

Por otra parte, se utilizó como parámetro de caracterización para determinar la amenaza asociada a los eventos ENOS, la condición de riego o secano que presenta cada comuna. Así, en aquellas comunas bajo una condición de secano, existe una alta dependencia respecto a la lluvia caída durante el año, no así en comunas bajo una condición de riego, debido a que el agua es almacenada y posteriormente distribuida. Esta diferenciación se obtuvo del Índice del balance riego/secano, el cual busca clasificar las comunas de acuerdo a la fracción de tierra cultivable que está bajo una condición de secano y, por lo tanto, más sensible a los cambios en el régimen de precipitaciones. De este modo, en comunas bajo esta condición, el índice se acerca a uno y, en aquellas donde la superficie cultivable está principalmente bajo una condición de riego, el índice presenta valores cercanos a cero. Este criterio permitió definir con claridad la condición de amenaza para la actividad agropecuaria, respecto a la disponibilidad de agua para suplir las necesidades

evapotranspirativas de los cultivos. Con esta información, se elaboró una matriz que relaciona la intensidad (Moderada y Fuerte) de los eventos El Niño y La Niña, con la particularidad de la disponibilidad del agua precipitada (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Clasificación de la amenaza asociada a cada evento.

AMENAZA	El Niño Fuerte	El Niño Moderado	La Niña Moderada	La Niña Fuerte
Riego	Nula	Nula	Baja	Alta
Secano	Muy Baja	Baja	Alta	Muy Alta

Como muestra el Cuadro 5, la amenaza presenta una distribución que se visualiza en cuatro niveles (Muy Baja, Baja, Alta y Muy Alta). Así, el nivel de amenaza muy baja se expresa en la combinación de comunas en condiciones de secano con un evento El Niño Fuerte. Esto se explica por la dependencia de la satisfacción hídrica que presentan los cultivos en secano, respecto al total de agua precipitada. Por otra parte, el nivel de amenaza muy alta se manifiesta en la combinación de comunas en condiciones de secano con un evento La Niña Fuerte. En este caso, la disminución en los montos pluviométricos determina una condición de déficit hídrico extremo, lo que implica un detrimento en la producción agropecuaria. De este modo, la condición de secano encuentra la mayor expresión en los niveles de amenaza, dada la dependencia del sistema productivo a los montos de lluvia registrados. Esta situación no se expresa en el caso del riego, lo que se ve reflejado en la diferenciación de sólo dos niveles de amenaza (Baja y Alta). Esto se explica por el cambio en la distribución espacial (estacional) de las precipitaciones asociadas a los eventos ENOS, lo que implica que los montos pluviométricos no se distribuyan bajo el comportamiento esperado de un clima mediterráneo (mayores precipitaciones en la estación invernal), pudiendo generarse las máximas precipitaciones durante otoño y/o primavera (González, 2004).

El nivel de amenaza nula, para el caso del evento El Niño (Moderado y Fuerte) en comunas de riego, se explica por la independencia que se presenta entre el monto total precipitado y el sistema de almacenamiento y distribución del agua. Es necesario explicitar, que la condición de El Niño Moderado y, consecuentemente El Niño Fuerte, registran montos de precipitación por sobre el valor medio de la zona, lo cual se ve reflejado en una disminución del déficit hídrico o, dicho de otra manera, un aumento del excedente hídrico. Esto tiene un efecto positivo sobre la disponibilidad final de agua, dado que el sistema montañoso garantiza el almacenamiento de agua para la época estival (principal demanda de riego).

Por otra parte, con el fin de evaluar la variabilidad de las precipitaciones asociadas a cada uno de los eventos pluviométricos extremos, se utilizó el **Índice de Desviación de la Precipitación respecto a su Normal (IDP)**, metodología propuesta por la Dirección General de Meteorología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), para evaluar el comportamiento de la sequía. Dicho índice consiste en comparar y analizar

la variabilidad de las precipitaciones, con el fin de identificar aquellas áreas propensas a sufrir déficit/superávit de lluvias en la zona de estudio. Así, el IDP señala el porcentaje de precipitación que se sitúa bajo la norma histórica y sobre ella.

El índice tiene la siguiente expresión matemática:

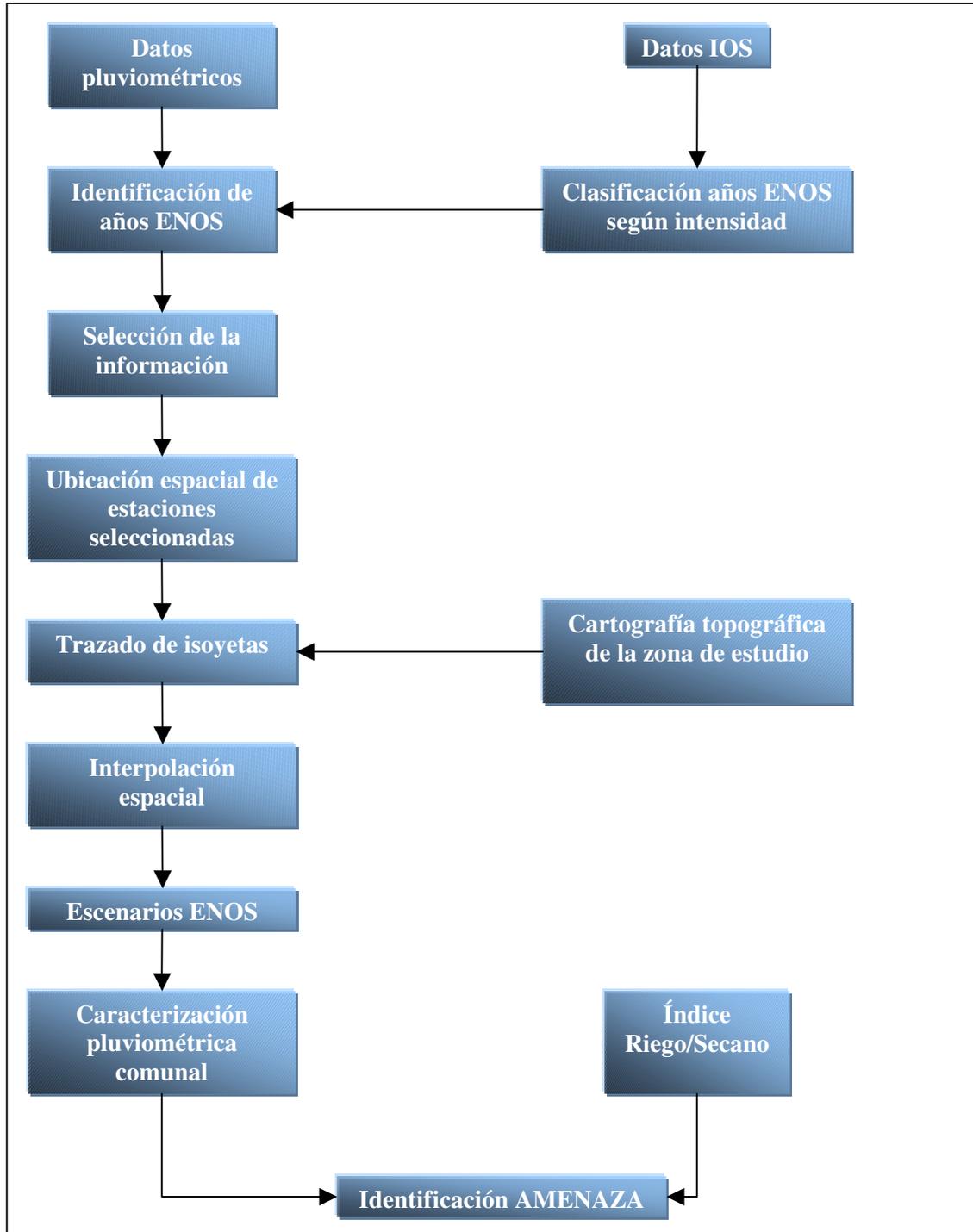
$$\text{IDP} = ((P / PN) - 1) * 100$$

Donde:

**PN** = Precipitación normal del período (mm/año).

**P** = Precipitación total del período (mm/año).

El siguiente diagrama muestra un esquema de la estructura general de la evaluación de la amenaza:



**Figura 5.** Esquema general del método de evaluación de la amenaza.

## **Evaluación de la Vulnerabilidad**

La evaluación de la vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de un elemento o sistema ante una amenaza en particular, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de las interacciones de dicho elemento o sistema con el ambiente peligroso.

Para determinar la vulnerabilidad que presenta el sector agropecuario en la zona de estudio, se utilizó la “Evaluación de la vulnerabilidad global de la agricultura frente a las variaciones del clima”, metodología propuesta por el Centro de Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED) – Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile – en su estudio “Análisis de la vulnerabilidad y adaptación en Agricultura, Recursos Hídricos y Silvicultura” (CONAMA, 1999). Esta metodología plantea un índice de vulnerabilidad comunal para el sector agropecuario.

Para la generación de este índice, se consideraron diferentes variables que condicionan la susceptibilidad del sector, como son el total de superficie cultivada, tipo de tenencia de la tierra, superficie de riego, grado de intensificación de la agricultura y total de población urbana y rural. Así, para cada una de estas variables, se generó un índice que representa la situación de cada comuna con respecto a la variable en cuestión.

El trabajo se desarrolló a nivel comunal dada la oportunidad que existe de disponer fácilmente de datos para esta unidad administrativa. La información requerida para la elaboración de los distintos índices se obtuvo del VII censo nacional agropecuario y forestal. Por otra parte, los datos de población urbana y rural se obtuvieron del censo nacional de población y vivienda 2002. De esta manera se generó una base de datos con la información requerida para el cálculo de los distintos índices. Además, se utilizó una escala cartográfica de 1:1.000.000, la cual es consistente con la usada en las cartas de isoyetas.

La vulnerabilidad comunal resulta entonces de la interacción de los distintos índices calculados, que en conjunto determinan la vulnerabilidad final.

### **Cálculo de los índices componentes de la vulnerabilidad**

Para determinar la vulnerabilidad que presenta el sector agropecuario en la zona de estudio, fue necesario estimar las siguientes variables:

**Índice de fragmentación de tenencia de la tierra (FT):** Este índice se relaciona con el tamaño dominante de la propiedad agrícola. A partir de la información que entrega el censo agropecuario, el cual divide la tenencia de la tierra por el tamaño de las explotaciones y el número de éstas, se obtiene qué tipo de propietarios (pequeño, mediano y grande) son dominantes en las distintas comunas. Así, una comuna en donde la tenencia de la tierra es

mayoritariamente de pequeños agricultores, el índice (kn) asociado es un valor cercano a uno, mientras que en una situación comunal opuesta, es decir, en donde la tenencia de la tierra se asocia a grandes propietarios, el índice adopta un valor cercano a cero.

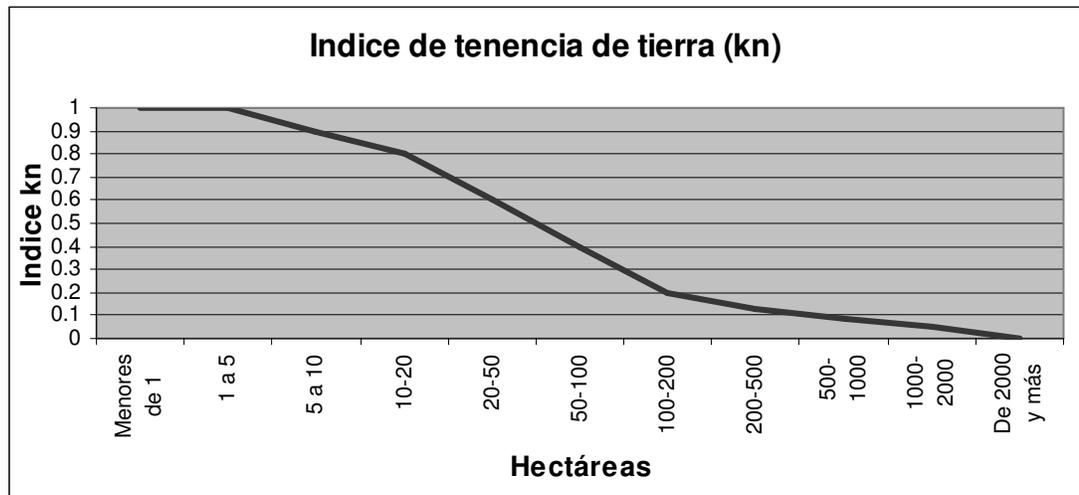
$$FT = (k1 * ST1 + k2 * ST2 + k3 * ST3 + k4 * ST4 + k5 * ST5) / ST$$

Donde:

**ST<sub>n</sub>** es la superficie comunal ocupada por el estrato de tenencia “n”.

**ST** es la superficie total comunal (descontadas las áreas protegidas y no sometidas a régimen de tenencia privada).

Para realizar la distribución del índice “kn” se consideró como pequeños propietarios, y por lo tanto muy vulnerables, aquellas tenencias bajo 5 hectáreas. Luego, en el rango entre 10 y 200 hectáreas se producen las mayores diferencias entre un tramo y otro, a medida que aumenta el tamaño de la propiedad. Finalmente, desde las 200 hectáreas en adelante, baja considerablemente la vulnerabilidad y los valores presentan menos variación (Figura 6).



**Figura 6.** Distribución del índice de fragmentación de tenencia de la tierra (VII censo agropecuario y forestal, 2007).

**Índice del balance riego/secano (IRS):** Este índice busca clasificar las comunas de acuerdo a la fracción de tierra cultivable que está bajo una condición de secano y, por lo tanto, más vulnerable a las variaciones del clima. Así, una comuna que predominantemente muestre dicha condición será más inestable frente a un cambio ambiental, especialmente relacionada con cambios en el régimen de precipitaciones, presentando un índice con un valor cercano a uno. Contrariamente, en comunas donde la superficie cultivable está principalmente bajo una condición de riego, éstas deberían presentar una vulnerabilidad menor y, en consecuencia, adoptar un índice con valores cercanos a cero.

$$\mathbf{IRS = SSEC / ST}$$

Donde:

**SSEC** es la superficie de cultivos de secano.

**ST** es la superficie total cultivada.

**Índice de ruralidad (IRU):** Corresponde a la fracción de población rural (PRUR) respecto a la población total (PTOT) de una comuna. Así, en comunas donde la mayor parte de la población se clasifica como rural el índice se acerca a uno y, en aquellas con dominio urbano, su índice presenta valores cercanos a cero. De esta manera, se consideran más sensibles o vulnerables aquellas comunas donde la población se desarrolla en un ambiente rural, asociable al sector agropecuario.

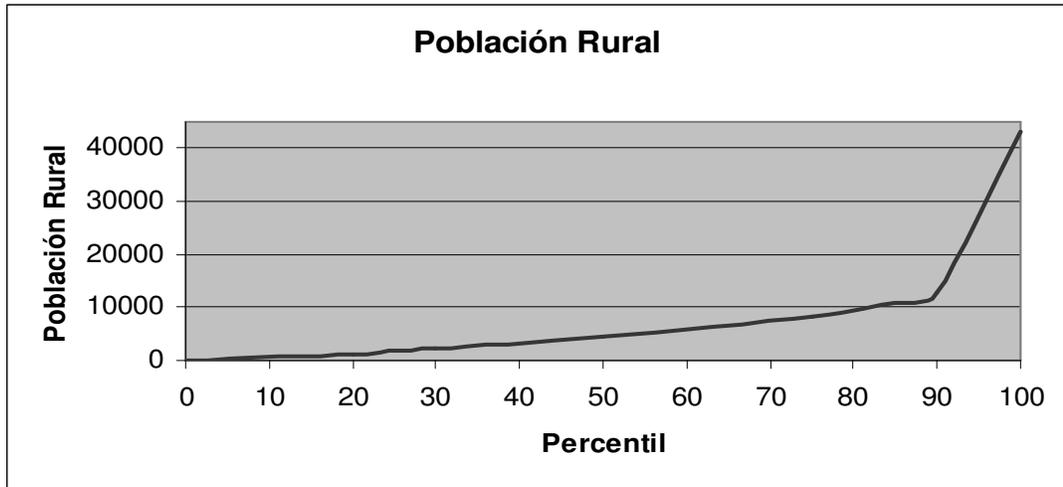
$$\mathbf{RU = PRUR / PTOT}$$

Por otra parte, la clasificación de las comunas según el total de población rural respecto a la comuna con mayor número de habitantes rurales (TPR), entrega un índice que permite relacionar la influencia de la población rural de una comuna con respecto al total nacional. Esto permite, junto con el índice de ruralidad, identificar las comunas esencialmente rurales y la magnitud absoluta de esta ruralidad. Por otra parte, considerando que existen pocas comunas que presentan una alta población rural y que, además, la mayoría está por debajo de las 10.000 personas, se ha tomado esta cifra como referencia para la normalización del índice.

$$\mathbf{TPR = PRUR / 10.000}$$

$$\mathbf{0 = < TPR = < 1}$$

En la Figura 7 se observa que el 90% de los datos de población rural está bajo las 10.000 personas.



**Figura 7.** Distribución porcentual de la población rural (Censo de población y vivienda, 2002)

De este modo, se consideró un índice compuesto que represente el porcentaje de población rural y la magnitud de esta ruralidad.

**Cuadro 6.** Índice de Ruralidad (IRU)

TPR RU	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>0.1</b>	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
<b>0.2</b>	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
<b>0.3</b>	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7
<b>0.4</b>	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7
<b>0.5</b>	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8
<b>0.6</b>	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8
<b>0.7</b>	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9
<b>0.8</b>	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9
<b>0.9</b>	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1
<b>1</b>	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1

**Índice de intensidad de la agricultura (IT):** Interpreta el grado de intensificación que presenta la agricultura en una comuna, tomando en cuenta el tipo de agricultura y la superficie de ésta. Así, considera para cada rubro, el capital necesario para el desarrollo de la actividad a través del factor de Uso de Capital y Tecnología (UCT) requerido.

El factor UCT se construye en base al nivel de insumos y tecnologías utilizados por cada rubro productivo. Se estima, indirectamente, a través de los costos de producción (inversión inicial más costos de mantención anual expresados en costos por hectáreas al año) en: Mano de obra (horas hombre), maquinarias (jornada tractor), plantas, pesticidas, fertilizantes, etc.

Así, los rubros correspondientes a frutales y semilleros son los que requieren un mayor uso de capital y tecnología. Los rubros de cereales y praderas, en cambio, corresponden a los más simples. Desde un punto de vista social, los rubros más tecnificados y con mayor capital son menos vulnerables frente a variaciones en la producción que los rubros más simples, los cuales están generalmente asociados a propietarios con menor poder adquisitivo.

**Cuadro 7.** Factor de Uso de Capital y Tecnología.

<b>RUBROS</b>	<b>USO DE CAPITAL Y TECNOLOGÍA (UCT)</b>
Frutales	1
Viñas y Parronales	1
Semilleros	0.8
Viveros	0.8
Flores	0.8
Hortalizas	0.77
Cult. Industriales	0.6
Chacras	0.5
Cereales	0.1
Forrajeras	0.1

De este modo, el índice de intensidad de la agricultura (IT) es evaluado para cada comuna, según la fracción de superficie ocupada por cada rubro respecto a la superficie total cultivada y el respectivo "UCT":

$$IT = (UCT1*S1 + UCT2*S2 + UCT3*S3 + UCT4*S4 + UCT5*S5) / ST$$

**Índice de vulnerabilidad global de la agricultura:** Como resultado de la integración de los diferentes índices mencionados, se establece el índice de vulnerabilidad agrícola intrínseca (VAI), que corresponde al promedio de los cuatro índices calculados anteriormente.

$$VAI = [FT + IRS + IRU + IT] / 4$$

Puesto que cada índice varía entre 0 y 1, el índice VAI también lo hace entre 0 (ninguna vulnerabilidad: desierto) y 1 (vulnerabilidad máxima: comuna con agricultura menos tecnificada, pequeña propiedad, de secano y una alta ruralidad).

De esta forma, el índice VAI se pondera por la superficie cultivada total (SCT) de cada comuna, lo que introduce la noción de importancia agrícola de la comuna en el contexto nacional. Debido a que sólo unas pocas comunas en Chile superan las 15.000 hectáreas cultivadas, el factor superficie se normalizó considerando esta superficie como máximo. Así, todas las comunas con superficies cultivadas superiores a 15.000 hectáreas, se les asignó el valor máximo de ponderación de 1.

$$\text{WSC} = (\text{SCT} / 15.000)$$
$$0 < \text{WSC} < 1$$

Donde:

**WSC** es el factor de ponderación por tamaño de la superficie cultivada

Finalmente, el factor **WSC** se usó como ponderador del índice de vulnerabilidad agrícola intrínseca, de modo de calcular una vulnerabilidad ponderada por el tamaño o importancia de la actividad agrícola comunal (**VA**):

$$\text{VA} = \text{VAI} * \text{WSC}$$

De esta forma, si una comuna donde sólo hay una hectárea cultivada tiene una alta vulnerabilidad intrínseca, la ponderación por **WSC** la deja en una condición marginal de vulnerabilidad global agrícola.

## Evaluación del Riesgo

Como ya se mencionó, el riesgo se obtiene a partir de relacionar el grado de amenaza de un determinado fenómeno natural, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Cardona, 2001).

Una vez identificados los grados de amenaza asociados a un determinado fenómeno natural (El Niño/La Niña) y evaluada la vulnerabilidad que presenta el sector agropecuario, se realizó una evaluación conjunta para calcular el riesgo.

Existen diversos criterios o métodos para calcular el riesgo. Por una parte se encuentra el analítico, y por otra, el descriptivo. El criterio analítico, llamado también matemático, se basa fundamentalmente en la aplicación o uso de la ecuación:

$$R = A \cdot V$$

Donde:

**R** = Riesgo.

**A** = Amenaza.

**V** = Vulnerabilidad.

Esta ecuación es la referencia básica para la estimación del riesgo, donde cada una de las variables se expresa en términos numéricos.

El criterio descriptivo, en cambio, se basa en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Amenaza/Vulnerabilidad”. Para ello, se necesita previamente determinar los niveles de amenaza y vulnerabilidad. Luego, se interrelacionan ambas variables, obteniendo finalmente el nivel de riesgo esperado (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Clasificación del riesgo agropecuario.

RIESGO		Vulnerabilidad				
		Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Amenaza	Muy Alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
	Alta	Muy Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
	Baja	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Muy Bajo
	Muy Baja	Medio	Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
	Nula	Bajo	Bajo	Muy Bajo	Nulo	Nulo

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Análisis espacial de los escenarios pluviométricos asociados a los eventos El Niño y La Niña de intensidad Fuerte.**

Se realizó un análisis del comportamiento espacial de las precipitaciones en dos de los cuatro diferentes escenarios pluviométricos generados, correspondientes a los eventos El Niño y La Niña de intensidad Fuerte. Éstos, a su vez, fueron comparados con un escenario “Normal” de precipitaciones, asociado a la precipitación media anual registrada en el período 1970 – 2000.

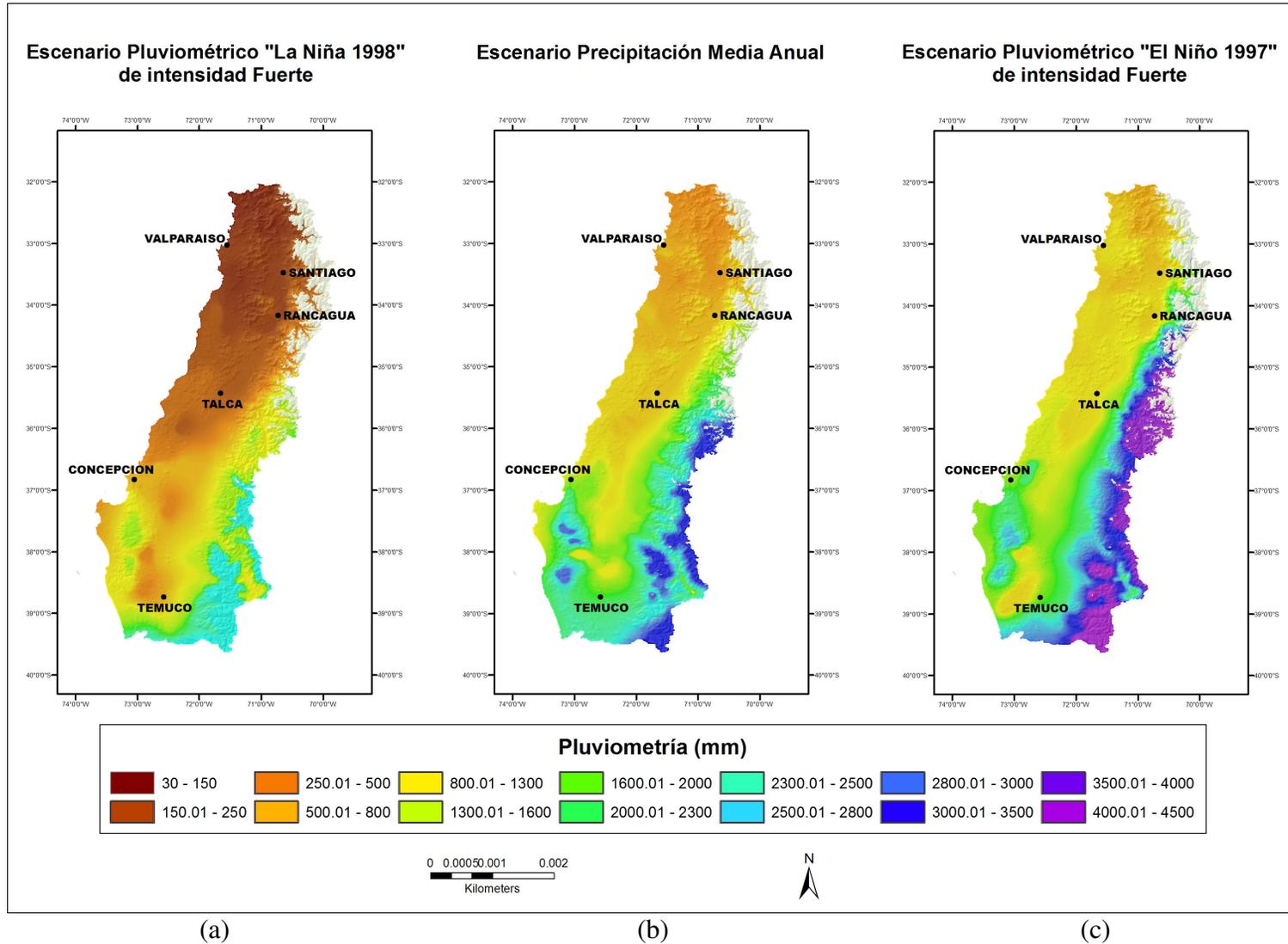
El escenario que explica la distribución espacial de la precipitación media anual en el área de estudio se presenta en la Figura 8b. Se advierte como la latitud y el relieve determinan las características pluviométricas de la zona, las que se incrementan de norte a sur y desde la costa hacia la Cordillera de los Andes, con una menor pluviometría en el Valle Central.

Así, entre las regiones de Valparaíso y del Bío-Bío, específicamente en la zona denominada Secano Costero, ubicada entre el litoral y la Cordillera de la Costa, se observa como la pluviometría varía de 300 mm en el norte a 1300 mm anuales en el sur, permitiendo el desarrollo de cultivos de trigo, cebada y alfalfa, además de praderas naturales.

Por otra parte, en el área de la Depresión Intermedia, entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes, se ubica la zona agrícola de riego del Valle Central. En este sector se observa como las precipitaciones aumentan hacia el sur, fluctuando entre los 250 mm anuales en la localidad de San Felipe, a 1600 mm anuales en Temuco. Las buenas condiciones del clima sumadas al riego, favorecen el desarrollo de la fruticultura, viticultura y cultivos industriales intensivos.

En la región de La Araucanía, en el sector comprendido entre el litoral y la Cordillera de la Costa, se ubica la zona agrícola del Secano Costero húmedo. En ella, se observa la influencia marítima que presentan las precipitaciones, donde la pluviometría puede alcanzar los 3000 mm anuales en los sectores altos de la Cordillera de Nahuelbuta. Al interior, entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes y, excluyendo parte del Valle Central regado que aún puede encontrarse en la zona, se ubica la zona agrícola del Secano Interior húmedo. En este sector, las precipitaciones anuales son del orden de los 2000 mm. Finalmente, es posible observar que los mayores montos pluviométricos anuales se ubican en el sector de la Cordillera de los Andes, desde la región del Maule hacia el sur.

Por otra parte, el escenario pluviométrico asociado al evento La Niña Fuerte (Figura 8a), muestra una notable disminución en los montos pluviométricos registrados en toda el área de estudio, respecto a la precipitación media anual.



**Figura 8.** Escenarios pluviométricos de “La Niña 1998” de intensidad Fuerte (a), Precipitación Media Anual (b) y “El Niño 1997” de intensidad Fuerte (c).

El Secano Costero presenta una fuerte disminución en la pluviometría anual, registrando valores de 100 mm en Valparaíso y 600 mm en Concepción. Lo mismo ocurre en el Valle Central regado, donde las precipitaciones anuales registradas en las localidades de San Felipe y Temuco alcanzan valores de sólo 30 mm y 600 mm, respectivamente. El mismo comportamiento presenta la zona agrícola del Secano Costero húmedo, donde los valores registrados en los sectores altos de la Cordillera de la Costa alcanzan los 1000 mm anuales. Finalmente, la pluviometría anual asociada a este tipo de eventos registra valores entre los 1000 mm y los 1500 mm en la zona del Secano Interior húmedo.

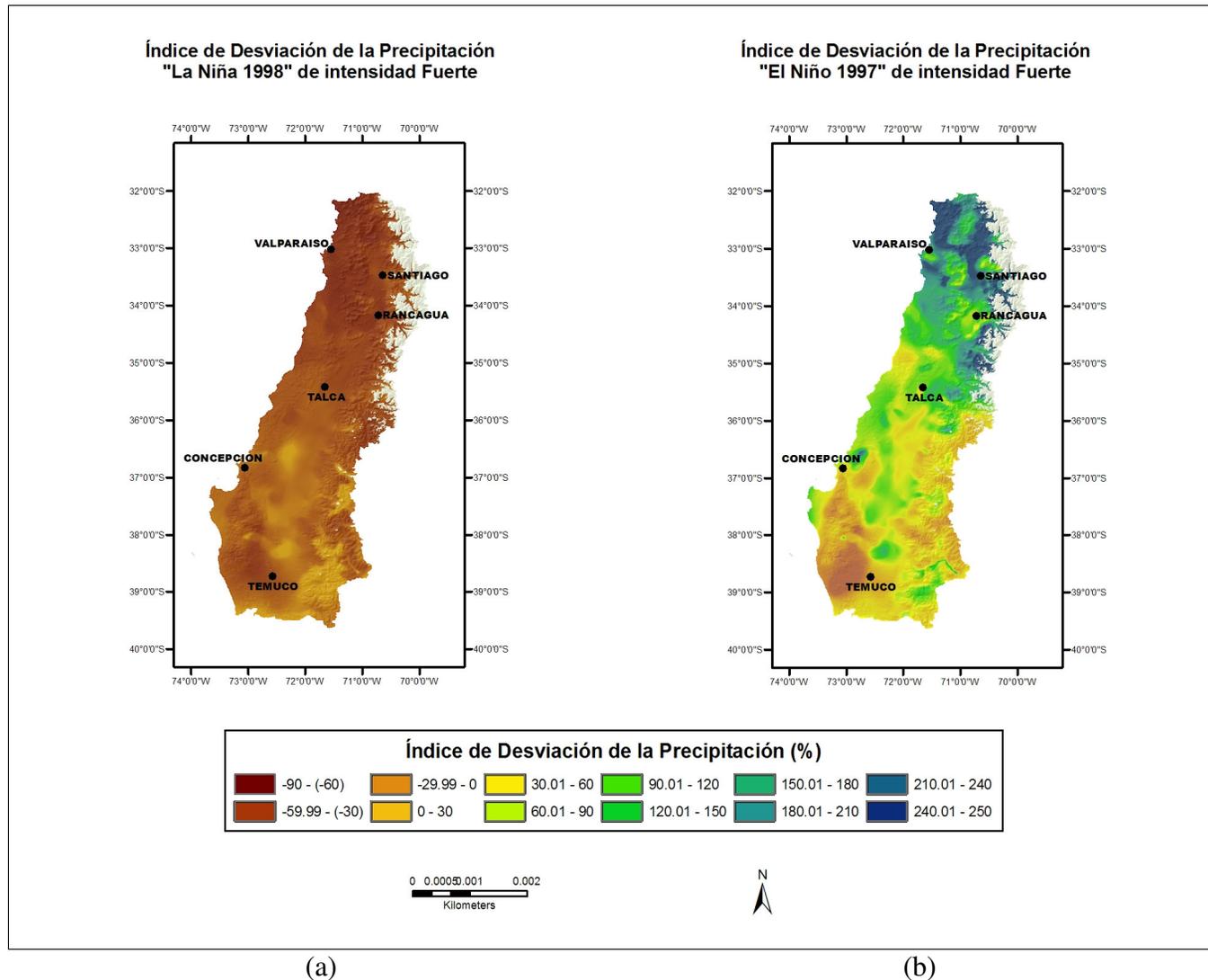
Finalmente, el escenario pluviométrico que explica la distribución espacial de la precipitación anual registrada durante el evento El Niño Fuerte (Figura 8c), muestra una importante diferencia respecto al escenario pluviométrico de la precipitación media anual.

En él, se observa un claro aumento en la pluviometría del Secano Costero, entre las regiones de Valparaíso y del Bío-Bío. Dicho aumento fluctúa desde los 700 mm anuales en Valparaíso a los 1500 mm anuales en Concepción. La zona agrícola de riego del Valle Central también presenta un notable aumento en la pluviometría anual, registrando valores de hasta 500 mm en la localidad de San Felipe. Sin embargo, en la parte sur de esta zona agrícola, las precipitaciones disminuyen su valor alcanzando los 1500 mm anuales en la ciudad de Temuco, respecto a un valor medio anual de 1600 mm.

El Secano Costero húmedo, ubicado en la región de La Araucanía, presenta una disminución en las precipitaciones anuales, registrando valores de 2500 mm en los sectores altos de la Cordillera de Nahuelbuta. En la zona del Secano Interior húmedo, las precipitaciones anuales bajo la influencia de este tipo de eventos pluviométricos tienden a ser similares a las registradas en un año normal. La diferencia pluviométrica más notoria ocurre en el sector de la Cordillera de los Andes, donde existe un claro desplazamiento hacia el norte de los valores extremos de precipitación, abarcando incluso la zona cordillerana de la región Metropolitana.

Por otra parte, se analizó la variabilidad de las precipitaciones asociadas a cada uno de los eventos mencionados anteriormente, con el fin de determinar la existencia de áreas con déficit y/o superávit de lluvias dentro de la zona de estudio. Para esto, se utilizó el **Índice de Desviación de la Precipitación respecto a su Normal (IDP)**, el cual indica el porcentaje de precipitación que se sitúa bajo la media histórica y sobre ella.

Así, se observa en la Figura 9a el escenario de la variabilidad pluviométrica asociada a La Niña Fuerte respecto a su Normal (Precipitación Media Anual), el cual sólo presenta déficits de lluvias dentro del área de estudio. Las pérdidas muestran una disminución en las precipitaciones de entre un 3% y un 90% respecto a la Media Anual.



**Figura 9.** Escenarios de la variabilidad de las precipitaciones asociadas a “La Niña 1998” de intensidad Fuerte (a) y “El Niño 1997” de intensidad Fuerte (b), respecto a su Normal (Precipitación Media Anual).

Las zonas agrícolas ubicadas en las regiones de Valparaíso y Metropolitana son las más afectadas, ya que presentan las mayores pérdidas pluviométricas. La localidad de San Felipe, situada en el Valle Central regado, presenta déficits cercanos al 90%, mientras que Valparaíso, en el Secano Costero, alcanza pérdidas anuales cercanas al 80%. Desde la ciudad de San Fernando hacia el sur, las pérdidas anuales de agua caída comienzan a ser cada vez menores, variando entre un 50% y un 75%.

Las regiones del Bío-Bío y La Araucanía presentan las menores pérdidas de agua caída respecto a la pluviometría media anual. Lo anterior puede observarse en las comunas de Chillán y Victoria, ubicadas en el Valle Central regado y Secano Interior húmedo respectivamente, las cuales presentan déficits cercanos al 28%. Finalmente, los menores déficits registrados en la zona de estudio se ubican en el área de la Cordillera de Pemehue, los cuales alcanzan una disminución de un 7%.

El escenario de la variabilidad de las precipitaciones asociadas a El Niño Fuerte respecto a su Normal (Figura 9b), presenta tanto déficits como superávits de lluvias en toda la zona de estudio. Los déficits presentan una reducción en las precipitaciones de aproximadamente un 60%, mientras que los superávits llegan a superar en casi un 250% la Precipitación Media Anual.

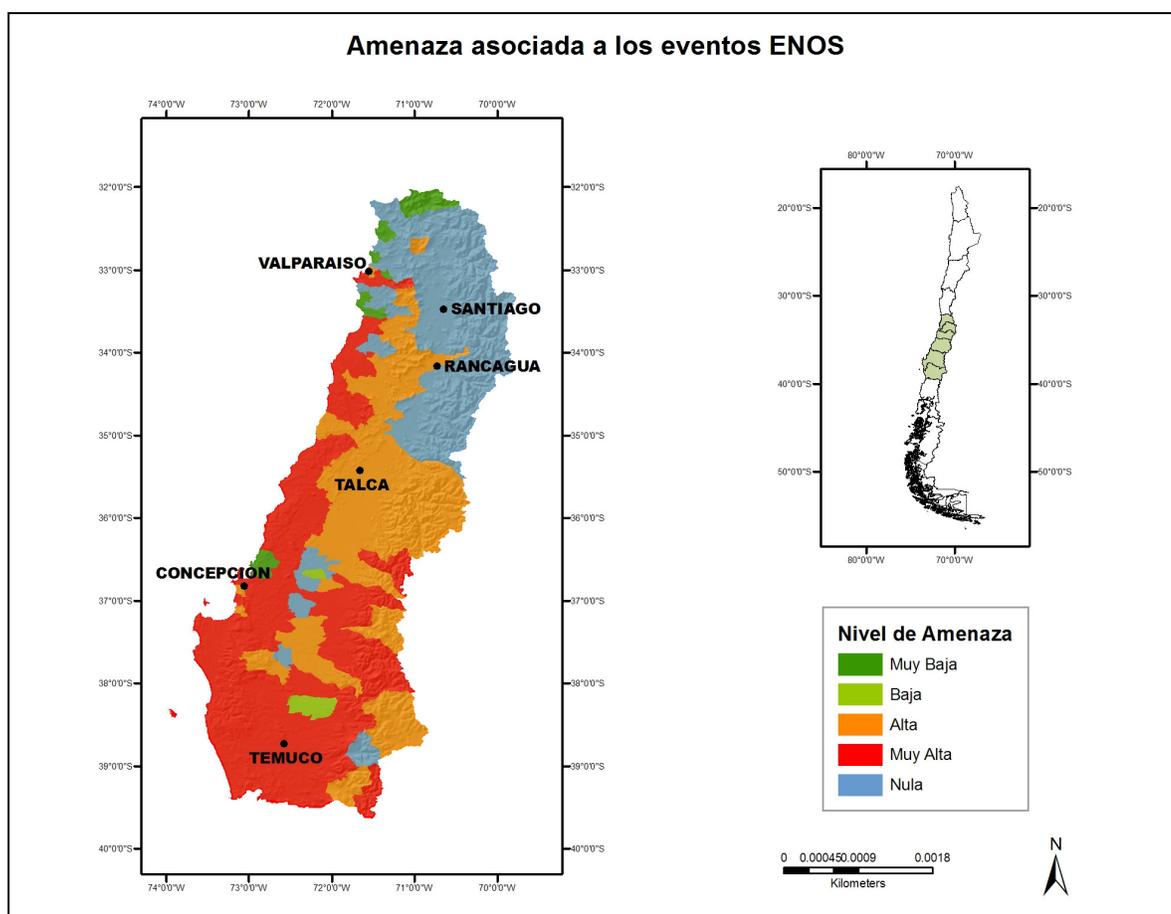
Las zonas agrícolas del Secano Costero, Secano Interior y Valle Central regado, ubicadas en las regiones de Valparaíso y Metropolitana, son las que presentan las mayores ganancias pluviométricas. La localidad de Valparaíso presenta un superávit de aproximadamente un 75%, mientras que Los Andes y Santiago muestran ganancias cercanas a 130% y 110% respectivamente. Desde la ciudad de Rancagua hacia el sur, las ganancias anuales de agua caída comienzan a disminuir en cantidad, a excepción de las zonas cordilleranas cercanas a Curicó.

A partir de la ciudad de Chillán, en la Región del Bío-Bío, se advierte un efecto inverso en la precipitación, ya que la cantidad de agua caída bajo una condición de El Niño suele ser similar e incluso menor que aquella registrada bajo una condición Normal. El mejor ejemplo de ello se observa en el sector de la Cordillera de Nahuelbuta, donde el déficit de lluvias puede alcanzar una disminución cercana al 45%, como ocurre en el caso de la ciudad de Angol. Más al sur, en la localidad de Nueva Imperial, la disminución de agua caída alcanza el 55%, aproximadamente.

## Análisis de la Amenaza

A continuación, se analizan los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología propuesta para la evaluación de la amenaza asociada a los eventos El Niño y La Niña.

Como se observa en la figura 10, una gran zona ubicada en las regiones de Valparaíso y Metropolitana se encuentra sin amenaza o bajo amenaza nula. Esto se explica, dada la gran cantidad de comunas en condiciones de riego que presentan como fenómeno característico el evento El Niño (Moderado y Fuerte), es decir, pluviometría por sobre lo esperado. Sin embargo, comunas como Quilpué y San Antonio, en la región de Valparaíso, presentan una amenaza muy alta, lo que se explica por ser comunas de riego y, en forma conjunta, presentar como fenómeno característico el evento La Niña Fuerte. Algo similar ocurre en la región Metropolitana, donde las comunas de Curacaví, Melipilla, El Monte y Alhué presentan una alta amenaza.



**Figura 10.** Cartografía de Amenaza asociada a los eventos El Niño y La Niña.

En las regiones del Gral. Libertador Bernardo O'Higgins y del Maule es posible diferenciar distintas zonas de amenaza. Así, comunas costeras como Navidad, Pichilemu, Constitución y Chanco, están ubicadas en una zona de amenaza muy alta. Esto se explica por la condición de secano que presenta la zona productiva, la cual es altamente sensible a las variaciones pluviométricas, y, en forma conjunta, presentar como fenómeno característico el evento La Niña Fuerte. En cambio, las comunas ubicadas en el Valle Central como Graneros, Santa Cruz, Talca y Linares, están situadas en una zona de amenaza alta. Este menor nivel se entiende por la disponibilidad de riego que aún presenta la zona, lo cual determina una menor dependencia de los sistemas productivos agropecuarios al aporte hídrico. Por último, aquellas donde gran parte de su territorio se ubica en sectores Precordilleranos, como el caso de Machalí, Romeral y Curicó, se encuentran sin amenaza o en una zona de amenaza nula.

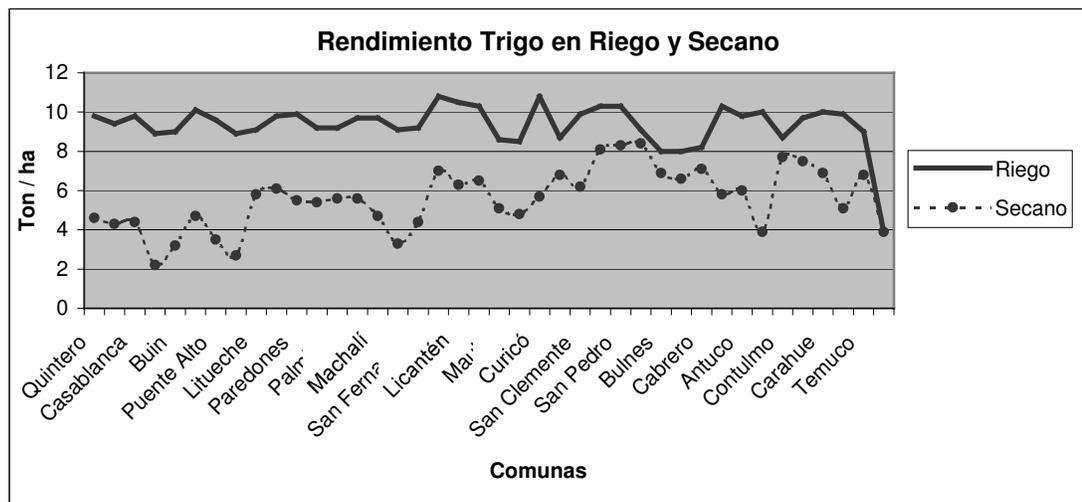
Finalmente, se observa que las regiones del Bío-Bío y La Araucanía se encuentran bajo una gran amenaza asociada a eventos ENOS, debido a que en la mayoría de las comunas la superficie cultivada está principalmente bajo una condición de secano. No obstante, se advierten algunas excepciones en estas regiones, como las comunas de Chillán Viejo y Victoria, las que presentan bajos niveles de amenaza. Lo mismo ocurre con las comunas de Bulnes, Cabrero, Negrete, Renaico y Melipeuco, las cuales no presentan amenaza.

## Análisis de los índices componentes de la vulnerabilidad del sistema agrícola

A continuación, se analizan individualmente las variables que explican la vulnerabilidad del sistema agrícola, considerando someramente el conjunto de variables en cada comuna.

### Fragmentación de la propiedad agrícola

La pequeña propiedad se concentra fundamentalmente en la zona costera de las regiones del Bío-Bío y La Araucanía, aparte de algunos sectores ubicados en el Valle Central, específicamente en comunas aledañas a Quillota, Santiago, Rancagua y Talca. Las grandes propiedades dominan la precordillera a lo largo de toda el área de estudio (Figura 12a). Esta situación es representativa de la forma como se ha distribuido la propiedad de los suelos agrícolas, más atomizada en las zonas de riego (mayor productividad) respecto a las zonas de secano (menor productividad), donde la mayor superficie tiende a compensar los menores rendimientos. La Figura 11 muestra, a modo de ejemplo, los rendimientos de trigo en zonas de riego y secano.

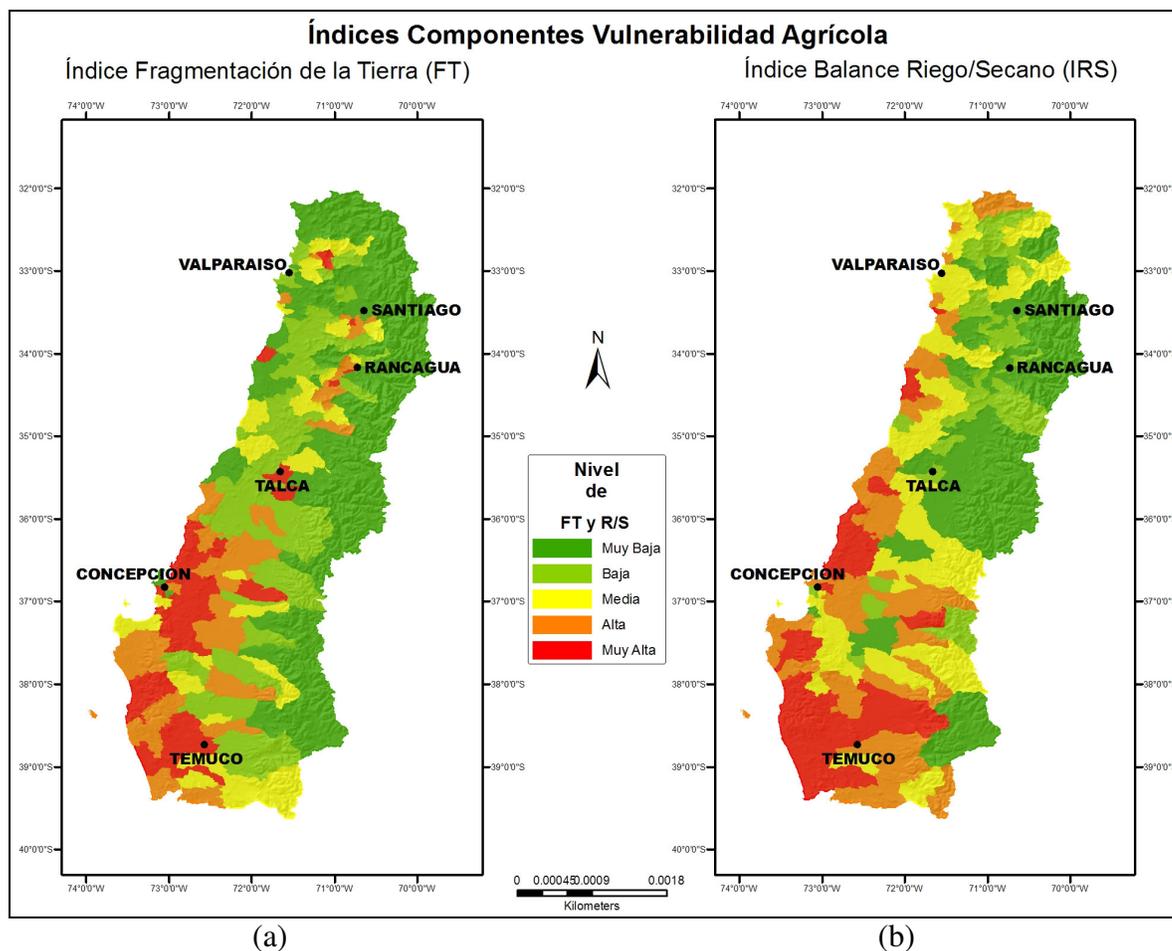


**Figura 11.** Rendimiento de trigo en riego y secano (Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, 2006)

### Balance Riego/Secano

Como se observa en la Figura 12b, la zona costera entre las regiones de Valparaíso y del Bío-Bío se encuentra supeditada bajo la condición de secano. La región de La Araucanía puede apreciarse bajo esta condición prácticamente en todo su territorio. Por otra parte, puede distinguirse el Valle Central con una alta presencia de riego entre las regiones de

Valparaíso y del Maule, el cual presenta tonalidades verdes en la figura. Esta distribución está asociada a condiciones de suelos con mayor potencial productivo, siendo el agua de riego un factor fundamental para garantizar estos mayores rendimientos.



**Figura 12.** Cartografía del (a) Índice de fragmentación de tenencia de la tierra y del (b) Índice del balance riego/secano.

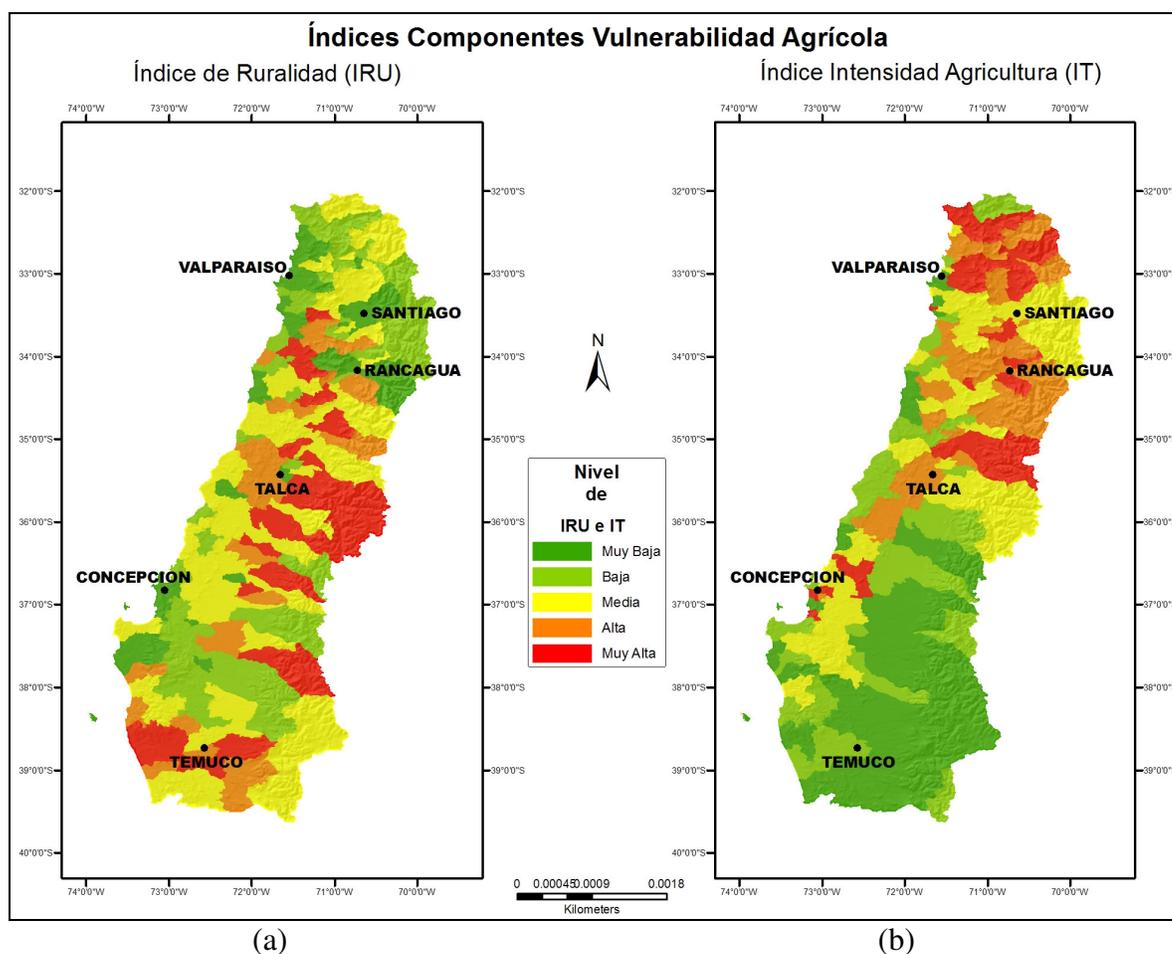
### Intensidad de la agricultura

Se observa claramente que la agricultura más intensiva se desarrolla en el Valle Central, entre las regiones de Valparaíso y del Maule, y en algunas comunas costeras de la Región del Bío-Bío (Figura 13b). Esto coincide con aquellos sectores en donde se desenvuelven activamente la fruticultura de exportación, la viticultura, la horticultura y los cultivos industriales intensivos. En la Costa, en cambio, existe una agricultura menos intensiva, donde se desarrollan cultivos de trigo, cebada y alfalfa, además de praderas naturales.

## Ruralidad

La mayor ruralidad se observa en las regiones del Gral. Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, del Bío-Bío y La Araucanía (Figura 13a). Sin embargo, la ruralidad como tal, resulta insuficiente como criterio para determinar la vulnerabilidad, ya que, la relación que presenta el hombre con la tierra varía notablemente según la región y la cultura a la que éste pertenece. Así, a igual ruralidad, es menos vulnerable una región o comuna donde exista una gran diversidad de actividades económicas que pueden, potencialmente, atraer mano de obra.

En el área de estudio varias comunas alcanzan los 10.000 habitantes o más. En las comunas ubicadas en el Valle Central de la región Metropolitana y del Gral. Libertador Bernardo O'Higgins, la concentración de población rural en relación con la superficie total cultivada es mayor, debido al menor tamaño de éstas. Esto puede relacionarse con el grado de intensificación de la agricultura analizado anteriormente.



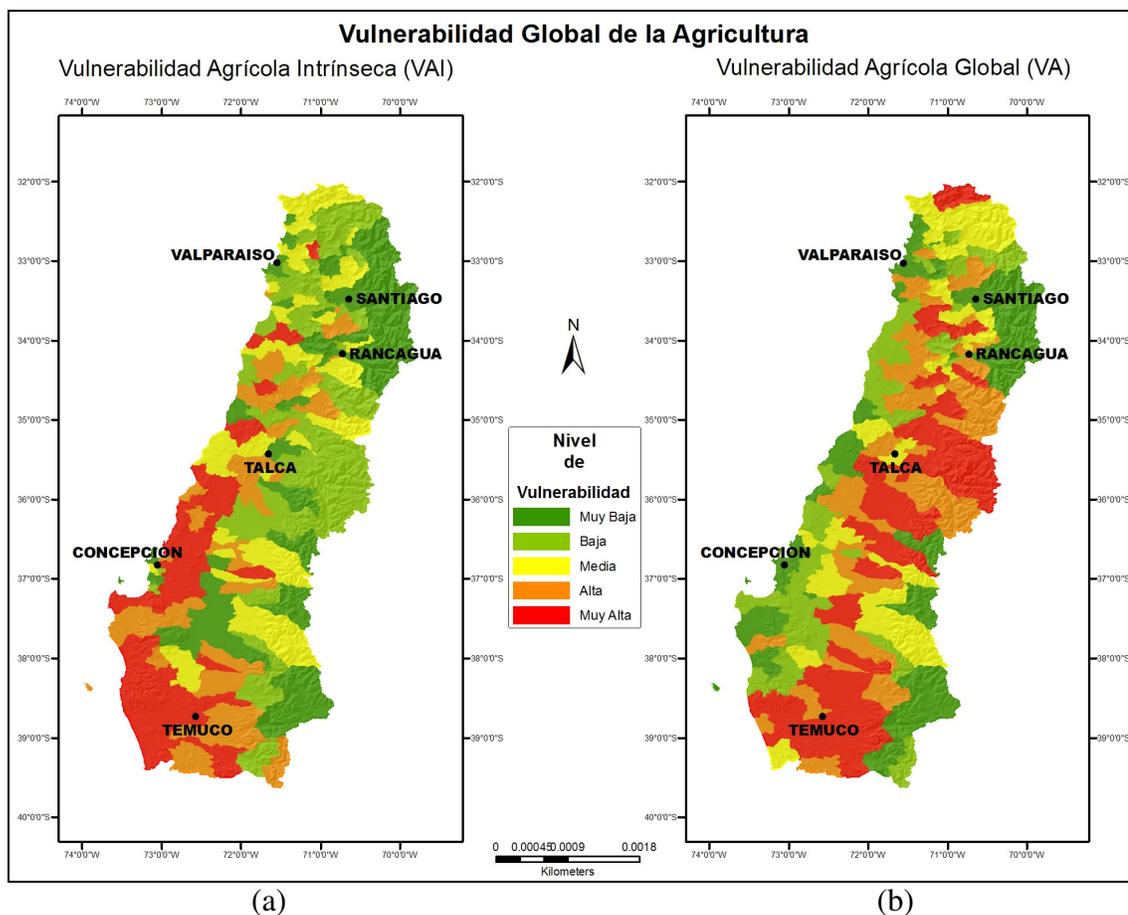
**Figura 13.** Cartografía del (a) Índice de ruralidad y del (b) Índice de la intensidad de la agricultura.

### **Vulnerabilidad Global de la agricultura**

La cartografía de vulnerabilidad agrícola intrínseca presenta sus máximos valores en la mayoría de las comunas costeras (Figura 14a). Éstas, al ser ponderadas por el tamaño de la superficie total cultivada (importancia de la actividad agrícola), adquieren una condición marginal de vulnerabilidad global (Figura 14b). En el Valle Central, en cambio, las comunas presentan el efecto inverso. Así, es posible observar dos zonas claramente definidas a lo largo de toda el área de estudio: la Costa, con bajos niveles de vulnerabilidad global, y el Valle Central, con niveles más altos.

Por otra parte, las regiones del Gral. Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule y de La Araucanía, poseen la mayor cantidad de comunas con niveles máximos de vulnerabilidad global. En aquellas regiones ubicadas en la zona central del país, los altos niveles de vulnerabilidad global se explican principalmente por la importancia agrícola que tienen sus comunas. Así, al incorporar la noción del tamaño de la superficie total cultivada en comunas que presentan bajos niveles de vulnerabilidad agrícola intrínseca, como Longaví, Linares y Parral, éstas alcanzan niveles máximos de vulnerabilidad agrícola global.

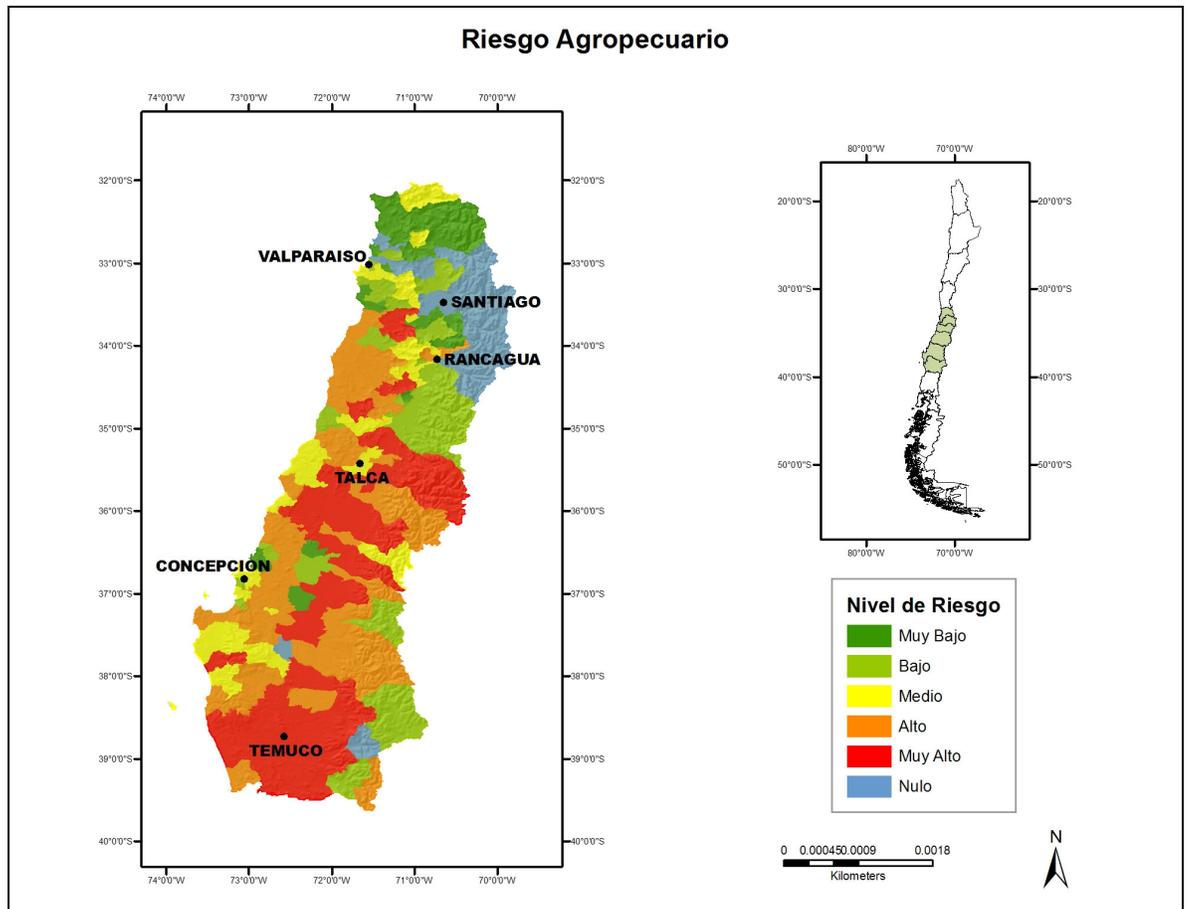
La región de La Araucanía, en cambio, presenta altos niveles de vulnerabilidad global debido a que la mayor parte de sus comunas presentan una agricultura menos tecnificada, pequeña propiedad, condiciones de secano y una alta ruralidad. Ejemplo de esto son las comunas de Lautaro, Loncoche, Temuco y Nueva Imperial.



**Figura 14.** Cartografía de la (a) Vulnerabilidad agrícola intrínseca y la (b) Vulnerabilidad agrícola global.

### Análisis del Riesgo

Al analizar los resultados del riesgo que presentan los sistemas agropecuarios de la zona centro-sur de Chile, ante la presencia de eventos ENOS, es posible observar dos áreas claramente definidas (Figura 15). La primera de ellas la constituyen las regiones de Valparaíso, Metropolitana y el sector oriente de la región del Gral. Libertador Bernardo O'Higgins, donde se observa que la mayor parte de las comunas situadas en este lugar presentan niveles bajos, muy bajos y nulos de riesgo. La segunda, en cambio, corresponde al área formada por las regiones del Maule, del Bío-Bío y La Araucanía, donde la mayoría de las comunas presentan niveles altos y muy altos de riesgo.



**Figura 15.** Cartografía del riesgo de los sistemas agropecuarios ante la presencia de eventos ENOS.

La región de Valparaíso presenta niveles mínimos de riesgo (bajo y muy bajo) en la mayoría de sus comunas. Esto se debe a que un gran número de ellas no se encuentra bajo amenaza (amenaza nula), pero si evidencian altos niveles de vulnerabilidad agrícola. De este modo, dado que la amenaza nula está asociada a eventos El Niño (Moderado y Fuerte) en condiciones de riego, y que, tanto El Niño como La Niña presentan cambios en la distribución espacial (estacional) de sus precipitaciones, lo que implica que los montos pluviométricos no se distribuyan bajo el comportamiento esperado de un clima mediterráneo (mayores precipitaciones durante el invierno), el riesgo es bajo dada la posibilidad que, a pesar de precipitar tanto o más que la media pluviométrica, los máximos montos se registren, por ejemplo, durante el otoño, provocando que la reserva de agua en el sistema montañoso sea menor de lo esperado, debido al comportamiento de la isoterma cero. Por otra parte, es posible apreciar algunas comunas con niveles más altos de riesgo, como Catemu, Quilpué y Valparaíso, que presentan un riesgo medio, y San Antonio y Santo Domingo, con riesgo alto. Esto se debe, principalmente, por presentar una vulnerabilidad agrícola media o baja y encontrarse en zonas de gran amenaza. Algo similar ocurre en la región Metropolitana, donde las comunas de Alhué, El Monte y Curacaví

presentan un riesgo medio, y sólo Melipilla señala un nivel máximo. Esto es consecuente con el nivel de amenaza y vulnerabilidad que presentan dichas comunas.

La región del Gral. Libertador Bernardo O'Higgins, por su parte, presenta dos zonas con distintos niveles de riesgo. La primera de ellas se extiende desde el Valle Central hacia el oeste, abarcando comunas como Rancagua, Graneros, Malloa, Santa Cruz y Chépica en el centro. Esta zona presenta comunas con niveles altos y muy altos de riesgo, donde las comunas de Lolol y Palmilla poseen el más alto nivel. Cabe señalar que estas comunas se encuentran en una zona de amenaza muy alta, la cual se ve potenciada por los altos niveles que presenta la vulnerabilidad agrícola. La segunda zona, en cambio, se extiende desde el Valle Central hacia el este, reflejando niveles bajos y muy bajos de riesgo. Entre estas dos zonas es posible apreciar algunas comunas con un nivel medio de riesgo, como Olivar, Coinco, Rengo y Chimbarongo.

Por otra parte, las regiones del Maule, del Bío-Bío y La Araucanía, presentan la mayor cantidad de comunas con niveles de riesgo alto y muy alto de la zona de estudio. Al analizar el área del Secano Costero, entre las comunas de Constitución y Tirúa, se observa que los niveles de riesgo asociados a este sector varían entre medio y alto, a excepción de las comunas de Coelemu, Tomé, San Pedro de la Paz y Lota, que presentan bajos niveles de riesgo. El Valle Central regado, por su parte, presenta los mayores niveles de riesgo, desde la comuna de Sagrada Familia, en la región del Maule, hasta Mulchén, en la región del Bío-Bío. Esto se explica, dado que en estas regiones se ubican las zonas de mayor amenaza asociada a los eventos El Niño y La Niña, las cuales presentan altos niveles de vulnerabilidad agrícola. A pesar de esto, las comunas de Romeral, San Ignacio, Chillán Viejo, Cabrero y Antuco, en el sector precordillerano, presentan un nivel de riesgo bajo.

Finalmente, la región de La Araucanía presenta niveles muy altos de riesgo en casi toda la zona del Secano Costero y el Secano Interior. Sin embargo, las comunas precordilleranas de Lonquimay, Melipeuco y Pucón presentan un riesgo bajo.

El Cuadro 9 muestra los distintos niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo que presentan algunas comunas ubicadas en la zona de estudio.

**Cuadro 9.** Amenaza, vulnerabilidad y riesgo determinado en un conjunto de comunas ubicadas en la zona de estudio.

<b>Comuna</b>	<b>Nivel de Amenaza</b>	<b>Nivel de Vulnerabilidad</b>	<b>Nivel de Riesgo</b>
Alhué	Alta	Baja	Medio
Antuco	Alta	Muy Baja	Bajo
Cabrero	Nula	Media	Muy Bajo
Catemu	Alta	Baja	Medio
Chepica	Alta	Alta	Alto
Chillán Viejo	Baja	Baja	Bajo
Chimbarongo	Nula	Muy Alta	Bajo
Coelemu	Muy Baja	Media	Bajo
Coinco	Alta	Baja	Medio
Curacaví	Alta	Media	Medio
El Monte	Alta	Media	Medio
Graneros	Alta	Media	Medio
Lolol	Muy Alta	Alta	Muy Alto
Lonquimay	Alta	Muy Baja	Bajo
Lota	Alta	Muy Baja	Bajo
Malloa	Alta	Media	Medio
Melipeuco	Nula	Muy Baja	Nulo
Melipilla	Alta	Muy Alta	Muy Alto
Olivar	Alta	Baja	Medio
Paine	Nula	Muy Alta	Bajo
Palmilla	Alta	Muy Alta	Muy Alto
Petorca	Muy Baja	Muy Alta	Medio
Pucón	Alta	Muy Baja	Bajo
Quilpué	Muy Alta	Muy Baja	Medio
Rancagua	Alta	Alta	Alto
Rengo	Nula	Muy Alta	Bajo
Romeral	Nula	Alta	Bajo
San Antonio	Muy Alta	Baja	Alto
San Ignacio	Alta	Muy Alta	Muy Alto
San Pedro de la Paz	Alta	Muy Baja	Bajo
Santa Cruz	Alta	Alta	Alto
Santo Domingo	Muy Alta	Baja	Alto
Tomé	Muy Baja	Muy Baja	Muy Bajo
Valparaíso	Muy Alta	Muy Baja	Medio

## CONCLUSIONES

En presencia de eventos El Niño, la zona centro-sur de Chile presenta un claro aumento en la pluviometría anual del Secano Costero, Secano Interior y Valle Central regado. Sin embargo, la pluviometría anual registrada en el Secano Costero húmedo y Secano Interior húmedo, en la región de La Araucanía, tiende a presentar similitudes o disminuciones respecto a la precipitación media anual. Ante eventos La Niña, en cambio, la pluviometría anual presenta una fuerte disminución en todas las zonas agrícolas.

Las regiones del Bío-Bío y La Araucanía, además del sector costero ubicado en las regiones del Gral. Libertador Bernardo O'Higgins y del Maule, son las que presentan los niveles más altos de amenaza asociada a eventos ENOS. Esto se explica por la condición de secano que presenta la zona agropecuaria, lo que determina una alta sensibilidad a las variaciones pluviométricas.

En cuanto a la vulnerabilidad global de la agricultura, se observaron dos zonas claramente definidas a lo largo de toda el área de estudio: la Costa, con bajos niveles de vulnerabilidad global, y el Valle Central, con niveles más altos. En aquellas regiones ubicadas en la zona central del país, los altos niveles de vulnerabilidad global se explican principalmente por la importancia agrícola que tienen sus comunas. En la zona sur, en cambio, los altos niveles de vulnerabilidad global se deben principalmente a la presencia de una agricultura menos tecnificada, la pequeña propiedad, condición de secano y una alta ruralidad.

Los resultados obtenidos revelaron dos áreas de riesgo bien definidas. La primera de ellas la constituyen las regiones de Valparaíso, Metropolitana y el sector oriente de la región del Gral. Libertador Bernardo O'Higgins, donde la mayor parte de las comunas presentan bajos niveles de riesgo. La segunda, en cambio, está constituida por las regiones del Maule, del Bío-Bío y La Araucanía, las cuales presentan altos niveles de riesgo.

La escala y la densidad de las estaciones meteorológicas y pluviométricas utilizadas permitieron un adecuado trazado de las cartas de isoyetas asociadas a cada uno de los eventos El Niño y La Niña seleccionados. Sin embargo, mejorar la información es una necesidad permanente, dada la irregularidad de la información temporal y espacial que presentan las estaciones ubicadas en la zona de estudio.

El método de interpolación "Natural Neighbor", del programa ArcGis, resultó ser el más adecuado para representar y distribuir la información generada en las cartas de isoyetas.

Por último, la metodología utilizada resultó adecuada, a nivel macro, para determinar áreas de riesgo asociadas a los efectos que los eventos ENOS tienen sobre el comportamiento del régimen de precipitaciones de la zona centro-sur de Chile. Además, el método propuesto es una herramienta que podría ayudar en la planificación de medidas de prevención ante una potencial amenaza de sequías o lluvias intensas.

## BIBLIOGRAFÍA

AVARIA, S., CARRASCO, J., RUTLLANT, J. y YÁÑEZ, E. (Eds.). 2004. El Niño-La Niña 1997-2000: Sus efectos en Chile. CONA, Chile, Valparaíso. 265p.

CARDONA, O. 2001. Capítulo 3: Valoración del riego y toma de decisiones. pp. 21-38. En: Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. [en línea]. Universitat Politècnica de Catalunya, [España]. [fecha de consulta: 04 de octubre 2006]. Disponible en: [http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0416102-075520/05Capitulo3.PDF](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0416102-075520/05Capitulo3.PDF)

CONAMA. 1999. Análisis de la Vulnerabilidad y Adaptación en Agricultura, Recursos Hídricos y Silvicultura. Santiago, Chile. 93p.

CURIHUINCA, J. y PIUZZI, B. 2004. Influencia de las precipitaciones en la agricultura de la zona Centro Norte de Chile, durante El Niño 1997. En: Avaria, S., Carrasco, J., Rutllant, J. y Yañez, E. (Eds.). El Niño-La Niña 1997-2000: Sus efectos en Chile. CONA, Chile, Valparaíso. pp. 211-230.

DI CASTRI, F. y HAJEK, E. 1975. Bioclimatología de Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. 128p.

GONZÁLEZ, P. 1995. Influencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur en la acumulación de grados-día y horas de frío de la región del Maule. Revista Frutícola 16(1): 27-35.

GONZÁLEZ, P. 2004. Comportamiento de las horas-frío, grados-día, heladas y precipitaciones en los agroecosistemas de la Región del Maule durante los eventos El Niño 1997 y La Niña 1998-1999. En: Avaria, S., Carrasco, J., Rutllant, J. y Yañez, E. (Eds.). El Niño-La Niña 1997-2000: Sus efectos en Chile. CONA, Chile, Valparaíso. pp. 231-252.

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (INETER), AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN (COSUDE). 2005. Sequía meteorológica: Mapas de amenazas. Recomendaciones técnicas para su elaboración. [en línea]. Nicaragua. INETER. [fecha de consulta: 10 de enero 2007]. Disponible en: <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/proyectos/metalarn/sequia.pdf>

MATURANA, J., BELLO, M. & MANLEY, M. 2004. Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur, En: Avaria, S., Carrasco, J., Rutllant, J. y Yañez, E. (Eds.). El Niño-La Niña 1997-2000: Sus efectos en Chile. CONA, Chile, Valparaíso. pp. 13-27.

MORILLO, J., POZO, J., PÉREZ, F., RODRÍGUEZ, M. C. y REBOLLEDO, F. C. 2002. Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación. [en línea]. Universidad de Extremadura, España. [fecha de consulta: 14 de julio 2007]. Disponible en: <http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/11.pdf>

SEPÚLVEDA, G. y PIUZZI, B. 2005. Incidencias de “El Niño” y “La Niña” en la agricultura de la Zona Central de Chile. [en línea]. Colegio de Meteorólogos de Chile, Chile. [fecha de consulta: 12 de diciembre 2007]. Disponible en: [http://www.meteorologos.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6:el-nino-y-la-agricultura&catid=4:meteorologia](http://www.meteorologos.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=6:el-nino-y-la-agricultura&catid=4:meteorologia)

SANTIBÁÑEZ, F. y URIBE, J. M. 1990. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería y Suelos, Laboratorio de Agroclimatología. Santiago, Chile. 65p.

SANTIBÁÑEZ, F. y URIBE, J. M. 1993. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones VI, VII, VIII y IX. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería y Suelos, Laboratorio de Agroclimatología. Santiago, Chile. 99p.

RODRÍGUEZ, P. 1999. Impacto del ENSO en Chile. En: I encuentro de Universidades del Pacífico Sur. [en línea]. Universidad de Piura, Perú. [fecha de consulta: 10 de octubre 2006]. Disponible en: [http://www.udep.edu.pe/rupsur/pdf/p\\_paulinar.pdf](http://www.udep.edu.pe/rupsur/pdf/p_paulinar.pdf)

VARGAS, J. 2002. Políticas Públicas para la Reducción de la Vulnerabilidad frente a los Desastres Naturales y Socio Naturales. Santiago, CEPAL. 79p.

WESTERN REGIONAL CLIMATE CENTER (WRCC). 2005. Classification of El Niño and La Niña Winters. [en línea]. WRCC, Estados Unidos. [fecha de consulta: 30 de junio 2007]. Disponible en : <http://www.wrcc.dri.edu/enso/ensodef.html>

**ANEXO**

**Estaciones meteorológicas y pluviométricas utilizadas en la generación de los escenarios pluviométricos, proporcionadas por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y la Dirección General de Aguas (DGA).**

**Cuadro 10.** Estaciones pluviométricas proporcionadas por la Dirección Meteorológica de Chile, con sus respectivos valores de precipitación media anual (mm/año).

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
PETORCA TENENCIA	V	32°15'	70°58'	501	420.3	S/Info.	S/Info.	S/Info.
HUAQUEN HACIENDA	V	32°18'	71°28'	200	539.3	160.4	760.1	32.5
TRAPICHE LONGOTOMA	V	32°20'	71°16'	600	476.1	172.5	S/Info.	17.7
LAS CASAS DE ALICAHUE	V	32°21'	70°48'	1000	403.3	S/Info.	S/Info.	69.9
LA VEGA FUNDO	V	32°25'	71°02'	215	400.9	154.8	511.7	S/Info.
EL COBRE FUNDO STA. MARIA	V	32°26'	71°21'	57	492.8	194.4	S/Info.	S/Info.
LA LIGUA ESVAL	V	32°27'	71°16'	58	S/Info.	222.1	864.6	47.2
EL INGENIO FUNDO	V	32°29'	71°09'	111	481.2	211.5	790.0	43.8
ZAPALLAR RETEN	V	32°33'	71°28'	30	518.1	207.4	726.4	S/Info.
CATAPILCO	V	32°34'	71°18'	95	570.6	215.1	891.0	46.0
LA CANELA FUNDO	V	32°42'	71°20'	450	719.1	315.1	1313.7	109.7
PUCHUNCAVI HACIENDA	V	32°44'	71°26'	117	554.6	210.9	847.3	57.1
SAN FELIPE ESC. AGRICOLA	V	32°46'	70°43'	650	325.0	S/Info.	S/Info.	36.7
CURIMON ESCUELA AGRICOLA	V	32°47'	70°41'	712	S/Info.	133.5	596.5	S/Info.
SAN ESTEBAN RETEN	V	32°48'	70°37'	832	368.5	74.7	S/Info.	47.3
LOS ANDES COMISARIA	V	32°50'	70°36'	816	328.7	189.1	641.9	61.0
RINCONADA RETEN	V	32°53'	70°41'	802	364.4	7.5	S/Info.	S/Info.
RADIO FARO EL TABON	V	32°55'	70°49'	855	431.8	175.0	S/Info.	S/Info.
LIMACHE ESVAL	V	33°01'	71°18'	120	689.5	S/Info.	1118.5	S/Info.
QUILPUE SENDOS	V	33°04'	71°28'	101	S/Info.	351.6	S/Info.	38.8
MARGA - MARGA	V	33°05'	71°24'	160	713.2	S/Info.	1225.4	65.9
RODELILLO AD.	V	33°05'	71°34'	360	1052.2	S/Info.	S/Info.	126.7
HUALLILEMU FUNDO	V	33°24'	71°38'	340	800.4	348.2	828.3	S/Info.
PUNTA PANUL FARO	V	33°34'	71°37'	63	595.8	275.4	753.2	49.9
LAS MAJADAS FUNDO	V	33°34'	71°31'	240	760.8	331.7	780.1	54.2
BATUCO RETEN	RM	33°15'	70°49'	490	304.8	94.7	S/Info.	S/Info.
EL TRANQUE LEPE FUNDO	RM	33°16'	71°07'	250	609.2	251.5	976.5	69.8
VALLE HERMOSO FUNDO	RM	33°17'	70°40'	540	384.1	154.2	627.0	106.4

(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
LOS RULOS FUNDO	RM	33°19'	70°35'	1049	407.8	189.3	S/Info.	S/Info.
FARELLONES SKY CLUB	RM	33°21'	70°18'	2570	S/Info.	360.5	757.6	S/Info.
TOBALABA AERODROMO	RM	33°27'	70°33'	650	431.8	220.5	783.1	103.8
QUEBRADA SAN RAMON	RM	33°30'	70°32'	880	459.8	S/Info.	S/Info.	116.4
CENTRAL FLORIDA	RM	33°33'	70°32'	760	525.4	174.8	811.6	122.0
LA OBRA DEL MAIPO	RM	33°36'	70°29'	780	732.1	410.6	1426.2	203.6
CALERA DE TANGO C. SOLOA	RM	33°37'	70°47'	500	508.8	245.6	892.6	90.5
SAN JOSE DE MAIPO S. COM.	RM	33°38'	70°21'	940	583.0	334.8	1022.0	151.0
CENTRAL LOS MORROS	RM	33°39'	70°39'	605	470.9	258.3	895.1	S/Info.
SAN GABRIEL RETEN	RM	33°47'	70°14'	1270	696.5	S/Info.	1363.7	S/Info.
QUELTEHUE CENTRAL	RM	33°48'	70°13'	1290	846.4	S/Info.	1593.8	262.4
ACULEO RANGUE	RM	33°51'	70°57'	400	818.2	537.7	1293.7	114.2
NAVIDAD	VI	33°57'	71°50'	100	695.5	462.1	970.8	190.3
BARAHONA	VI	34°07'	70°31'	1672	936.0	566.0	2090.3	346.7
SAN FERNANDO CLUB AEREO	VI	33°35'	70°59'	350	983.9	686.1	S/Info.	128.4
COYA	VI	34°12'	70°33'	785	819.2	S/Info.	S/Info.	212.8
MACHALI SENDOS	VI	34°12'	70°40'	582	667.1	404.0	S/Info.	S/Info.
CENTRAL PANGAL CASA DE F.	VI	34°15'	70°20'	920	S/Info.	385.3	1488.4	S/Info.
BOCATOMA PANGAL	VI	34°16'	70°20'	1428	985.1	701.1	S/Info.	378.2
BOCATOMA CACHAPOAL	VI	34°16'	70°28'	900	850.1	S/Info.	1412.8	241.8
RENGO SENDOS	VI	34°24'	70°52'	319	S/Info.	475.8	S/Info.	97.6
MARCHIHUE LICEO MINICIP.	VI	34°24'	71°36'	137	830.6	372.1	798.7	S/Info.
FUNDO LIHUEIMO	VI	34°32'	71°27'	150	943.2	572.4	1102.7	174.5
SAN DIEGO DE PUQUILLAY	VI	34°32'	71°30'	536	850.2	487.2	S/Info.	S/Info.
SAN FERNANDO SENDOS	VI	34°35'	71°00'	350	983.9	626.5	1179.9	144.2
HACIENDA PUMANQUE	VI	34°37'	71°40'	112	S/Info.	484.5	991.7	187.0
STA. ISABEL DE QUERELEMA	VI	34°37'	71°56'	127	925.4	504.0	751.1	S/Info.
PIUCHEN	VI	34°39'	71°42'	175	744.1	S/Info.	S/Info.	S/Info.

(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
NANCAGUA C.C.T.	VI	34°41'	71°12'	370	1062.8	558.6	1225.8	S/Info.
LAS ARAÑAS	VI	34°42'	71°15'	334	976.2	637.7	1083.2	149.1
CHIMBARONGO SAN BENITO	VI	34°43'	71°01'	314	631.8	426.1	S/Info.	136.4
LOLOL HACIENDA	VI	34°45'	71°40'	170	970.8	515.3	973.6	181.5
TENO SENDOS	VII	34°52'	71°10'	408	1058.0	666.8	1193.7	168.6
ILOCA SENDOS	VII	34°57'	72°13'	50	972.9	S/Info.	665.2	169.5
LOS QUEÑES	VII	35°01'	70°49'	671	800.9	1416.6	S/Info.	S/Info.
LICANTEN SENDOS	VII	35°01'	72°03'	464	926.2	636.9	963.9	263.2
CUREPTO SENDOS	VII	35°05'	72°03'	60	1088.2	718.4	1089.2	210.3
SAN JAVIER PARTICULAR	VII	35°36'	71°44'	80	1148.6	652.3	958.1	217.7
EL CARMEN DE CHANCO	VII	35°42'	72°33'	75	1228.5	S/Info.	1050.7	323.1
LINARES SENDOS	VII	35°50'	71°36'	137	1369.5	811.4	999.1	333.1
LONGAVI SENDOS	VII	35°58'	71°12'	145	1312.1	836.1	1223.0	327.7
CAUQUENES SENDOS	VII	35°58'	72°20'	142	1034.4	S/Info.	1130.4	197.2
QUELLA RETEN	VII	36°03'	72°07'	200	1144.4	694.5	792.6	S/Info.
ACHIBUENO RETEN	VII	36°05'	71°23'	585	1901.8	1727.3	S/Info.	S/Info.
PARRAL SENDOS	VII	36°09'	71°50'	170	1464.2	S/Info.	636.9	353.8
EMBALSE BULLILEO	VII	36°17'	71°25'	600	2510.7	2220.1	2646.4	S/Info.
DIGUA EMBALSE	VII	36°20'	71°24'	300	1993.9	1340.9	S/Info.	657.9
SAN CARLOS SENDOS	VIII	36°25'	71°55'	172	1696.2	951.9	1446.4	490.7
SAN FABIAN DE ALICO	VIII	36°34'	71°36'	500	2078.2	1683.8	1797.5	797.0
BULNES SENDOS	VIII	36°05'	72°19'	174	1496.4	916.1	1275.5	S/Info.
INST. PROF. ADVENTISTA	VIII	36°35'	72°02'	156	1530.9	867.2	S/Info.	S/Info.
SAN IGNACIO DE PALOMARES	VIII	36°38'	72°23'	15	1422.7	S/Info.	1556.4	645.4
CERRO CARACOL SENDOS	VIII	36°50'	73°03'	30	1512.5	943.5	1493.7	S/Info.
NONGUEN SENDOS	VIII	36°52'	72°58'	145	1625.0	1137.9	S/Info.	482.5
CHIGUAYANTE SENDOS	VIII	36°55'	73°02'	18	1791.2	1158.2	1558.5	598.5
PEMUCO TENENCIA	VIII	36°58'	72°07'	178	1800.6	1148.7	1072.9	300.1

(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
CABRERO SENDOS	VIII	37°01'	72°24'	130	1530.9	934.9	1346.9	567.6
SAN CRISTOBAL FUNDO	VIII	37°10'	72°35'	110	1233.5	749.2	1168.0	429.7
LA PALMA HACIENDA	VIII	37°15'	72°35'	92	1296.9	740.5	S/Info.	S/Info.
TUCAPEL RETEN	VIII	37°17'	71°57'	328	2042.0	1458.9	1802.3	S/Info.
COLONIA SAN GERARDO	VIII	37°32'	71°51'	424	1716.1	1080.5	1500.6	S/Info.
VILLUCURA RETEN	VIII	37°33'	71°55'	357	1757.7	1211.6	1852.4	S/Info.
EL TAMBILLO FUNDO	VIII	37°33'	72°40'	125	1469.4	1011.3	1545.3	762.7
PARCELA 10 LOS NOTROS	VIII	37°39'	71°55'	394	2458.4	1502.8	2237.8	S/Info.
SANTA BARBARA SENDOS	VIII	37°40'	72°02'	225	2251.8	1355.6	1713.3	686.4
MULCHEN SENDOS	VIII	37°43'	72°15'	125	1893.9	1101.9	1536.2	641.7
LA ARAUCANIA	VIII	37°47'	72°43'	156	1108.3	774.3	1319.7	S/Info.
ANGOL LOS ESTANQUES	VIII	37°48'	72°42'	79	1232.2	874.2	S/Info.	631.9
CAÑETE COMISARIA	VIII	37°48'	73°24'	60	1276.2	1238.5	1482.7	662.8
LOS SAUCES SENDOS	IX	37°58'	72°50'	107	757.6	585.4	840.0	342.6
CAPITAN PASTENE TENENCIA	IX	38°11'	72°59'	90	1440.2	93.7	S/Info.	S/Info.
TRAIGUEN REG. MIRAFLORES	IX	38°15'	72°40'	175	S/Info.	1004.4	S/Info.	750.9
SELVA OSCURA RETEN	IX	38°21'	72°11'	449	1761.0	1355.5	S/Info.	44.0
HOSPITAL GALVARINO	IX	38°24'	72°47'	50	963.5	864.8	S/Info.	426.6
CURACAUTIN SENDOS	IX	38°26'	71°54'	571	1806.7	1525.0	1834.8	861.5
LAUTARO SENDOS	IX	38°31'	72°26'	214	1549.4	1145.7	1232.3	442.8
CARILLANCA CAMPEX	IX	38°40'	72°25'	200	1792.4	1360.7	S/Info.	619.9
CARAHUE SENDOS	IX	38°43'	73°09'	10	1072.7	928.3	1105.0	574.2
NUEVA IMPERIAL SENDOS	IX	38°45'	72°56'	26	1037.3	798.8	908.9	430.5
PADRE LAS CASAS	IX	38°46'	72°35'	111	1408.7	1152.0	1301.8	549.2
LA TORCAZA	IX	38°54'	72°29'	120	1953.3	1641.4	S/Info.	754.7
CUNCO SENDOS	IX	38°56'	72°02'	360	2611.8	1977.2	2648.4	1064.8
CURACO EN LA Balsa	IX	39°03'	72°12'	250	2760.0	1866.5	2788.6	1047.3
FLOR DEL LAGO	IX	39°09'	72°07'	300	3000.3	2510.2	3193.5	1267.9

**Cuadro 11.** Estaciones meteorológicas y pluviométricas proporcionadas por la Dirección General de Aguas, con sus respectivos valores de precipitación media anual (mm/año).

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
HACIENDA PEDERNAL	V	32°05'	70°48'	1100	418.5	129.3	S/Info.	49.7
FRUTILLAR ALTO	V	32°09'	71°02'	880	464.1	S/Info.	S/Info.	36.6
HACIENDA CHALACO	V	32°11'	70°47'	880	377.7	129.0	S/Info.	48.2
EL TRAPICHE	V	32°13'	70°43'	1070	426.5	168.5	555.5	93.7
HACIENDA EL SOBRANTE	V	32°14'	70°47'	810	367.5	127.8	S/Info.	58.9
PALQUICO	V	32°15'	71°08'	440	443.0	151.0	S/Info.	40.0
HIERRO VIEJO	V	32°17'	71°00'	375	341.4	124.3	S/Info.	11.2
LAS COLMENIAS	V	32°17'	71°14'	180	440.4	S/Info.	S/Info.	48.0
EL SALVADOR	V	32°18'	71°05'	370	398.5	154.5	644.3	26.9
HACIENDA ALICAHUE	V	32°20'	70°45'	835	469.4	174.5	691.0	100.0
ARTIFICIO	V	32°23'	71°06'	125	401.2	171.3	S/Info.	30.0
LONGOTOMA	V	32°24'	71°22'	20	517.1	152.1	S/Info.	20.5
LA VIÑA	V	32°25'	70°54'	410	392.1	159.2	S/Info.	S/Info.
CHACRILLA	V	32°25'	71°04'	290	447.5	188.1	S/Info.	40.4
LA MOSTAZA	V	32°26'	70°40'	1200	478.5	201.2	685.8	32.3
VALLE HERMOSO	V	32°26'	71°13'	55	S/Info.	192.0	S/Info.	47.5
LAS PUERTAS	V	32°29'	70°56'	350	423.6	S/Info.	S/Info.	37.2
RESGUARDO LOS PATOS	V	32°30'	70°36'	1220	397.0	S/Info.	S/Info.	77.1
EL TARTARO	V	32°34'	70°42'	950	369.9	171.5	S/Info.	41.0
MINA CERRO NEGRO	V	32°35'	70°52'	650	392.5	127.5	S/Info.	62.3
LAGUNA DE ZAPALLAR	V	32°37'	71°18'	80	S/Info.	195.4	S/Info.	38.8
JAHUEL	V	32°41'	70°36'	1020	S/Info.	187.7	S/Info.	56.7
CATEMU	V	32°44'	70°56'	440	440.3	S/Info.	S/Info.	43.9
SAN FELIPE	V	32°45'	70°43'	640	325.0	132.8	S/Info.	S/Info.
LO ROJAS	V	32°47'	71°17'	175	624.5	230.5	S/Info.	71.0
E. RABUCO	V	32°51'	71°07'	300	570.6	S/Info.	S/Info.	78.6
VILCUYA	V	32°52'	70°28'	1100	S/Info.	236.2	853.6	95.6
QUILLOTA	V	32°54'	71°13'	130	528.9	187.3	727.6	56.9

(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
RIECILLOS	V	32°56'	70°21'	1290	596.9	S/Info.	S/Info.	103.1
LAS CHILCAS	V	32°56'	70°49'	629	389.5	178.3	682.2	39.5
LOS AROMOS	V	32°57'	71°22'	100	684.7	283.6	1029.7	76.5
QUEBRADA ALVARADO	V	33°03'	71°06'	290	696.3	329.1	1125.9	98.1
RODELILLO	V	33°03'	71°35'	110	S/Info.	350.2	S/Info.	125.8
EMBALSE LLIU-LLIU	V	33°06'	71°13'	300	733.5	332.0	1318.7	139.3
LAGO PEÑUELAS	V	33°09'	71°32'	360	1097.5	447.7	1303.5	137.9
LAS PIEDRAS	V	33°10'	71°19'	225	790.3	S/Info.	S/Info.	104.3
COLLIGUAY	V	33°10'	71°09'	490	934.6	S/Info.	S/Info.	142.9
CASABLANCA	V	33°20'	71°25'	300	S/Info.	240.3	900.0	73.9
SAN ANTONIO (PTA. PANUL)	V	33°34'	71°27'	60	656.6	S/Info.	742.4	49.9
CERRILLOS DE LEYDA	V	33°38'	71°30'	150	774.8	359.2	864.7	68.2
FUNDO LAS 2 PUERTAS	V	33°47'	71°40'	165	S/Info.	269.0	852.0	151.0
LAS BATEAS FUNDO	RM	32°57'	70°49'	800	466.3	S/Info.	773.5	59.5
CALEU	RM	33°00'	71°00'	1120	S/Info.	385.5	1518.0	133.0
EMB. RUNGUE	RM	33°01'	70°54'	750	556.6	195.2	1054.9	84.2
EMBALSE HUECHUN	RM	33°05'	70°48'	570	405.4	S/Info.	608.0	66.6
LA DEHESA	RM	33°15'	70°30'	990	S/Info.	S/Info.	901.9	169.5
CERRO CALAN	RM	33°24'	70°32'	900	522.7	244.2	847.4	150.5
QUEBRADA RAMON	RM	33°26'	70°32'	700	S/Info.	251.6	909.5	121.9
TERRAZA OFCS. CENTRALES DGA	RM	33°26'	70°39'	560	418.1	189.5	746.8	112.2
LOS PANGUILES	RM	33°26'	71°01'	250	517.5	203.8	700.7	76.6
IBACACHE ALTO	RM	33°27'	71°19'	250	701.3	291.8	911.9	57.5
ANTUPIREN	RM	33°30'	70°31'	920	462.1	290.9	876.7	137.9
BOCATOMA MAITENES	RM	33°31'	70°13'	1200	S/Info.	269.5	981.0	116.7
LA OBRA RECINTO EMOS	RM	33°31'	70°13'	1200	S/Info.	S/Info.	1410.6	217.9
BOCATOMA CENTRAL LA HERMITA	RM	33°31'	70°22'	1250	S/Info.	320.4	887.2	121.7
MARRUECOS	RM	33°33'	70°49'	422	409.4	197.6	732.0	79.4

(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
MALLARAUCO	RM	33°35'	70°55'	150	S/Info.	282.1	775.0	67.4
SAN JOSE RETEN	RM	33°38'	70°21'	915	S/Info.	S/Info.	1022.0	151.0
PUANGUE EN RUTA 78 D.L	RM	33°39'	71°21'	100	600.5	287.0	596.9	34.0
EMBALSE EL YESO	RM	33°40'	70°05'	2475	545.0	397.5	1201.4	233.4
PIRQUE	RM	33°40'	70°35'	670	410.3	303.5	926.0	131.6
MELIPILLA	RM	33°42'	71°13'	200	603.7	315.2	751.4	58.8
EL VERGEL	RM	33°43'	70°54'	300	466.9	296.2	922.6	95.0
CARMEN DE LAS ROSAS	RM	33°45'	71°09'	165	S/Info.	327.5	758.2	59.5
SAN GABRIEL	RM	33°47'	70°14'	1195	383.8	319.5	1339.2	269.9
ANGOST. EN VALDIVIA DE PAINE	RM	33°49'	70°54'	350	623.5	364.5	552.4	85.5
LAGUNA ACULEO	RM	33°51'	70°54'	360	S/Info.	477.5	1158.5	123.0
LOS GUINDOS	RM	33°53'	71°14'	165	780.9	531.3	1041.5	82.5
LAS MELOSAS	RM	33°54'	70°12'	1527	802.5	602.1	1542.0	255.8
VILLA ALHUE	RM	34°02'	71°05'	270	732.7	381.5	945.0	67.0
BARRERA LONCHA	RM	34°05'	71°11'	130	782.2	S/Info.	S/Info.	75.8
RAPEL	VI	33°57'	71°44'	50	828.7	399.5	976.2	164.8
LITUECHE	VI	34°07'	71°43'	210	1057.0	532.5	1251.5	223.0
RANCAGUA (CACHAPOAL)	VI	34°10'	70°45'	500	533.4	371.8	802.8	104.7
COCALAN	VI	34°12'	71°16'	195	806.0	369.7	952.0	134.5
COLTAUCO	VI	34°17'	71°05'	450	929.5	545.4	1091.5	117.9
PICHIDEGUA	VI	34°21'	71°17'	280	877.5	417.5	1022.8	145.6
PICHILEMU	VI	34°23'	72°00'	5	688.4	447.5	703.0	164.2
RENGO	VI	34°24'	70°52'	310	720.3	S/Info.	855.0	114.2
POPETA	VI	34°26'	70°47'	460	791.1	528.5	985.3	143.0
VIÑA VIEJA	VI	34°26'	71°03'	315	798.6	572.4	1034.8	103.8
CENTRAL LAS NIEVES	VI	34°29'	70°45'	720	999.6	696.8	1302.6	172.7
MILLAHUE	VI	34°31'	71°13'	370	1107.9	729.5	1126.7	186.0
NILAHUE BARAHONA	VI	34°34'	71°45'	120	790.0	408.5	981.1	148.5

(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
SAN FERNANDO	VI	34°35'	70°58'	350	983.6	626.3	1229.9	146.8
LA RUFINA	VI	34°44'	70°46'	735	1485.6	1027.4	1987.1	311.8
CONVENTO VIEJO	VI	34°46'	71°06'	245	931.2	618.2	1067.1	139.8
EL MEMBRILLO	VI	34°48'	71°38'	240	860.8	S/Info.	1134.0	216.0
LA CANDELARIA	VI	34°50'	71°27'	220	1168.3	654.5	1198.2	237.8
RANGUILI	VI	34°51'	71°43'	130	1091.1	648.0	1009.9	205.3
MELOZAL	VII	34°46'	71°47'	90	1137.6	703.8	990.9	296.0
SANTA SUSANA	VII	34°54'	71°02'	420	810.0	731.5	1437.2	218.7
LA PALMA	VII	34°56'	71°37'	114	S/Info.	535.1	919.8	174.0
EL MANZANO	VII	34°57'	70°55'	595	1488.1	1277.0	2309.0	275.1
CURICO	VII	34°59'	71°14'	215	1020.9	603.0	958.8	170.6
LOS QUEÑES	VII	35°00'	70°49'	723	1773.8	1272.6	2383.0	342.8
LONTUE	VII	35°02'	71°17'	215	555.8	663.7	895.3	154.2
VILLA PRAT	VII	35°06'	71°37'	88	S/Info.	669.7	1104.2	248.9
MONTE OSCURO	VII	35°11'	70°58'	645	S/Info.	1497.6	2415.1	383.0
POTRERO GRANDE	VII	35°11'	71°06'	450	S/Info.	1077.8	1697.5	286.8
PUTU	VII	35°12'	72°24'	36	S/Info.	676.9	1133.8	341.8
EL GUINDO	VII	35°15'	71°19'	170	818.0	590.0	1052.5	167.4
GUALLECO	VII	35°15'	71°59'	114	1206.6	682.9	981.7	320.0
SAN RAFAEL	VII	35°18'	71°31'	136	S/Info.	628.9	1026.4	242.4
CONSTITUCION	VII	35°19'	72°24'	10	S/Info.	929.4	S/Info.	309.4
PENCAHUE	VII	35°22'	71°50'	110	1011.9	539.3	963.3	209.3
FUNDO EL RADAL	VII	35°25'	71°03'	663	S/Info.	1950.9	2892.1	474.0
TALCA U.C.	VII	35°26'	71°37'	110	895.2	571.5	868.5	217.3
HUAPI	VII	35°29'	71°19'	300	S/Info.	960.6	1378.6	228.3
EL DURAZNO	VII	35°29'	71°19'	259	S/Info.	835.8	1251.6	288.7
NIRIVILO	VII	35°32'	72°05'	215	1242.0	190.9	1025.0	334.9
VILCHES ALTOS	VII	35°35'	71°05'	1039	S/Info.	1718.7	2983.4	594.4

(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
SAN JAVIER	VII	35°36'	71°39'	115	1133.0	642.6	921.8	200.5
COLBUN (MAULE SUR)	VII	35°37'	71°24'	226	1116.4	929.3	1356.5	332.6
COLORADO	VII	35°38'	71°16'	470	1798.1	1376.5	1936.8	409.0
HUERTA DEL MAULE	VII	35°40'	71°56'	218	S/Info.	570.3	1021.6	254.1
ARMERILLO	VII	35°42'	71°05'	540	2677.5	2199.1	3613.2	730.0
LA ESTRELLA	VII	35°47'	72°11'	200	S/Info.	576.6	980.5	276.4
LINARES	VII	35°50'	71°36'	146	1290.3	S/Info.	981.7	312.5
HORNILLO	VII	35°52'	71°07'	812	2470.0	1902.3	3188.2	782.0
TUTUVEN EMBALSE	VII	35°54'	72°22'	170	1126.4	751.3	1205.2	307.1
ANCOA EMBALSE	VII	35°55'	71°17'	430	1988.5	1535.0	2404.7	549.9
LOS HUINGANES	VII	35°56'	71°56'	132	S/Info.	399.7	1008.2	S/Info.
LIGUAY	VII	35°56'	71°41'	145	1436.5	1128.5	1291.7	401.3
QUELLA	VII	36°03'	72°05'	130	1151.4	679.6	899.8	270.9
JUAN AMIGO	VII	36°04'	71°23'	488	S/Info.	1501.2	2118.0	569.0
LA SEXTA DE LONGAVI	VII	36°06'	71°23'	228	S/Info.	1042.8	1492.2	410.3
EL ALAMO	VII	36°07'	72°25'	108	S/Info.	652.0	1120.9	380.0
PARRAL	VII	36°12'	71°50'	160	1478.3	815.3	1225.7	381.2
DIGUA EMBALSE	VII	36°15'	71°33'	380	1997.0	1389.6	1797.7	591.4
BULLILEO EMBALSE	VII	36°17'	71°23'	600	2510.7	2220.6	2719.5	S/Info.
SAN MANUEL EN PERQUILAUQUEN	VII	36°21'	71°39'	270	2054.5	1300.1	1940.3	637.6
MANGARRAL	VIII	36°14'	72°22'	150	872.5	700.5	1133.1	363.5
MILLAQUEN	VIII	36°22'	72°07'	130	S/Info.	889.6	1251.4	447.8
SAN AGUSTIN DE PUÑUAL	VIII	36°25'	72°35'	100	S/Info.	805.6	1151.3	389.7
COLEMU	VIII	36°29'	72°42'	30	1204.9	701.3	1110.1	357.2
SAN FABIAN	VIII	36°33'	71°33'	500	1987.2	1609.6	1923.2	651.6
DICHATO	VIII	36°33'	72°56'	4	S/Info.	845.8	1208.4	597.8
RAFAEL	VIII	36°37'	72°37'	198	S/Info.	1386.0	1930.0	890.5
CHILLAN VIEJO	VIII	36°38'	72°06'	140	1529.2	945.7	1291.2	488.0

(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
CARACOL	VIII	36°39'	71°23'	725	3023.5	2563.1	3409.8	997.6
COIHUECO EMB	VIII	36°39'	71°49'	330	1999.1	1372.2	1736.1	668.1
NUEVA ALDEA	VIII	36°39'	72°28'	60	1366.6	839.5	1215.5	498.5
CAMAN	VIII	36°40'	71°15'	920	S/Info.	S/Info.	2929.0	818.8
CANCHA LOS LITRES	VIII	36°43'	72°35'	250	S/Info.	782.4	1206.7	523.1
CHILLANCITO	VIII	36°46'	72°27'	70	1476.5	719.0	1319.0	523.6
MAYULERMO	VIII	36°49'	71°52'	375	S/Info.	1268.1	1850.4	723.2
CONCEPCION D.G.A.	VIII	36°50'	73°06'	20	S/Info.	S/Info.	1664.4	677.7
DIGUILLIN	VIII	36°52'	71°38'	710	2514.1	2127.2	2581.2	941.6
ATACALCO FUNDO	VIII	36°55'	71°34'	730	2811.5	2294.3	2843.2	1052.4
LAS TRANCAS	VIII	36°55'	71°30'	1160	S/Info.	1967.5	2203.1	983.8
SAN LORENZO FUNDO	VIII	36°58'	71°31'	740	2662.5	2144.6	2634.6	1109.4
PEMUCO	VIII	36°58'	72°06'	200	1829.4	1137.6	1435.7	412.6
CHOLGUAN	VIII	37°09'	72°04'	225	1818.7	1226.6	1601.8	564.3
TRUPAN	VIII	37°16'	71°49'	460	2161.3	1613.6	2152.8	877.7
LAJA	VIII	37°16'	72°42'	40	S/Info.	820.0	1456.8	670.0
TUCAPEL	VIII	37°17'	71°57'	330	2075.7	1570.7	1960.8	787.1
LAS ACHIRAS FUNDO	VIII	37°21'	72°23'	125	S/Info.	836.5	1169.0	465.6
LOS ANGELES	VIII	37°30'	72°31'	120	S/Info.	889.3	1415.3	588.5
SAN LORENZO BIO-BIO	VIII	37°34'	71°30'	925	S/Info.	S/Info.	2665.3	S/Info.
SAN CARLOS DE PUREN	VIII	37°35'	72°16'	150	S/Info.	965.2	1405.4	618.4
QUILLAILEO	VIII	37°37'	71°40'	500	S/Info.	1980.7	2876.5	S/Info.
QUILACO	VIII	37°41'	72°00'	225	2136.3	1310.0	1800.4	646.6
MULCHEN	VIII	37°43'	72°15'	130	1745.8	1039.5	1524.4	669.0
CAÑETE	VIII	37°44'	73°24'	25	S/Info.	S/Info.	1628.7	731.2
CERRO EL PADRE	VIII	37°47'	71°52'	400	2867.3	2000.0	2536.0	856.6
PILGUEN	VIII	37°51'	72°13'	300	S/Info.	S/Info.	1795.0	796.1
POCO A POCO	VIII	37°52'	71°59'	650	S/Info.	2359.5	2974.4	S/Info.

(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
CONTULMO	VIII	38°01'	73°13'	60	1995.1	1861.8	2125.5	730.5
ANGOL (LA MONA)	IX	37°48'	72°39'	90	S/Info.	S/Info.	1481.4	727.6
COLLIPULLI	IX	37°57'	72°27'	240	1705.1	1129.6	1630.1	S/Info.
TRANAMAN	IX	38°00'	73°00'	70	1174.5	971.9	1175.6	501.7
ENCINAR MALLECO	IX	38°06'	72°07'	520	2602.4	1838.2	2559.1	961.9
LUMACO	IX	38°09'	72°54'	60	1243.0	1053.5	1399.0	569.0
LAGUNA MALLECO	IX	38°13'	71°49'	830	3753.8	S/Info.	3702.1	S/Info.
LAS MERCEDES (VICTORIA)	IX	38°14'	72°20'	350	2286.7	1313.0	1594.3	733.0
TRAIQUEN	IX	38°15'	72°40'	170	1226.5	1027.5	1246.0	583.6
GALVARINO	IX	38°24'	72°47'	45	1059.0	874.7	1187.5	S/Info.
CURACAUTIN	IX	38°26'	71°53'	570	1865.6	1474.3	1883.5	888.1
RARI-RUCA	IX	38°26'	71°59'	450	S/Info.	1702.8	2076.0	955.3
LONQUIMAY	IX	38°27'	71°21'	900	1864.0	1598.1	1602.1	S/Info.
QUILLEN	IX	38°28'	72°25'	250	1543.0	1252.4	1447.4	626.9
LA CABAÑA	IX	38°29'	73°14'	625	1973.6	1429.0	2352.6	876.6
MALALCAHUELLO	IX	38°29'	71°35'	950	2231.3	1978.7	2936.1	1157.5
LAUTARO	IX	38°31'	72°26'	210	1504.9	1269.4	1731.3	524.7
CHOL-CHOL	IX	38°36'	73°00'	90	1207.5	988.5	1169.5	585.3
LIUCURA	IX	38°39'	71°05'	1030	1046.6	925.0	1262.9	369.3
VILCUN	IX	38°40'	72°14'	290	2158.5	1683.2	1886.1	816.6
CHERQUENCO	IX	38°41'	72°00'	340	2505.0	2364.0	2711.8	1019.7
PUEBLO NUEVO (TEMUCO)	IX	38°44'	72°34'	115	1605.2	1315.5	1491.4	651.5
PUERTO SAAVEDRA	IX	38°46'	73°24'	5	1355.7	1120.8	1504.4	733.8
ALMAGRO	IX	38°47'	72°57'	20	S/Info.	1068.8	1036.4	S/Info.
TRICAUCO	IX	38°51'	71°33'	550	2784.6	2362.7	S/Info.	S/Info.
CUNCO	IX	38°56'	72°02'	385	2067.1	911.3	1785.5	698.5
FREIRE SENDOS	IX	38°57'	72°36'	100	1807.0	1551.9	2056.2	668.6
LOS LAURELES	IX	38°59'	72°14'	190	2471.2	2052.8	2606.9	937.3

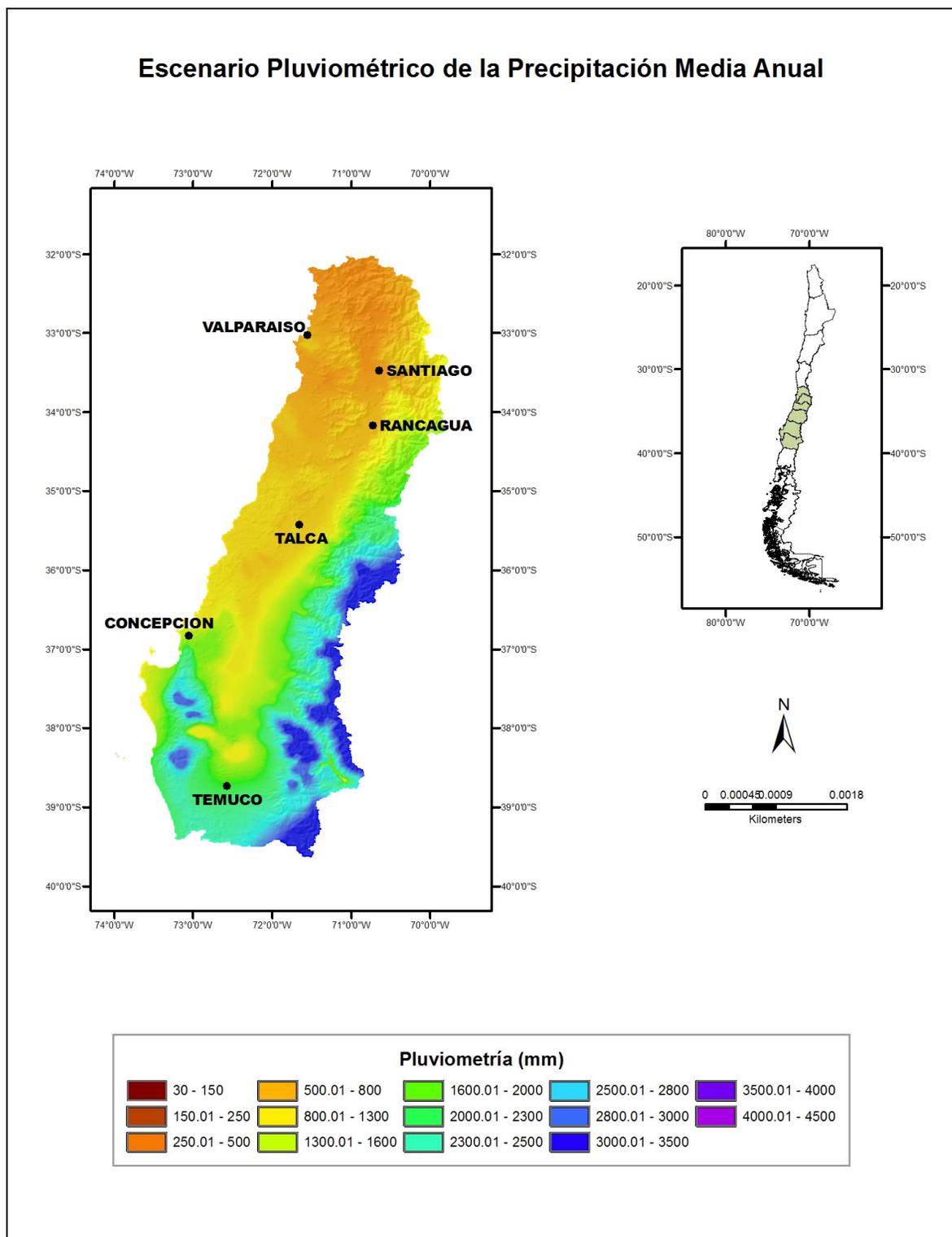
(Continuación)

NOMBRE ESTACION	REGION	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	ALTITUD (Metros)	Año 1992	Año 1995	Año 1997	Año 1998
TEODORO SCHMIDT	IX	38°59'	73°06'	40	1782.5	671.5	921.0	250.6
QUECHEREGUA	IX	39°00'	72°04'	420	2316.6	1925.5	2331.2	S/Info.
QUITRATUE	IX	39°09'	72°39'	90	2430.0	2226.5	2803.0	1254.7
TOLTEN	IX	39°12'	73°12'	17	S/Info.	1623.3	2230.9	1104.3
PUCON	IX	39°16'	71°58'	215	2447.7	2188.9	2783.6	1146.4
VILLARRICA	IX	39°17'	72°14'	220	2401.0	2151.5	2522.6	1142.4
LLAFENCO	IX	39°20'	71°48'	300	3952.5	3618.0	4469.5	1724.5
CURARREHUE	IX	39°21'	71°35'	580	2667.4	2646.1	3044.6	1397.0
CHANLELFU	IX	39°29'	72°14'	185	S/Info.	2573.4	2799.8	S/Info.
PUESCO ADUANA	IX	39°31'	71°34'	620	3345.7	2943.9	3985.3	791.2

- S/Info.= Sin Información (incompleta).

**APÉNDICE**

**Escenarios Pluviométricos de la Precipitación Media Anual, El Niño (Moderado y Fuerte) y La Niña (Moderada y Fuerte).**



**Figura 16.** Escenario pluviométrico de la Precipitación Media Anual.

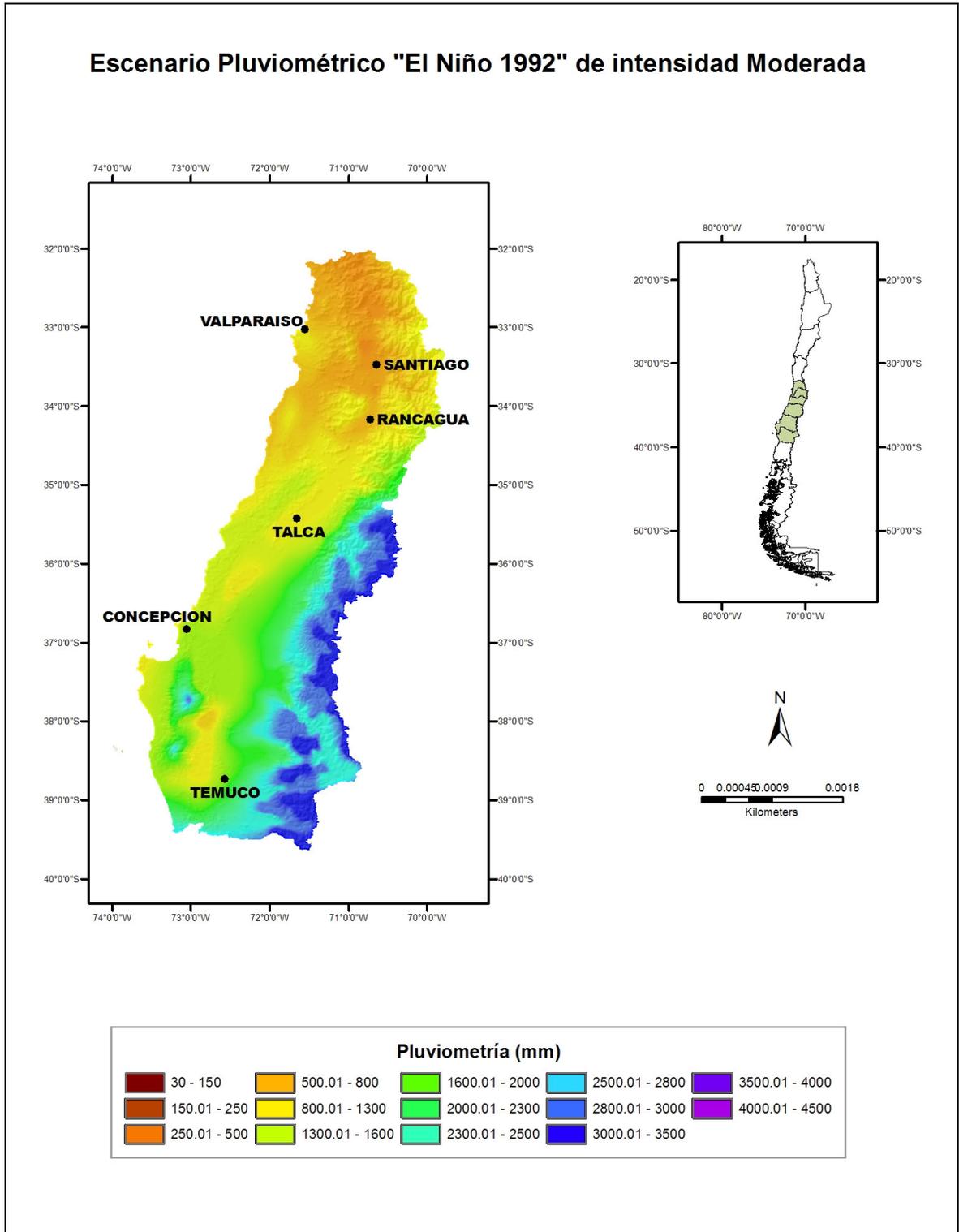
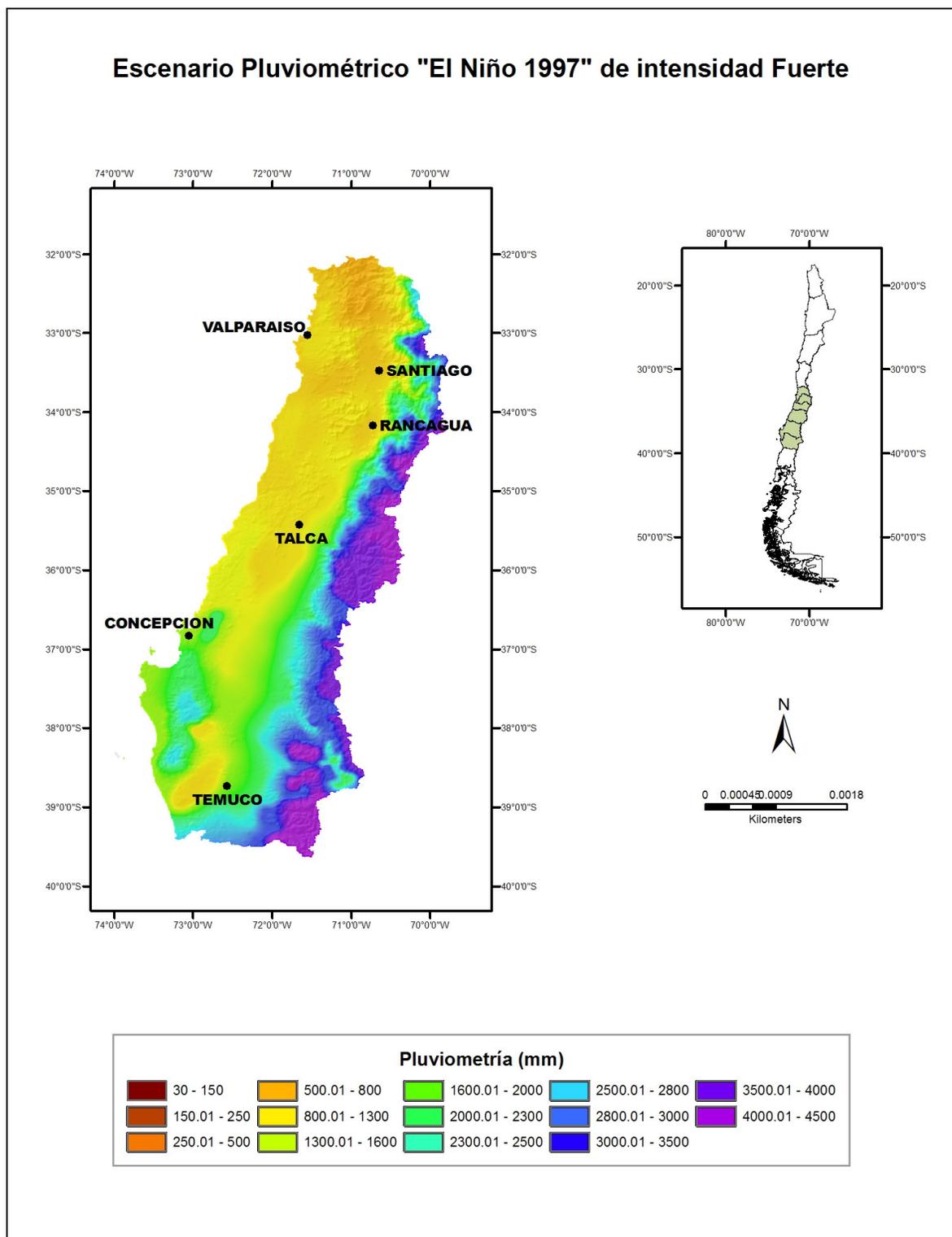
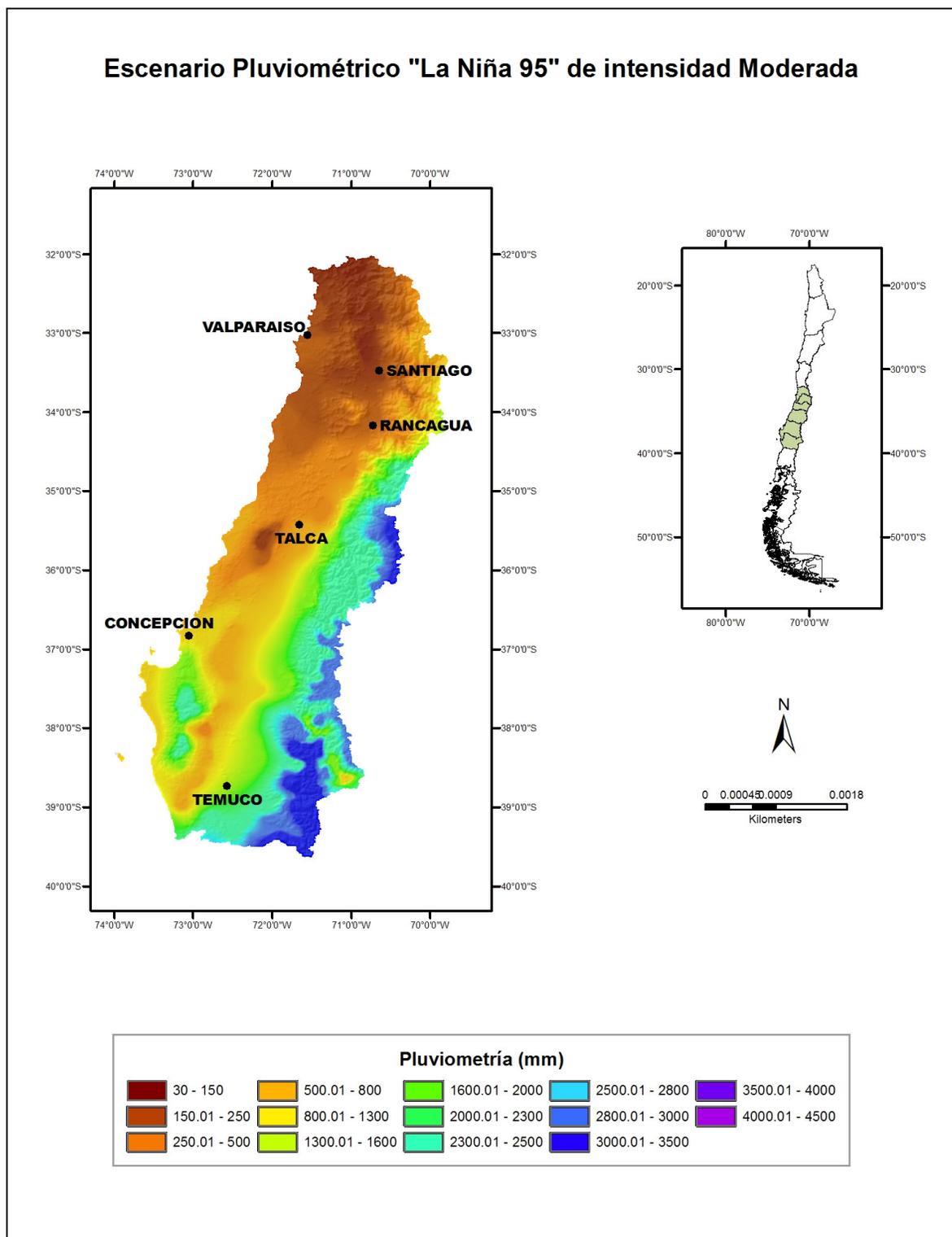


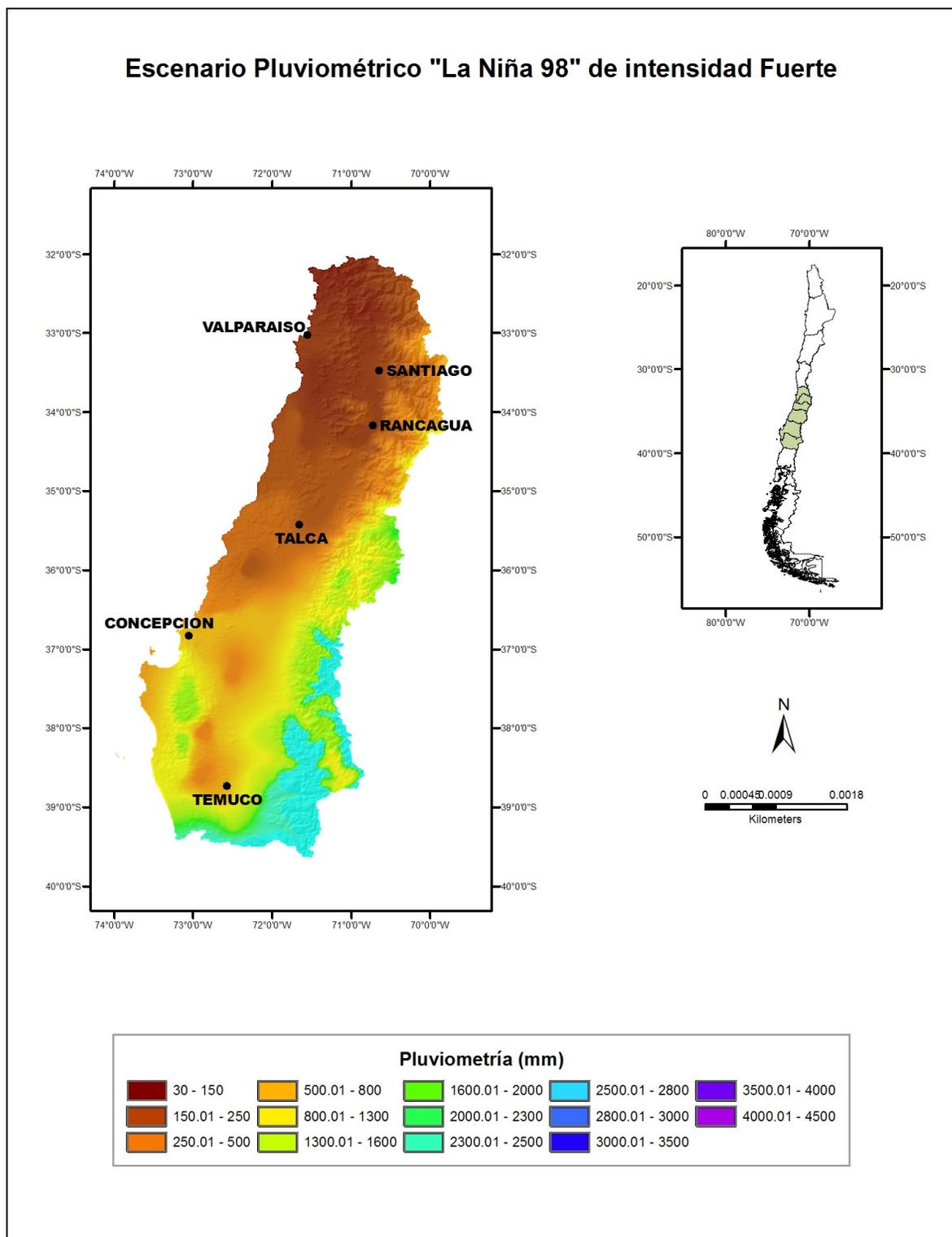
Figura 17. Escenario pluviométrico de “El Niño 1992” de intensidad Moderada.



**Figura 18.** Escenario pluviométrico de "El Niño 1997" de intensidad Fuerte.



**Figura 19.** Escenario pluviométrico de "La Niña 1995" de intensidad Moderada.



**Figura 20.** Escenario pluviométrico de "La Niña 1998" de intensidad Fuerte.