



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL
(V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA
FRECUENCIA.

Memoria para optar al título de Geógrafo

VÍCTOR HUGO NÚÑEZ VÁSQUEZ
Autor

PABLO SARRICOLEA ESPINOZA
Profesor Guía

SANTIAGO - CHILE
Enero 2015

**ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU
RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.**



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

**ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL
(V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA
FRECUENCIA.**

Fondecyt de Iniciación en Investigación N° 11130629

Memoria para optar al título de Geógrafo

VÍCTOR HÚGO NÚÑEZ VÁSQUEZ
victorhvn@ug.uchile.cl
Autor

PABLO SARRICOLEA ESPINOZA
Profesor Guía

SANTIAGO - CHILE
Enero 2015

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU
RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

TABLA DE CONTENIDO

Cuerpo Preliminar

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	vii
SIGLAS.....	viii

Cuerpo

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN.....	2
1.1.- Planteamiento del problema.....	2
1.1.1.- Antecedentes del problema	2
1.1.2.- Tendencias en la aridez a comienzos del siglo XX	3
1.1.3.- Antecedente de la sequía según el indicador normalizado de precipitaciones .	4
1.1.4.- La sequía vista desde la institucionalidad internacional	5
1.1.5.- Repercusiones en Chile.....	7
1.2.- Área de estudio	10
1.2.1.- Delimitación y justificación	10
1.2.2.- Caracterización climática	12
1.2.3.- Topografía	17
1.2.4.- Caracterización hidrológica (Red Fluvial y Cuencas)	20
1.2.5.- Caracterización agrícola	23
1.2.6.- Organizaciones de usuarios de aguas	26
1.3.- Objetivos	29
1.3.1.- Objetivo general:.....	29
1.3.2.- Objetivos específicos:.....	29
1.4.- Hipótesis	29
1.5.- Tipo de estudio	29
1.5.1.- Materiales:.....	30
1.5.2.- Métodos o procedimientos:.....	30
1.6.- Justificación	30

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	32
2.1.- La Sequía.....	32
2.2.- Causas de la sequía	35
2.2.1.- Antropológicas	35
2.2.2.- Naturales	36
2.2.3.- Causa principal de la sequía en Chile.....	38
2.3.- Efectos o impactos de la sequía.....	38
2.3.1.- Impactos económicos aplicables a Chile Central	39
2.3.2.- Impactos ambientales	40
2.3.3.- Impactos sociales	40
2.4.- Tipos de sequía.....	43
2.4.1.- Sequía meteorológica:.....	44
2.4.2.- Sequía agrícola o agronómica:	44
2.4.3.- Sequía hidrológica:	46
2.5.- Métodos de medición	46
2.6.- Sequía en Chile y su relación con teleconexiones (ENSO, PDO, AAO)	47
2.6.1.- El Niño, oscilación del sur (ENSO ONI)	48
2.6.2.- La Niña, efectos en el clima de Chile	49
2.6.3.- Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).....	50
2.6.4.- Oscilación Antártica (AAO)	50
2.7.- Institucionalidad para enfrentar la sequía en Chile.	51
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	53
3.1.- Recolección de información	53
3.2.- Métodos utilizados	54
3.2.1.- Persistencia de sequía según el coeficiente de Besson.....	54
3.2.2.- Índice estándar de precipitaciones (SPI).....	57
3.2.3.- Métodos de análisis probabilístico de Martín-Vide	59
3.2.4.- Índice de desviación de la precipitación respecto a su Normal o Porcentaje de la precipitación normal.....	61
3.2.5.- Deciles de Gibbs y Maher	63
3.3.- Esquema Metodológico.....	65

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	66
4.1.- Resultados Persistencia de sequía según el coeficiente de Besson.....	66
4.1.1.- Interpolación de información para cartografías del índice de Besson.....	69
4.2.- Resultados índice normalizado de precipitaciones SPI	75
4.2.1.- Índice estandarizado de precipitaciones en años El Niño y La Niña.....	76
4.2.2.- Índice estandarizado de precipitaciones total.....	77
4.3.- Resultados del método de rachas de sequía.....	82
4.3.1.- Interpolación de información para longitud media de rachas de sequía	83
4.4.- Resultados de Porcentaje de precipitación normal.....	85
4.4.1.- Porcentaje de precipitación normal en años La Niña y El Niño	86
4.4.2.- Porcentaje de precipitación normal total	87
4.5.- Resultados de Deciles según el método de Gibbs y Maher.....	92
4.5.1.- Deciles total	94
4.6.- Índices y su relación con teleconexiones ENSO, PDO, AAO.....	96
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
5.1.- Discusión	99
5.2.- Conclusiones	100
5.3.- Alcances de la investigación	102
5.1.2.- Fortalezas del estudio realizado	102
5.1.1.- Debilidades del estudio realizado	102
5.3.- Recomendaciones	103
5.3.1.- Etapas futuras y proyecciones	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Áreas de Restricción y Zonas de prohibición en el área de estudio.....	8
Tabla 2 Parámetros climáticos promedio de Valparaíso	14
Tabla 3 Parámetros climáticos promedio de Santiago	14
Tabla 4 Cuencas hidrográficas principales y su caudal Valparaíso	20
Tabla 5 Cuencas hidrográficas principales y su caudal Santiago.....	20
Tabla 6 SubCuencas hidrográficas	21
Tabla 7 Número de exportaciones y superficie en el área de estudio según censos agropecuarios.	24
Tabla 8 Organizaciones de usuarios presentes en el área de estudio.	27
Tabla 9 Indicadores y tipos de sequía que miden	47
Tabla 10 Estaciones en el área de estudio	53
Tabla 11 Valores de clasificación en SPI	57
Tabla 12 Probabilidad de recurrencia en SPI.....	58
Tablas 13 Clasificaciones de sequía para PPN.....	61
Tabla 14 Clasificación de Deciles	63
Tabla 15 Resultados total de Índice de Besson	68
Tabla 16 Índice estandarizado de precipitaciones años La Niña y El Niño.....	76
Tabla 17 Índice estandarizado de precipitaciones total parte 1	77
Tabla 18 Índice estandarizado de precipitaciones total parte 2	78
Tabla 19 Índice estandarizado de precipitaciones total parte 3.....	79
Tabla 20 Resultados de rachas de sequía	82
Tabla 21 Análisis de Datos para interpolación de Rachas de sequía.....	83
Tabla 22 Porcentaje de precipitación normal en años El Niño y La Niña.....	86
Tabla 23 Porcentaje de precipitación normal total parte 1.....	87
Tabla 24 Porcentaje de precipitación normal total parte 2.....	88
Tabla 25 Porcentaje de precipitación normal total parte 3.....	89
Tabla 26 Precipitación Promedio en años La Niña y El Niño y su relación con los Deciles de sequía.....	93
Tabla 27 Resultados Deciles	94
Tabla 28 Correlación de teleconexiones con índice SPI 6 meses	98

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Porcentaje de muertes por tipo de desastre, 1993-2002.....	3
Ilustración 2 Tendencias en las precipitaciones globales desde 1900 medidas usando el Índice de intensidad de la sequía de Palmer.....	4
Ilustración 3 Mapa global interpolado usando un indicador normalizado de precipitaciones (SPI) a seis meses (Abril a Septiembre de 2010).....	5
Ilustración 4 Cartografía de delimitación del área de estudio	11
Ilustración 5 Pluviometría estación Santiago.....	15
Ilustración 6 Pluviometría estación Santiago.....	15
Ilustración 7 Climograma Valparaíso	16
Ilustración 8 Climograma Santiago	16
Ilustración 9 Cartografía de caracterización topográfica área de estudio	19
Ilustración 10 Cartografía de caracterización hidrológica	22
Ilustración 11 Cartografía de caracterización de áreas homogéneas agroclimáticas.....	25
Ilustración 12 Cartografía de caracterización de Organizaciones de usuarios de agua....	28
Ilustración 13 Organigrama de causas de la sequía.....	37
Ilustración 14 Organigrama sobre los efectos de la sequía	42
Ilustración 15 Organigrama tipos de sequía según año y autor que la propone	43
Ilustración 16 Secuencia de impacto de la sequía	45
Ilustración 17 Índice de El Niño Oceánico 1981-2010	48
Ilustración 18 Índice de la Oscilación decadal del pacífico 1950-2010 Fuente: NOAA	50
Ilustración 19 Índice de la Oscilación antártica 1950-2010 Fuente: NOAA.....	50
Ilustración 20 Cartografía coeficiente de Besson, Persistencia de días secos	72
Ilustración 21 Cartografía de P0 Probabilidad de día seco.....	73
Ilustración 22 Cartografía de P00 Probabilidad condicionada de día seco después de un día seco	74
Ilustración 23 Gráfico de magnitud de la sequía según el índice estandarizado de precipitaciones.....	75
Ilustración 24 Cartografía Índice estandarizado de precipitaciones mínimos en años La Niña.....	80
Ilustración 25 Cartografía de Índice estandarizado de precipitaciones máximos en años El Niño	81
Ilustración 26 Longitud media de rachas de sequía	84
Ilustración 27 Grafico de Porcentaje de precipitación normal por año.....	85
Ilustración 28 Porcentaje de precipitación normal promedio años La Niña.....	90
Ilustración 29 Porcentaje de precipitación normal promedio años El Niño	91
Ilustración 30 Cartografía de Deciles de Sequía	95
Ilustración 31 Grafico de Índices de Teleconexiones Climáticas y Resultados de Índices SPI y PPN.....	96
Ilustración 32 Correlación entre SPI y Teleconexión PDO	97
Ilustración 33 Correlación entre SPI y ENSO ONI.....	97
Ilustración 34 Correlación entre SPI y AAO	98

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

AGRADECIMIENTO

A mi Profesor guía Pablo Sarricolea, por su orientación y apoyo en el transcurso de la memoria, esta fue fundamental en su estructuración, desarrollo y término.

A mi Madre Cecilia, por ser el pilar fundamental en mi vida y ser la incondicional amiga de siempre. Además de entregar los valores que me hacen ser la persona honesta y noble que seré hoy y siempre.

A mi Padre Hugo, por su sacrificio incansable para que nunca me faltara nada, gracias por enseñarme de la vida, todos tus consejos me acompañan en cada paso que doy.

A mi hermana Paulina, a mí amada Familia y a mi pareja Carla, por su gran apoyo y confianza incondicional día a día. Estudiar Geografía no fue una decisión sencilla, pero ellos apoyaron mi decisión, me ayudaron a tener fe en mí y ni hoy ni nunca me arrepentiré de seguir mi vocación y estudiar una de las ciencias más antiguas y hermosas que existe.

A mis queridos Amigos y Compañeros de carrera, en especial a Fernanda Contreras por todos los apuntes y buenas conversaciones que compartimos y Stefano Toledo por su compañía en innumerables trabajos y durante largas jornadas de estudio en nuestra formación académica.

Finalmente, y no menos importante, un agradecimiento a todos los Profesores que ayudaron en mi formación como profesional, a ellos les debo mi futuro desarrollo en el área laboral.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

RESUMEN

La presente memoria está enfocada a la investigación de la sequía en Chile Central. Mediante la aplicación de una serie de índices de sequía, se intenta entender el comportamiento de las precipitaciones, para lo cual se utilizan las series de información de la DGA y DMC en 27 estaciones meteorológicas, desde 1980 a 2010.

El objetivo principal es contribuir al conocimiento geográfico y climatológico de Chile Central, específicamente en las regiones de Santiago y Valparaíso, a través de un análisis de la sequía a resolución diaria, mensual e interanual, y su relación con patrones de variabilidad Climática de baja frecuencia.

Los métodos y procedimientos utilizados son: persistencia de lluvia según el coeficiente de Besson, índice estandarizado de precipitación, el método de las rachas, porcentaje de la precipitación normal y deciles de Sequía.

Se correlacionan los resultados de los índices aplicados, mencionados anteriormente, con la información de las teleconexiones climáticas: El Niño, Oscilación del Sur (ENSO), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y Oscilación antártica (AAO), con el fin de entender los episodios de sequía en Chile Central y aportar los resultados a las comunidades agrícolas presentes en el área de estudio, para así realizar mejoras en la planificación agropecuaria

Palabras Clave: Chile Central, índices de sequía, sequía, teleconexiones climáticas.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

ABSTRACT

The present thesis is focused on the research on drought in Central Chile, in order to comprehend the behavior of rain through the application of a series of drought indexes, using for this purpose series of information that belong to the DGA and DMC from 27 different meteorological stations, from 1980 to 2010.

Through the analysis of drought on a daily basis and the relation of this drought with patterns of low frequency climate variability, the main objective is to contribute to the geographical and climatological knowledge of Central Chile, specifically in the Metropolitan and Valparaiso region.

Therefore, the methods and procedures used were: rain persistence according to besson's coefficient, standard precipitation Index, drought streak method, percentage of average rainfall and decile of drought.

In the present research, the results of the applied indexes were correlated with the information from the climate teleconnections: 'El Niño Southern Oscillation' (ENSO), Pacific Decadal Oscillation (PDO), and Antarctic oscillation (AAO), in order to comprehend the drought episodes in Central Chile, and provide the results to the agricultural communities present in the study area, so that their sowing plans can be improved.

Keywords: drought, Central Chile, drought index, climatic teleconnections.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

SIGLAS

AAO: Oscilación Antártica
COMSA: Comité de seguro agrícola
CONAMA: Comisión nacional del medio ambiente
DARH: Estudios y planificación del recurso hídrico
DGA: Dirección general de aguas
DMC: Dirección meteorológica de Chile
ENSO: El Niño - Oscilación del sur
FAO: Food and agriculture organization of the United Nations
IGM: Instituto geográfico militar
INE: Instituto nacional de estadística
INIA: Instituto de investigaciones agropecuarias
MDMC: National drought mitigation center
MINAGRI: Ministerio de agricultura de Chile
MOP: Ministerio de obras públicas
NOAA: National oceanic and atmospheric administration
ODEPA: Oficina de estudios y políticas agrarias
OMM: Organización meteorológica mundial
ONEMI: Oficina nacional de emergencia
ONU: Organización de naciones unidas
PDO: Oscilación Decadal del Pacífico
PNUD: United nations development programme
PPN: Porcentaje de la precipitación normal
SEREMI: Secretaría regional ministerial
SPI: Standardized precipitation index
TSM: Temperatura superficial del mar
UEA: Unidad de emergencias agrícolas
UDP: Unidad de diagnóstico parlamentario
WWAP: Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos

INTRODUCCIÓN

La sequía es uno de los problemas (o desastres socionaturales) de los cuales no se puede escapar, o bien, es muy difícil de mitigar. El agua es el recurso vital para la mayoría de las formas de vida conocidas; las antiguas civilizaciones se desarrollaron cerca de ríos y zonas litorales; nuestro cuerpo posee del 65% al 75% de su peso en agua; el agua cubre el 71% del planeta. Todo lo anteriormente mencionado, son sólo algunos ejemplos de lo importante que es el agua, y también, lo relevante que es estudiar los desastres socionaturales (agua-sociedad) que la afectan, ya que el exceso puede producir inundación y la ausencia puede producir sequía.

El interés de estudiar la sequía en Chile Central se debe a que es un área climáticamente homogénea, y también por su alta vocación a la producción agrícola y vitivinícola, lo que explica su fragilidad ante el desastre de la sequía. Con el apoyo del proyecto Fondecyt de Iniciación en Investigación N° 11130629, dirigido por el profesor Pablo Sarricolea y la información brindada por la Dirección General de Aguas y Dirección Meteorológica de Chile, se llevó a cabo ésta investigación.

Por lo difícil de encontrar una definición única de sequía en esta investigación se realiza una compilación de concepciones de sequía de diversos autores, para que el lector identifique y profundice en las. También se establecen las causas y consecuencias del fenómeno y los tipos en que ésta se puede declarar.

Existen diversas aproximaciones destinadas a conocer y describir el fenómeno de la sequía, desde indicadores de diversa resolución espacial y temporal a modelos de simulación complejos. Estos modelos están orientados a apoyar a sistemas de alerta temprana de sequías, ayudando a disminuir la incertidumbre asociada al fenómeno (UNESCO, 2006; citado por Naranjo Toledo, 2011).

En la presente memoria se aplican diversas metodologías de cálculo matemático y estadístico que apuntan a establecer distribución espacial y períodos de sequía meteorológica, con el fin de ser una herramienta para reducir la incertidumbre frente a los desastres de sequía. Junto, a lo antes mencionado se realiza un análisis de las teleconexiones climáticas para entender su relación con los períodos de escasez de precipitaciones en el área de estudio.

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1.- Planteamiento del problema

El progresivo requerimiento de materias primas por los sectores productivos, han provocado una creciente perturbación sobre los ecosistemas, lo que ha dificultado cada vez más el manejo de los recursos naturales.

El agua, elemento esencial de los ecosistemas y soporte de las actividades humanas, se encuentra en un estado especialmente crítico, producto del agotamiento de las aguas superficiales y subterráneas. Lo anterior, debido en gran parte a las actividades humanas y agravadas en un contexto de cambio climático, ya que altera y añade incertidumbre a las dinámicas de los sistemas naturales.

Aunque el cambio climático por muchos autores está comprobado, genera escenarios complejos para la mantención de los ecosistemas. Sin embargo, no es la única causa que provoca la escasez generalizada.

El detonante fundamental de la crisis hídrica es la forma en que las sociedades utilizan y disponen del agua, lo cual está provocando, un acelerado el deterioro de las reservas del recurso.

El escenario actual obliga a planificar aún más las estrategias de uso y extracción del recurso de la naturaleza, para poder conservarlas y mantenerlas a través del tiempo.

La crisis hídrica en Chile no es un escenario aislado, estudios de la FAO (2002) estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes de 2030; en esos países es vital un uso más eficiente del agua, por ejemplo, en agricultura, modernizando los sistemas de riego.

En el desarrollo del presente capítulo, se realiza un acercamiento a los antecedentes del problema, mencionando las tendencias a la aridez desde el inicio del siglo XX, lo que ayuda a comprender de mejor manera la necesidad de iniciativas a nivel mundial para la protección del recurso hídrico.

1.1.1.- Antecedentes del problema

La sequía es un desastre socio-natural, vinculado a la relación sociedad y agua. Históricamente ha afectado a grandes poblaciones (puede llegar a corresponder a un 35% del total de los desastres naturales), a menudo dando como resultado una significativa mortalidad (50% de la mortalidad a causa de desastres naturales, corresponden a la sequía). Además, el 7% de pérdidas económicas mundiales son atribuidas a la sequía. (Bellow et al., 2007).

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

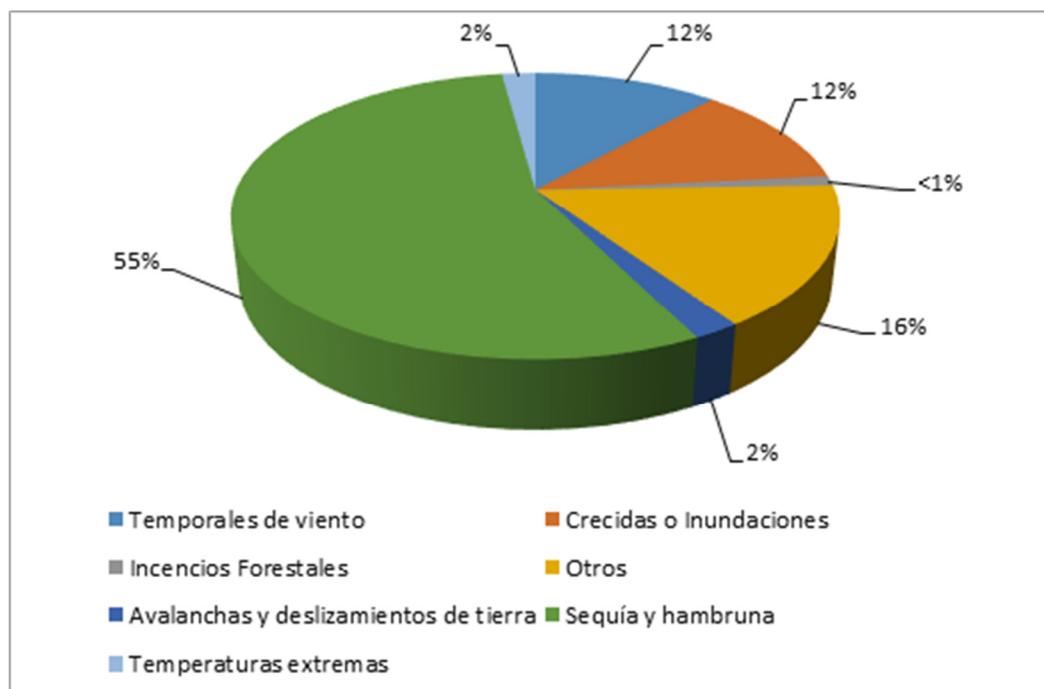


Ilustración 1 Porcentaje de muertes por tipo de desastre, 1993-2002

“Otros” representa todos los desastres naturales de origen no meteorológicos ni hidrológicos

Fuente: Elaboración propia en base a Organización Meteorologica Mundial (OMM, 2003)

1.1.2.- Tendencias en la aridez a comienzos del siglo XX

La evidencia indica que algunas regiones planetarias se han tornado más secas a lo largo del siglo pasado. No cabe duda que la aridez ha aumentado con mayor rapidez desde 1970 en algunas regiones de África, el sur de Europa, el este y el sur de Asia y el este de Australia, inducido por cambios en las precipitaciones, complicando aún más la labor de monitoreo de las sequías. (Trenberth et al., 2007); (Dai, 2010).

Por ejemplo, entre los años cincuenta y ochenta del siglo XX, el porcentaje de superficie de tierra clasificada como “seca” alcanzaba entre un 10% y 14%. En la década pasada (2000) aumentó entre el 25% y 30% (Dai, 2010), atribuido en parte a las temperaturas más altas, tanto del aire como de la superficie terrestre, que han aumentado la evaporación, como también a la expansión de las fronteras urbanas y expansión agrícola en laderas.

Las tendencias en precipitaciones globales en el siglo XX, medidas usando el índice mensual de intensidad de la sequía de Palmer, revelan una tendencia general a la aridez en el Sahel y el sur de África, el centro de Brasil, el sur de Europa, Irán, Indonesia, noreste de China, y noreste de Australia. (Trenberth et al., 2007). Según este índice en Chile se aprecia tendencia a la aridez en el norte y el centro del país.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

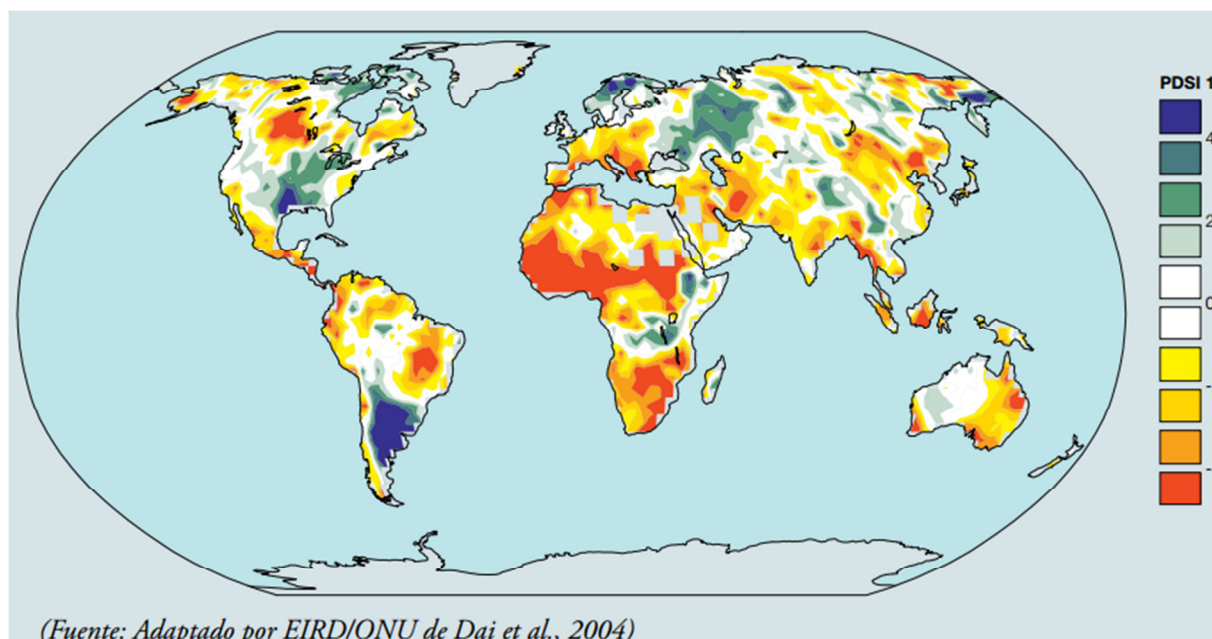


Ilustración 2 Tendencias en las precipitaciones globales desde 1900 medidas usando el Índice de intensidad de la sequía de Palmer.

Fuente: (preventionweb, 2014)

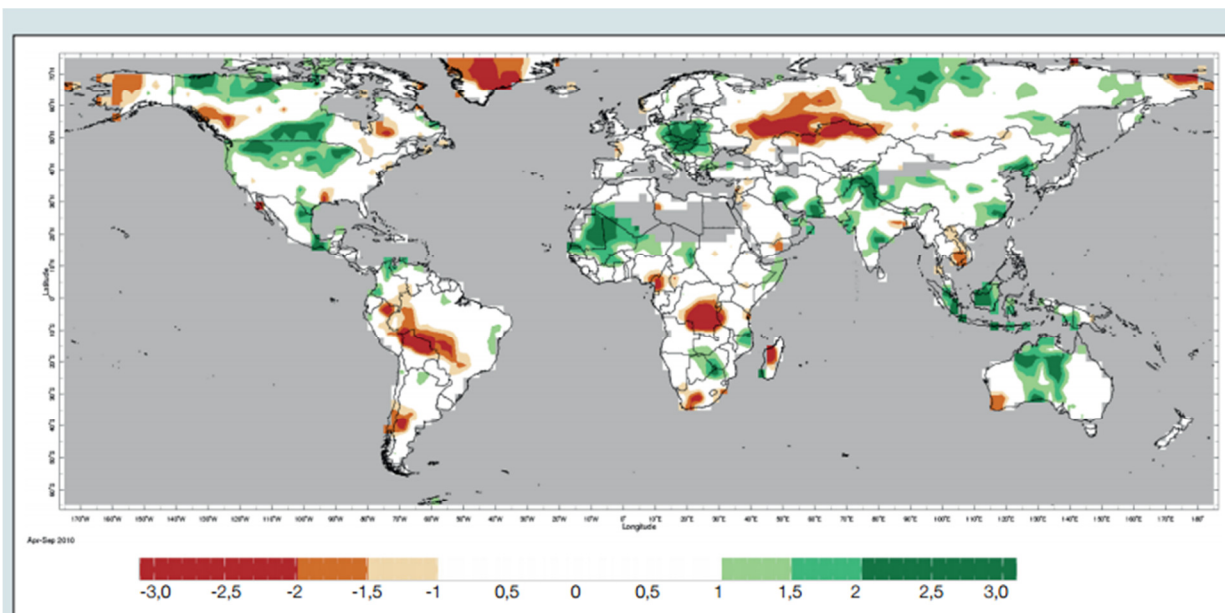
1.1.3.- Antecedente de la sequía según el indicador normalizado de precipitaciones

El indicador normalizado de precipitaciones (McKee et al., 1993) es un índice potente, flexible y sencillo, capaz de identificar períodos o ciclos húmedos y períodos o ciclos secos.

El SPI compara la precipitación en un período dado, normalmente de 1 a 24 meses, con el promedio de precipitaciones a largo plazo (normal climatológica) en el mismo lugar.

En la ilustración 3 sobre la distribución global de sequía o humedad meteorológica a finales de septiembre de 2010, utilizando un SPI a seis meses. En el mapa se indican en rojo las sequías en Rusia asociadas a incendios y en el oeste de Brasil, país que normalmente tiene un clima húmedo.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.



(Fuente: IRI, 2010)

(Fuente: Sivakumar et al., 2010)

Ilustración 3 Mapa global interpolado usando un indicador normalizado de precipitaciones (SPI) a seis meses (Abril a Septiembre de 2010).

Fuente: (preventionweb, 2014)

1.1.4.- La sequía vista desde la institucionalidad internacional

La escasez de agua afecta ya a todos los continentes. Cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de escasez de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1.600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos. (PNUD, 2006).

Pocos países reportan de manera sistemática las pérdidas e impactos por sequías, a pesar que sus efectos en la producción agrícola, los medios de vida rurales, y los sectores urbanos y económicos son evidentes y significativos. Las sequías contribuyen también a la migración, el conflicto y la degradación de los ecosistemas.

Con base en los datos de un período de 105 años (entre 1900 y 2004), detectaron la ocurrencia de 392 eventos de sequía en el mundo, es decir, cerca de 4 eventos en promedio por año. De todas las regiones, África fue el continente más propenso a sufrirlos, con el 35% del total de los eventos, seguido por Asia y el Medio Oriente (29%) y por el continente americano (23%). Como resultado de todos los eventos de sequía en el

período, un total de 12 millones de personas perdieron la vida, 1.873 millones resultaron afectados y las pérdidas económicas se calcularon en 78,9 miles de millones de dólares. (Bellow et al., 2007).

En las sequías, reportadas a nivel internacional desde 1900, han muerto más de once millones de personas y más de dos mil millones han resultado afectadas (Database Emergency Management, 2010), más que por cualquier otra amenaza física específica. La mayor parte de la mortalidad relacionada con las sequías registradas en EM-DAT, sin embargo, se produjo en países afectados también por conflictos políticos y civiles. Pero desde los años noventa, la mortalidad por sequía registrada a escala internacional ha sido prácticamente insignificante, con tan sólo 4.472 víctimas mortales entre 1990 y 2009. (Database Emergency Management, 2010).

La escasez de agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI al que se están enfrentando ya numerosas sociedades de todo el mundo. A lo largo del último siglo, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua.

La escasez de agua es un fenómeno no sólo natural sino también causado por la acción del ser humano. Hay suficiente agua potable en el planeta para abastecer a los 7.000 millones de personas que lo habitamos, pero ésta está distribuida de forma irregular, se desperdicia, está contaminada y se gestiona de forma insostenible. (WWAP, 2012).

Habitualmente, los hidrólogos miden la escasez de agua a través de la relación agua/población. Una zona experimentará estrés hídrico cuando su suministro anual de agua caiga por debajo de los 1.700 m³ por persona. Cuando ese mismo suministro anual cae por debajo de los 1.000 m³ por persona, entonces se habla de escasez de agua, y de escasez absoluta de agua cuando la tasa es menor a 500 m³.

- Al día de hoy, cerca de 700 millones de personas procedentes de 43 países diferentes sufren escasez de agua.
- En 2025, 1.800 millones de personas vivirán en países o regiones con escasez absoluta de agua y dos terceras partes de la población mundial podrían hacerlo en condiciones de estrés hídrico.
- Bajo el contexto actual de cambio climático, en el 2030, casi la mitad de la población mundial vivirá en áreas de estrés hídrico, incluidos entre 75 y 250 millones de personas de África. Además, la escasez de agua en áreas áridas o semiáridas provocará el desplazamiento de entre 24 y 700 millones de personas.
- En el África Subsahariana se concentra el mayor número de países con estrés hídrico.

1.1.4.1.- Iniciativas de Naciones Unidas que ayudan a crear conciencia.

Una de las iniciativas es el Día Mundial del Agua que desde 1994 se celebró bajo el lema "Cuidar de nuestros recursos hídricos es cosa de todo". El objetivo fue hacer hincapié en la mayor relevancia de la escasez del agua en el mundo y la necesidad afianzar la cooperación e integración que permitan garantizar una gestión sostenible y eficiente de los escasos recursos hídricos, tanto a nivel local como internacional. (FAO, 2007). El Día Mundial del Agua fue propuesto en la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo efectuada en Río de Janeiro, Brasil del 3 al 14 de junio del año 1992. Después de la cual, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó el 22 de diciembre de 1992 la resolución 47/193 que declaró el 22 de marzo de cada año como Día Mundial del Agua.

Otra iniciativa es el Día Mundial de Lucha contra la Desertificación de 2013. El eslogan fue, "¡No dejes que nuestro futuro se seque!", el cual incita a que todos actuemos y promovamos la preparación y la resiliencia frente a la escasez de agua, la desertificación y la sequía. El eslogan nos trae el mensaje que todos somos responsables de la conservación del agua y del suelo, así como de su uso sostenible y que hay soluciones frente a estos importantes retos. (UNESCO, 2014) El 19 de diciembre de 1994 la Asamblea General de Naciones Unidas en la Resolución 49/115 decide proclamar el 17 de junio Día Mundial de Lucha contra la Desertificación y la Sequía.

1.1.5.- Repercusiones en Chile

El agua es un recurso estratégico. Tal connotación implica que en un contexto de cambio climático su disponibilidad y distribución se verá bastante disminuida, y disponer de agua será clave para la vida y las actividades económicas.

Chile, en general, está sometido a sequía de régimen estacional e interanual, la cual sigue las teleconexiones climáticas de baja frecuencia: El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), Oscilación Antártica (AAO), entre otras.

Las actividades afectadas con la reducción en disponibilidad de agua son claramente las agrosilvopecuarias, mineras e industria, las que han definido estrategias para enfrentar períodos secos, por ejemplo, uso de reservas de aguas subterráneas y la creación de embalses; lo que ha tenido diversos efectos en el medio ambiente.

En los últimos 30 años (1980-2010), Chile ha experimentado un importante desarrollo económico, con una tasa anual de crecimiento real del PIB del 6,2% en promedio. La economía, con clara orientación neoliberal, tiene una fuerte tendencia a la exportación

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

basada principalmente en sectores extractivos, tales como la minería y la agricultura, con procesos de producción que requieren, como hemos señalado, mucha agua. (Banco Central de Chile, 2006 y 2010a).

En el 2005, las principales actividades económicas consumidoras de agua y con una mayor participación en el PIB fueron la industria manufacturera (17%), comercio, restaurantes y hoteles (10%), minería (8%), sector agrosilvopecuario (4%) y electricidad y gas (3%); mientras que en el mismo año, la contribución a las exportaciones de bienes fueron: minería (57%), agrosilvopecuario y pesquero (7%) e industriales (31%). (Banco Mundial, 2011).

De lo anterior se deduce que para el país la sequía es un grave problema, ya que afecta a gran parte de la zona central de Chile. Las mermas de lluvia ascienden a un 25% y 50% respecto de un año normal. Los embalses tienen una disminución de su volumen de agua: 45,4% menos que el volumen promedio para el mes de marzo y 27,9% menos que hace un año (2011). (DMC, 2012)

En la actualidad se ha avanzado en el estudio de los factores que provocan la sequía, sus causas y consecuencias, esto se ve reflejado en medidas de emergencia adoptadas por el Estado para la protección y fomento de la sustentabilidad del recurso hídrico, con la formulación de decretos en la Dirección General de Aguas, que establecen Declaraciones de agotamiento, Áreas de prohibición o Área de restricción, al aprovechamiento del recurso, estos son mecanismos de gestión de la sequía, estos se encuentran explicados en el código de aguas de 1981.

Región	Área de restricción (Artículo 65 C.A.)	Área de prohibición (Artículo 63 C.A.)	Declaración de agotamiento (Artículo 282 C.A.)
Región Metropolitana	24	-	1
Valparaíso	25	1	2
Áreas compartidas entre Valparaíso y RM	1	-	-

Tabla 1 Áreas de Restricción y Zonas de prohibición en el área de estudio.

Fuente: (Estudios y Planificación, 2011)

La Dirección Meteorológica de Chile usa la definición de Unidad de Emergencias Agrícolas como oficial para el país: “sequía se declara cuando las precipitaciones

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

alcanzan a 60% o menos de la normal anual (promedio de los últimos 30 años), durante dos años consecutivos o más, en el 50% de la extensión espacial de la región administrativa” (UEA, 2003).

La estación de otoño en Chile va desde 21 de marzo al 21 de junio. En estos meses es cuando se siembran los cultivos de invierno, por lo que la presencia de lluvias es vital para lograr la germinación de los cultivos, recuperar la humedad del suelo y restablecer los niveles de agua en los embalses (Molina, 2000). Citado por (Aldunce & González, 2009)

Por otro lado, la primavera (22 y el 23 septiembre a 21 de diciembre) “corresponde a la época de floración de muchas especies, la cosecha de los cultivos de invierno y la siembra de cultivos de primavera y verano”. Una sequía en esta época impactará el rendimiento de lo cultivado, generará problemas de germinación, aumentará la necesidad de agua para los cultivos y afectará la acumulación de agua (Molina, 2000).

En Chile las zonas de cultivos de secano son las primeras en experimentar los cambios que se producen por una sequía, limitando la posibilidad de sembrar o provocando la pérdida de cultivos. Los efectos de la reducción de las lluvias en secano disminuyen gradualmente hacia el sur del país, y pierden su importancia desde la ciudad de Concepción (36° 47' de latitud sur) al sur (Badilla y Cuadrado, 1977). Citado por (Aldunce & González, 2009).

Las sequías en Chile afectan negativamente las cosechas, ganadería, industrias producción hidroenergética, entre otras actividades, lo cual deriva en un incremento de los precios y disminución de las actividades económicas. A los efectos anteriores, se suman los llamados efectos secundarios de índole ambiental, como por ejemplo incendios forestales, deterioro de la calidad visual del paisaje, incremento en la concentración de contaminantes y su consecuente degradación de la calidad del agua. (Donoso et al. , 1999).

1.2.- Área de estudio

1.2.1.- Delimitación y justificación

El área de estudio abarca administrativamente a las Regiones de Valparaíso y Metropolitana. Estas regiones poseen una ubicación geográfica aproximada entre los 32° y los 34° de latitud Sur y entre los 72° y 70° de longitud Oeste, y una superficie de 31.387,02 Km². Esta macro-región posee características muy relevantes que le confieren especial interés, destacando el clima transicional de semiárido a mediterráneo, alta concentración de población y actividades productivas, todas ellas, demandantes de agua, y corresponder a una zona muy sensible a teleconexiones, las cuales modulan períodos secos y lluviosos que en algunos casos superan el año.

Chile, como país exportador de materias primas, puede ser severamente afectado en su economía por la ocurrencia de sequía. De este modo, en el caso de las regiones estudiadas, la falta de precipitaciones, afecta las economías locales en diversos ámbitos, ya sean mineras (División Andina de Codelco¹, Anglo American, entre otras), frutícolas, vitivinícolas, forestales y urbanas.

Además de lo mencionado anteriormente, Las regiones Metropolitana y Valparaíso tienen una gran relevancia en cuanto a su desarrollo humano y también por el desarrollo económico. Un desastre socionatural como la sequía puede tener efectos muy negativos, ya que a diferencia de otros eventos climáticos, como inundaciones, heladas, huracanes o tornados, que poseen distribuciones más bien restringidas en las escalas espacial y temporal, las sequías presentan mayores dificultades para determinar tanto su duración como su área de influencia, las que pueden ser bastante mayores que los eventos antes mencionados (Whilhire y Svoboda, 2000; Lehner y Doll, 2001; Seth, 2003). Citado por (Nuñez Cobo & Verbist, 2010).

Pese a la importancia del fenómeno para el país, existe un factor que agudiza el problema de la vulnerabilidad de la sociedad y los ambientes áridos y semiáridos frente a su ocurrencia: la incertidumbre a la hora de caracterizar su intensidad, duración, severidad y frecuencia, asociado a la gran gama de definiciones conceptuales como operacionales. La dificultad en su definición, derivada de la complejidad para determinar el inicio o término de un evento de sequía, del mismo modo que otros desastres naturales, ha ido generando un cambio de enfoque en la comunidad internacional, desde la atención por la amenaza misma, a la atención por el impacto que ésta puede provocar en la sociedad, en términos de adaptar medidas adecuadas para mitigar los efectos de los desastres naturales y para integrar las estrategias de Gestión y Reducción de Riesgo de Desastres en la planificación del desarrollo (Bass et al., 2008).

¹ Actualmente está en estudio la expansión ANDINA 244, lo cual se realiza sobre glaciares rocosos aledaños a glaciares blancos de la cuenca del Olivares.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

Por consiguiente, el presente trabajo busca ser un aporte al conocimiento de los eventos de sequía en Chile Central, específicamente en las regiones de Valparaíso y Metropolitana.

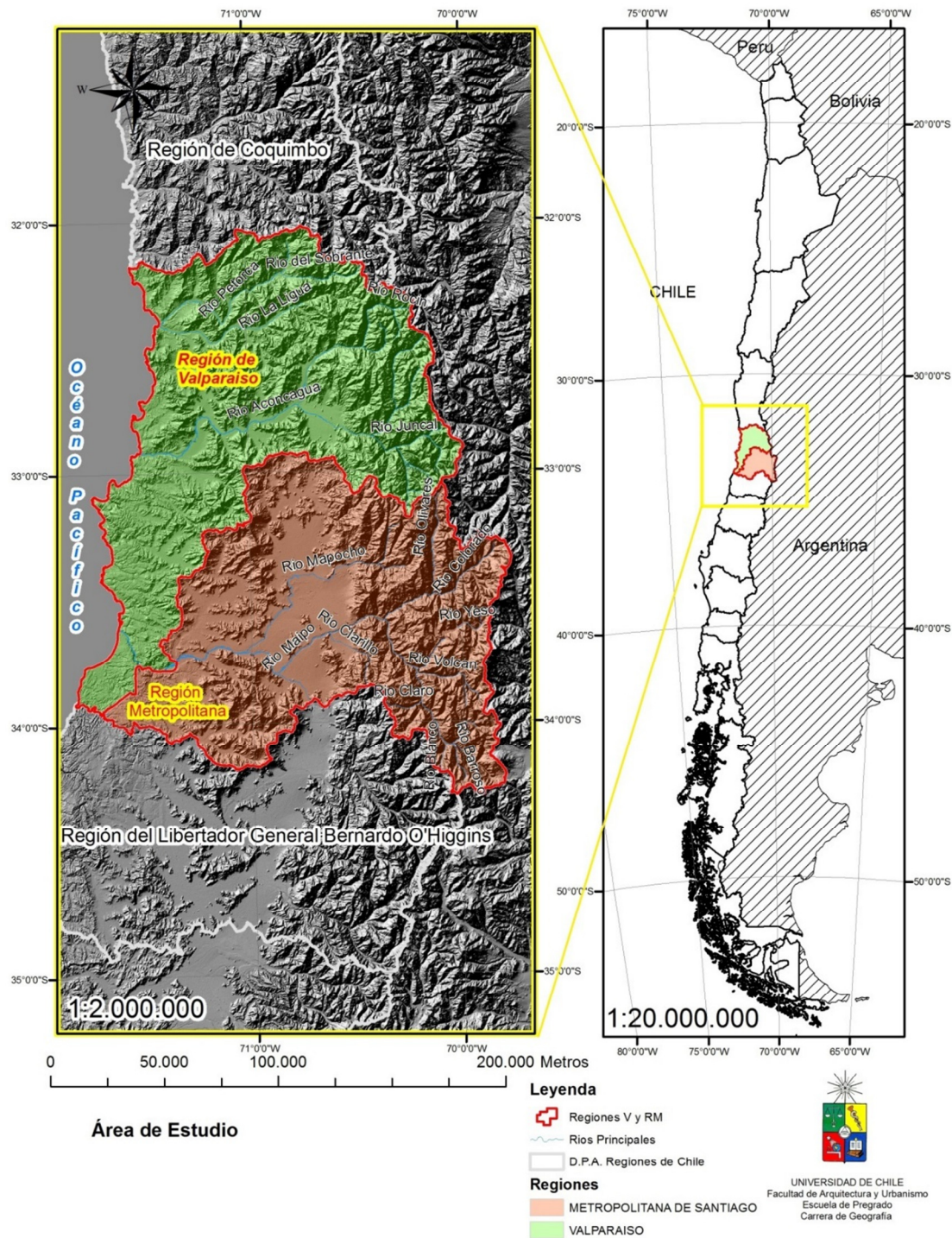


Ilustración 4 Cartografía de delimitación del área de estudio

1.2.2.- Caracterización climática

1.2.2.1.- Clima en la Región de Valparaíso

Desde el punto de vista climático, la región de Valparaíso presenta un *clima templado mediterráneo*, pero con algunas variaciones. Así como la semiaridez se presenta hacia el norte del río Aconcagua, es más húmedo o mediterráneo costero en el litoral y frío de altura hacia la cordillera.

Tanto el Océano Pacífico, en general, como la corriente de Humboldt, en particular, condicionan en gran medida la conducta de los elementos climáticos de la región. Las direcciones predominantes de los vientos, todas de componente oceánico y portadoras de humedad, explican la constante presencia de este factor en el clima regional.

El carácter frío de la corriente de Humboldt determina la existencia permanente de una banda de bajas temperaturas vecinas a la costa, contribuyendo al descenso de las temperaturas continentales. En general, se distinguen cuatro tipos de climas:

a.- Clima de Estepa cálido: ubicado al norte del Río Aconcagua, se caracteriza por la escasa humedad atmosférica, cielos despejados y luminosidad alta, fuerte oscilación térmica diaria y temperaturas media anuales de 15°C. Las precipitaciones alcanzan de 150 a 200 mm al año. Es también conocido como clima semiárido.

b.- Clima templado de tipo Mediterráneo costero: Se presenta en toda la costa de la región y su influencia llega hasta el interior por medio de los valles. Las variaciones de temperaturas son menores por el influjo del océano, siendo más parejas durante el año con un promedio anual de 14°C; la humedad relativa es alta con un 75% y las precipitaciones son más abundantes alcanzando unos 450 mm.

c.- Clima templado de tipo Mediterráneo cálido: Este clima se desarrolla desde el valle del río Aconcagua hacia el sur, se caracteriza principalmente por ser más seco y con una variación térmica mayor que en la costa. La temperatura media anual es de 15,5°C y las precipitaciones aumentan con la altitud variando desde unos 250 mm hasta 300 mm.

d.- Clima frío de altura: Se ubica en la Cordillera de Los Andes por sobre los 3.000 m. De altura. Hay un predominio de bajas temperaturas y de precipitaciones sólidas, especialmente en invierno. (SIIT, 2014)

1.2.2.2.- Clima en la Región Metropolitana

Las principales características climáticas que presenta la Región Metropolitana corresponden al tipo "mediterráneo", de estación seca larga y con un invierno lluvioso. La temperatura media anual es de 13,9°C, en tanto que el mes más cálido corresponde al mes de Enero, alcanzando una temperatura de 22,1°C, y el mes más frío corresponde al mes de Julio 7,7°C. El sello característico lo constituyen las lluvias, cuyas variaciones permiten destacar condiciones bastantes precarias alcanzando promedios anuales de 356,2 mm. Las precipitaciones decrecen desde la costa hacia la depresión intermedia, para aumentar nuevamente en la Cordillera de Los Andes; originándose de esta manera líneas bioclimáticas generales de la región y de la zona central de Chile. Con respecto a las precipitaciones presentan una irregularidad, debido a que un año puede ser muy lluvioso y el siguiente muy seco. En el sector de Colina y en menor grado en la zona de Santiago, existen climas más áridos y con mayores fluctuaciones térmicas, que reflejan la penetración del clima de estepa, fenómeno que se debe a la presencia de la cordillera costera relativamente alta que actúa como pantalla, dificultando la penetración de las condiciones climáticas marítimas, en cuanto a la humedad relativa que se presenta en la cuenca de Santiago se puede decir que esta decrece progresivamente.

La presencia de la Cordillera de la Costa y el alejamiento del mar son los principales factores que producen las características de continentalidad del clima de la región de Santiago. En esta región se distinguen dos tipos de climas templados de tipo mediterráneo, con estación seca prolongada y frío de alturas en la Cordillera de los Andes.

a.- Clima templado de tipo Mediterráneo (con estación seca prolongada): Este tipo de clima se desarrolla en todo el territorio regional, su característica principal es la presencia de una estación seca prolongada y un invierno bien marcado con temperaturas extremas que llegan a cero grados, Santiago registra una temperatura media anual de 14°C pero los contrastes térmicos son fuertes en verano las máximas alcanzan valores superiores a 30°C durante el día.

Las precipitaciones se registran durante las temporadas invernales, especialmente durante los meses de mayo, junio, julio y agosto. Santiago presenta 369,5mm de agua caída promedio anual.

Dentro de la cuenca de Santiago existen diferencias climáticas locales producidas por el efecto del relieve, al pie oriental de la Cordillera de la Costa y, debido al rol de biombo climático de esta se presentan áreas de mayores sequedades, e incluso con características semiáridas.

b.- Clima Frío de Altura: Se localiza en la Cordillera de los Andes por sobre los 3.000 metros de altura las bajas temperaturas y las precipitaciones sólidas caracterizan este tipo climático la cual permite la acumulación de nieve y campos de hielo de tipo permanentes en cumbres y quebradas de la alta cordillera. (SIIT, 2014)

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

Tabla 2 Parámetros climáticos promedio de Valparaíso

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima media (°C)	22	22	21	19	17	15	15	16	16	18	20	21	18
Temperatura media (°C)	17	17	16	15	13	10	11	11	12	14	15	16	13
Temperatura mínima media (°C)	13	13	12	11	10	8	8	8	8	10	11	12	9
Precipitación total (mm)	2	2	4	18	97	128	88	67	30	16	7	3	462
Días de PP (≥ 1 mm)	0	0	1	1	6	10	6	5	2	2	1	1	35

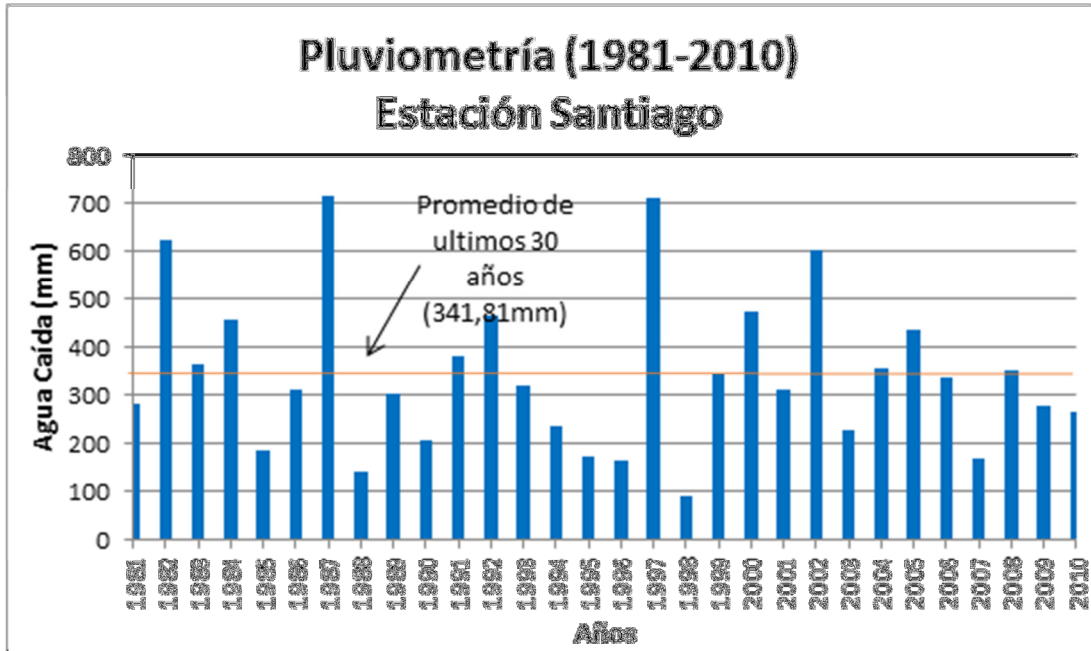
Fuente: Organización Meteorológica Mundial y Weatherbase

Tabla 3 Parámetros climáticos promedio de Santiago

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima media (°C)	32,7	31,3	29,0	25,3	20,7	18,2	15,5	17,7	21,4	25,7	29,4	31,9	24,9
Temperatura media (°C)	21,4	20,7	18,8	15,7	12,5	9,7	9,4	10,8	12,5	15,3	17,8	20,3	15,4
Temperatura mínima media (°C)	16,5	15,4	11,7	8,0	6,3	4,1	2,5	4,8	7,1	9,7	12,1	15,3	9,5
Precipitación total (mm)	0,4	0,8	3,2	10,4	42,2	70,4	86,6	51,8	23,0	13,4	9,2	2,1	313,5
Días de PP (≥ 1 mm)	1	2	2	5	7	8	6	6	6	4	3	2	52

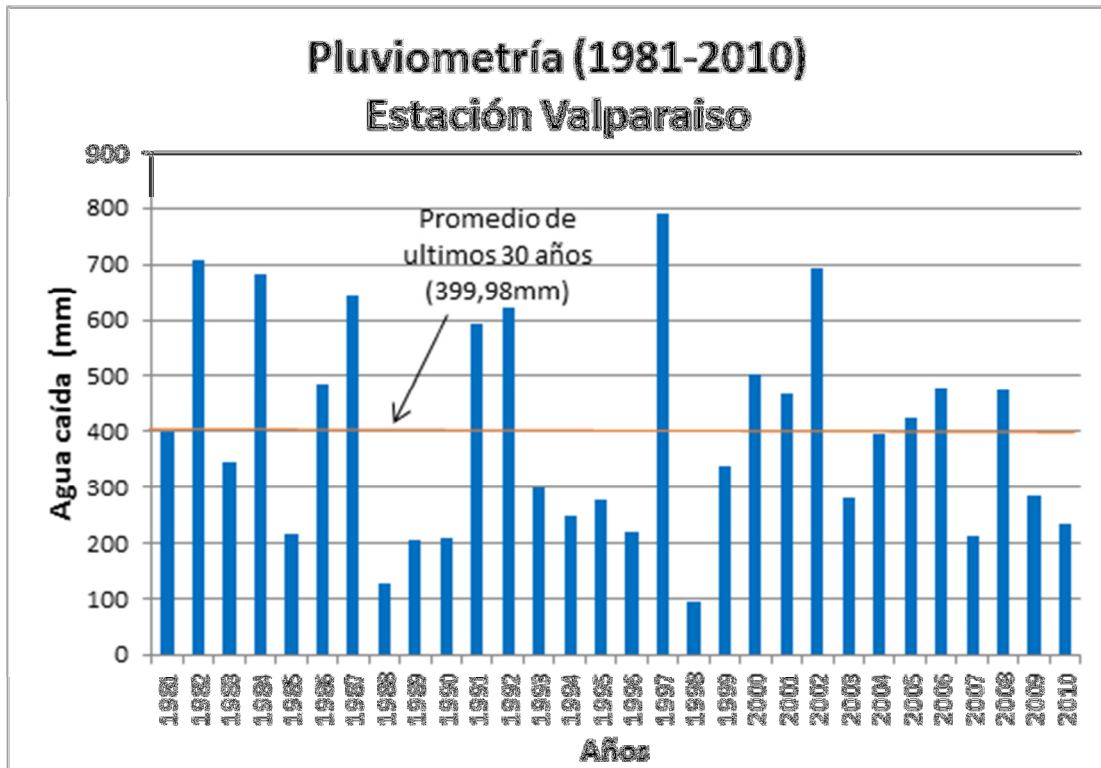
Fuente: Organización Meteorológica Mundial y Weatherbase

Ilustración 5 Pluviometría estación Santiago



Fuente: Elaboración Propia en base a la información de la Dirección meteorológica de Chile

Ilustración 6 Pluviometría estación Santiago



Fuente: Elaboración Propia en base a la información de la Dirección meteorológica de Chile

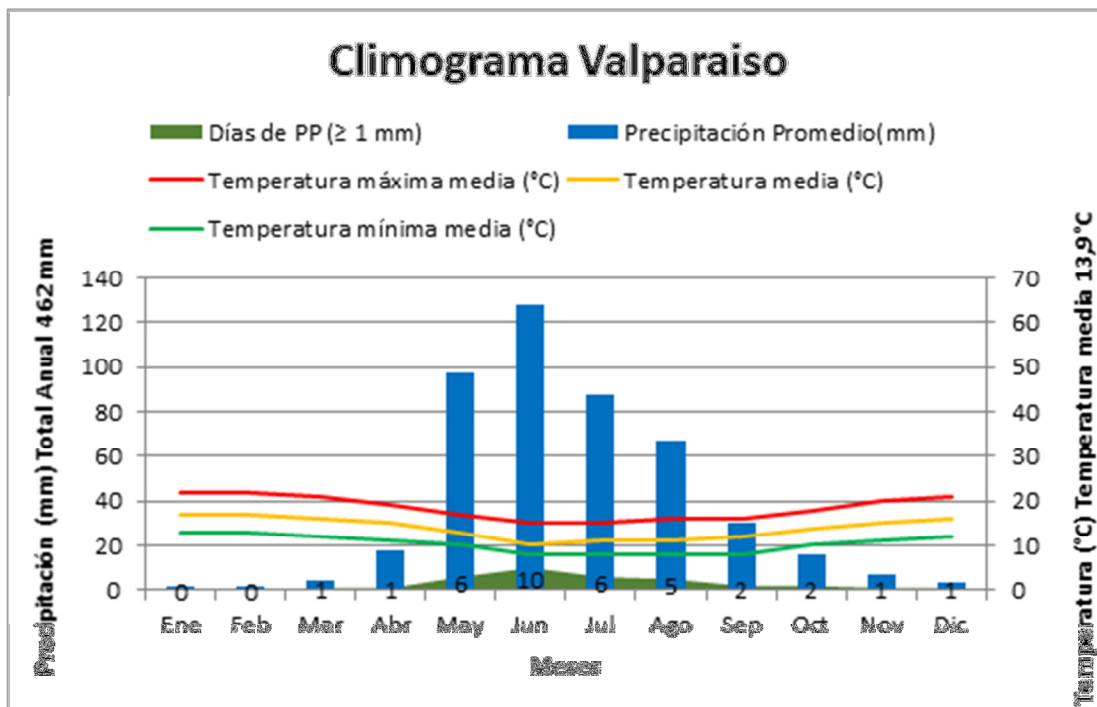


Ilustración 7 Climograma Valparaíso

Fuente: Elaboración Propia en base a DMC con criterio xerotérmico de Gaussen

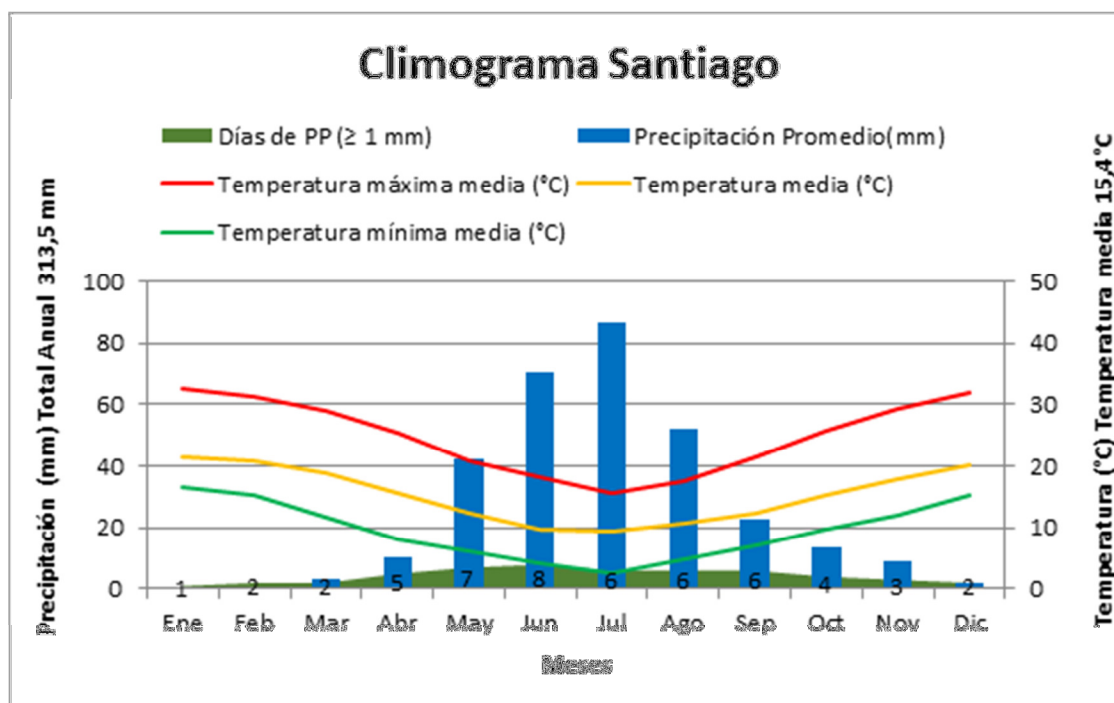


Ilustración 8 Climograma Santiago

Fuente: Elaboración Propia en base a DMC con criterio xerotérmico de Gaussen

1.2.3.- Topografía

1.2.3.1.- Topografía en la Región de Valparaíso

La Cordillera de los Andes se mantiene alta y maciza, sobrepasando los 5.000 msnm. En el sector sur, la cordillera se desplaza hacia el Este permitiendo la formación de la cuenca de San Felipe – Los Andes. De esta cordillera nacen numerosos ríos, siendo el más importante el Aconcagua. En la región de Valparaíso, la cordillera acumula gran cantidad de nieve durante el invierno, la que al derretirse en primavera y verano alimenta el caudal de los distintos ríos de esta región.

En la depresión intermedia se encuentran los últimos valles transversales correspondientes a los ríos de Petorca, La Ligua y Aconcagua. Al Sur de la región, la depresión intermedia es atravesada por el cordón montañoso de Chacabuco que marca el límite con la Región Metropolitana.

La Cordillera de la Costa alcanza gran altura, especialmente en la parte Sur de la región. Entre sus mayores alturas destacan el cerro Chache con 2.333 msnm., cerro el Roble con 2.222 msnm. Y el cerro La Campana con 1812 msnm., hacia el sur nacen de estas cordilleras sistemas hidrográficos que llegan hasta el mar como el estero Marga-Marga, San Jerónimo y Limache.

Las Planicies Litorales se van ampliando desde la desembocadura del río Aconcagua hacia el sur, alcanzando en algunos lugares hasta 20 o 30 km. de extensión. Al norte de la región se presentan acantilados y al sur, dunas y playas como Algarrobo, El Quisco, El Tabo, Cartagena, San Antonio y Rocas de Santo Domingo, las que se alternan con sectores de Costa Acantilada. (IGM, 2008)

1.2.3.1.- Topografía en la Región Metropolitana

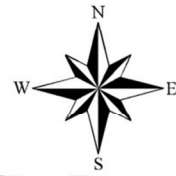
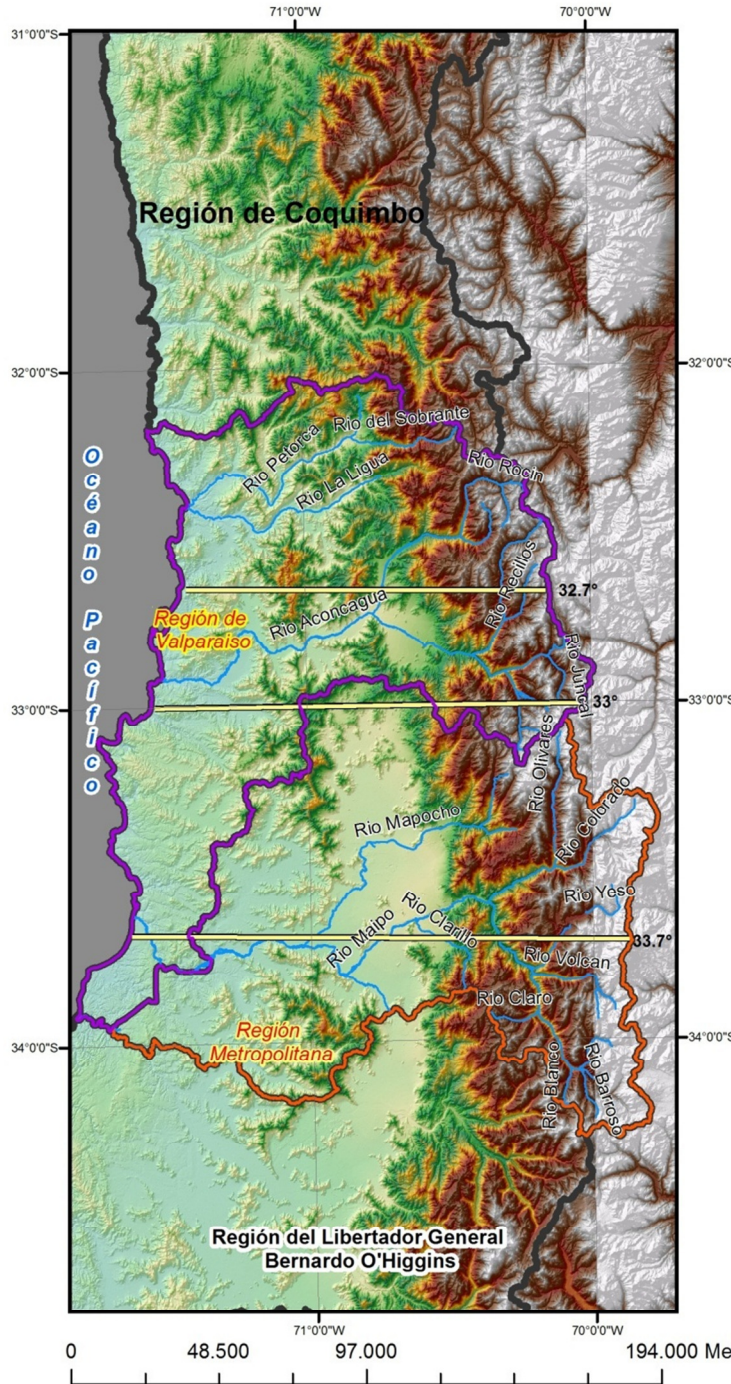
La Cordillera de los Andes se presenta alta y maciza, con gran cantidad de nieve que alimentan a ríos como el Maipo y donde reaparece el volcanismo con volcanes que representan las mayores alturas cordilleranas de la región: Tupungato con 6.570 msnm., Marmolejo con 6.108 msnm., Nevados del Plomo 6.050 msnm. y el San José 5.856 msnm.

La Depresión Intermedia es de suelo fértil en esta región, extendiéndose entre la Costa y la Cordillera de los Andes; por el Norte el cordón de Chacabuco; y por el Sur la angostura de Paine.

La depresión intermedia en esta región es ocupada por la cuenca de Santiago, la cual se define como un territorio rodeado de alturas. En esta cuenca sobresalen los llamados cerros islas como los Cerros Santa Lucía, Blanco y San Luis de Chena.

La Cordillera de la Costa es el límite Natural y político administrativo entre la Región Metropolitana y la Región de Valparaíso. Aparece al sur del Río Aconcagua como el Roble con 2.222 msnm., el Roble Alto con 2.185 msnm. y Vizcachas con 2.046 msnm. (IGM, 2008).

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.



Perfiles Topográficos



Leyenda

- Regiones en Estudio
- METROPOLITANA DE SANTIAGO
- VALPARAISO
- Cortes de Perfiles
- Rios Principales
- D.P.A. de Chile

**Caracterización Topográfica
Región Metropolitana y Valparaíso**



Ilustración 9 Cartografía de caracterización topográfica área de estudio

1.2.4.- Caracterización hidrológica (Red Fluvial y Cuencas)

La hidrología puede comprenderse como el resultado, en cuanto a la existencia de recursos hídricos superficiales y subterráneos, de la conjugación de los fenómenos climáticos, actuales y pretéritos.

En el área de estudio las cuencas de los ríos se amplían considerablemente, al adquirir importancia el desarrollo de la Depresión Intermedia.

La Cordillera de Los Andes, muy alta en este sector, tiene gran importancia como acumulador de nieves, por lo que la alimentación de los ríos se debe primordialmente al derretimiento de primavera-verano.

La Hidrología del sector por mencionar generalidades tiene dirección Este-Oeste; todos desembocan, buscando su nivel de base natural en el Océano Pacífico. (DGA, 2011)

Además, debido a las características orográficas de nuestro país sus cursos son cortos, muy accidentados, por consiguiente poco navegables, de gran pendiente y rapidez. A lo largo de sus cursos reciben numerosos afluentes, que son ríos secundarios o tributarios.

El caudal va aumentando de norte a sur, según su forma de escurrimiento en el área de estudio predominan las cuencas exorreicas, que son de drenaje normal donde los ríos desembocan todo el año al mar. Estas varían de Exorreicas desde la Cordillera de los Andes, exorreica precordillerana y exorreica de la Cordillera de la Costa.

Región de Valparaíso

Ríos	Superficie (Km ²)	Longitud (Km)	Caudal (m ³ /seg)
Río Petorca	2.669	112	0,63
Río La Ligua	1.900	106	1,10
Río Aconcagua	7.163	177	39,00
Río Putaendo	1.192	82	7,83

Tabla 4 Cuencas hidrográficas principales y su caudal Valparaíso

Fuente: Dirección General de aguas, 2011

Región Metropolitana

Ríos	Superficie (Km ²)	Longitud (Km)	Caudal (m ³ /seg)
Río Maipo	15.380	250	92,30
Río Colorado	1.734	100	26,30
Río Mapocho	4.230	110	5,70
Estero Puangue	1.723	129	0,73

Tabla 5 Cuencas hidrográficas principales y su caudal Santiago

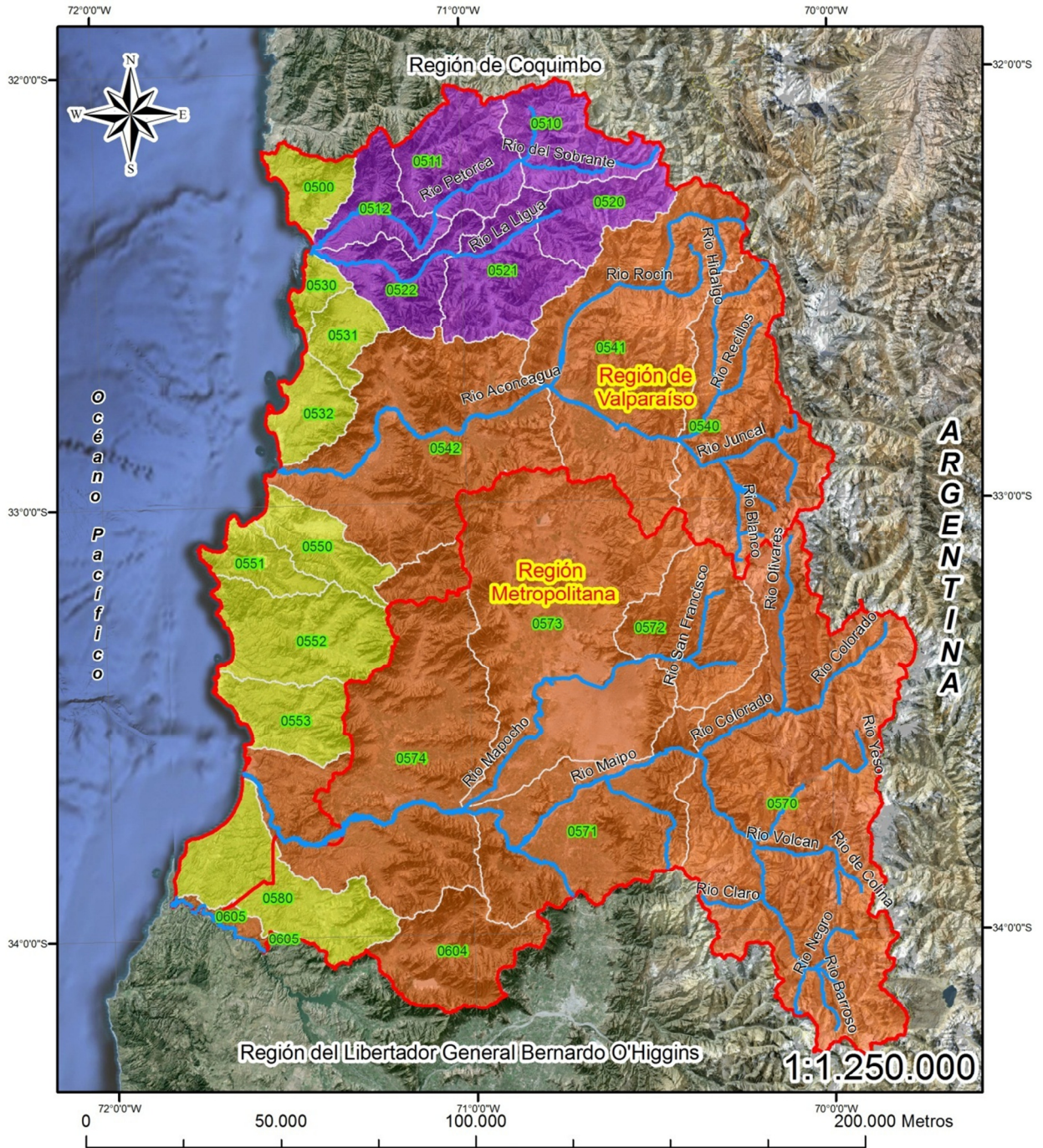
Fuente: Dirección general de aguas, 2011

**ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN
CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.**

Código SubC	Área en Km²	Tipo	Nombre	Región
0573	3455,449	andinas exorreicas	Río Mapocho Bajo	XIII
0570	4858,402	andinas exorreicas	Río Maipo Alto	XIII
0572	1022,352	andinas exorreicas	Río Mapocho Alto	XIII
0571	2573,899	andinas exorreicas	Río Maipo Medio	XIII
0604	1424,726	andinas exorreicas	Estero Alhue	XIII
0605	2110,622	andinas exorreicas	Río Rapel	XIII
0510	680,860	andinas exorreicas	Río Petorca Alto (hasta después Junta Río Sobrante)	V
0511	803,477	andinas exorreicas	Petorca Medio	V
0512	503,811	andinas exorreicas	Río Petorca Bajo (entre Las Palmas y Desembocadura)	V
0500	332,633	costeras exorreicas	Costera Quilimarí - Petorca	V
0520	530,956	andinas exorreicas	Río Ligua Alto (Estero Alicahue)	V
0541	2748,796	andinas exorreicas	Aconcagua Medio	V
0521	859,889	andinas exorreicas	Río Ligua Medio (entre Qda. La Cerrada y Los Ángeles)	V
0522	589,206	andinas exorreicas	Río Ligua Bajo (Entre Estero Los Ángeles y Desembocadura)	V
0530	161,609	costeras exorreicas	Costeras entre Estero Ligua y Estero Catapilco	V
0540	1959,360	andinas exorreicas	Aconcagua Alto	V
0531	299,103	costeras exorreicas	Estero Catapilco	V
0542	2625,651	andinas exorreicas	Aconcagua Bajo	V
0532	389,756	costeras exorreicas	Costeras entre Estero Catapilco y Río Aconcagua	V
0550	466,340	costeras exorreicas	Estero Marga-Marga	V
0551	320,867	costeras exorreicas	Lago Peñuelas	V
0552	970,072	costeras exorreicas	Estero Casablanca y Estero San Jerónimo (Incl.)	V
0553	549,581	costeras exorreicas	Estero del Rosario (Incl.) a Río Maipo	V
0574	3363,034	andinas exorreicas	Río Maipo Bajo (Entre Río Mapocho y Desembocadura)	V y XIII
0580	1071,961	costeras exorreicas	Estero Yali	V y XIII

Tabla 6 SubCuencas hidrográficas
Fuente: Dirección general de aguas, 2011

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.



**Caracterización Hidrológica
Región de Valparaíso y Metropolitana**

Leyenda

- Ríos Principales
- Regiones V y RM
- SubCuentas
- Cuentas según condición y origen de Drenaje**
- TIPO**
- Exorreica, Cordillera de la Costa
- Exorreica, Andino
- Exorreica, Cordillera de la Costa preandino
- D.P.A. Regiones Chile



Ilustración 10 Cartografía de caracterización hidrológica

1.2.5.- Caracterización agrícola

En el país, la actividad agrícola es desarrollada por productores con predios de distintos tamaños, entre los cuales se encuentran los de subsistencia, pequeños productores comerciales, medianos y grandes agricultores. Los pequeños productores son los más numerosos. Según (ODEPA, 2005), el menor número de explotaciones está en manos de productores grandes (2,9%), que ocupan alrededor del 55% de la superficie agrícola utilizable. En tanto, la mayor participación de agricultores se concentra en explotaciones de subsistencia y pequeños empresarios (84,6%), los cuales ocupan un bajo porcentaje de la superficie agrícola utilizable (22,6%).

Entre los riesgos climáticos que afectan a la agricultura se encuentran heladas, lluvias extremas, sequías, vientos, granizos o nieve, los cuales dependiendo de sus características pueden provocar daños en los cultivos y pérdidas económicas. Las consecuencias que estos eventos traen consigo, por ejemplo, la merma total o parcial de su capital de trabajo, contraer deudas que sobrepasen su capacidad de pago, barreras que les impiden invertir, riesgo de perder su actividad productiva, e incluso pueden llegar a perder sus bienes y terrenos.

En las regiones del área de estudio, (Metropolitana y Valparaíso), se presenta un mayor nivel de lluvias y suelos con potenciales productivos altos, lo que permite todo tipo de cultivos con riego y de secano; aquí las actividades más desarrolladas son la hortofruticultura, la ganadería caprina, el cultivo de flores, cereales y la actividad apícola y avícola.

A continuación se presentan cuadros resúmenes del último censo agropecuario, (INE, 2007) realizado en nuestro país. En él se presentan los resultados del número de explotaciones y la superficie en hectáreas que ocupa cada actividad.

**ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN
CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.**

Número de explotaciones y superficie plantada con frutales								
Censos	1976		1997		2007		Variación 2007 - 1997	
Regiones	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)
Valparaíso	5.715	13.133	9.117	35.105	8.090	53.409	-1.027	18.304
Metropolitana	5.507	18.523	5.279	44.119	4.414	54.331	-865	10.212
Número de explotaciones y superficie plantada con viñas y parronales viníferos								
Censos	1976		1997		2007		Variación 2007 - 1997	
Regiones	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)
Valparaíso	518	3.908	141	2.037	201	7.251	60	5.214
Metropolitana	861	9.844	267	6.733	354	12.326	87	5.593
Número de explotaciones y superficie sembrada con cereales								
Censos	1976		1997		2007		Variación 2007 - 1997	
Regiones	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)
Valparaíso	2.149	29.100	3.530	58.436	3.544	56.112	14	-2.324
Metropolitana	1.704	2.868	1.690	15.291	1.956	9.299	266	-5.992
Censos	1976		1997		2007		Variación 2007 - 1997	
Regiones	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)
Valparaíso	2.641	38.418	1.419	12.110	630	4.188	-789	-7.922
Metropolitana	3.997	57.589	2.610	26.331	1.281	15.945	-1329	-10.386
Número de explotaciones y superficie sembrada con leguminosas y tubérculos								
Censos	1976		1997		2007		Variación 2007 - 1997	
Regiones	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)
Valparaíso	3.205	8.899	2.117	3.480	1.237	2.862	880	-618
Metropolitana	5.021	7.916	2.358	5.439	1.492	5.673	-866	234
Número de explotaciones y superficie sembrada con especies forrajeras								
Censos	1976		1997		2007		Variación 2007 - 1997	
Regiones	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)	Número de exp.	Superficie (ha)
Valparaíso	3.727	18.602	3.283	21.572	2.351	16.473	-932	-5.099
Metropolitana	3.908	28.979	3.648	30.913	2.157	21.494	-1.491	-9.419

Tabla 7 Número de exportaciones y superficie en el área de estudio según censos agropecuarios.

Fuente: elaborado por (ODEPA, 2005) sobre la base de los censos agropecuarios de 1976, 1997 y 2007.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

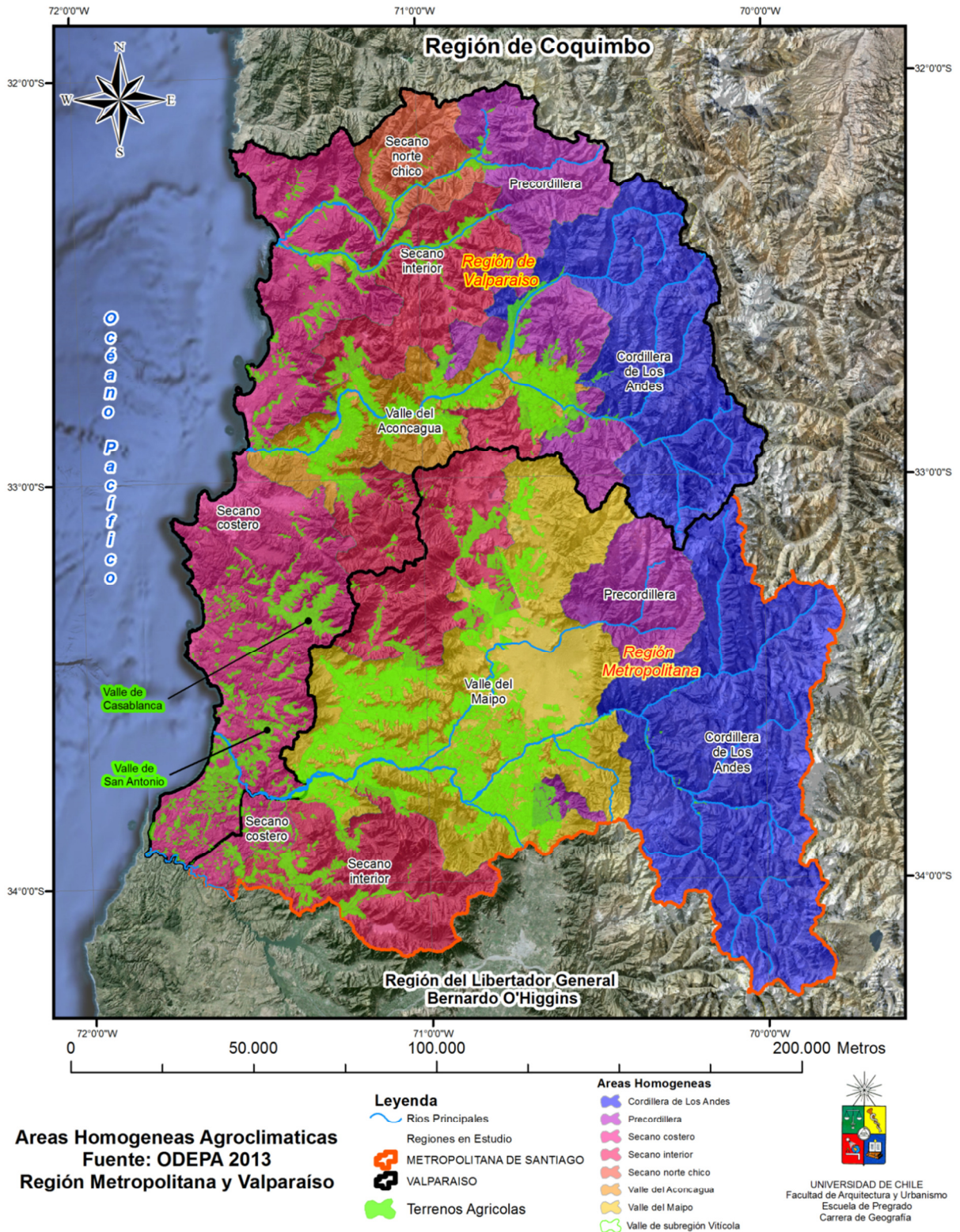


Ilustración 11 Cartografía de caracterización de áreas homogéneas agroclimáticas

1.2.6.- Organizaciones de usuarios de aguas

Existen instrumentos de protección de la sustentabilidad del recurso hídrico usados en Chile para solución de conflictos

Reconocimiento de Organizaciones de usuarios

1. Comunidades de agua
 - Aguas subterráneas
 - Aguas superficiales
2. Asociación de canalistas
3. Juntas de vigilancia
 - Secciones de ríos
 - Cuencas hidrográficas

El Código de Aguas distinguió para los efectos de las organizaciones de usuarios entre cauces naturales y cauces artificiales, entregando a las juntas de vigilancia la función de distribución de las aguas de los primeros.

Las juntas de vigilancia son organizaciones de usuarios en los cauces naturales y las integran las personas naturales o jurídicas y las organizaciones de usuarios que en cualquier forma aprovechen aguas de una misma cuenca u hoyo hidrográfica.

El objeto de las juntas de vigilancia es administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho sus miembros en los cauces naturales, para explotar y conservar el recurso.

En la práctica, la acción de cada junta de vigilancia se ejercita en el cauce natural y llega hasta la bocatoma de los canales matrices. El total de los derechos de aprovechamiento constituidos en el cauce se entienden divididos en acciones, las que se distribuyen entre los interesados.

Las juntas de vigilancia pueden constituirse extrajudicialmente por escritura pública suscrita por todos los titulares de derechos de aprovechamiento que en cualquier forma aprovechen aguas de una misma cuenca u hoyo hidrográfica o de una sección independiente de esa corriente natural, o bien, judicialmente, a través del procedimiento especial que se ha señalado en el Código de Aguas.

En uno u otro caso, la constitución de una junta de vigilancia y sus estatutos deben constar por escritura pública, las cuales deben ingresar a la Dirección General de Aguas, para su registro en el catastro Público de Aguas y de esta forma, se entenderán legalmente organizadas por su registro en la Dirección General de Aguas.

**ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN
CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.**

Es importante destacar que los títulos de aprovechamiento de los usuarios y el registro de las organizaciones deben inscribirse en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces competente. (MOP, 1999)

Junta de Vigilancia	Registro DGA.		Resoluciones DGA sobre organización y declaración de organizaciones de Junta de vigilancia		Expediente en Catastro Público Aguas	Conservador de Bienes raíces	Acciones o regadores permanentes	Organizaciones de Usuarios de Agua, según estatutos	Región	Provincia
	Nº	Fecha	Nº	Fecha						
Río Aconcagua 3_ Sección	27	26-10-1999	2613	19-10-1999	NJ-0504-1	C.B.R. Quillota/66/49/2000	11.659	17 canales	V	Quillota
Río Aconcagua 1_ Sección	25	04-08-1999	1924	30-07-1999	NJ-0502-1	C.B.R. Los Andes/35/51/2000	12.774	27 canales	V	Valparaíso
Río Putaendo	3	30-08-1993	1755	19-08-1993	NJ-0503-1	C.B.R. Putaendo	6.052,57	37 comunidades de aguas	V	San Felipe
Comuneros de la Acequia del Pueblo de Lampa	11	11-07-1996	1665	01-07-1996	NJ-1306-2	C.B.R. Santiago/87/137/1941	170	Sin Información	XIII	Santiago
Mapocho 1º Sección	6	23-03-1994	595	21-03-1994	NJ-1306-1	C.B.R. Santiago/102/143/1994	7.959,57	28 canales	XIII	Santiago
Mapocho Última Sección	2	11-03-1991	191	29-01-1991	NJ-1305-1	C.B.R. Talagante 26VTA/48/1991	7.290,00	5 asociaciones	XIII	Melipilla
Mapocho 3_ Sección	45	24-04-2012	1219	19-04-2012	NJ-1304-4	C.B.R. Santiago	32.810	6 canales	XIII	Talagante
Estero Puangue 2_ Sección	20	17-11-1998	2793	09-11-1998	NJ-1305-3	C.B.R. Santiago	1.700	6 comunidades	XIII	Melipilla
Río Maipo 1_ Sección	21	23-02-1999	388	16-02-1999	NJ-1306-3	C.B.R. Puente Alto/142VTA/226/1999	8.133	7 asociaciones 1 comunidad 1 empresa	XIII	Santiago

Tabla 8 Organizaciones de usuarios presentes en el área de estudio.

Fuente: (Nuñez, 2012)

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

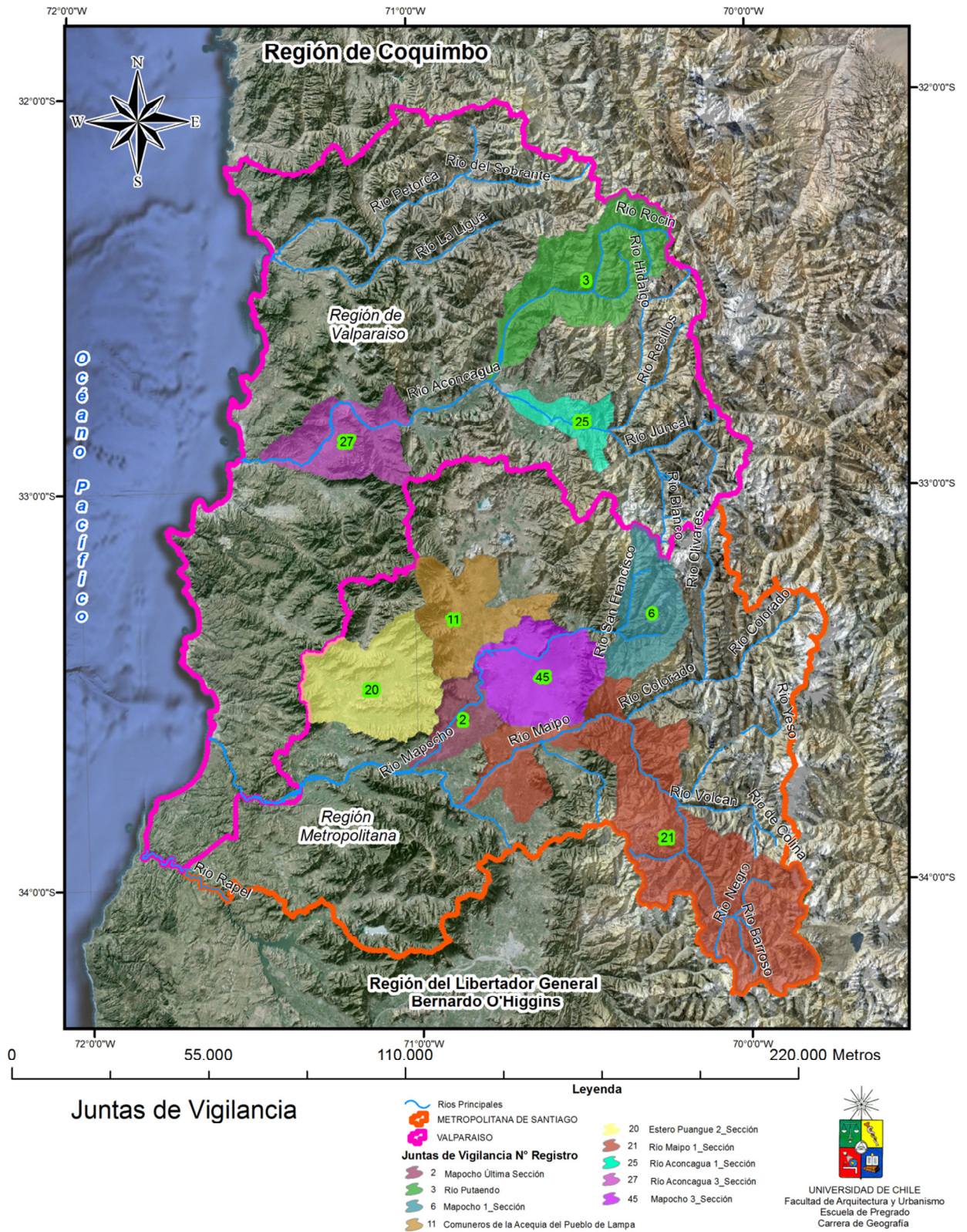


Ilustración 12 Cartografía de caracterización de Organizaciones de usuarios de agua

1.3.- Objetivos

1.3.1.- Objetivo general:

El objetivo principal es contribuir al conocimiento geográfico y climatológico de Chile Central, específicamente en las regiones Metropolitana de Santiago y Valparaíso, a través de un análisis de la sequía a resolución diaria, mensual e interanual y su relación con patrones de variabilidad Climática de baja frecuencia.

1.3.2.- Objetivos específicos:

1. Caracterizar la sequía a distintas escalas temporales en la V y VIII regiones, con el fin de establecer longitud de días secos y su distribución geográfica.
2. Verificar si la sequía se ajusta a los patrones de variabilidad climática de baja frecuencia (ENSO, AAO, PDO).
3. Aportar antecedentes a las organizaciones de usuarios de agua, ya sean juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas o comunidades de agua, con el fin de colaborar con estos instrumentos de protección de la sustentabilidad del recurso hídrico, en su gestión y planificación.

1.4.- Hipótesis

La magnitud de la sequía aumenta hacia el semiárido y hacia la fachada litoral, producto de las componentes subtropicalidad y Océano Pacífico. Es decir, la V región debería poseer mayor longitud de las sequías que la Región Metropolitana. Además, la sequía disminuyó la productividad agrícola un 32% en una década, tal como señalan los estudios de la Unidad de Diagnostico Parlamentario. (UDP, 2012)

1.5.- Tipo de estudio

Para llevar a cabo los objetivos planteados, se establecerá un corte temporal de 30 años (1981 - 2010), ya que las fuentes con series de información disponibles, se encuentran más completas durante este período. A continuación se detallarán los materiales y métodos a utilizar para desarrollar la investigación.

1.5.1.- Materiales:

- Datos de precipitaciones mensuales y diario en milímetros, de 27 estaciones Meteorológicas de la Dirección General de Aguas (DGA), dentro de las Regiones Metropolitana y Valparaíso.
- Datos de precipitaciones de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), para completar las series incompletas.
- Bases de datos de las teleconexiones ENSO, PDO y AAO.
- Cartografía Digital
 - Carta Base Región de Valparaíso y Metropolitana.
 - Divisoria de Subcuencas por regiones realizado por: Departamento de Estudios y Planificación Unidad S.I.G., S.D.T. N° 43. Dirección General de Aguas, Santiago Febrero 2009.
 - Base de datos WorldClim - Global Climate Data (Free climate data for ecological modeling and GIS)

1.5.2.- Métodos o procedimientos:

- Persistencia de Lluvia según el coeficiente de Besson. Métodos estadísticos en meteorología (Besson, 1924)
- Índice estándar de Precipitaciones (SPI) (McKee et al., 1993)
- Análisis Probabilístico, Método de las rachas (Martin-Vide, 2003)
- Índice de Desviación de la precipitación respecto a su Normal
- Deciles de Sequía (Gibbs & Maher, 1967)

1.6.- Justificación

La sequía se ha estudiado de diversas maneras, siendo la más clásica la meteorológica, la cual la establece en función a la precipitación normal de una serie y la recibida en una estación meteorológica en un año. No obstante, esta definición en regiones de climas semiárido y mediterráneos entrega escasa información, pues la variabilidad de precipitaciones es muy elevada interanualmente, más aún, si consideramos las teleconexiones (ENSO, AAO, PDO).

Es por ello que, entendiendo las precipitaciones como una variable discreta e irregular, es así como surgen formas de establecer la sequía con mayor propiedad, tal como son las series de períodos secos y los índices estandarizados de precipitación.

Por lo tanto, se usará series diarias de 27 estaciones, lo que entregará evidencias de áreas más propensas a períodos largos de estiaje.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

En las Regiones de Valparaíso y Metropolitana los principales usos de agua se concentran en el sector agroindustrial y en la generación de agua potable. En estas regiones se ha evidenciado en las últimas décadas un crecimiento sostenido de la demanda del recurso hídrico por parte de los diferentes sectores involucrados. (Pizarro et al., 2005)

En consideración a lo antes mencionado, se hace muy importante realizar distintos tipos de investigación, para aportar al conocimiento y predicción de futuras sequías, con el objetivo de gestionar de manera más eficiente las actividades dependientes del recurso hídrico.

Las regiones a estudiar (RM y V) concentran el 31% y el 9 % respectivamente de la población Chilena (Banco Mundial, 2011), esto demuestra la importancia a nivel país de estas dos regiones administrativas, por lo mismo a continuación se mencionan los posibles beneficios que generara esta memoria de título.

- Beneficios de tipo social: al entregar información técnica, a las Organizaciones de usuarios de Agua, que ayudaría a la gestión del recurso hídrico en las regiones V y XIII.
- Beneficios de tipo económico: al ser utilizadas como antecedente para la planificación de procesos productivos en la agricultura u otras actividades económicas.
- Beneficios de tipo técnico y científico: al plantear el uso de metodologías de índices de días secos a resolución diaria, entregando resultados a una escala espacial más detallada.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1.- La Sequía

La sequía es un problema multidimensional (económico, social, ambiental, etc.), por lo mismo se han planteado diversas definiciones de sequía, las cuales obedecen a los intereses y objetivos de los investigadores y organismos que se han enfocado en este problema. Debido a lo anterior, es complejo llegar a una definición universal de esta problemática, la cual como hemos dicho, posee muchas aristas. A continuación se mencionan algunas definiciones de sequía, seleccionadas por su importancia con el objetivo de introducir la problemática.

La Organización Meteorológica Mundial, en su Vocabulario Meteorológico Internacional, define a la sequía como: “Un período de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico”. (OMM, 1992)

Desde el punto de vista jurídico la sequía en Chile está definida en la Resolución N° 39, de 9 de febrero de 1984, de la Dirección General de Aguas. Esta norma señala que las condiciones hidrológicas determinantes para que se califique una época de sequía como extraordinaria, pueden presentarse simultánea o separadamente, y agrega que son dos los parámetros que se consideran para determinar tales condiciones, sobre las aguas superficiales: (Riquelme, 2014)

1. Que la precipitación acumulada a partir del mes de abril sea inferior al 50% del valor medio estadístico;
2. Que el caudal medio mensual de los ríos, medidos en estaciones de observación controlada por la DGA u otras instituciones oficiales encargadas de hacer mediciones hidrometeorológicas sea inferior al 50% del caudal de probabilidad de excedencia 50% del mismo mes (se entiende que se refiere al mes de abril).

Para el caso del uso de aguas subterráneas, la condición de sequía se verificara, si en cualquier momento, en un sector hidrogeológico de aprovechamiento común del acuífero, la capacidad de la o las captaciones para abastecimiento de agua, cumplen las siguientes condiciones:

1. En el caso de empresas sanitarias, cuando sea menos al 50% de la capacidad informada a la superintendencia de servicios sanitarios en el último proceso tarifario
2. En el caso de sistemas de agua potable rural, cuando sea menos al 50% de los derechos de aprovechamiento de agua subterránea

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

La mayoría de las definiciones de sequía apuntan a una deficiencia sostenida de las precipitaciones, en un área definida y por un largo período de tiempo, produciendo una perturbación en la normal de precipitación. Además muchas de estas definiciones apuntan a los efectos en la agricultura o recursos naturales y de allí mismo nacen los conceptos de sequía agrícola e hidrológica.

Un anormal período seco suficientemente prolongado para que la falta de agua cause un serio desbalance hidrológico (esto es daños a los cultivos, carestía de agua, etc.) en la zona afectada. La severidad de la sequía depende del grado de deficiencia de humedad, la duración, y (a un menor grado) del tamaño del área afectada. En general, el término debe ser reservado para períodos de deficiencia de humedad que son relativamente extensos tanto en el tiempo como en el espacio.

Los climas secos están subdivididos además de acuerdo a valores de índices de humedad como sigue: poco o ningún exceso de agua, exceso moderado de agua de invierno; exceso moderado de agua de verano, gran exceso de agua de invierno, gran exceso de agua de verano.

Índice de sequía: Valor calculado que se relaciona con algunos de los efectos acumulativos que son consecuencia de una prolongada y anormal deficiencia de humedad. El índice de sequía hidrológica se relaciona con los niveles de agua inferiores a los valores medios en los ríos, lagos, embalses, etc. Sin embargo el índice de intensidad de la sequía agrícola ha de relacionarse con los efectos acumulativos de un déficit absoluto o normal de transpiración. (GHI, 2013)

Sequía Agrícola: Se presenta cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas en agua del suelo y las pérdidas debidas a la evaporación se combinan para causar disminuciones considerables del rendimiento de los cultivos y del ganado.

Ausencia prolongada, marcada deficiencia, o pobre distribución de la precipitación.

Estación seca: En algunos tipos de Clima, un período recurrente anual de uno o más meses durante en el cual las precipitación es a un mínimo para esa región; lo opuesto de estación lluviosa.

El término se usa generalmente para regiones en que la temperatura es relativamente alta a través del año, y donde la variación estacional de la precipitación es una mayor característica del clima. Dentro de los trópicos, la estación seca generalmente decae en la estación de invierno del hemisferio correspondiente: en regiones subtropicales en verano (clima mediterráneo) o en invierno (clima monzónico).

Cerca del Ecuador pueden haber dos estaciones secas durante el año con nombres diferentes, como el verano largo y el veranillo corto de América tropical.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

Debe notarse que una estación seca no es una sequía. Sólo una falla de la estación lluviosa normal se constituiría en una sequía en este tipo de clima.

Período seco corto: Vagamente, un período de tiempo seco anormal. El término debería reservarse para una condición menos extensiva, y así menos severa, que una sequía. En los Estados Unidos el término ha sido aplicado a un período que dura menos de dos semanas, durante el cual no se registra precipitación capaz de ser medida. En la climatología inglesa se define como un período de por lo menos quince días consecutivos, en ninguno de los cuales 0,04 pulgadas (1mm) o más de precipitación fueron registradas. (AMS, 2013)

La Organización de las Naciones Unidas, en su documento de la Convención de Lucha Contra la Desertificación, define la sequía como: “fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras” (ONU, 2004)

Sequía como “una temporada anormalmente seca, sin lluvias o con déficit de lluvias. En general se trata de períodos prolongados (meses, años, incluso decenios), que pueden ocurrir en áreas continentales restringidas o a escalas regionales”. (La Red, 2003)

Es una condición natural, causal (aleatoria) y temporal de reducción importante en las precipitaciones y en la disponibilidad de agua con respecto a los valores normales, abarcando un período de tiempo significativo y afectando a una región amplia. (ODEPA, 2005)

Sequía, como un porcentaje respecto a la precipitación normal, medida muy utilizada para expresar el grado de superávit o déficit de la precipitación, aun sabiendo que este indicador no considera el impacto diferencial que tiene en distintas regiones un mismo nivel de déficit respecto a la norma. (Steinman et al., 2005)

La sequía es un proceso natural errático, que se origina como resultado de una deficiencia de precipitación durante un período de tiempo extenso, generalmente de una estación o más, provocando en consecuencia un desbalance hídrico, afectando con ello las actividades humanas y ambientales; se trata de una situación deficiente de precipitación en relación a un comportamiento promedio considerado como normal. (Wilhite & Glantz, 1985)

El déficit pluviométrico en una zona determinada por un período de tiempo es conocido como sequía meteorológica (Valiente, 2001)

Las sequías se determinan en función de la media anual de las precipitaciones, pero también dependen de la demanda de agua de la zona. Es así que niveles de precipitación inferiores a la media pueden no representar necesariamente a una sequía.

Por ejemplo en zonas de lluvias abundantes, una disminución del 50% tiene el potencial de afectar fuertemente el caudal de los ríos, pero apenas afectar la producción agrícola. (Casanova, 2006)

Es un fenómeno de lento desarrollo y amplia cobertura espacial. Mientras dura el fenómeno, resulta difícil precisar su duración y extensión física. Sus dimensiones pueden ser determinadas con mayor exactitud una vez que la sequía ha finalizado, desde una perspectiva histórica. Esta situación dificulta la adopción de medidas durante su desarrollo. (Fernández, 1991)

En términos generales una sequía corresponde a una situación de déficit de agua suficiente para afectar adversamente a la vegetación, fauna, ser humano y sus actividades en un área determinada. Salas, 1978, citado por (Fernández, 1991)

Estas definiciones son citadas por diferentes aspectos que las hacen importantes y valiosas de mencionar, ya sean por ser de autores renombrados, organizaciones mundiales o también por su presión técnica, en estas se observan algunos aspectos comunes y otros diferentes; un denominador común en ellas es la “escasez de precipitación”, con respecto a un comportamiento “normal” de la misma, considerando “comportamiento normal” a valores promedio de una serie de tiempo histórica.

Las diferencias en el concepto de sequía estriban en la forma e intensidad como impacta y sus efectos en diferentes ambientes naturales, lo que ha llevado a desarrollar otras definiciones más de sequía, algunas de ellas enfatizan la identificación de los límites de inicio y fin del fenómeno, su severidad y frecuencia; otras se enfocan más a la búsqueda y claridad del concepto sequía. Las primeras se han clasificado como definiciones operacionales y las segundas como conceptuales. (Wilhite & Glantz, 1985)

2.2.- Causas de la sequía

Las causas de la sequía pueden ser diversas, ya que pueden ser agravadas por procesos antropológicos o naturales que actúan en muchos casos de modo simultáneo, a continuación se organizan algunas de estas causas:

2.2.1.- Antropológicas

- La sobreexplotación del recurso hídrico puede causar sequías, ya que el agua es un recurso renovable pero no inagotable.
- La deforestación, paradójicamente contribuye tanto a crear sequías como inundaciones. Para el caso de las sequías, al reducirse la cubierta vegetal, se

produce menos evapotranspiración, por lo cual hay menos vapor en la atmosfera y por ende menos precipitaciones.

- Técnicas de cultivos deficientes, estas contribuyen a causar sequías ya que requieren de un mayor gasto de agua para la mantención de los cultivos, avanzar a la tecnificación de la agricultura reduciría el consumo de agua en los cultivos.
- Exceso de pastoreo, se agota la vegetación y se produce mayor erosión del suelo, lo que produce efectos negativos en la evapotranspiración normal de un área determinada. Esto produce una reducción de las precipitaciones y aumento de las sequías.

2.2.2.- Naturales

- Ausencia de corrientes de aire húmedo. La falta de vientos suficientemente fuertes como para acarrear vapor de agua de los océanos hacia el interior de regiones donde se necesita lluvia.
- Las montañas pueden impedir que el viento aporte humedad a regiones donde falta. A medida que el aire se mueve por una cadena montañosa, se ve forzado a elevarse para pasar sobre los picos. Conforme se eleva, se enfría y el vapor se condensa formando lluvia o nieve. La lluvia entonces cae sobre el lado de la montaña expuesto al viento. Cuando la masa de aire finalmente logra pasar sobre la montaña, ha perdido mucho de su vapor de agua. Esa es otra razón por la cual muchos desiertos comienzan a partir de las laderas montañosas que están de espaldas al océano.
- Corrientes oceánicas inusuales de agua fría y cálida pueden también detener a un sistema de alta presión. En el Pacífico la corriente cálida conocida como “El Niño” trae sistemas de baja presión que originan huracanes y otras tormentas violentas en partes del planeta, mientras que en otras genera sequías. Típicamente, “El Niño” genera condiciones secas en el sudeste de África y el nordeste de América del Sur. “La Niña”, una corriente de agua fría, provoca sequías al sur de América del Norte, Japón, el nordeste de China y el corazón de África.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

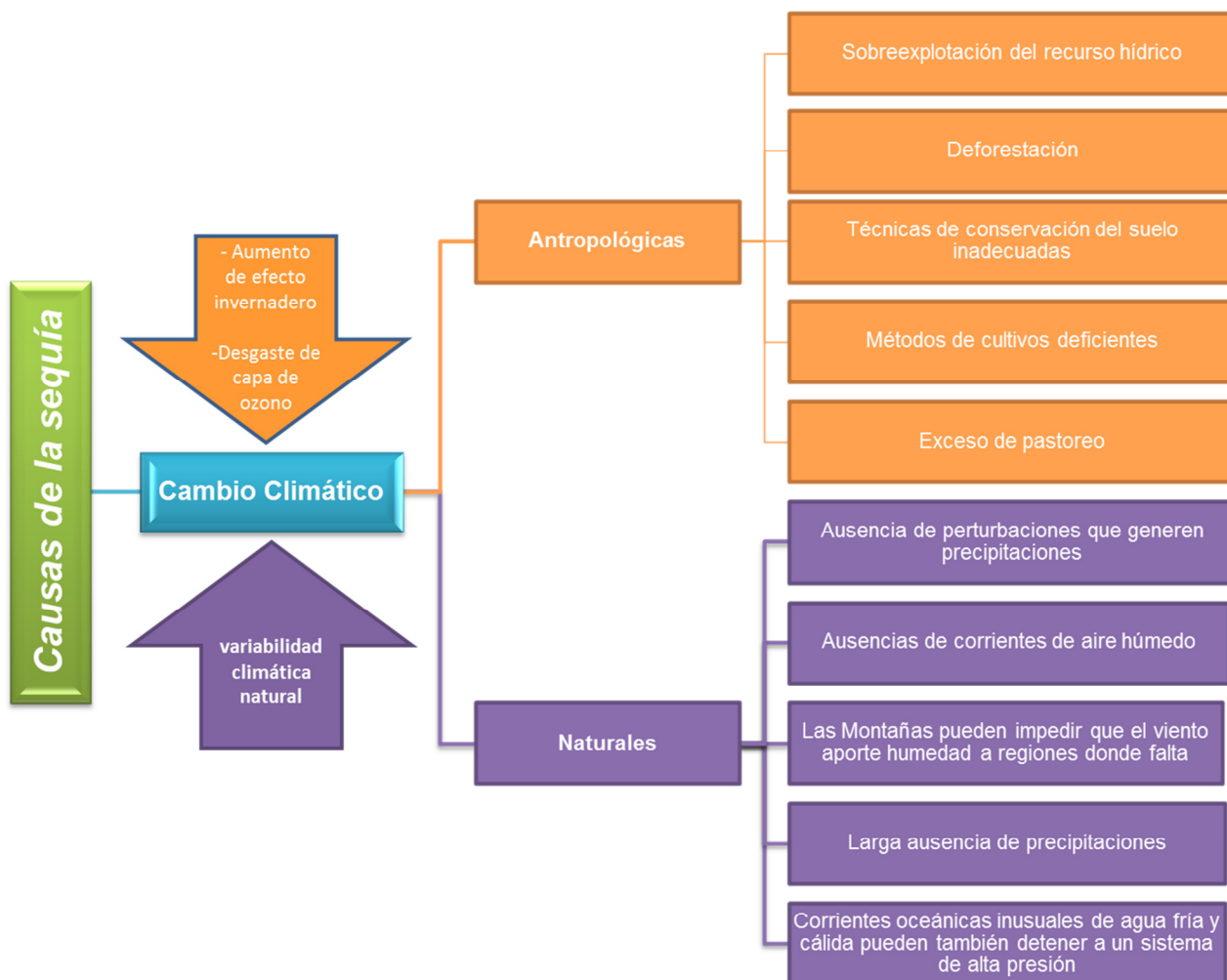


Ilustración 13 Organigrama de causas de la sequía

Elaboración Propia en base a la información de **National Drought Mitigation Center**, University of Nebraska Lincoln (NDMC, 2014)

Si bien la sequía tiene un desarrollo no tan rápido y dramático que otros desastres naturales como los huracanes, sus efectos suelen ser de mayor amplitud y más devastadores. Sus efectos directos e indirectos están fuertemente relacionados con la producción de alimentos, la reserva de agua en el suelo, la manutención de ganado, la vida silvestre y en general con la posibilidad de cualquier forma de vida en un lugar determinado (NDPC, 2000).

2.2.3.- Causa principal de la sequía en Chile

La UEA identifica como principal causa de la ocurrencia de sequías en Chile al Fenómeno de La Niña. (UEA, 2003)

“En presencia de un evento La Niña, el anticiclón subtropical del Pacífico suroriental, se intensifica aún más, aumentando su área de acción más al sur de lo normal e impidiendo el normal desplazamiento de los sistemas frontales que provienen de la región oeste del Pacífico. Esta condición atmosférica disminuye la frecuencia de bandas nubosas frontales hacia la zona central y norte, además inhibe el normal desarrollo de la nubosidad de los frentes, que son imprescindibles para la generación de la precipitación”. (DMC, 2008)

La causa más importante de sequías en el país se vincula directamente con los desplazamientos temporales del anticiclón del Pacífico, el que generalmente se vincula a fenómenos como El Niño y La Niña. (Astaburuaga, 2003)

(Santibáñez & Uribe, 1999) Señalan que, generalmente, los años secos coinciden con temperaturas más frías del mar, dado que el efecto del anticiclón del Pacífico se intensifica, bloqueando los frentes de mal tiempo que habitualmente ingresan en invierno al territorio chileno. Citado por (Aldunce & González, 2009).

2.3.- Efectos o impactos de la sequía

Los impactos de las sequías no se registran de manera adecuada a nivel internacional, por razones que incluyen la falta de daños visibles salvo en el sector agrícola, la alta porción de pérdidas indirectas frente a pérdidas directas, y la complejidad de la mortalidad por sequía, que guarda una estrecha relación con los medios de vida. (Bellow et al. 2007)

Se reduce la oferta de agua (precipitación irregular, muchos días secos, eventos lluviosos fuertes pero cortos que afectan la infiltración de aguas de escorrentía, etc.). Los efectos anteriores se refuerzan entre sí (más necesidad y menos disponibilidad) y el recurso hídrico se torna crítico.

Los impactos de las sequías demuestran que hay múltiples factores que convierten al déficit pluviométrico, la escasa humedad del suelo y los bajos niveles hídricos, en desastres para las poblaciones y las economías vulnerables.

La sequía impacta de diferentes formas; pudiendo ser directas e indirectas, simples o acumulativas, inmediatas o tardías, algunas afectan de forma permanente a grandes extensiones, otras en forma semipermanentes y algunas en forma aislada.

Los impactos fundamentales que se producen como consecuencia de la ocurrencia de una sequía son del tipo económico, social y ambiental según (FECYT, 2005) son:

2.3.1.- Impactos económicos aplicables a Chile Central

1.- Costes y pérdidas agrícolas: Pérdidas de cosechas anuales y temporales, daño a la calidad de las cosechas, pérdida de ingresos para los agricultores debido a la reducción de las cosechas, productividad reducida de las tierras de cultivo (erosión del suelo producto del viento, pérdida de materia orgánica, etc.), plagas de insectos, enfermedades de las plantas, daño de la fauna salvaje a las cosechas, incremento en los costes de irrigación, costes del desarrollo de los recursos hídricos nuevos o suplementarios.

2.- Costes y pérdidas de los ganaderos: Productividad reducida de las dehesas, disminución de la producción de leche, reducción forzada del ganado, limitación o cierre de las tierras públicas para el pastoreo, coste elevado o no disponibilidad de agua para la ganadería, coste del desarrollo de los recursos hídricos nuevos o suplementarios, coste elevado o no disponibilidad de comida para el ganado, aumento de los costes del transporte de los alimentos, tasas elevadas de mortalidad del ganado, interrupción de los ciclos de reproducción, disminución del peso del ganado, aumento de la depredación.

3.- Pérdida de la producción de madera: Incendios forestales, enfermedades de los árboles, plagas de insectos, disminución de la productividad forestal, pérdida directa de árboles, especialmente jóvenes.

4.- Pérdida de la producción pesquera: Daño al hábitat de los peces, pérdida de peces y otros organismos acuáticos debido a la disminución de los flujos de agua

5.- Efectos económicos generales: Disminución del precio de las tierras, pérdida de las industrias directamente relacionadas con la producción agrícola, desempleo por disminución de la producción debido a la sequía, tensión sobre las instituciones financieras, pérdida de ingresos de los gobiernos, reducción del desarrollo económico, pérdida de la población rural.

6.- Pérdida de la industria del turismo y del ocio

7.- Efectos relacionados con la energía: Aumento de la demanda de energía y suministro disminuido debido a las restricciones de energía relacionadas con la sequía, mayores costes asociados a la sustitución por combustibles más caros.

8.- Suministradores de agua: Coste del transporte de agua, coste del desarrollo de recursos hídricos suplementarios o nuevos

9.- Industria del transporte: Pérdida de la navegabilidad de ríos, arroyos y canales

10.- Disminución de la producción de alimentos/suministro de alimentos interrumpido: Aumento en los precios de los alimentos, importación incrementada de alimentos (costes mayores).

2.3.2.- Impactos ambientales

Las pérdidas ambientales son el resultado de daños a las especies de plantas y animales, hábitat silvestre, y calidad del aire y agua, incendios de los bosques, degradación de la calidad del paisaje, pérdida de biodiversidad y erosión del suelo.

Una sequía extensa puede conducir a la desertificación, a incendios forestales, a corto plazo y a la degradación general de la calidad del suelo. Algunas veces los efectos son de corta duración, restableciéndose las condiciones normales de forma rápida cuando finaliza la sequía, pero otros impactos ambientales persisten durante más tiempo o pueden convertirse en permanentes.

Entre los impactos ambientales que podemos destacar se encuentran los siguientes:

1.- Daño a las especies animales: Reducción y degradación del hábitat de la fauna y de los peces, falta de alimentos y de agua de bebida, mayor mortalidad de los animales ya que estos buscan comida y los productores son menos tolerantes a la intrusión, enfermedades, vulnerabilidad incrementada a la predación (de especies concentradas cerca del agua), migración y concentración de la fauna, pérdida de biodiversidad.

2.- Efectos hidrológicos: Niveles bajos de agua en reservorios, lagos y charcas, flujo reducido de los manantiales, corrientes disminuidas, pérdida de las tierras húmedas, impacto en los estuarios (ej. cambios en los niveles de salinidad), disminución de las aguas subterráneas, efecto en la calidad de las aguas.

3.- Daño a las comunidades de plantas: Pérdida de biodiversidad, pérdida de árboles en zonas urbanas.

2.3.3.- Impactos sociales

Los impactos sociales engloban seguridad pública, salud, conflictos entre los usuarios de recursos hídricos, calidad de vida reducida y desigualdades en la distribución de impactos y ayuda de desastres. Muchos de los impactos identificados como económicos y ambientales tienen también componentes sociales. La migración de población es un problema significativo en muchos países, a menudo estimulada por un suministro mayor de alimentos y de agua. La migración también suele ocurrir hacia las zonas urbanas dentro del área afectada, privando a las zonas rurales de recursos humanos necesarios

**ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN
CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.**

para el desarrollo económico. En lo relativo a la salud, las sequías tienen mucha importancia como causa de la malnutrición y la hambruna, un problema muy significativo a nivel mundial.

Destacamos los siguientes impactos sociales:

1.- Salud: Estrés físico y mental, desnutrición, pérdida de vidas humanas, aumento de las enfermedades respiratorias.

2.- Aumento de los conflictos: Conflictos entre los usuarios de los recursos hídricos, conflictos entre los actores políticos, conflictos de gestión gubernamental, otros conflictos sociales.

3.- Calidad de vida disminuida y cambios en el estilo de vida: Incremento en general de la pobreza, migración de la población, pérdida de valores estéticos, disminución o modificación de las actividades recreativas.

4.- Reevaluación de los valores sociales

5.- Insatisfacción pública con la respuesta a la sequía de los gobiernos

6.- Pérdida de sitios culturales, etc.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

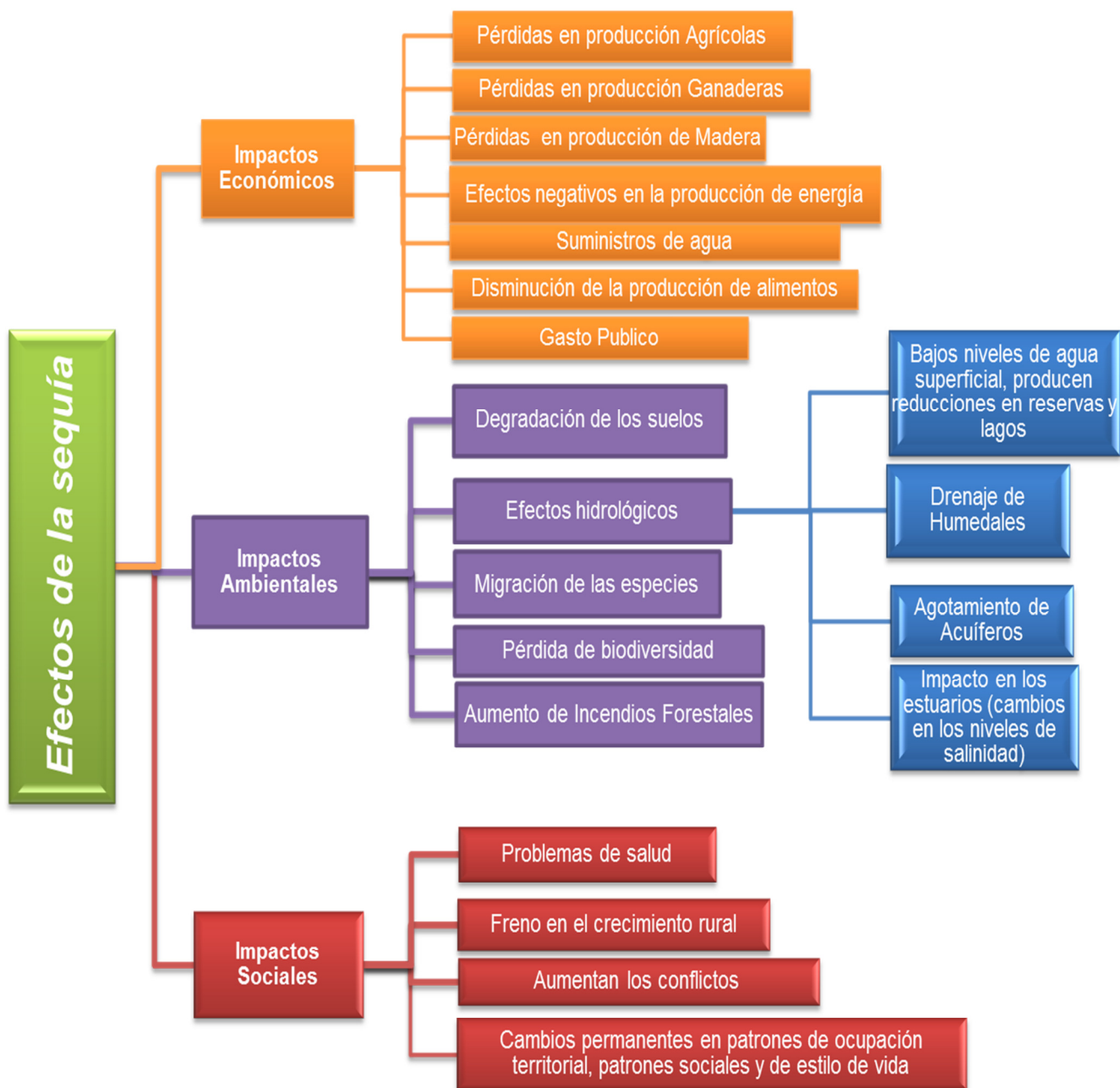


Ilustración 14 Organigrama sobre los efectos de la sequía

Fuente: Elaboración Propia en base (NDMC, 2014)

2.4.- Tipos de sequía

Se pueden distinguir muchos tipos de sequía como se grafica en la ilustración 15, por ejemplo algunas describen fenómenos físicos como la meteorológica, hidrológica o atmosférica, otras describen los impactos de impactos en la actividad agrícola, mientras que otras describen los impactos en las sociedades y en la economía.

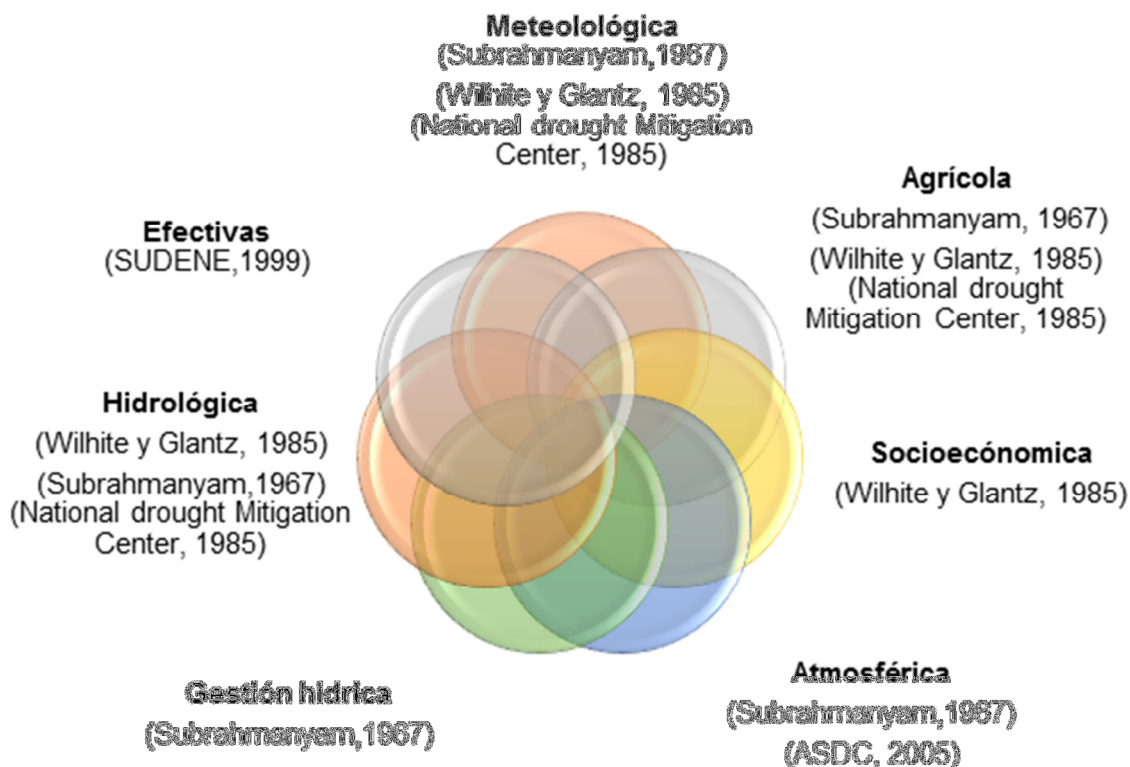


Ilustración 15 Organigrama tipos de sequía según año y autor que la propone

Fuente: Elaboración Propia en base a (NDMC, 2014) (Wilhite & Glantz, 1985) (Subrahmanyam, 1967) (Sudene, 1999). (ASDC, 2005)

A continuación se exponen definiciones de los tipos de sequía más importantes para la presente investigación (Meteorológica, Agrícola e Hidrológica), basado en los diversos tipos de sequía encontrados al realizar revisión bibliográfica.

2.4.1.- Sequía meteorológica:

La sequía meteorológica se basa en datos climáticos, es una expresión de la desviación de la precipitación respecto a la media durante un período determinado. Existen diferentes definiciones de sequía meteorológica debido a la dificultad de establecer una duración y magnitud de déficit de las precipitaciones válido para diferentes áreas geográficas. Algunas definiciones de sequía meteorológica no especifican umbrales fijos (Valiente, 2001).

Otros autores definen sequía meteorológica como; el intervalo de tiempo con una duración de meses o años, durante el cual el aporte de humedad en un determinado lugar cae significativamente por debajo de lo climáticamente esperado (Palmer, 1965) o como escasez prolongada de precipitación, inferior a la media (Russell et al., 1970). Citado por (Naranjo Toledo, 2011).

En la mayoría de los casos, las definiciones de sequía meteorológica presentan información específica para cada región geográfica en particular, que varían en función de las características climáticas. Es imposible extrapolar una definición de sequía meteorológica de una región geográfica a otra (Valiente, 2001)

La Dirección Meteorológica de Chile usa la definición de UEA como oficial para el país: “Se da esta situación cuando las precipitaciones alcanzan a un 60% o menos de la normal anual” (Promedio de los últimos 30 años), durante dos años consecutivos o más, en el 50% de la extensión espacial de la región” (UEA, 2003)

2.4.2.- Sequía agrícola o agronómica:

Este tipo de sequía se produce cuando “la disponibilidad de agua a escala agrícola es menor a las necesidades de los cultivos” (Molina, 2000) Citado por (Aldunce & González, 2009). Según la (UEA, 2003), en una sequía agrícola “la cantidad de precipitaciones y su distribución, las reservas de agua y las pérdidas debido a la evaporación del suelo y uso por consumo de las plantas se combinan para causar disminuciones significativas en el rendimiento y/o pérdidas totales de los cultivos, además pueden causar disminución de peso y en casos extremos causar muerte del ganado. La disponibilidad de agua para el consumo humano de la ruralidad es mínimo o sencillamente se agota”.

En el caso de Chile el Ministerio de Agricultura a través de la Comisión Nacional de Riego, presenta conceptos y recomendaciones útiles para apoyar a la comunidad en caso de sequía, pero sobre todo para estar preparados para cuando ello ocurra.

En términos generales, sin embargo, es importante destacar que hay una diferencia entre “escasez hídrica” y “emergencia agrícola”. La “escasez hídrica” se declara conforme al artículo 314 del Código de Aguas y a la Resolución del MOP 39/84. Según la situación

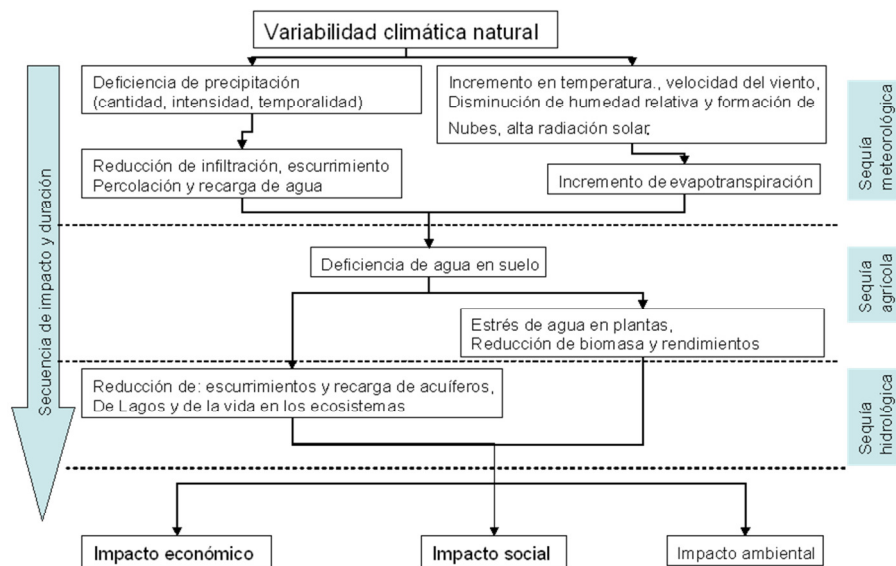
ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

hidrológica de la zona considerada, el Director General de Aguas propone al Ministro de Obras Públicas declarar zonas de escasez a aquellas cuencas afectadas por una sequía de carácter extraordinaria. Los decretos emitidos pueden abarcar cuencas, provincias y comunas, según sea el caso. Una vez decretada, se pueden adoptar una serie de medidas extraordinarias para amortiguar y mejorar las zonas de escasez, como la intervención de ciertas fuentes, la redistribución del recurso hídrico para riego y medidas sobre el agua potable rural.

En cuanto a la declaración de “emergencia agrícola”, ésta la aplica el Ministro de Agricultura, mediante resolución fundada, cuando se comprueba que la situación derivada de fenómenos naturales y/o climáticos provoca graves daños a los sistemas productivos y requiere del apoyo externo con instrumentos y medidas extraordinarias para evitar graves pérdidas económica y patrimoniales. El ministro de Agricultura también puede actuar a solicitud de Intendencia respectivo, previa recomendación del Seremi de Agricultura sobre la base de un informe técnico emitido por el INIA.

En cuanto al agua para el consumo humano, ésta es responsabilidad de la ONEMI, que puede actuar sin mediar la declaración del MOP o el MINAGRI. La ONEMI puede autorizar la distribución de estanques y el arriendo de camiones aljibe.

En la siguiente ilustración se muestra la secuencia del impacto evolutivo de la sequía, destacando que es la agricultura la primera en resentir los efectos de esta.



Fuente: Understanding and defining drought, National drought Mitigation Center, 1985.

Ilustración 16 Secuencia de impacto de la sequía

2.4.3.- Sequía hidrológica:

Este tipo de sequía se produce cuando existen escasos caudales por déficit de agua pluvial, de escurrimiento superficial y subterráneo.

“Existe un déficit continuo en la escorrentía de superficie y alcanza ésta un nivel inferior a las condiciones normales, o como cuando disminuye el nivel de las aguas subterráneas”, lo que se convierte en sequedad de los suelos y napas subterráneas, aminorando la cantidad de agua artificialmente embalsada, así como los caudales de cuerpos superficiales hasta un punto de no lograr satisfacer las demandas del riego. (Rein, 1997)

2.5.- Métodos de medición

Las diversas concepciones acerca de la sequía, sus causas y efectos y los diferentes niveles de disponibilidad de información para cada región o país ha dado en resultado, diversas herramientas para evaluar el citado fenómeno natural.

Las variables que comúnmente están involucradas en los métodos de estimación son principalmente indicadores basados en variables climatológicas como las precipitaciones, temperatura y humedad, en diferentes períodos de tiempo.

Otros indicadores también integran variables de evapotranspiración, humedad del suelo, corrientes superficiales, capacidad de almacenamiento del suelo, niveles de agua almacenada, entre otros.

La utilización de estos indicadores depende de múltiples factores entre los cuales se destacan la disponibilidad de datos y el alcance del análisis que se pretenda realizar.

Los indicadores de sequías son necesarios para determinar la severidad o probabilidad o intensidad o gravedad de las sequías, deben utilizarse en las regiones donde se encuentren afectadas por las ocurrencias de sequías, y con los resultados obtenidos se podrán mapear zonas vulnerables a la ocurrencia de sequías.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

Indicadores de sequía	Tipos de sequía
<ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN) - Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) - Deciles - Índice de Besson 	•Meteorológica
<ul style="list-style-type: none"> - Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP) - Índice de la Humedad del Cultivo (IHC) 	•Meteorológica / Agrícola
<ul style="list-style-type: none"> - Índice de Suministro de Agua Superficial (ISAS) 	•Meteorológica / hidrológica
<ul style="list-style-type: none"> - Índice de reclamación de sequía (IRS) 	•Meteorológica, hidrológica, socioeconómica

Tabla 9 Indicadores y tipos de sequía que miden

Fuente: Elaboración Propia

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) adoptó en 2009 el indicador normalizado de precipitaciones (SPI) como estándar mundial para medir las sequías meteorológicas, por medio de la declaración de Lincoln sobre índices de sequía. La OMM está fomentando su uso por parte de los servicios nacionales de meteorología e hidrología, junto con los demás indicadores que se utilizan en cada región su aceptación será sometida a la consideración del congreso meteorológico Mundial en su 16° sesión, que se celebrara en Junio de 2011.

2.6.- Sequía en Chile y su relación con teleconexiones (ENSO, PDO, AAO)

Una teleconexión está definida por la Sociedad Americana de Meteorología (AMS, 2013) como:

1. Un enlace entre cambios del tiempo que ocurren en regiones separadas por grandes distancias del globo terraqueo.
2. Una correlación significativa (positiva o negativa), en las fluctuaciones de un campo (por ejemplo presión o temperatura del mar) de puntos separados por grandes distancias. Normalmente aplicado a la variabilidad en escalas de tiempo mensuales o mayores. El nombre de teleconexiones se refiere al hecho de que tales correlaciones se manifiesta entre puntos distantes.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

Las teleconexiones pueden ser usadas como evidencia para explicar relaciones entre fenómenos meteorológicos. (Giddings & Soto, 2006)

2.6.1.- El Niño, oscilación del sur (ENSO ONI)

Corresponde a un evento climático natural que se desarrolla en el Océano Pacífico ecuatorial central, la fase cálida de ENSO conocida como El Niño 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 y las pesquerías, tanto en los países ribereños del Pacífico sudoriental, como en otras partes del mundo. La fase inversa o fría de ENSO, conocida como La Niña, 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.

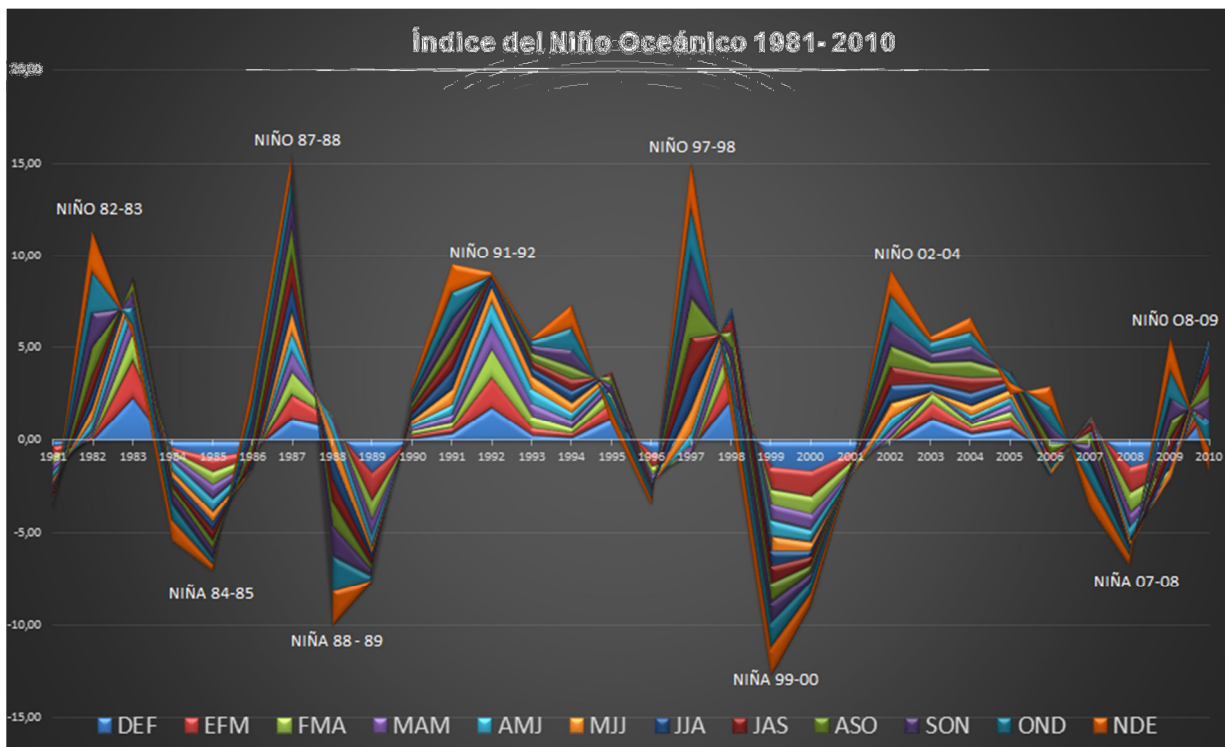


Ilustración 17 Índice de El Niño Oceánico 1981-2010

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de NOAA Center for Weather and Climate Prediction

2.6.2.- La Niña, efectos en el clima de Chile

Cada ciertos años se presentan condiciones oceánicas frías en el Pacífico ecuatorial y costas del norte de Chile, Perú, Ecuador y Colombia, manifestando la presencia de un Fenómeno La Niña asociado a procesos intensos de surgencia (afloración hacia la superficie de aguas frías y profundas por causa del viento). Esto provoca que las condiciones de temperatura del aire sean más frías, entre 1-2°C por debajo del promedio en la costa norte de Chile, durante el período en que La Niña presenta su máxima intensidad. La parte sur y austral de Chile, no experimenta grandes cambios desde el punto de vista térmico. La precipitación es el elemento climático más afectado. En el país, desde la VIII región (Los Ángeles) al norte, aparece un déficit de lluvias importante que predomina gran parte del año. Específicamente, la región central de Chile, entre la V y la VII Región, ha experimentado una disminución de la pluviometría de hasta un 79%, con consecuencias catastróficas en algunos sectores económicos del país, tales como el sector agrícola (secano costero), ganadero, energético (disminución de recursos hidroeléctricos) y minero. (DMC, 2008)

Estados de las precipitaciones durante ENSO Fase Fría en Chile:

- Estado normal: La circulación atmosférica en Chile, en condiciones normales, se caracteriza por dos factores: el anticiclón subtropical del Pacífico suroriental y el cinturón de bajas presiones subpolares. El primero corresponde a un área de altas presiones de manera casi permanente durante todo el año, afectando la zona norte y central del país, con fluctuaciones norte-sur en la ubicación de su borde sur en el invierno (30 a 35° de latitud sur) y en el verano (35 a 40° de latitud sur). El segundo factor que regula el clima en Chile, corresponde a la ubicación del cinturón de bajas presiones que se ubica entre los 45 y 55° de latitud sur, cuyos desplazamientos hacia latitudes de más al norte ocurren con frecuencia en períodos de invierno, originando el desarrollo de sistemas frontales que incursionan regularmente entre La Serena y Concepción. Con El Niño esta situación de precipitaciones aumenta los montos respecto a la normal climatológica.
- Estado de La Niña: En presencia de un evento La Niña, el anticiclón subtropical del Pacífico suroriental, se intensifica aún más, aumentando su área de acción más al sur de lo normal e impidiendo el normal desplazamiento de los sistemas frontales que provienen de la región oeste del Pacífico. Esta condición atmosférica disminuye la frecuencia de bandas nubosas frontales hacia la zona central y norte y además inhibe el normal desarrollo de la nubosidad de los frentes, que son imprescindibles para la generación de la precipitación. Los anticiclones subtropicales, se caracterizan por tener una gran extensión en la vertical (15-20 km) y horizontal (1000-3000 km) y poseer una estabilidad atmosférica que impide la formación de nubes de origen frontal que causan las precipitaciones.

2.6.3.- Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

Corresponde a un fenómeno que se encuentra fundamentalmente en el Pacífico Norte (en contraposición a El Niño, que afecta sobre todo al Pacífico tropical). Tiene dos fases entre las que suele alternar; normalmente permanece en una fase durante un período de tiempo significativo (tan corto como 10 y tan largo como 40 años). Sin embargo, no es inusual que estos períodos largos se rompan con intervalos en los que cambia de fases durante períodos entre 1 y 5 años. Las fases de la PDO se han llamado fases cálidas (valores positivos) o fases frías (valores negativos).

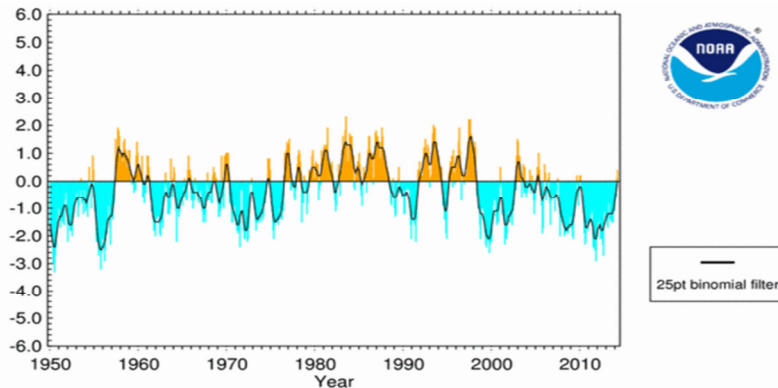


Ilustración 18 Índice de la Oscilación Decadal del Pacífico 1950-2010 Fuente: NOAA

2.6.4.- Oscilación Antártica (AAO)

La Oscilación Antártica es un patrón dominante en las anomalías de circulación atmosférica de carácter no estacional, al sur de los 20°S, y se caracteriza por anomalías de presión de signo contrario sobre el continente Antártico y a los largo de una banda centrada en 40°S – 50°S

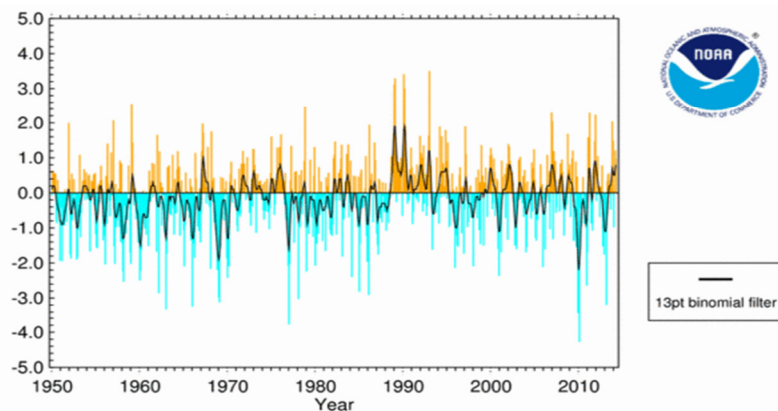


Ilustración 19 Índice de la Oscilación Antártica 1950-2010 Fuente: NOAA

2.7.- Institucionalidad para enfrentar la sequía en Chile.

En 1996, por Decreto Supremo N° 306, se creó la actual “Comisión Asesora del Presidente de la República para la Sequía”, integrada por 17 miembros y presidida por el Ministro de Agricultura. En el marco de esta iniciativa, se constituye en forma permanente la Unidad de Emergencias Agrícolas. (Vergara Castro, 2004)

Los principales objetivos para la formación de la Comisión Asesora pueden resumirse de la siguiente manera:

- Proponer medidas preventivas que contrarresten o mitiguen el proceso de sequía, e implementar medidas que tengan por objeto paliar los efectos negativos que se produzcan en dicho ámbito.
- Actuar en situaciones que comprometan el normal desenvolvimiento de la actividad silvoagropecuaria, tales como: sequía, inundaciones, nevazones, erupciones volcánicas, etc.
- Identificar los principales problemas que contribuyen a la extensión o agravamiento de la sequía u otros fenómenos.
- Estudio, análisis y proposición de medidas preventivas que contrarresten o mitiguen el proceso de sequía y otros fenómenos, así como aquellas estrategias cuya aplicación inmediata permita obtener dichos objetivos.
- Proponer acciones de coordinación para los distintos organismos del sector público con competencia en materias relacionadas a las situaciones definidas como emergencia o catástrofe agrícola, a fin de facilitar la solución integral de los problemas asociados a dichos fenómenos.
- Velar por el cumplimiento de las normas legales y reglamentarias establecidas para actuar en las situaciones definidas como emergencia o catástrofe agrícola.
- Sugerir proposiciones para el fortalecimiento de los programas implementados por los distintos ministerios y servicios públicos para la superación de emergencias, así como las medidas conducentes a su ejecución y al cumplimiento de sus objetivos.

Conforman la Comisión Asesora del Presidente de la República para la Sequía:

- Ministro de Agricultura.
- Subsecretario del Interior.
- Director Nacional del Instituto de Desarrollo Agropecuario.
- Director de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior.
- Director General de Aguas.
- Director de Obras Hidráulicas (el D.S. menciona al Director de Riego; cabe señalar que la DOH es la sucesora de la DR).
- Director de Presupuesto del Ministerio de Hacienda.
- Secretario Ejecutivo de la Comisión Nacional de Riego.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

- Gerente General de la Corporación de Fomento de la Producción.
- Director Nacional del Servicio de Impuestos Internos.
- Tesorero General de la República.
- Director de Inversiones del Ministerio de Planificación y Coordinación.
- Director Nacional de la Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas.
- Jefe de la Oficina de Emergencias y Catástrofes del Ministerio de Salud.
- Por otra parte, existen diferentes organizaciones públicas relacionadas al fenómeno de la sequía:
 - Dirección General de Aguas (DGA).
 - Dirección Meteorológica de Chile (DMC).
 - Dirección de Obras Hidráulicas (DOH).
 - Comisión Nacional de Riego (CNR).
 - Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).
 - Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).
 - Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
 - Fundación para la Innovación Agraria (FIA).
 - Fundación de Comunicaciones, Capacitación y Cultura del Agro (FUCOA).
 - Universidades.

Finalmente, es interesante considerar otras agencias que pueden colaborar indirectamente en labores de prevención y/o mitigación de los efectos de la sequía. Entre ellas se puede mencionar:

- Comisión Nacional del Medioambiente (CONAMA).
- Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).
- Fondo de Solidaridad e Inversión Social (FOSIS).
- Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC).
- Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI).
- División de Organizaciones Sociales (DOS).

Mecanismos de gestión de la sequía del Código de Aguas de 1981 (Riquelme, 2014)

- Declaración de zona de escasez, única herramienta de gestión de la sequía que la nombra explícitamente. (Artículo 324 Código de Aguas).
- Reducción temporal de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas (Artículo 62 Código de Aguas).
- Declaración de agotamiento de caudales (Artículo 282 Código de Aguas)
- Declaración de áreas de prohibición (Artículo 63 Código de Aguas)
- Declaración de áreas de restricción (Artículo 65 Código de Aguas)
- Declaración de caudal mínimo ecológico (Artículo 129 bis 1 Código de Aguas)
- Declaración de reservas de caudales (Artículo 147 bis Código de Aguas)

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1.- Recolección de información

- Las fuentes para la recolección de información son la Dirección meteorológica de Chile y la Dirección general de aguas.
- El parámetro climático a utilizar es la precipitación a resolución diaria en el período 1980 – 2010.
- Las estaciones utilizadas son 27 ubicadas en Chile Central, específicamente en las regiones de Valparaíso y Metropolitana.

N°	Región	Estación	Serie	Fuente
1	V	PEDERNAL HACIENDA	1981-2010	DGA
2	V	QUILIMARI	1981-2010	DGA
3	V	CHALACO HACIENDA	1981-2010	DGA
4	V	EL TRAPICHE	1981-2010	DGA
5	V	PALQUICO	1981-2010	DGA
6	V	ALICAHUE HACIENDA	1981-2010	DGA
7	V	ESTERO RABUCO	1981-2010	DGA
8	V	VILCUYA	1981-2010	DGA
9	V	RIECILLOS	1981-2010	DGA
10	XIII	CALEU	1981-2010	DGA
11	XIII	RUNGUE EMBALSE	1981-2010	DGA
12	V	VALPARAÍSO	1981-2010	DMC
13	V	LAGO PEÑUELAS	1981-2010	DGA
14	V	COLLIGUAY	1981-2010	DGA
15	XIII	CERRO CALAN	1981-2010	DGA
16	XIII	SANTIAGO	1981-2010	DMC
17	XIII	LOS PANGUILES	1981-2010	DGA
18	XIII	TERRAZA OFCS. CENTRALES DGA	1981-2010	DGA
19	XIII	ANTUPIREN	1981-2010	DGA
20	V	SAN ANTONIO (PTA. PANUL)	1981-2010	DGA
21	V	CERRILLOS DE LEYDA	1981-2010	DGA
22	XIII	SAN JOSE RETEN	1981-2010	DGA
23	XIII	PIRQUE	1981-2010	DGA
24	XIII	EL YESO EMBALSE	1981-2010	DGA
25	XIII	MELIPILLA (ESC. TEC)	1981-2010	DGA
26	XIII	CARMEN DE LAS ROSAS	1981-2010	DGA
27	XIII	SAN GABRIEL	1981-2010	DGA

Tabla 10 Estaciones en el área de estudio

3.2.- Métodos utilizados

3.2.1.- Persistencia de sequía según el coeficiente de Besson.

Como una cierta medida indicativa de la persistencia tanto de lluvia como de sequía, se emplean los índices de coeficientes de Besson. (Besson, 1924). Las formulas originales para el cálculo de los coeficientes son:

$$RB = \frac{P_1(1) - P(1)}{1 - P(1)} \quad \text{Para persistencia de días lluviosos}$$

$$SB = \frac{P_0(0) - P(0)}{1 - P(0)} \quad \text{Para persistencia de días secos}$$

RB es un cociente, figurando en el numerador la diferencia existente entre la probabilidad que llueva un día condicionado a que haya llovido el día anterior. $P_1(1)$, y el denominador es la probabilidad de lluvia, $P(1)$, y el denominador es la probabilidad de día seco. Como debido a la persistencia es $P_1(1) \geq P(1)$ y siempre se verifica que $0 \leq P(1) \leq 1$, RB es el coeficiente de dos números reales positivos, siendo siempre el numerador menor o igual que el denominador por lo cual los valores de RB pertenecen al intervalo $[0,1]$. Los valores grandes de RB indican mucha persistencia de la lluvia y los valores pequeños indican que apenas influye la característica del día precedente para que llueva un día.

También se puede decir que, independientemente que llueva mucha o poco en un determinado lugar, un valor alto de RB significa poca probabilidad que la lluvia se produzca en días aislados, y un valor pequeño de RB indica que existe una considerable tendencia a que las lluvias se produzcan en días aislados.

Un valor grande de RB se puede lograr en un clima muy lluvioso, incluso aunque $P_1(1)$ y en un no sea mucho mayor de $P(1)$ y en un clima seco, sólo cuando $P_1(1)$ sea mucho más grande que $P(1)$; es decir que RB mide mejor la persistencia de la lluvia que la diferencia $P_1(1) - P(1)$, puesto que el denominador de RB hace de factor corrector, de manera que a igual valor de $P_1(1) - P(1)$, en un clima lluvioso le corresponde, lógicamente, mayor índice de Besson, que en un clima seco. Pongamos un ejemplo sencillo que aclare esto: se considera que en dos estaciones meteorológicas distintas se ha producido durante el mes de Abril y a lo largo de 30 años, el siguiente régimen de precipitación (1 =día seco, 0 =día de lluvia).

En A: 0110110000, repitiéndose esta serie 90 veces a lo largo de los 30 años.

En B: 0111111110, repitiéndose esta 90 veces a lo largo de los 30 años.

En el caso A: $P(1) = 0,4$; $P(0) = 0,6$; $P_1(1) = 0,5$, por lo que $P_1(1) - P(1) = 0,1$ y $RB = \frac{0,1}{0,6} = 0,167$

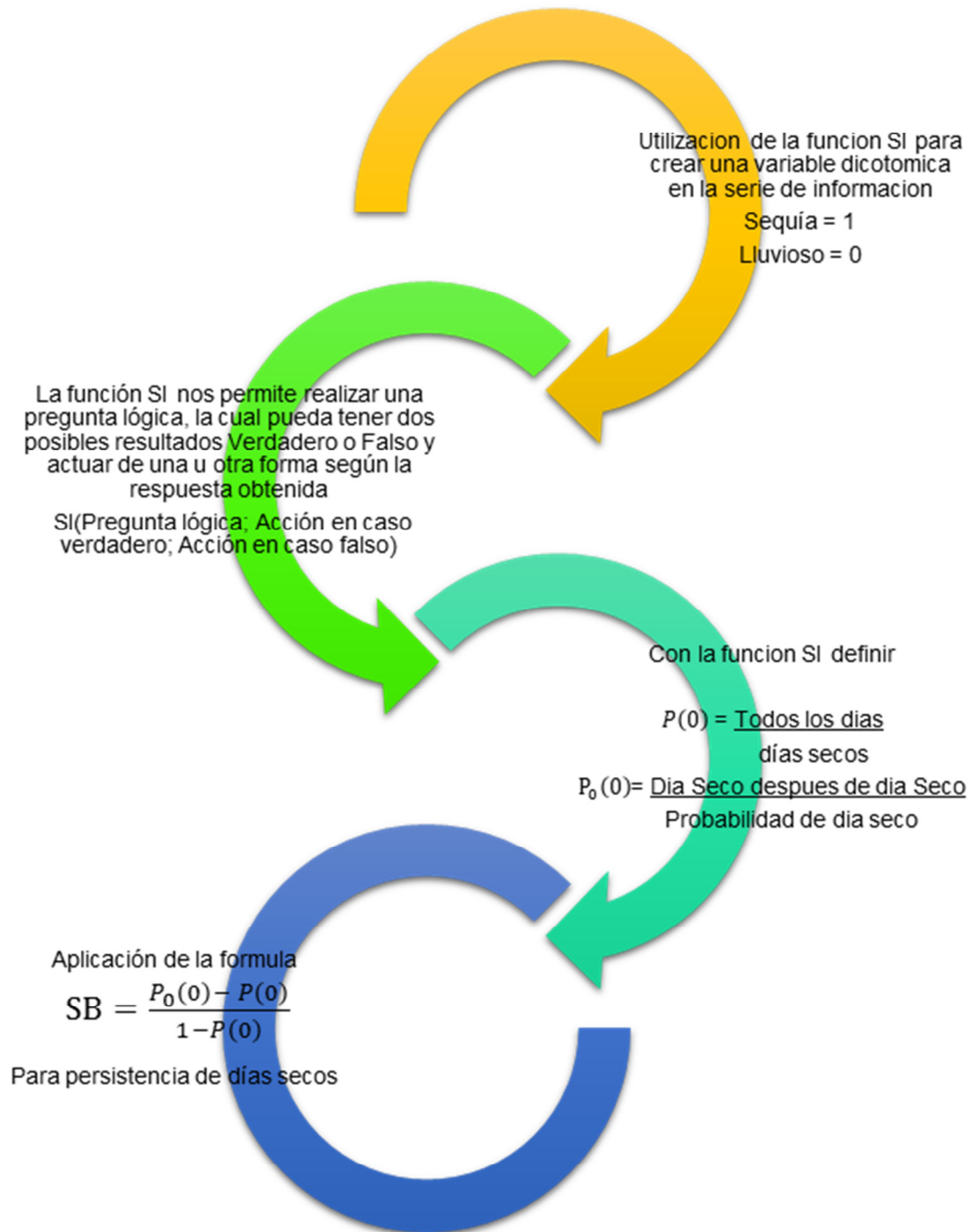
ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

En el caso B, se tiene: $P(1) = 0,8$; $P(0) = 0,2$; $P_1(1) = \frac{7}{8}$, de donde $P_1(1) - P(1) = 0,075$ y $RB = \frac{0,075}{0,2} = 0,375$.

En este ejemplo se ve cómo, a pesar que la estación A, tiene mayor diferencia $P_1(1) - P(1)$ que la estación B, el índice de Besson RB, como era previsible, es sensiblemente mayor en la estación meteorológica que en la A, concretamente llega a valer más del doble.

SB, es un índice semejante a RB, pero para medir la persistencia de días secos, y dada su similitud sirven los mismos comentarios que se han hecho para RB, sin más que sustituir los 1 por 0 y la palabra lluvia por seco. Los valores de SB, también varían en el intervalo $[0,1]$, supuesto que hay persistencia.

3.2.1.1.- Esquema Metodológico en hoja de cálculo para coeficiente de Besson



3.2.2.- Índice estándar de precipitaciones (SPI)

El Índice Estándar de Precipitación (SPI) fue diseñado para mejorar la detección del comienzo de la sequía y para la monitorización de la misma (McKee et al., 1993) .El SPI es una medición de la sequía más simple que el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI) y se basa solamente en las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un período dado. Una característica clave del SPI es la flexibilidad de medición de la sequía en distintas escalas temporales. Debido a que las sequías tienen una gran variación en la duración, es importante detectarlas y monitorizarlas en una variedad de escalas temporales. Las sequías de corto término son medidas por instrumentos meteorológicos y son definidas de acuerdo a la climatología regional específica. Las sequías de importancia para la agricultura resultan en déficits de la humedad del suelo y las sequías de tres a seis meses pueden causar un gran impacto. Las sequías más prolongadas (de meses a años) pueden tener impactos significativos sobre las reservas de agua superficial y subterránea.

Los valores de SPI se derivan comparando la precipitación acumulada total para una estación o región en particular durante un intervalo de tiempo específico (por ejemplo: el último mes, los últimos 3 meses, los últimos 6 meses) con el promedio de la precipitación acumulada para ese mismo intervalo todo lo largo de lo que dure el registro climático. Por ejemplo, la precipitación total del mes de mayo en cualquier año dado para la región climática del noroeste de Kansas es comparada con el promedio total de precipitación para esa región de todos los meses de mayo del registro 1895 - 1998. La severidad de una sequía puede ser comparada con la condición promedio para una estación o región en particular. Los valores varían desde 2 o más (extremadamente húmedo) a -2,00 o menos (extremadamente seco) con las condiciones casi normales en un rango de 0,99 a -0,99.

Los valores de clasificación para los valores SPI son:

Valores SPI:	Categoría de la sequía:
2,00 o más	Extremadamente húmedo
1,50 a 1,99	Muy húmedo
1,00 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Casi normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Severamente seco
-2,00 o menos	Extremadamente seco

Tabla 11 Valores de clasificación en SPI

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

Se define una sequía cuando el SPI es continuamente negativo y alcanza un valor de -1,0 o inferior, y continúa hasta que el SPI se torna positivo. La duración de la sequía es definida por el intervalo entre el comienzo y el final del período. La magnitud de la sequía se mide sumando los valores del SPI durante los meses de la sequía.

Basándose en el análisis de las estaciones de Colorado (Estados Unidos), McKee determinó que el SPI indica una sequía leve el 24% del tiempo, una sequía moderada el 9,2% del tiempo, una sequía severa el 4,4% del tiempo y una sequía extrema el 2,3% del tiempo. (McKee et al., 1993)

Teniendo en cuenta que el SPI está normalizado, esos porcentajes son los esperados de una distribución normal del SPI. El 2,3% de los valores del SPI dentro de la categoría “sequía extrema” es un porcentaje típico que cabe esperar para un episodio “extremo”. En cambio, el Índice de severidad de sequía de Palmer alcanza su categoría “extrema” más del 10% del tiempo en distintas zonas de las Grandes Llanuras centrales de Estados Unidos. Esa normalización permite que el SPI determine la rareza de una sequía actual (cuadro 2) y la probabilidad de la precipitación necesaria para que finalice la sequía. También permite que los usuarios comparen con confianza en los resultados sequías históricas y actuales entre distintas localidades climáticas y geográficas cuando evalúan la rareza o frecuencia de una determinada sequía.

Cuadro 2. Probabilidad de recurrencia			
SPI	Categoría	Número de veces en 100 años	Severidad del episodio
0 a -0,99	Sequía leve	33	1 en 3 años
-1,00 a -1,49	Sequía moderada	10	1 en 10 años
-1,5 a -1,99	Sequía severa	5	1 en 20 años
< -2,0	Sequía extrema	2,5	1 en 50 años

Tabla 12 Probabilidad de recurrencia en SPI

3.2.2.1.- SPI de 6 meses

El SPI de 6 meses compara la precipitación de ese período con el mismo período de 6 meses del registro histórico. Por ejemplo, un SPI de 6 meses al final de septiembre compara el total de precipitación para el período de abril a septiembre con todos los totales precedentes para el mismo período.

El SPI de 6 meses indica tendencias de precipitación entre estacionales y el medio plazo y se considera más sensible a las condiciones en esta escala que el Índice de Palmer. Un SPI de 6 meses puede ser muy eficaz para mostrar la precipitación en distintas estaciones. Por ejemplo, un SPI de 6 meses al final de marzo indicaría muy bien la cantidad de precipitación caída durante el período de estación húmeda tan importante que va de octubre a marzo en determinadas localidades mediterráneas. La información derivada de un SPI de 6 meses también podría reflejar caudales fluviales y niveles de almacenamiento anómalos, en función de la región y la época del año.

3.2.3.- Métodos de análisis probabilístico de Martín-Vide

Con objeto de valorar la inercia a persistir de los días secos en Chile Central, se han aplicado sencillos test de análisis estadístico, que se presentan a continuación.

Los procedimientos estadísticos calculados para estimar el grado de persistencia de los días secos han sido los siguientes:

- Número absoluto de rachas lluviosas (NR), mensual y estacional.
- Longitud máxima y mínima absoluta, y media (l_1), de las secuencias de días secos.

3.2.3.1 Método de las rachas

Una racha o secuencia es un período de tiempo constituido por días que presentan un mismo carácter en el estado meteorológico (Martín-Vide, 2003); En el caso de estudio, jornadas consecutivas sin registro de precipitación en forma de lluvia. La aplicación de este método consiste en contabilizar el número absoluto de rachas o secuencias de días de lluvia durante el período de estudio, así como cuantificar la longitud máxima y mínima absoluta de las mismas. Para ello, previamente se deben haber agrupado las jornadas de días secos en rachas.

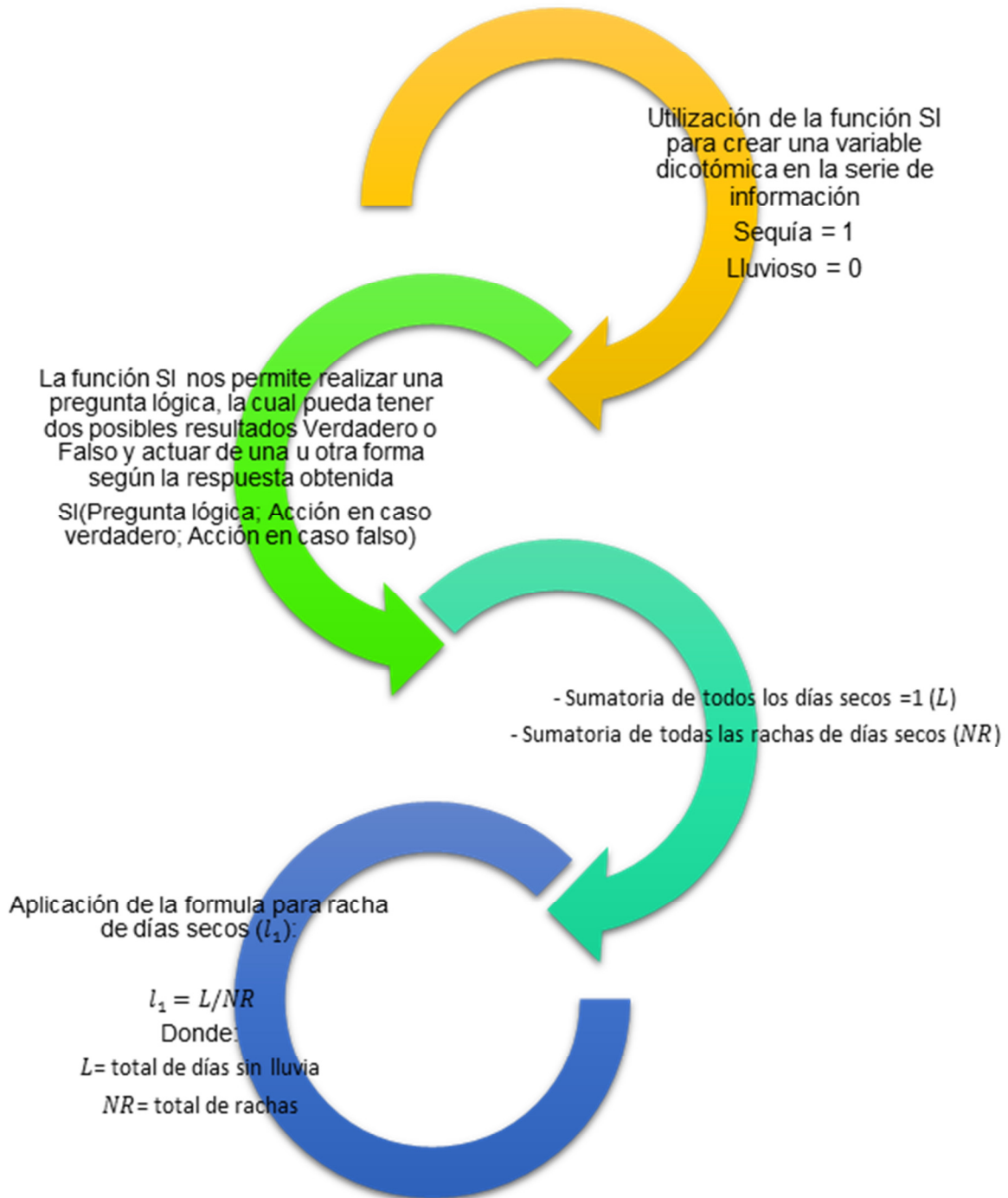
Cuando una secuencia de días secos se prolonga entre dos meses, se ha procedido a asignar la racha a aquel mes que agrupaba un mayor número de jornadas con precipitación líquida (Douguédroit, 1987)

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

El cálculo de la longitud media de las rachas de sequía (l_1) se obtiene como cociente entre el total de días de secos (L) y el total de rachas (NR) del período de estudio considerado.

$$l_1 = L/NR$$

3.2.3.2- Esquema Metodológico en hoja de cálculo para Rachas de Sequía



3.2.4.- Índice de desviación de la precipitación respecto a su Normal o Porcentaje de la precipitación normal

El Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN) se refiere a la relación que existe entre la precipitación acumulada en un período de tiempo determinado y la precipitación media anual para una región, y se expresa de manera porcentual. La precipitación media anual histórica se conoce como precipitación normal y se obtiene a partir del valor promedio de las precipitaciones anuales ocurridas en un período no menor de 30 años.

Los valores porcentuales estimados para cada año indican el déficit (valores negativos) y el excedente (valores positivos) en la precipitación anual ocurrida. Por su parte, valores porcentuales próximos a cero corresponden a valores cercanos al promedio histórico.

$$I = ((P/PN)-1) * 100$$

Dónde:

PN= Precipitación normal del período

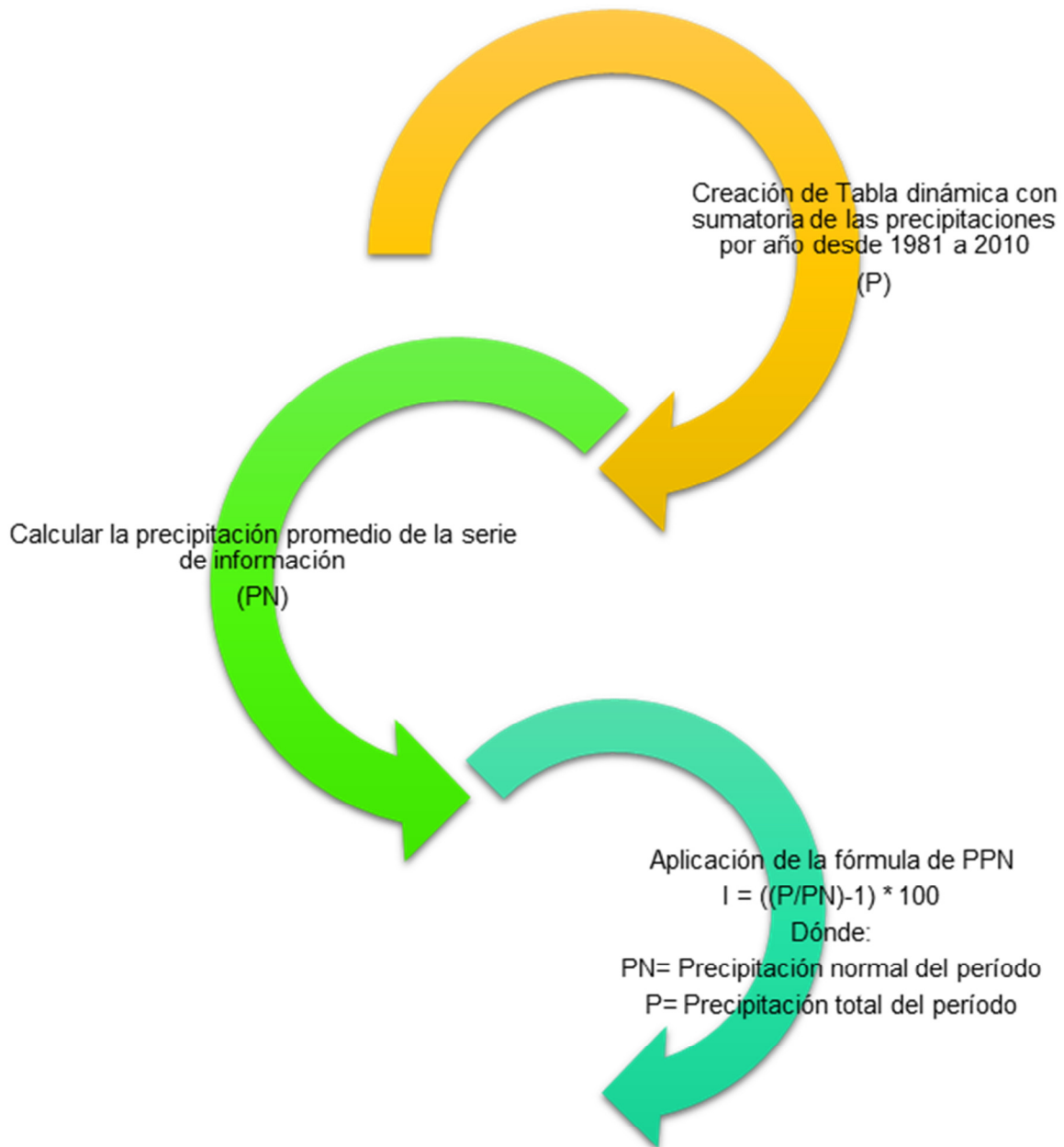
P= Precipitación total del período

Clasificación de la sequía de acuerdo a valores del PPN:

Categoría de sequía	Rango de valores porcentuales
Sequía Débil	-15% a -30%
Moderada	-30,1% a -45%
Severa	< -45%

Tablas 13 Clasificaciones de sequía para PPN

3.2.4.1- Esquema Metodológico en hoja de cálculo para PPN



3.2.5.- Deciles de Gibbs y Maher

Los Deciles (*D*) o sequía mensual es un indicador que se utiliza para monitorear la sequía. Fue desarrollado por Gibbs y Maher (Gibbs & Maher, 1967) con base en el análisis estadístico de las series de los acumulados de lluvias mediante la distribución de percentiles para evitar alguna de las debilidades del *índice Por ciento del normal*. Su uso como índice, posee la utilidad práctica que ellos expresan el grado de la lluvia sobre un período dado dentro de la distribución de frecuencia sin especificar la cantidad de lluvia.

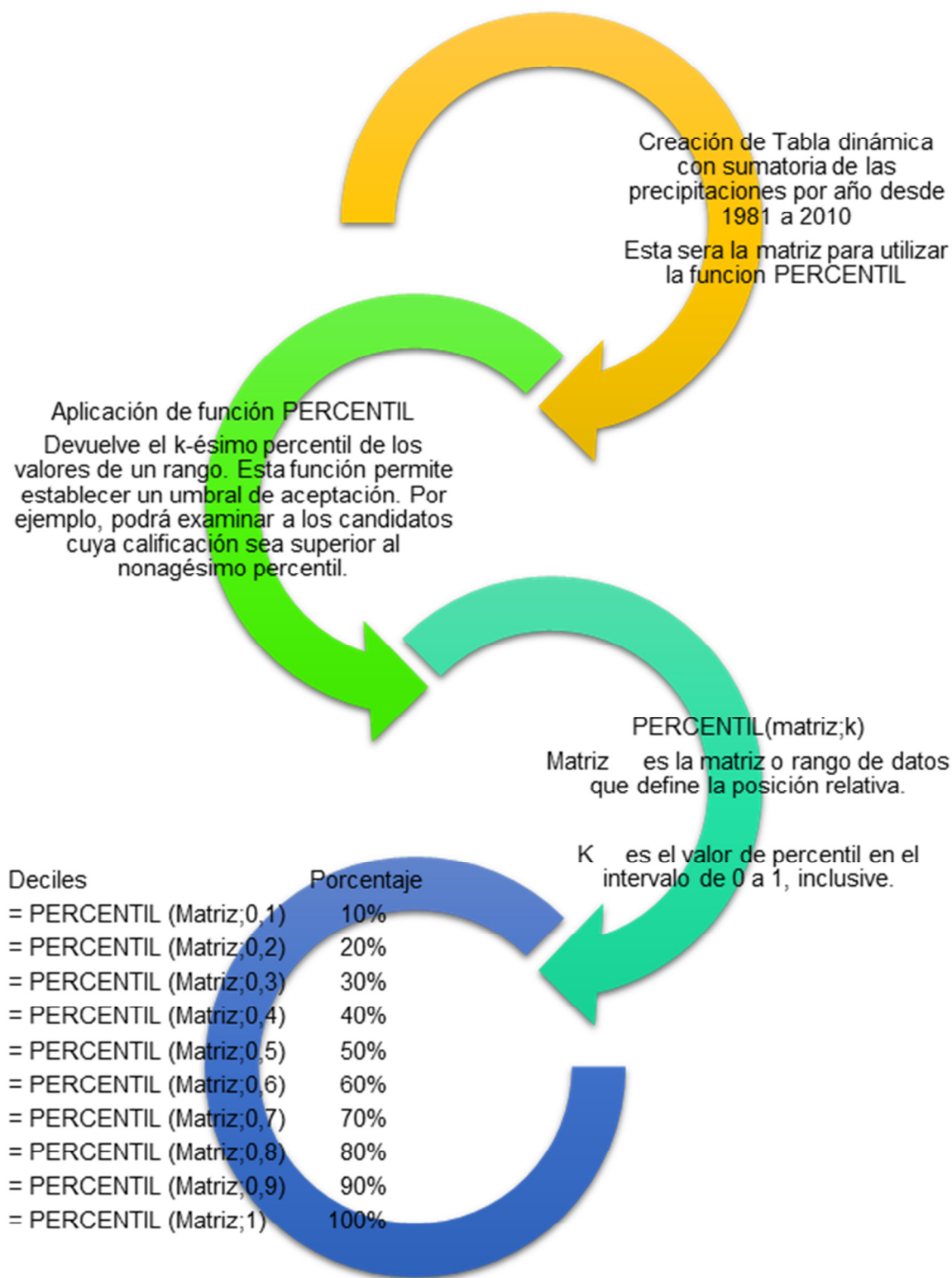
El índice *D* consiste en ordenar los datos de precipitación mensual en deciles. Divide la distribución de ocurrencias de registros de precipitación a largo plazo en décimos de la distribución. Cada una de estas categorías es un *decil*. El primer decil es la cantidad de lluvia no excedida por el 10% más bajo de las ocurrencias de precipitación. El segundo decil es la cantidad de precipitación no excedida por el 20 % más bajo de las ocurrencias. Estos deciles continúan hasta que la cantidad de lluvia identificada por el décimos decil es la cantidad de precipitación más grande dentro del registro de largo plazo. Por definición el quinto decil es la mediana, y es la cantidad de precipitación que no exceda el 50 % de las ocurrencias sobre el período de registro. Los deciles son agrupados en cinco categorías.

Clasificación de Deciles

Muy abajo de lo normal	1. Deciles 20 % más bajo: 1-2
Abajo de lo normal	2. Deciles siguiente 20 % más bajo: 3-4
Cercano a lo normal	3. Deciles mitad 20 %: 5-6
Arriba de lo normal	4. Deciles siguiente 20 % más alto: 7-8
Muy arriba de la normal	5. Deciles 20 % más alto: 9-10

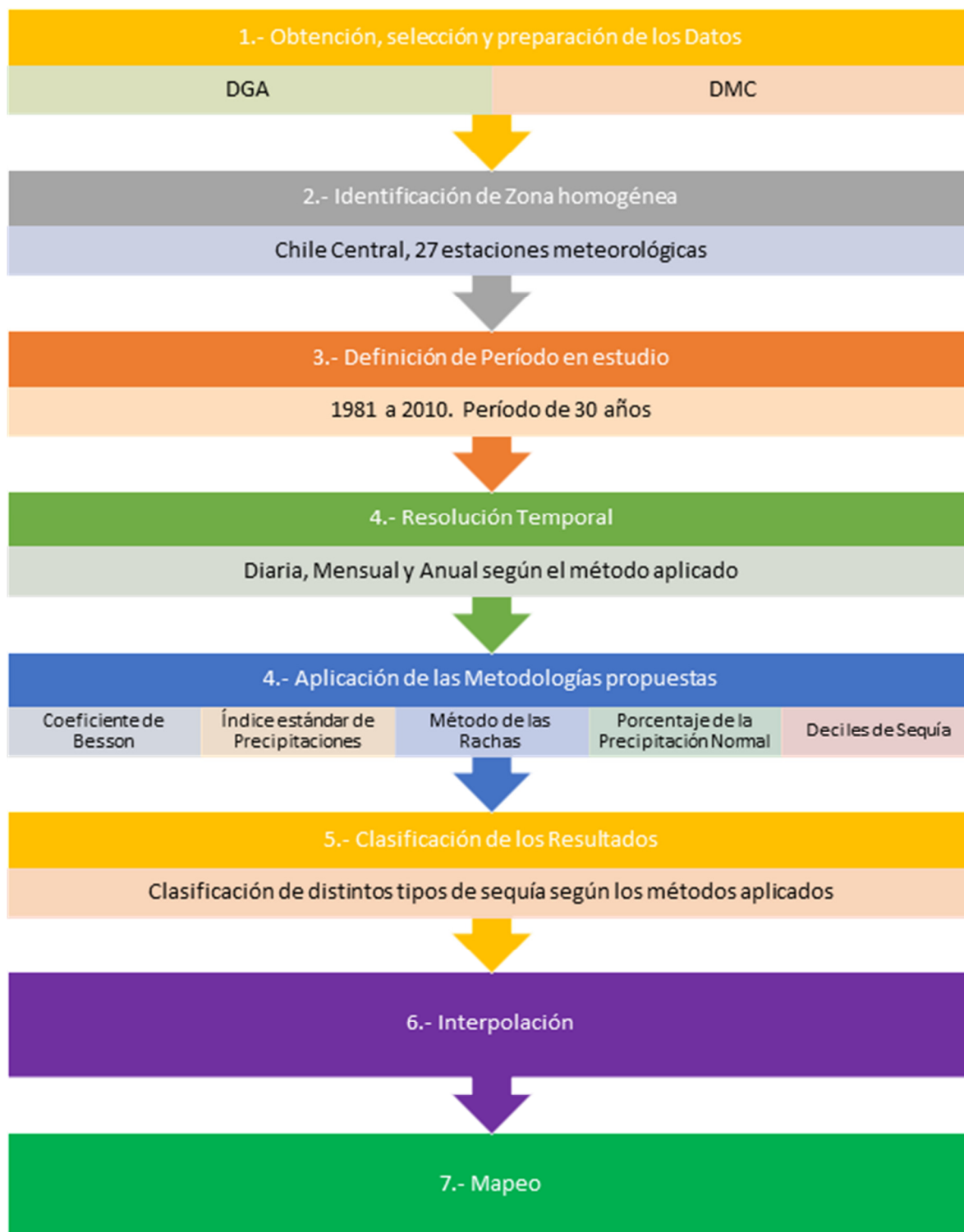
Tabla 14 Clasificación de Deciles

3.2.4.1- Esquema Metodológico en hoja de cálculo para Deciles



3.3.- Esquema Metodológico

La siguiente figura resume las tareas y procedimientos llevados a cabo en la concreción de esta memoria.



CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1.- Resultados Persistencia de sequía según el coeficiente de Besson

Según la aplicación del coeficiente de Besson, el cual da cuenta de la probabilidad de ocurrencia de días secos (Ilustración 20 Cartografía coeficiente de Besson) que las cuencas más afectadas por la sequía según su localización y considerando la interpolación espacial son:

- Subcuenca 0500 Costera Quilimarí-Petorca SB 0,54
- Subcuenca 0522 Río Ligua Bajo SB 0,63
- Subcuenca 0530 Costeras entre Estero la Ligua y Estero Catapilco SB 0,63
- Subcuenca 0531 Estero Catapilco SB 0,65
- Subcuenca 0532 Costera entre Estero Catapilco y Río Aconcagua SB 0,63
- Subcuenca 0540 Aconcagua Alto SB 0,63
- Subcuenca 0542 Aconcagua Bajo SB 0,72
- Subcuenca 0604 Estero Alhué SB 0,63

Según este índice los valores más cercano a 1 corresponden a mayor persistencia de días secos, destacando Aconcagua Bajo (0,72) y Estero Catapilco.

Las subcuencas mencionadas anteriormente corresponden en su mayoría a la región de Valparaíso y principalmente abarcan las comunas de Petorca, Cabildo y La Ligua.

Esto es coincidente con comunas que fueron declaradas en febrero de 2011 en emergencia agrícola por déficit hídrico (Ministerio de Agricultura), en la resolución exenta N° 51/9-2-2011. Además un año después, estas comunas fueron catalogadas como zona de catástrofe el 29 de febrero de 2012 y por último durante el 2014 se estableció zona de escases en la Ord. DGA N° 39 de fecha 15 de enero de 2014.

La declaración de zona de catástrofe es una facultad del presidente de la república llevada a cabo bajo la ley N°16.282, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado ha sido fijado por el Decreto N°104 del Ministerio del Interior de 1977. En esta se faculta al presidente de la república para dictar un decreto supremo señalando los sectores geográficos que hayan sido afectados por alguna clase de calamidad que amerite la adopción de medidas excepcionales.

Específicamente en el caso de estas tres comunas, La Ligua, Petorca y Cabildo, las implicancias de la declaración de zona de catástrofe se traducen en créditos, incentivos de producción, fondos de inversión y compras de elementos de riego que permiten habilitar norias para agua de bebida, agua para animales y de riego.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

Debido a los efectos de la sequía en estas tres comunas, se han producido los siguientes daños:

- Cabildo: disminución de producción de porotos, pimientos, maíz, flores, disminución de rendimientos de papas, daño estructural en paltos y disminución de recursos forrajeros en praderas naturales y muerte de ganado.
- La Ligua: alto porcentaje de pérdidas de producción de hortalizas y de frutales. En Longotoma Costa la falta de alimentación y agua para animales ha causado una reducción de la ganadería, del mismo modo en el rubro apícola la falta de alimento asociado a la disminución de la floricultura y la falta de agua ha causado daño en colmenares. También se ha detectado muerte de cabras por frío y poco crecimiento de forraje aumentando los costos de alimentación.
- Petorca: reducción de producción de tomates bajo plástico, falta de alimento y muerte de animales en ganado caprino, bovino, ovino o equino, agravado por el daño de predadores como puma o zorros. Pérdida de árboles o de fruta cuajada en paltos, pérdida de producción de miel en colmenas con menor abastecimiento de alimentos y dificultades de crecimiento en nuevos núcleos apícolas con muerte de colmenas en cajones.

En la ilustración 20 se puede inferir que los sectores más afectados por la sequía son el del secano costero de la región de Valparaíso, además se observa afectado el sector del Estero Alhué, la situación de la sequía en este sector se ve agravada también por el efecto de heladas.

También en base a los resultados obtenidos y desprendidos de la ilustración 20 se puede inferir que las cabeceras de las cuencas ubicadas en la precordillera de las regiones Metropolitana y Valparaíso a excepción de la de la cuenca del río Juncal, son menos afectadas por la sequía y podrían ser consideradas reservorios de agua, para el abastecimiento de las poblaciones y actividades agrícolas efectuadas dentro del área de estudio.

**ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN
CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.**

N°	ESTACIÓN	Día Seco después de Dia Seco/ Probabilidad de día seco $P_0(0)$	Dias Secos/ Total de días $P(0)$	Coefficiente Besson (SB)
1	PEDERNAL HACIENDA	0,958	0,916	0,498
2	QUILIMARI	0,969	0,920	0,616
3	CHALACO HACIENDA	0,961	0,918	0,520
4	EL TRAPICHE	0,956	0,921	0,450
5	PALQUICO	0,960	0,922	0,490
6	ALICAHUE HACIENDA	0,957	0,932	0,369
7	ESTERO RABUCO	0,958	0,862	0,693
8	VILCUYA	0,943	0,899	0,437
9	RIECILLOS	0,944	0,866	0,583
10	CALEU	0,956	0,920	0,455
11	RUNGUE EMBALSE	0,953	0,897	0,544
12	VALPARAÍSO	0,952	0,923	0,374
13	LAGO PEÑUELAS	0,942	0,900	0,423
14	COLLIGUAY	0,951	0,900	0,504
15	CERRO CALAN	0,930	0,869	0,467
16	SANTIAGO	0,929	0,890	0,357
17	LOS PANGUILES	0,940	0,909	0,337
18	TERRAZA OFCS. DGA	0,934	0,882	0,441
19	ANTUPIREN	0,943	0,905	0,406
20	SAN ANTONIO (PTA. PANUL)	0,936	0,884	0,448
21	CERRILLOS DE LEYDA	0,941	0,905	0,380
22	SAN JOSE RETEN	0,941	0,897	0,421
23	PIRQUE	0,936	0,889	0,419
24	EL YESO EMBALSE	0,929	0,881	0,402
25	MELIPILLA (ESC. TEC)	0,941	0,901	0,405
26	CARMEN DE LAS ROSAS	0,955	0,901	0,540
27	SAN GABRIEL	0,945	0,896	0,468

Tabla 15 Resultados total de Índice de Besson

Para observar de mejor manera la distribución espacial del P_0 se procedió a realizar un modelo de regresión múltiple, pues este P_0 resulta ser bastante sensible a la altitud, latitud y la precipitación promedio anual, lo cual fue encontrado en esta memoria.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

4.1.1.- Interpolación de información para cartografías del índice de Besson

**a) $P(0)$ = Todos los días
Días secos**

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,82342666
Coeficiente de determinación R ²	0,67803146
R ² ajustado	0,63603556
Error típico	0,00653327
Observaciones	27

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	0,0020674	0,00068913	16,1451834	7,2458E-06
Residuos	23	0,00098172	4,2684E-05		
Total	26	0,00304912			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	1,52535569	0,09346681	16,3197572	3,8603E-14	1,33200486	1,71870652	1,33200486	1,71870652
Alt. (m)	-6,3081E-06	2,6042E-06	-2,42227878	0,02370817	-1,1695E-05	-9,209E-07	-1,1695E-05	-9,209E-07
Latitud S	0,017612	0,00291299	6,04601856	3,6337E-06	0,01158602	0,02363798	0,01158602	0,02363798
PP Promedio	2,0479E-05	1,3297E-05	1,54014227	0,13717208	-7,0275E-06	4,7985E-05	-7,0275E-06	4,7985E-05

$$P(0) = 1,525 + Alt \times 0,0000063 + Lat \times 0,017612 + PPA\text{ anual} \times 0,0000205$$

Coeficiente de determinación R² 0,678, es altamente significativo (p-value es 0,00000013²), por lo cual se procede a interpolar

² Si el p-valor es menor a 0,05 es significativa al 95%, si es mayor no lo es, por lo tanto se descarta el modelo

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

**b) $P_0(0)$ = Día seco después de día seco
Probabilidad de día seco**

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,54648011
Coefficiente de determinación R ²	0,29864051
R ² ajustado	0,20715883
Error típico	0,01625411
Observaciones	27

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	0,00258739	0,00086246	3,26448452	0,03969962
Residuos	23	0,00607651	0,0002642		
Total	26	0,00866391			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	1,46228654	0,23253609	6,28842824	2,0418E-06	0,98124898	1,9433241	0,98124898	1,9433241
Alt. (m)	-6,3409E-06	6,479E-06	-0,97869053	0,33791575	-1,9744E-05	7,0619E-06	-1,9744E-05	7,0619E-06
Latitud S	0,01686109	0,00724723	2,32655625	0,02915639	0,00186905	0,03185313	0,00186905	0,03185313
PP Promedio	1,1004E-06	3,3081E-05	0,03326268	0,9737521	-6,7332E-05	6,9533E-05	-6,7332E-05	6,9533E-05

Coefficiente de determinación R² 0,298, muy bajo aunque significativo (p-value es 0.00318³), por lo cual se procede a interpolar mediante la herramienta Spline que utiliza un método de interpolación que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada.

³ Si el p-valor es menor a 0,05 es significativa al 95%, si es mayor no lo es, por lo tanto se descarta el modelo

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

c) Índice de Besson SB, Persistencia de día seco

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,43753922
Coefficiente de determinación R ²	0,19144057
R ² ajustado	0,0859763
Error típico	0,07918273
Observaciones	27

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	0,03414372	0,01138124	1,81521727	0,17252984
Residuos	23	0,1442078	0,0062699		
Total	26	0,17835152			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	3,05349432	1,13281118	2,69550157	0,01291003	0,71009585	5,39689279	0,71009585	5,39689279
Variable X 1	-2,3354E-05	3,1563E-05	-0,73992549	0,46683136	-8,8646E-05	4,1938E-05	-8,8646E-05	4,1938E-05
Variable X 2	0,0800196	0,03530525	2,26650699	0,03313762	0,00698512	0,15305407	0,00698512	0,15305407
Variable X 3	0,00017142	0,00016115	1,06370412	0,29850362	-0,00016195	0,00050479	-0,00016195	0,00050479

Coefficiente de determinación R² 0,191 muy bajo aunque significativo (p-value es 0,0224⁴), por lo cual se procede a interpolar mediante la herramienta Spline que utiliza un método de interpolación que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada.

⁴ Si el p-valor es menor a 0,05 es significativa al 95%, si es mayor no lo es, por lo tanto se descarta el modelo

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

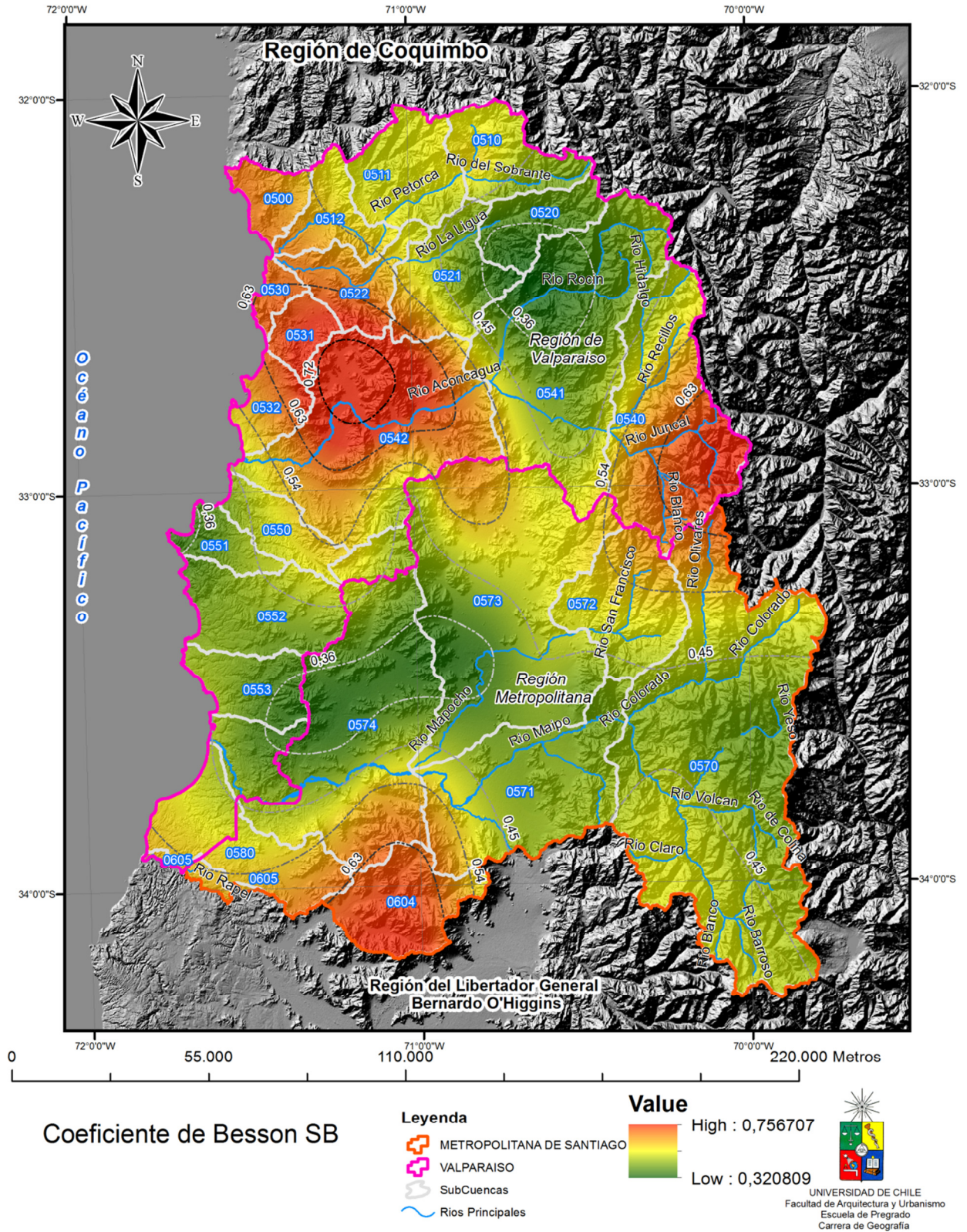


Ilustración 20 Cartografía coeficiente de Besson, Persistencia de días secos

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

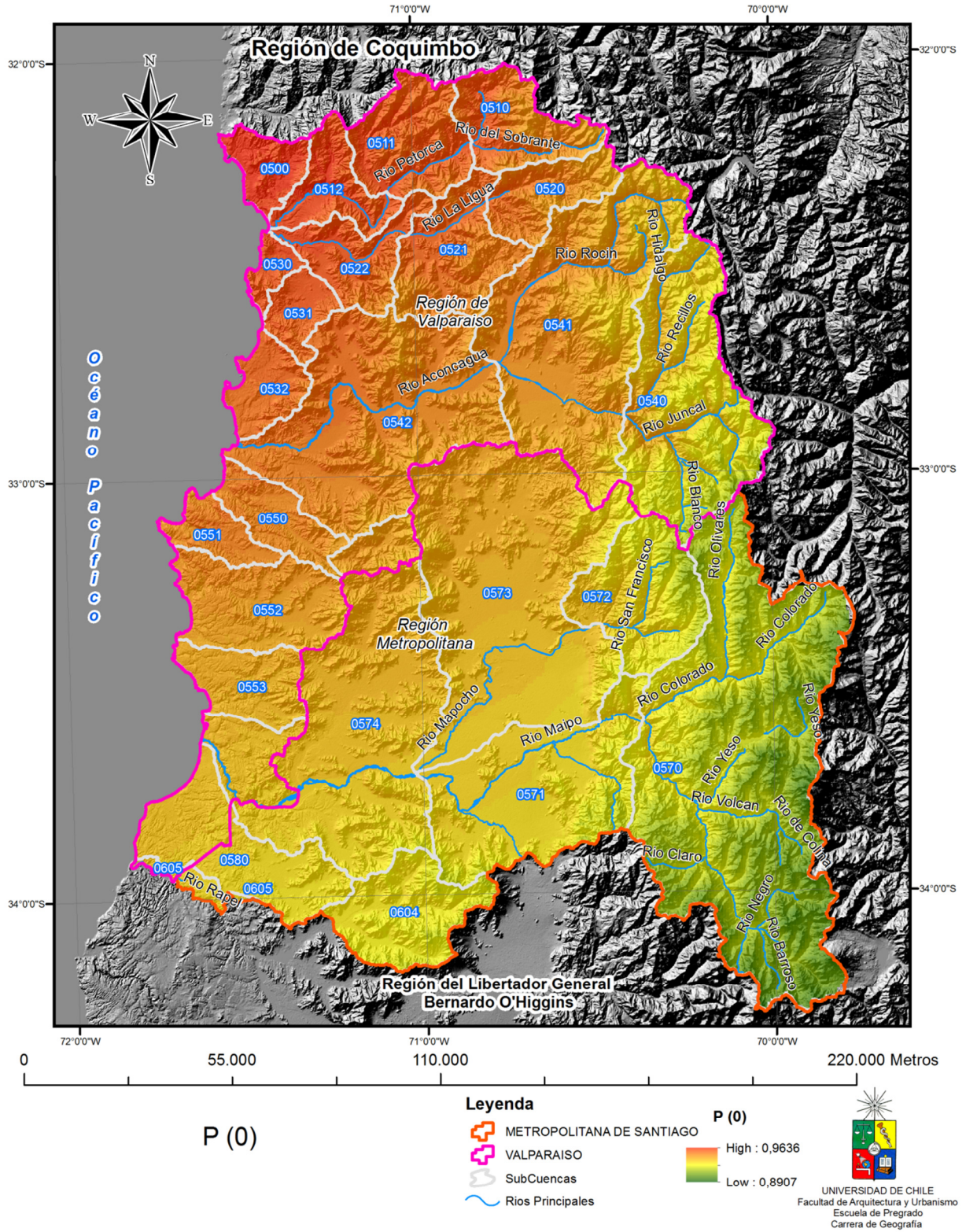


Ilustración 21 Cartografía de $P(0)$ Probabilidad de día seco

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

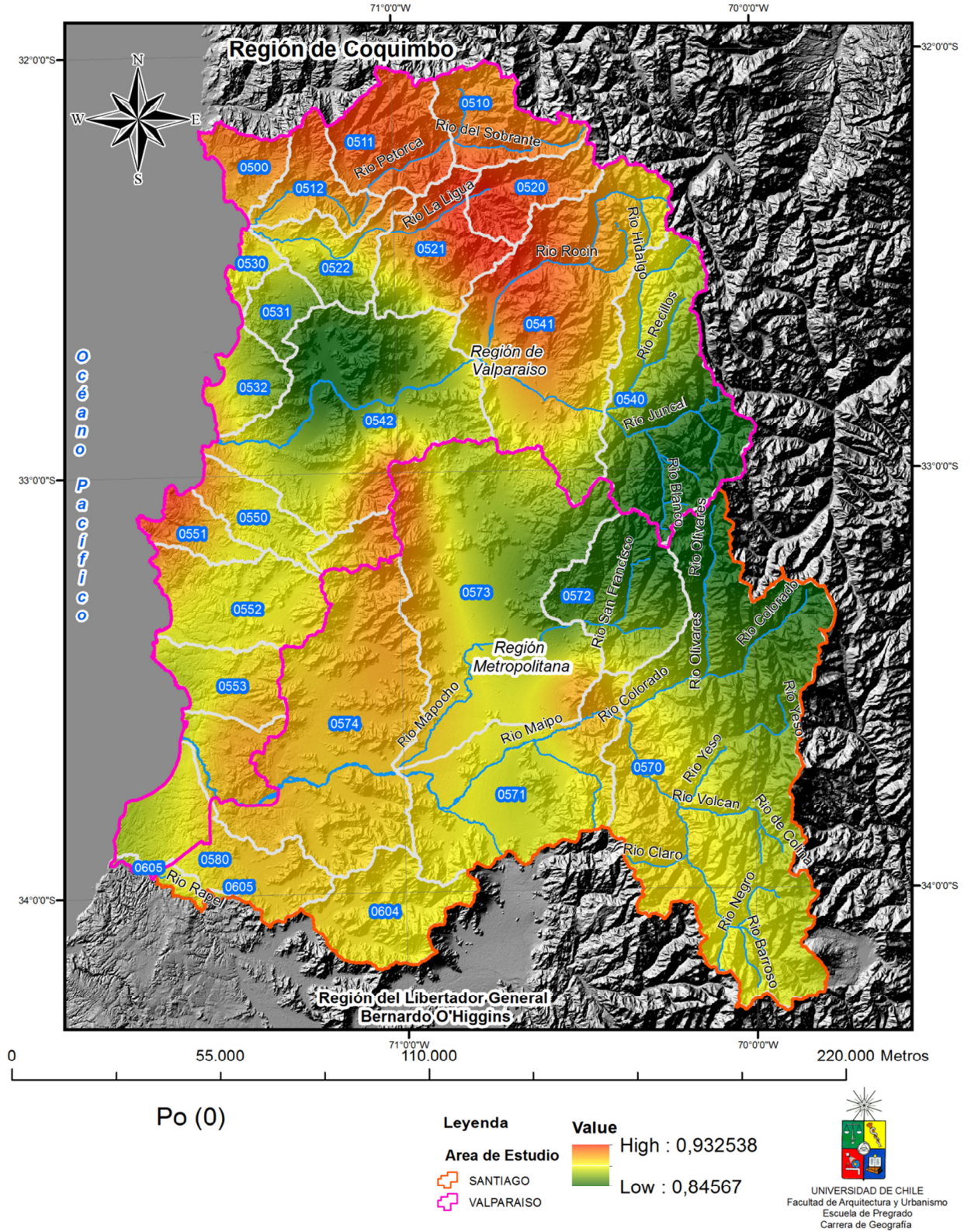


Ilustración 22 Cartografía de $P_0(0)$ Probabilidad condicionada de día seco después de un día seco

4.2.- Resultados índice normalizado de precipitaciones SPI

Se define una sequía cuando el SPI es continuamente negativo y alcanza un valor de -1.0 o inferior, y continúa hasta que el SPI se torna positivo.

La duración de la sequía es definida por el intervalo entre el comienzo y el final del período. La magnitud de la sequía se mide sumando los valores del SPI durante los meses de la sequía.

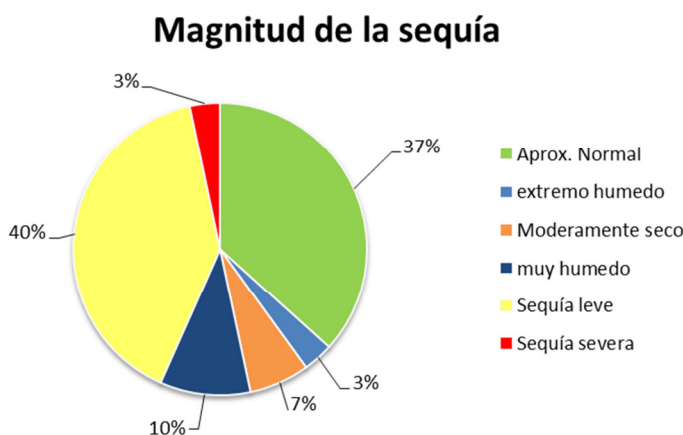


Ilustración 23 Gráfico de magnitud de la sequía según el índice estandarizado de precipitaciones

Basándose en el análisis de las estaciones ubicadas en la macro región estudiada (RM y V), se determina que el SPI de 6 meses, entre marzo y agosto (MAMJJA). Ello indica una sequía leve el 40% del tiempo, una sequía moderada un 7% del tiempo y una sequía severa el 3% del tiempo.

Teniendo en cuenta que el SPI está normalizado, esos porcentajes son los esperados de una distribución normal del SPI. El 3% de los valores del SPI dentro de la categoría “sequía severa” es un porcentaje típico que cabe esperar para un episodio “extremo”.

Es importante destacar también el segundo porcentaje más alto que corresponde a 37% del tiempo que corresponde a Normal o aproximado a lo normal.

Al realizar una comparación entre estos índices en un año El Niño y un año La Niña (Tabla 17) los resultados eran evidentes. Además al realizar el gráfico los resultados del SPI coinciden en que la sequía se manifiesta en los sectores del secano costero y el secano interior son los más afectados por los episodios de sequía.

Los valores mínimos del SPI 6 Meses, desde marzo a agosto (MAMJJA) en los años de teleconexión ENSO fase fría, en estos se observa como en los sectores de secano costero y secano interior se manifiestan el índice con valores moderadamente seco y severamente seco. Esto afectaría los terrenos agrícolas ubicados en estos sectores y sus cultivos.

SEQUIA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

0 a 0,99	Muy húmedo	1,00 a 1,49	Húmedo Moderado	-0,99 a 0,99	Casi normal	-1,00 a -1,49	Moderadamente seco	-1,50 a -1,99	Severamente seco	-2,00 o menos	Extremadamente seco
----------	------------	-------------	-----------------	--------------	-------------	---------------	--------------------	---------------	------------------	---------------	---------------------

Índice estandarizado de precipitaciones en años El Niño y La Niña

ESTACIÓN	1985	1988	1995	1998	2007	1982	1987	1992	1997	2002
ALHACIENDA	-0,860	-0,991	-0,925	-1,162	-0,435	0,646	3,365	0,813	1,657	1,827
ALMILIMARI	-1,596	-0,811	-0,566	-1,469	-0,771	0,942	2,002	1,588	2,593	2,002
ALCO HACIENDA	-0,854	-1,185	-0,891	-1,307	-0,583	0,406	3,040	1,190	1,589	2,062
ALTRAPICHE	-0,796	-1,067	-0,661	-1,099	-0,579	0,570	2,796	1,236	1,966	2,454
ALQUICO	-1,047	-1,012	-0,747	-1,402	-0,796	1,037	2,967	1,153	1,484	2,139
ALUE HACIENDA	-1,000	-1,171	-0,792	-1,168	-0,456	1,070	2,813	1,271	2,283	1,518
ALRO RABUCO	-1,028	-1,012	-1,669	-1,363	-0,797	1,706	2,309	1,012	1,143	1,714
ALVILCUYA	-0,947	-1,198	-0,775	-1,335	-0,738	1,710	2,621	0,806	2,125	1,349
ALVECILLOS	-0,715	-1,273	-0,831	-1,390	-0,421	2,475	-1,067	0,478	1,149	1,459
ALCALEU	-0,850	-0,761	-0,455	-1,159	-1,184	1,913	2,992	0,674	2,149	0,394
ALUE EMBALSE	-0,813	-0,803	-0,602	-1,030	-1,159	1,721	2,328	0,788	2,223	1,913
ALPARAÍSO	-1,147	-1,320	-0,574	-1,616	-0,840	1,633	1,253	1,292	1,548	1,694
ALD PEÑUELAS	-1,017	-0,828	-0,669	-1,678	-1,254	1,717	1,769	1,418	1,253	1,774
ALLLIGUAY	-1,084	-0,842	-0,435	-1,482	-1,182	1,468	2,543	1,082	1,526	1,999
ALRO CALAN	-0,603	-1,023	-0,749	-1,160	-1,466	1,987	2,409	0,786	1,581	1,998
ALANTIAGO	-0,932	-1,291	-0,990	-1,565	-0,981	1,953	2,390	1,005	1,872	1,936
ALPANGUILES	-1,058	-0,994	-0,734	-1,574	-0,944	1,645	2,380	1,117	1,847	1,943
ALCS. CENTRALES DGA	-0,782	-1,212	-0,798	-1,323	-0,725	1,720	2,127	0,709	1,945	1,951
ALUTUPIREN	-0,597	-1,211	-0,693	-1,439	-0,944	2,346	2,218	0,298	1,662	1,642
ALNIO (PTA. PANUL)	-0,423	-1,301	-0,509	-1,837	-0,979	1,428	1,670	1,694	1,549	1,518
ALLOS DE LEYDA	-1,009	-1,006	-0,376	-1,798	-1,088	2,147	1,273	1,639	1,359	1,500
ALJOSE RETEN	-0,782	-1,068	-0,779	-1,486	-0,689	2,468	2,151	0,227	1,530	1,505
ALPIRQUE	-1,124	-1,317	-0,673	-1,571	-0,787	1,585	2,330	0,000	1,904	1,526
ALSO EMBALSE	-1,061	-1,016	-0,730	-1,229	-0,315	1,600	2,148	-0,255	1,141	1,968
ALLA (ESC. TEC)	-1,054	-1,191	-0,251	-1,671	-1,372	1,745	1,763	1,418	1,495	2,219
ALN DE LAS ROSAS	-1,048	-1,125	-0,288	-1,770	-1,165	2,227	1,915	1,479	1,326	1,338
ALN GABRIEL	-1,074	-0,774	-0,989	-1,073	-0,791	2,589	1,483	-0,696	1,773	1,302

Tabla 16 Índice estandarizado de precipitaciones años La Niña y El Niño

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

4.2.2.- Índice estandarizado de precipitaciones total

	PEDERNAL HACIENDA	QUILIMARI	CHALACO HACIENDA	EL TRAPICHE	PALQUICO	ALICAHUE HACIENDA	ESTERO RABUCO	VILCUYA	RIECILLOS
1981	-0,545	-0,366	-0,444	-0,539	-0,589	-0,417	-0,052	-0,603	-0,521
1982	0,646	0,942	0,406	0,570	1,037	1,070	1,706	1,710	2,475
1983	0,584	0,484	0,633	-0,533	0,398	0,565	0,219	0,345	0,189
1984	1,465	1,050	1,419	0,751	1,517	1,030	1,471	0,204	0,106
1985	-0,860	-1,596	-0,854	-0,796	-1,047	-1,000	-1,028	-0,947	-0,715
1986	-0,246	-0,387	-0,401	-0,474	-0,001	-0,416	0,188	-0,176	1,263
1987	3,365	2,002	3,040	2,796	2,967	2,813	2,309	2,621	-1,067
1988	-0,991	-0,811	-1,185	-1,067	-1,012	-1,171	-1,012	-1,198	-1,273
1989	-0,238	-0,212	0,004	-0,052	-0,270	-0,079	-0,262	0,044	0,011
1990	-1,056	-1,193	-1,112	-1,077	-1,162	-1,107	-1,204	-1,113	-0,993
1991	0,167	-0,124	0,248	0,464	-0,115	0,213	0,113	0,280	0,906
1992	0,813	1,588	1,190	1,235	1,153	1,271	1,012	0,806	0,478
1993	-0,618	-0,342	-0,065	-0,059	-0,184	-0,189	-0,180	-0,327	0,592
1994	-1,021	-0,924	-1,013	-0,903	-0,879	-1,144	-0,557	-0,889	-0,589
1995	-0,925	-0,566	-0,891	-0,661	-0,747	-0,792	-1,669	-0,775	-0,831
1996	-0,699	-0,553	-0,302	-0,762	-0,734	-0,869	-1,734	-0,930	-1,068
1997	1,657	2,593	1,589	1,966	1,484	2,283	1,143	2,125	1,149
1998	-1,162	-1,469	-1,307	-1,099	-1,402	-1,168	-1,363	-1,335	-1,390
1999	-0,519	-0,631	-0,598	-0,492	-0,601	-0,922	-0,547	-0,394	-0,591
2000	-0,146	0,430	0,382	0,329	0,021	0,079	0,205	0,210	0,359
2001	0,541	0,150	0,197	0,890	0,081	-0,280	0,231	-0,061	0,145
2002	1,827	2,002	2,062	2,454	2,139	1,518	1,714	1,349	1,459
2003	-0,434	-0,489	-0,490	-0,350	-0,575	-0,625	-0,699	-0,683	-0,631
2004	0,231	-0,056	0,237	0,059	0,292	0,328	0,085	-0,259	-0,686
2005	0,099	0,095	-0,135	-0,226	-0,045	0,107	0,460	1,054	1,725
2006	-0,264	-0,057	-0,194	-0,184	-0,005	-0,174	0,347	0,045	0,504
2007	-0,435	-0,771	-0,583	-0,579	-0,796	-0,456	-0,797	-0,738	-0,421
2008	-0,292	-0,274	-0,712	-0,134	-0,219	0,394	0,673	0,829	1,166
2009	-0,412	-0,005	-0,243	-0,851	-0,174	-0,173	-0,277	-0,399	-0,676
2010	-0,533	-0,511	-0,879	-0,675	-0,532	-0,688	-0,494	-0,793	-1,074

Tabla 17 Índice estandarizado de precipitaciones total parte 1

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

	CALEU	RUNGUE EMBALSE	VALPARAÍSO	LAGO PEÑUELAS	COLLIGUAY	CERRO CALAN	SANTIAGO	LOS PANGUILES	TERRAZA OFCS. DGA
1981	-0,304	-0,106	0,118	-0,054	-0,470	-0,376	-0,286	-0,222	-0,198
1982	1,913	1,721	1,633	1,717	1,468	1,987	1,953	1,645	1,720
1983	0,033	0,002	-0,168	-0,102	-0,530	0,051	0,191	-0,032	0,327
1984	1,354	1,189	1,329	2,112	1,686	0,368	0,786	0,918	0,444
1985	-0,850	-0,813	-1,147	-1,017	-1,084	-0,603	-0,932	-1,058	-0,782
1986	0,128	0,591	0,338	0,254	0,329	0,235	-0,094	-0,005	-0,074
1987	2,992	2,328	1,253	1,769	2,543	2,409	2,390	2,380	2,127
1988	-0,761	-0,803	-1,320	-0,828	-0,842	-1,023	-1,291	-0,994	-1,212
1989	-0,008	-0,127	-0,884	-0,757	-0,386	0,902	-0,053	-0,280	-0,131
1990	-0,980	-0,937	-1,157	-1,397	-1,286	-0,792	-0,885	-1,129	-0,840
1991	-0,159	0,217	0,766	0,065	-0,028	0,214	-0,053	0,094	-0,031
1992	0,674	0,788	1,292	1,418	1,082	0,786	1,005	1,117	0,709
1993	0,037	-0,193	-0,406	-0,373	-0,406	0,156	0,051	-0,162	-0,028
1994	-0,106	-0,405	-0,742	-0,514	-0,581	-0,578	-0,596	-0,514	-1,139
1995	-0,455	-0,602	-0,574	-0,669	-0,435	-0,749	-0,990	-0,734	-0,798
1996	-0,599	-0,535	-0,830	-0,420	-0,311	-0,925	-0,963	-1,053	-0,790
1997	2,149	2,223	1,548	1,253	1,526	1,581	1,872	1,847	1,945
1998	-1,159	-1,030	-1,616	-1,678	-1,482	-1,160	-1,565	-1,574	-1,323
1999	-0,824	-0,604	-0,971	-0,804	-0,794	-0,534	-0,522	-0,587	-0,412
2000	0,130	0,284	0,100	0,175	-0,210	0,661	0,253	0,699	0,444
2001	-0,507	0,352	0,560	0,713	0,677	0,385	0,023	0,213	0,289
2002	0,394	1,913	1,694	1,774	1,999	1,998	1,936	1,943	1,951
2003	-1,028	-0,399	-0,719	-0,540	-0,752	-0,805	-0,707	-0,762	-0,643
2004	-0,144	-0,160	-0,106	-0,039	-0,019	-0,351	-0,156	-0,418	-0,027
2005	0,474	0,282	0,009	0,078	0,289	-1,322	0,713	0,903	1,097
2006	-0,358	-1,178	0,630	0,208	0,057	-0,440	-0,164	-0,275	0,140
2007	-1,184	-1,159	-0,840	-1,254	-1,182	-1,466	-0,981	-0,944	-0,725
2008	0,777	-0,610	0,613	0,410	0,183	0,545	0,382	0,280	0,551
2009	-0,430	-1,261	-0,442	-0,458	-0,504	-0,365	-0,495	-0,449	-1,886
2010	-1,200	-0,970	-0,713	-1,041	-0,538	-0,788	-0,823	-0,847	-0,704

Tabla 18 Índice estandarizado de precipitaciones total parte 2

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

	ANTUPIREN	SAN ANTONIO (PTA. PANUL)	CERRILLOS DE LEYDA	SAN JOSE RETEN	PIRQUE	EL YESO EMBALSE	MELIPILLA (ESC. TEC)	CARMEN DE LAS ROSAS	SAN GABRIEL
1981	-0,856	-0,828	-0,191	-0,454	-1,439	-0,768	-0,122	-0,315	-0,404
1982	2,346	1,428	2,147	2,468	1,585	1,600	1,745	2,227	2,589
1983	0,176	0,378	0,079	-0,090	0,162	-0,704	-0,170	-0,194	-0,238
1984	0,285	0,681	1,405	0,026	0,758	-0,007	1,362	1,518	0,171
1985	-0,597	-0,423	-1,009	-0,782	-1,124	-1,061	-1,054	-1,048	-1,074
1986	0,259	1,720	0,776	0,554	0,281	0,926	-0,046	0,318	0,621
1987	2,218	1,669	1,273	2,151	2,330	2,148	1,762	1,915	1,483
1988	-1,211	-1,301	-1,006	-1,068	-1,317	-1,016	-1,191	-1,125	-0,774
1989	0,476	-0,682	-0,763	0,011	0,229	-0,461	-0,558	-0,340	0,313
1990	-0,871	-1,257	-1,437	-1,057	-1,095	-1,091	-1,361	-1,344	-1,227
1991	0,492	0,330	0,107	0,422	0,414	0,802	0,171	0,261	0,720
1992	0,298	1,694	1,639	0,227	0,000	-0,255	1,418	1,479	-0,696
1993	-0,846	0,098	-0,126	0,015	0,041	0,172	-0,346	-0,342	0,406
1994	-0,579	-0,879	-0,852	-0,563	-0,146	-0,265	-0,170	-0,361	-0,326
1995	-0,693	-0,509	-0,376	-0,779	-0,673	-0,730	-0,251	-0,288	-0,989
1996	-1,186	-0,564	-0,781	-1,160	-0,958	-1,348	-0,766	-0,970	-1,334
1997	1,662	1,549	1,359	1,530	1,904	1,141	1,495	1,326	1,773
1998	-1,439	-1,837	-1,798	-1,486	-1,571	-1,229	-1,671	-1,770	-1,073
1999	-0,627	-1,059	-1,000	-0,928	-0,592	-0,974	-0,819	-0,922	-0,843
2000	0,805	-0,246	0,051	0,596	0,601	1,456	0,083	0,325	0,590
2001	0,129	0,637	0,788	0,285	0,145	0,789	0,459	0,471	0,844
2002	1,642	1,518	1,500	1,505	1,526	1,968	2,219	1,338	1,302
2003	-0,879	-0,773	-0,726	-0,744	-0,652	-0,602	-0,549	-0,625	-0,693
2004	-0,385	0,019	-0,290	-0,769	-0,412	-0,986	-0,141	-0,177	-0,587
2005	1,074	0,341	0,646	1,207	1,030	0,395	0,648	0,540	1,296
2006	-0,253	0,276	0,329	-0,248	0,339	0,035	0,000	0,228	-0,548
2007	-0,944	-0,979	-1,088	-0,689	-0,787	-0,315	-1,372	-1,165	-0,791
2008	0,589	0,447	0,540	1,076	0,846	1,319	0,437	0,352	0,913
2009	-0,415	-0,694	-0,635	-0,313	-0,381	-0,363	-0,489	-0,509	-0,567
2010	-0,671	-0,754	-0,562	-0,943	-1,043	-0,576	-0,723	-0,804	-0,854

Tabla 19 Índice estandarizado de precipitaciones total parte 3

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

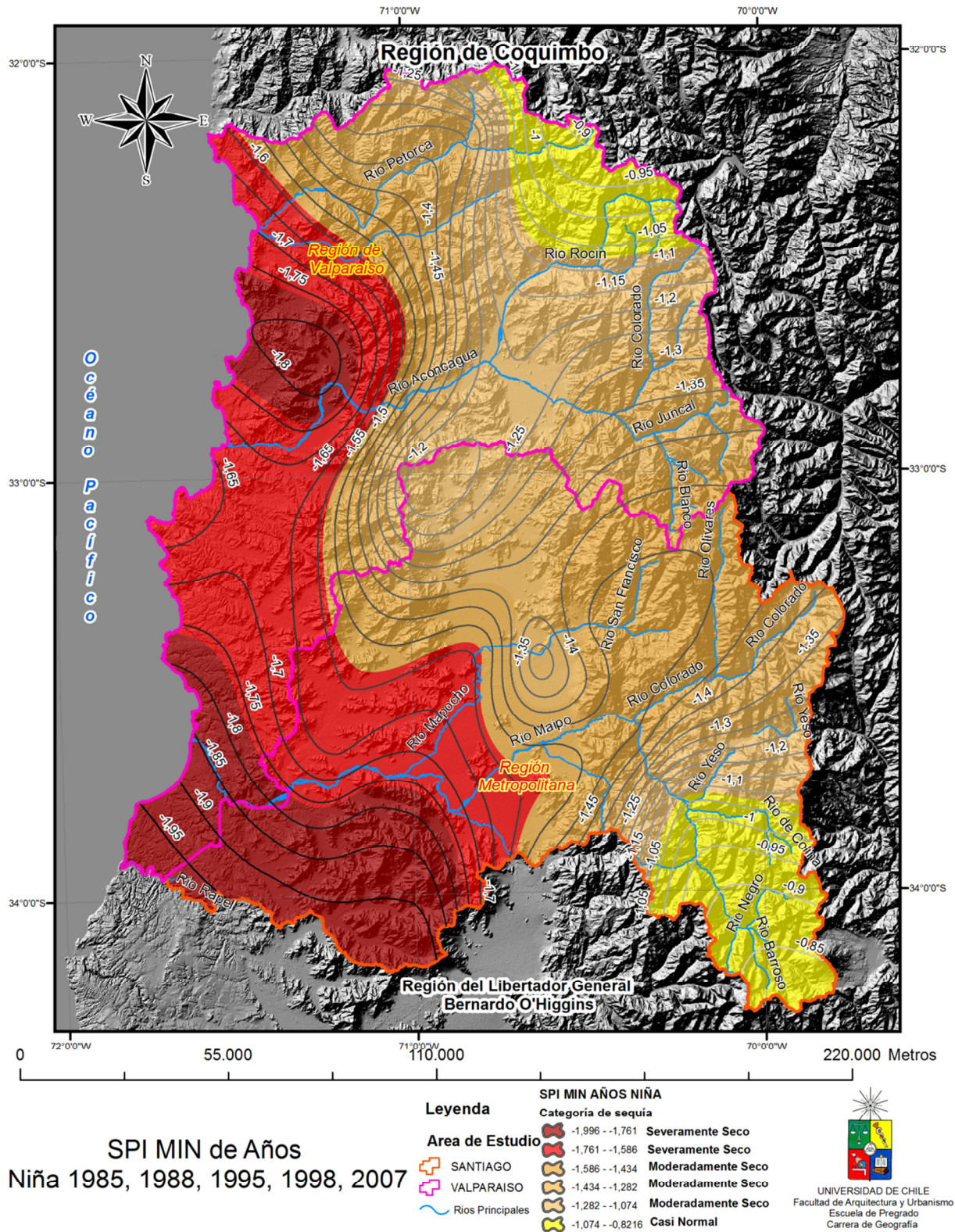


Ilustración 24 Cartografía Índice estandarizado de precipitaciones mínimos en años La Niña

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

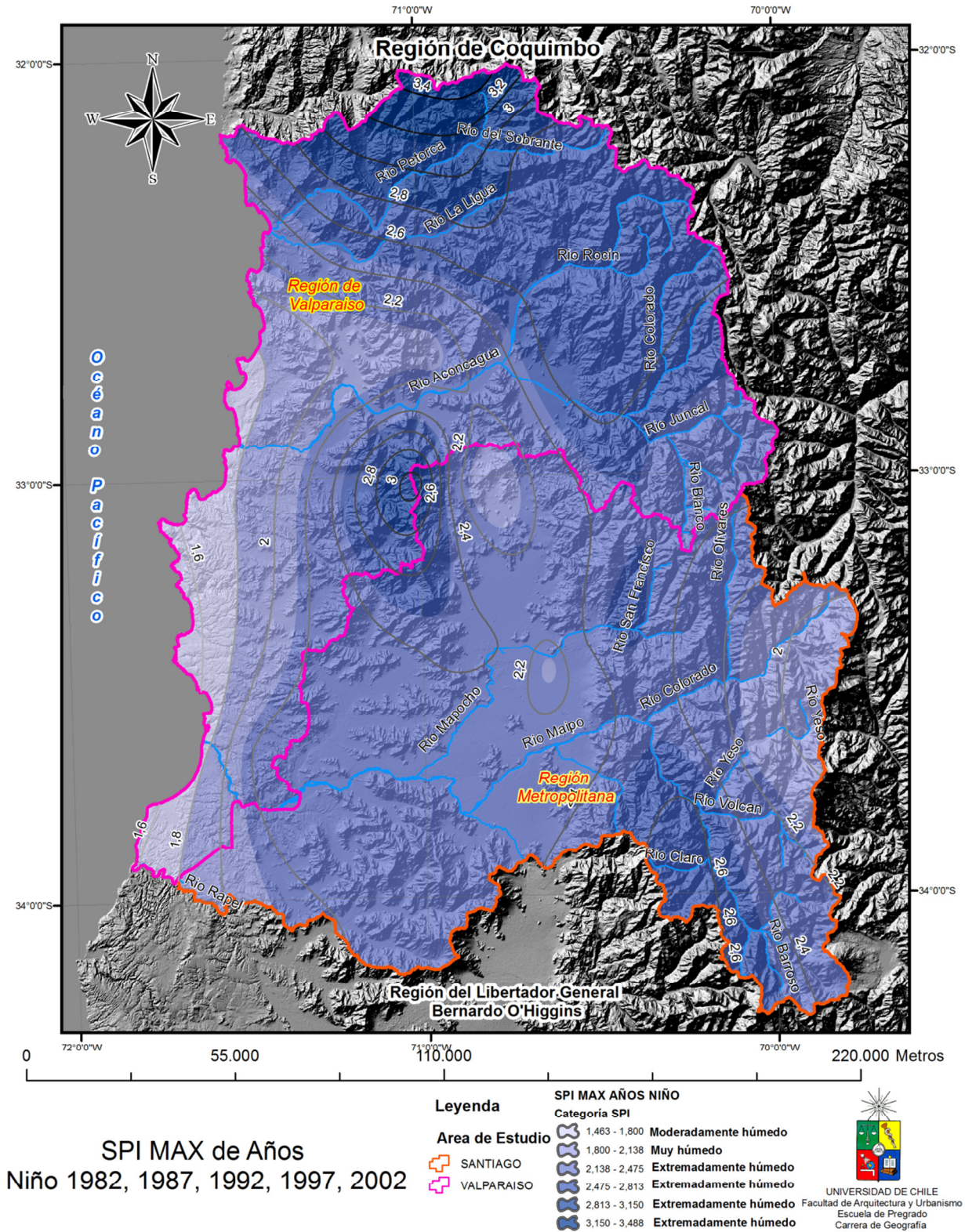


Ilustración 25 Cartografía de Índice estandarizado de precipitaciones máximas en años El Niño

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

4.3.- Resultados del método de rachas de sequía

La hipótesis se confirma, ya que la magnitud de la sequía aumenta gradualmente hacia el norte y hacia la costa, producto de las componentes subtropicalidad y Océano Pacífico. Esto se ve evidenciado en los resultados de la Longitud media de las rachas de sequía (Ilustración 26 Longitud media de rachas de sequía). Es decir, la Región de Valparaíso posee mayor longitud de las sequías que la Región Metropolitana.

N°	ESTACIÓN	Altura (m)	PP Promedio	Longitud media de las rachas de sequía
1	PEDERNAL HACIENDA	1100	279,253	23,665
2	QUILIMARI	25	283,110	32,516
3	CHALACO HACIENDA	880	234,387	25,543
4	EL TRAPICHE	1180	256,433	22,984
5	PALQUICO	450	273,160	24,995
6	ALICAHUE HACIENDA	750	287,933	23,145
7	ESTERO RABUCO	300	397,528	23,610
8	VILCUYA	1100	379,093	17,520
9	RIECILLOS	1290	521,020	17,902
10	CALEU	1120	576,290	22,794
11	RUNGUE EMBALSE	700	368,450	21,218
12	VALPARAÍSO	41	411,220	20,683
13	LAGO PEÑUELAS	360	700,220	17,298
14	COLLIGUAY	490	639,013	20,215
15	CERRO CALAN	848	422,283	14,342
16	SANTIAGO	527	341,810	14,110
17	LOS PANGUILES	195	349,730	16,542
18	TERRAZA OFCS. DGA	560	339,693	15,173
19	ANTUPIREN	904	454,807	17,637
20	SAN ANTONIO (PTA. PANUL)	80	391,120	15,681
21	CERRILLOS DE LEYDA	180	466,453	16,947
22	SAN JOSE RETEN	943	538,817	16,836
23	PIRQUE	659	460,540	15,541
24	EL YESO EMBALSE	2475	648,423	14,051
25	MELIPILLA (ESC. TEC)	170	390,020	17,026
26	CARMEN DE LAS ROSAS	165	427,353	21,991
27	SAN GABRIEL	1266	639,123	18,044

Tabla 20 Resultados de rachas de sequía

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

4.3.1.- Interpolación de información para longitud media de rachas de sequía

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,83673233
Coefficiente de determinación R ²	0,70012098
R ² ajustado	0,66100633
Error típico	2,54654722
Observaciones	27

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	3	348,223695	116,074565	17,8991991	3,2456E-06			
Residuos	23	149,152763	6,48490272					
Total	26	497,376457						

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	250,062583	36,4316467	6,86388362	5,3426E-07	174,69798	325,427186	174,69798	325,427186
Alt. (m)	-0,00235113	0,00101507	-2,31622732	0,02980838	-0,00445096	-0,0002513	-0,00445096	-0,0002513
Latitud S	6,9900689	1,13543054	6,15631572	2,7931E-06	4,64125187	9,33888594	4,64125187	9,33888594
PP Promedio	0,00598565	0,00518278	1,15491072	0,25998534	-0,00473575	0,01670704	-0,00473575	0,01670704

$$Rachas\ de\ sequía = \frac{250,063 + Alt \times -0,002 + Lat \times 6,990 + PPA\ anual \times 0,006}{R^2 = 0,70}$$

Coefficiente de determinación R² 0,700, es altamente significativo (0.00000005⁵), por lo cual se procede a interpolar con todas las variables

Tabla 21 Análisis de Datos para interpolación de Rachas de sequía

⁵ Si el p-valor es menor a 0,05 es significativa al 95%, si es mayor no lo es, por lo tanto se descarta el modelo

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

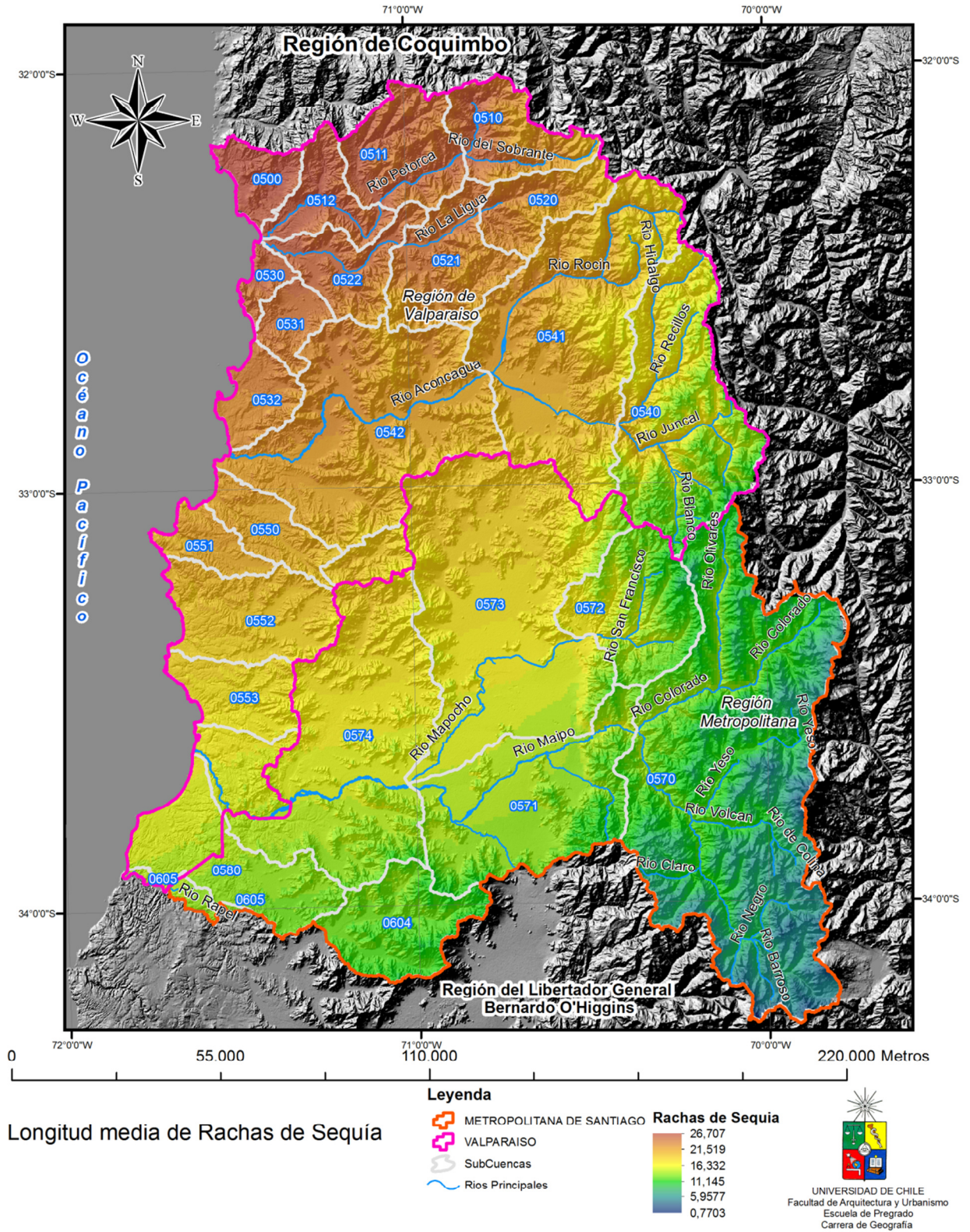


Ilustración 26 Longitud media de rachas de sequía

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

4.4.- Resultados de Porcentaje de precipitación normal

Los valores porcentuales estimados para cada año indican el déficit (valores negativos) y el excedente (valores positivos) en la precipitación anual ocurrida. Valores porcentuales próximos a cero corresponden a valores cercanos al promedio histórico.

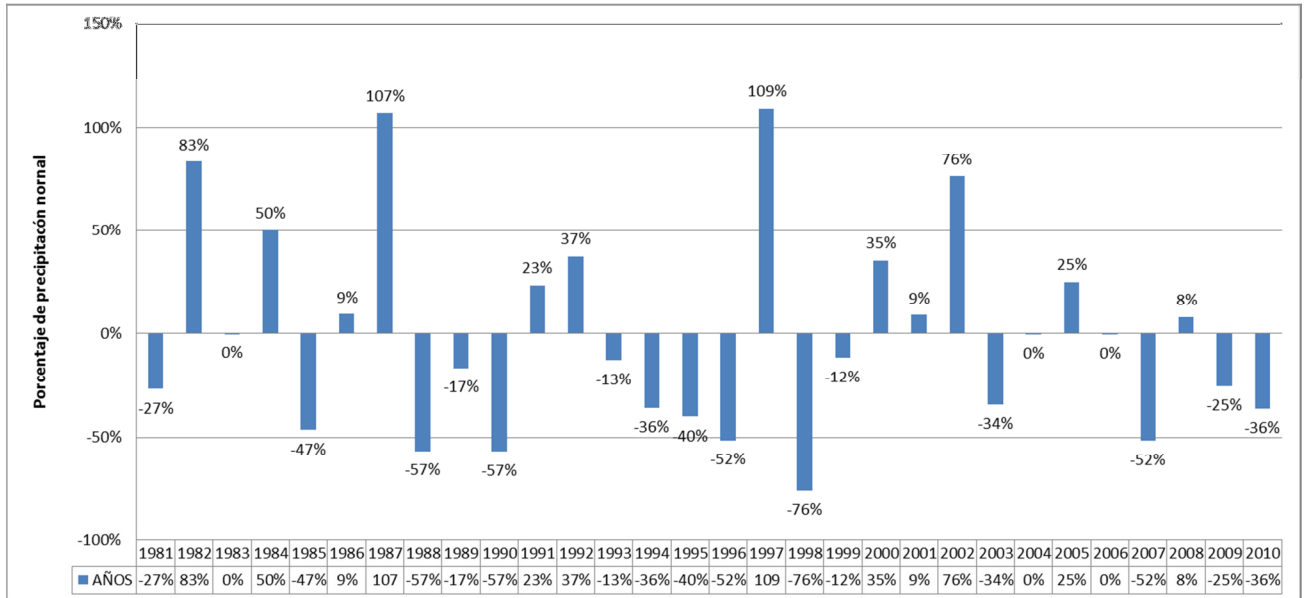


Ilustración 27 Grafico de Porcentaje de precipitación normal por año

Al igual como demuestra la tabla 22 los años de ENSO fase fría muestran porcentajes negativos y los años de ENSO fase cálida muestran porcentajes positivos, esto se relaciona directamente proporcional a el porcentaje de precipitación normal definido para cada año, expuesto en el gráfico.

Según la ilustración 28 se confirma según los porcentajes de precipitación normal, y las teleconexión climática ENSO los años clasificados como fase fría o negativa son 1985, 1988, 1995, 1998, 2007. En todos estos años se observó que la precipitación se comportó menor al promedio en un año normal.

Así mismo según los porcentajes de precipitación normal, y las teleconexión climática ENSO los años clasificados como fase cálida o positiva son 1982, 1987, 1992, 1997, esto se enseña en ilustración 29. En todos estos años se observó que la precipitación se comportó sobre la precipitación promedio en un año normal.

Dividiendo la serie en dos (1981-1995 y 1996-2010) se desprende que la sequía se manifestó 8 y 7 años respectivamente, destacando el mayor en 1998, y sin notar diferencias entre ambos períodos.

SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

precipitación normal en años La Niña y El Niño

	1985	1988	1995	1998	2007	1982	1987	1992	1997
DA	-59,14%	-67,13%	-53,70%	-82,20%	-37,23%	37,80%	219,96%	49,86%	126,43%
		-52,49%	-42,43%	-93,01%	-54,61%	61,28%	106,49%	81,59%	172,08%
DA	-53,84%	-67,23%	-44,96%	-79,44%	-44,58%	20,53%	174,63%	61,14%	113,88%
	-50,05%	-63,77%	-34,29%	-63,46%	-44,31%	29,62%	166,35%	66,32%	116,63%
	-67,20%	-60,83%	-44,72%	-85,36%	-52,96%	54,27%	164,68%	62,18%	123,68%
DA	-56,93%	-59,19%	-39,40%	-65,27%	-34,98%	57,15%	151,62%	63,02%	139,99%
	-58,39%	-58,12%	-96,73%	-80,23%	-48,81%	87,53%	119,23%	43,54%	97,14%
	-51,83%	-60,30%	-37,69%	-74,78%	-48,43%	85,84%	128,99%	34,66%	125,17%
	-40,54%	-74,30%	-53,15%	-80,21%	-33,96%	129,70%	-41,69%	14,56%	72,60%
	-56,69%	-45,08%	-33,11%	-76,92%	-69,98%	115,26%	182,17%	30,06%	163,41%
	-58,94%	-57,04%	-47,02%	-77,15%	-85,43%	116,37%	161,50%	51,07%	186,31%
	-47,28%	-68,82%	-32,79%	-76,90%	-46,61%	72,34%	56,24%	51,57%	92,43%
	-42,62%	-41,10%	-36,06%	-80,31%	-60,58%	74,82%	86,37%	56,74%	86,16%
	-49,61%	-43,29%	-29,00%	-77,64%	-62,83%	74,33%	123,47%	46,26%	95,82%
	-30,47%	-53,47%	-42,17%	-64,36%	-73,31%	97,76%	109,24%	23,78%	100,67%
	-45,53%	-59,16%	-49,53%	-73,87%	-50,73%	82,38%	108,60%	35,75%	107,51%
	-49,36%	-52,71%	-41,73%	-78,10%	-50,42%	79,68%	109,30%	47,97%	100,35%
GA	-42,15%	-61,64%	-44,21%	-66,97%	-40,00%	77,81%	101,59%	23,08%	119,85%
	-26,34%	-51,36%	-36,04%	-69,68%	-48,20%	99,60%	88,54%	1,60%	92,76%
a.	-20,74%	-64,08%	-32,37%	-87,24%	-47,43%	65,81%	99,30%	67,88%	89,81%
YDA	-44,30%	-48,23%	-22,99%	-85,38%	-52,73%	100,02%	57,25%	66,10%	85,38%
	-30,50%	-55,83%	-38,33%	-71,98%	-38,75%	118,26%	90,14%	4,12%	89,67%
	-48,69%	-58,01%	-34,10%	-71,42%	-41,16%	71,32%	96,44%	-10,91%	101,07%
	-45,79%	-57,82%	-38,70%	-64,00%	-28,66%	76,03%	96,09%	-21,04%	85,28%
EC)	-52,44%	-60,36%	-19,18%	-84,92%	-74,03%	83,20%	83,25%	54,79%	92,66%
	-49,18%	-54,51%	-23,37%	-86,08%	-57,88%	101,05%	88,74%	53,20%	77,42%
	-44,06%	-45,24%	-50,01%	-57,77%	-53,53%	136,73%	68,98%	-39,95%	109,54%

ENSO Fase Fría La Niña

ENSO Fase Cálida El Niño

Tabla 22 Porcentaje de precipitación normal en años El Niño y La Niña

Débil	-15% a -30%	Sequía Moderada	-30,1% a -45%	Sequía Severa	< -45%
-------	-------------	-----------------	---------------	---------------	--------

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

4.4.2.- Porcentaje de precipitación normal total

	PEDERNAL HACIENDA	QUILIMARI	CHALACO HACIENDA	EL TRAPICHE	PALQUICO	ALICAHUE HACIENDA	ESTERO RABUCO	VILCUYA	RIECILLOS
1981	-42,92%	-32,32%	-36,86%	-37,57%	-39,12%	-26,20%	-10,19%	-39,36%	-33,65%
1982	37,80%	61,28%	20,53%	29,62%	54,27%	57,15%	87,53%	85,84%	129,70%
1983	39,26%	16,81%	43,35%	-24,74%	18,61%	40,00%	0,95%	19,15%	6,54%
1984	97,17%	54,32%	80,81%	48,58%	93,73%	59,06%	74,45%	13,14%	16,31%
1985	-59,14%		-53,84%	-50,05%	-67,20%	-56,93%	-58,39%	-51,83%	-40,54%
1986	-22,08%	-18,55%	-31,10%	-34,37%	-9,36%	-27,03%	5,30%	-6,54%	66,12%
1987	219,96%	106,49%	174,63%	166,35%	164,68%	151,62%	119,23%	128,99%	-41,69%
1988	-67,13%	-52,49%	-67,23%	-63,77%	-60,83%	-59,19%	-58,12%	-60,30%	-74,30%
1989	-22,15%	-23,85%	-7,84%	-9,92%	-23,12%	-12,31%	-25,46%	-7,62%	-5,47%
1990	-68,59%	-69,55%	-68,43%	-66,15%	-68,74%	-61,10%	-68,76%	-58,32%	-64,15%
1991	23,40%	3,92%	25,01%	40,47%	-0,61%	23,99%	7,21%	26,72%	54,45%
1992	49,86%	81,59%	61,14%	66,32%	62,18%	63,02%	43,54%	34,66%	14,56%
1993	-47,07%	-29,14%	-11,26%	-10,23%	-16,17%	-17,86%	-20,86%	-25,19%	23,57%
1994	-75,79%	-56,17%	-68,34%	-59,99%	-54,97%	-68,05%	-35,60%	-49,56%	-36,49%
1995	-53,70%	-42,43%	-44,96%	-34,29%	-44,72%	-39,40%	-96,73%	-37,69%	-53,15%
1996	-54,99%	-42,60%	-26,49%	-51,84%	-48,02%	-54,68%	-100,00%	-55,24%	-62,23%
1997	126,43%	172,08%	113,88%	116,63%	123,68%	139,99%	97,14%	125,17%	72,60%
1998	-82,20%	-93,01%	-79,44%	-63,46%	-85,36%	-65,27%	-80,23%	-74,78%	-80,21%
1999	-17,60%	12,39%	3,25%	-6,60%	-6,28%	-20,05%	-12,58%	-8,47%	-14,00%
2000	17,67%	11,48%	48,26%	47,41%	21,17%	-6,23%	29,75%	31,13%	28,92%
2001	35,93%	-0,71%	10,50%	44,33%	0,31%	-13,17%	2,13%	-5,04%	3,14%
2002	113,64%	100,24%	106,11%	134,95%	110,50%	73,41%	75,86%	57,88%	70,34%
2003	-35,69%	-39,11%	-34,72%	-27,86%	-39,96%	-39,05%	-46,29%	-38,80%	-35,13%
2004	16,81%	-12,79%	17,16%	6,07%	15,32%	29,61%	6,68%	1,56%	-18,93%
2005	8,93%	7,70%	-4,00%	-5,28%	1,41%	10,65%	25,10%	61,97%	96,73%
2006	-11,91%	6,35%	-5,50%	-5,00%	9,09%	-7,62%	21,00%	0,16%	30,95%
2007	-37,23%	-54,61%	-44,58%	-44,31%	-52,96%	-34,98%	-48,81%	-48,43%	-33,96%
2008	-27,66%	-27,24%	-51,66%	-19,24%	-19,53%	10,27%	22,38%	28,07%	56,42%
2009	-34,00%	-12,44%	-21,84%	-54,57%	-11,41%	-16,93%	-22,65%	-15,98%	-24,01%
2010	-27,02%	-27,66%	-46,54%	-31,48%	-26,60%	-32,73%	-33,59%	-31,28%	-52,46%

Tabla 23 Porcentaje de precipitación normal total parte 1

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

	Sequía Débil	-15% a -30%	Sequía Moderada	-30,1% a -45%	Sequía Severa	< -45%			
	CALEU	RUNGUE EMBALSE	VALPARAÍSO	LAGO PEÑUELAS	COLLIGUAY	CERRO CALAN	SANTIAGO	LOS PANGUILES	TERRAZA OFCS. DGA
1981	-22,00%	-14,05%	-2,66%	-9,96%	-25,74%	-22,82%	-17,53%	-11,33%	-17,31%
1982	115,26%	116,37%	72,34%	74,82%	74,33%	97,76%	82,38%	79,68%	77,81%
1983	-4,04%	1,18%	-15,69%	-11,40%	-32,63%	-0,45%	6,81%	-9,30%	13,66%
1984	85,34%	86,10%	66,33%	95,14%	79,62%	22,55%	33,26%	42,85%	20,28%
1985	-56,69%	-58,94%	-47,28%	-42,62%	-49,61%	-30,47%	-45,53%	-49,36%	-42,15%
1986	6,20%	42,41%	18,04%	11,92%	14,50%	3,93%	-8,93%	-3,38%	-8,48%
1987	182,17%	161,50%	56,24%	86,37%	123,47%	109,24%	108,60%	109,30%	101,59%
1988	-45,08%	-57,04%	-68,82%	-41,10%	-43,29%	-53,47%	-59,16%	-52,71%	-61,64%
1989	-10,03%	-17,41%	-49,93%	-42,89%	-28,36%	27,19%	-11,50%	-20,57%	-16,22%
1990	-58,15%	-66,75%	-49,15%	-60,66%	-61,93%	-39,59%	-39,79%	-54,39%	-41,59%
1991	2,80%	30,06%	44,47%	18,55%	16,62%	21,25%	11,06%	16,26%	11,95%
1992	30,06%	51,07%	51,57%	56,74%	46,26%	23,78%	35,75%	47,97%	23,08%
1993	-8,29%	-23,27%	-27,48%	-25,99%	-27,09%	0,97%	-7,35%	-13,65%	-11,95%
1994	-9,25%	-31,77%	-39,25%	-24,90%	-38,75%	-31,47%	-30,96%	-28,12%	-58,29%
1995	-33,11%	-47,02%	-32,79%	-36,06%	-29,00%	-42,17%	-49,53%	-41,73%	-44,21%
1996	-42,42%	-46,10%	-46,72%	-26,35%	-23,52%	-53,80%	-52,02%	-58,80%	-48,42%
1997	163,41%	186,31%	92,43%	86,16%	95,82%	100,67%	107,51%	100,35%	119,85%
1998	-76,92%	-77,15%	-76,90%	-80,31%	-77,64%	-64,36%	-73,87%	-78,10%	-66,97%
1999	-22,61%	-23,54%	-17,39%	-13,34%	-13,44%	-5,21%	0,41%	-2,67%	8,04%
2000	22,59%	41,57%	22,29%	34,60%	26,41%	48,93%	38,64%	66,90%	47,04%
2001	-34,32%	15,57%	13,49%	23,98%	25,15%	15,87%	-8,75%	2,05%	3,80%
2002	15,22%	123,34%	68,84%	69,30%	85,27%	75,17%	75,77%	82,48%	82,16%
2003	-68,90%	-34,97%	-31,62%	-27,17%	-43,05%	-47,03%	-34,20%	-36,55%	-33,03%
2004	-5,48%	-2,84%	-3,92%	-0,55%	5,19%	3,13%	3,68%	-9,70%	14,28%
2005	26,45%	17,30%	3,55%	8,55%	17,24%	-50,44%	27,21%	37,79%	49,43%
2006	-20,14%	-69,22%	20,06%	9,04%	6,77%	-20,15%	-1,82%	-6,04%	10,13%
2007	-69,98%	-85,43%	-46,61%	-60,58%	-62,83%	-73,31%	-50,73%	-50,42%	-40,00%
2008	36,04%	-49,11%	19,30%	7,32%	-1,52%	11,56%	2,63%	2,11%	11,04%
2009	-27,00%	-97,88%	-28,57%	-27,95%	-30,33%	-7,88%	-19,02%	-20,31%	-82,28%
2010	-71,11%	-70,28%	-40,85%	-50,66%	-27,92%	-19,39%	-23,03%	-40,64%	-21,61%

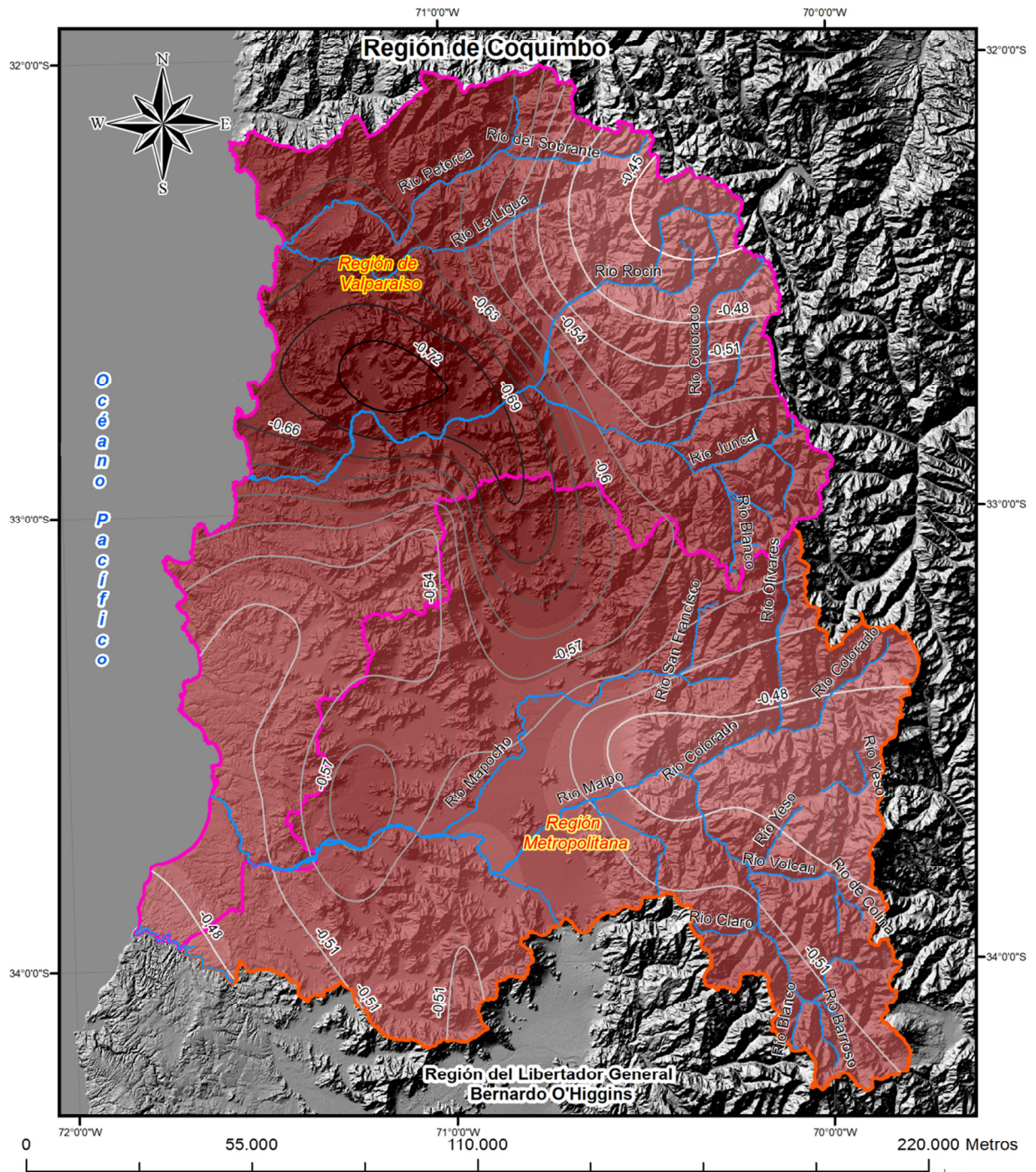
Tabla 24 Porcentaje de precipitación normal total parte 2

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

	Sequía Débil	-15% a -30%	Sequía Moderada	-30,1% a -45%	Sequía Severa	< -45%			
	ANTUPIREN	SAN ANTONIO (PTA. PANUL)	CERRILLOS DE LEYDA	SAN JOSE RETEN	PIRQUE	EL YESO EMBALSE	MELIPILLA (ESC. TEC)	CARMEN DE LAS ROSAS	SAN GABRIEL
1981	-46,02%	-45,03%	-13,39%	-24,84%	-67,89%	-42,86%	-11,13%	-17,80%	-32,33%
1982	99,60%	65,81%	100,02%	118,26%	71,32%	76,03%	83,20%	101,05%	136,73%
1983	3,23%	6,74%	-3,74%	-3,59%	4,70%	-37,70%	-11,62%	-13,44%	-18,09%
1984	9,72%	48,68%	71,40%	5,49%	31,78%	0,94%	74,79%	79,85%	7,62%
1985	-26,34%	-20,74%	-44,30%	-30,50%	-48,69%	-45,79%	-52,44%	-49,18%	-44,06%
1986	3,56%	77,69%	32,90%	21,14%	4,23%	38,67%	-1,70%	17,40%	24,75%
1987	88,54%	99,30%	57,25%	90,14%	96,44%	96,09%	83,25%	88,74%	68,98%
1988	-51,36%	-64,08%	-48,23%	-55,83%	-58,01%	-57,82%	-60,36%	-54,51%	-45,24%
1989	4,77%	-40,30%	-41,39%	-7,30%	0,56%	-28,75%	-32,21%	-23,95%	15,61%
1990	-38,66%	-58,96%	-57,68%	-44,04%	-45,69%	-51,65%	-64,28%	-60,95%	-57,05%
1991	33,60%	16,97%	16,52%	39,47%	32,76%	43,04%	20,66%	15,20%	37,44%
1992	1,60%	67,88%	66,10%	4,12%	-10,91%	-21,04%	54,79%	53,20%	-39,95%
1993	-30,50%	-3,87%	-14,01%	-7,30%	-6,67%	6,23%	-23,82%	-21,63%	11,73%
1994	-28,39%	-39,40%	-38,43%	-29,75%	-11,19%	-19,05%	-13,67%	-20,81%	-12,43%
1995	-36,04%	-32,37%	-22,99%	-38,33%	-34,10%	-38,70%	-19,18%	-23,37%	-50,01%
1996	-60,29%	-33,06%	-43,34%	-60,47%	-51,08%	-75,97%	-45,28%	-52,92%	-78,78%
1997	92,76%	89,81%	85,38%	89,67%	101,07%	85,28%	92,66%	77,42%	109,54%
1998	-69,68%	-87,24%	-85,38%	-71,98%	-71,42%	-64,00%	-84,92%	-86,08%	-57,77%
1999	-3,54%	-32,99%	-21,34%	-28,92%	0,60%	-27,01%	-16,16%	-24,86%	-11,11%
2000	50,68%	20,68%	10,58%	36,50%	49,32%	78,08%	29,40%	48,10%	36,44%
2001	3,16%	18,84%	26,27%	3,75%	-3,74%	25,92%	13,05%	14,19%	29,71%
2002	50,90%	59,95%	58,24%	58,50%	57,79%	86,02%	94,61%	50,11%	57,97%
2003	-39,14%	-33,68%	-28,57%	-30,20%	-26,98%	-15,83%	-22,36%	-22,08%	-17,36%
2004	1,78%	0,97%	-5,22%	-15,37%	-4,74%	-26,92%	0,46%	-0,08%	-11,54%
2005	53,69%	10,55%	26,64%	46,88%	37,64%	22,08%	30,92%	26,17%	62,86%
2006	-13,63%	16,38%	16,32%	-12,40%	16,15%	2,91%	4,61%	14,43%	-31,77%
2007	-48,20%	-47,43%	-52,73%	-38,75%	-41,16%	-28,66%	-74,03%	-57,88%	-53,53%
2008	4,59%	8,59%	12,77%	29,91%	19,29%	51,17%	9,51%	4,36%	26,66%
2009	-2,53%	-33,68%	-35,41%	-1,27%	-7,52%	-0,08%	-20,85%	-21,73%	-18,26%
2010	-7,87%	-36,00%	-24,24%	-43,00%	-33,86%	-30,63%	-37,85%	-38,95%	-46,76%

Tabla 25 Porcentaje de precipitación normal total parte 3

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.



PPN Promedio de Años
Niña 1985, 1988, 1995, 1998, 2007

Leyenda

Area de Estudio	PPN NIÑA %	Color
SANTIAGO	-73% - -69%	Red
VALPARAISO	-69,1% - -64%	Pink
Rios Principales	-64,9 - -60%	Blue
	-60,8% - -56%	Light Red
	-56,6% - -52%	Light Pink
	-52,5% - -48%	Light Orange
	-48,3% - -44%	Light Yellow



Ilustración 28 Porcentaje de precipitación normal promedio años La Niña

4.5.- Resultados de Deciles según el método de Gibbs y Maher

Esto da cuenta de la variabilidad donde 50% es la mediana de lluvias.

Los límites de cada decil se calculan a partir de la curva de frecuencia, de esta manera, el primer decil es aquella lluvia que no es excedida por el 10% de los totales más bajos, el segundo decil es aquella lluvia que no es excedida por el 20% de los totales más bajos y así sucesivamente, hasta que la cantidad de lluvia identificada por el décimo decil es la máxima cantidad de precipitación dentro de los registros.

Por definición el quinto decil es equivalente a la mediana, ósea el decil que no excede el 50% de las ocurrencias durante el período de registro. En esta investigación los deciles considerados de sequía fueron los que están bajo el 60% de las precipitaciones normales. Estos deciles están considerados como muy bajo de lo normal y bajo lo normal, la distribución de las precipitaciones en estos deciles es similar en todos los casos.

La teleconexiones ENSO, AAO y PDO repercute muchísimo en las precipitaciones, esto se puso en evidencia en los resultados del Índice de precipitación normal y en el Índice de precipitación estándar.

Estación	Precipitación promedio en años La Niña (1985, 1988, 1995, 1998, 2007)	Precipitación promedio en años El Niño (1982, 1987, 1992, 1997)
PEDERNAL HACIENDA	152,26 (20% a 30%)	237,54 (50% a 60%)
QUILIMARI	153,77 (20%)	238,26 (50%)
CHALACO HACIENDA	126,83 (20%)	195,27 (40% a 50%)
EL TRAPICHE	138,34 (20% a 30%)	212,65 (50%)
PALQUICO	147,69 (20% a 30%)	225,12 (40% a 50%)
ALICAHUE HACIENDA	154,61 (10% a 20%)	234,84 (40% a 50%)
ESTERO RABUCO	213,94 (20% a 30%)	320,17 (40% a 50%)
VILCUYA	201,21 (20% a 30%)	304,13 (40%)
RIECILLOS	276,12 (10% a 20%)	414,30 (40% a 50%)
CALEU	304,30 (20%)	469,69 (40% a 50%)
RUNGUE EMBALSE	193,77 (30%)	291,36 (50%)
VALPARAÍSO	213,01 (20%)	312,40 (40%)
LAGO PEÑUELAS	360,97 (10% a 20%)	535,60 (40% a 50%)
COLLIGUAY	329,15 (10% a 20%)	489,00 (40% a 50%)
CERRO CALAN	217,20 (10% a 20%)	320,40 (40% a 50%)
SANTIAGO	175,44 (10% a 20%)	257,35 (30%)
LOS PANGUILES	178,09 (10% a 20%)	260,69 (30% a 40%)

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

Estación	Precipitación promedio en años La Niña (1985, 1988, 1995, 1998, 2007)	Precipitación promedio en años El Niño (1982, 1987, 1992, 1997)
TERRAZA OFCS. DGA	171,78 (10% a 20%)	249,88 (30% a 40%)
ANTUPIREN	229,77 (10%)	331,01 (30% a 40%)
SAN ANTONIO	199,65 (10%)	285,72 (40% a 50%)
CERRILLOS DE LEYDA	238,55 (10%)	335,65 (30% a 40%)
SAN JOSE RETEN	275,93 (10%)	383,02 (30% a 40%)
PIRQUE	239,65 (10% a 20%)	323,27 (30% a 40%)
EL YESO EMBALSE	339,62 (10% a 20%)	464,42 (30% a 40%)
MELIPILLA (ESC. TEC)	211,27 (10% a 20%)	295,63 (20% a 30%)
CARMEN DE LAS ROSAS	222,92 (10% a 20%)	318,22 (30% a 40%)
SAN GABRIEL	320,34 (10% a 20%)	439,88 (30% a 40%)

Tabla 26 Precipitación Promedio en años La Niña y El Niño y su relación con los Deciles de sequía.

En la tabla 26 se calculó el promedio de precipitación en los años El Niño y La Niña en cada estación, según el PPN calculado anteriormente para cada estación. Esto permite visualizar en que decil de precipitación se encuentra cada estación. Esto permite definir la magnitud de la sequía en aquellos años, ya que según la clasificación estarán dentro de algunos de estos rangos Muy abajo de lo normal, Abajo de lo normal, Cercano a lo normal, Arriba de lo normal, Muy arriba de la normal.

También al realizar este ejercicio se ubicaron las estaciones ordenadas de norte a sur y es fácil identificar como la sequía aumenta de norte a sur, ya que en la parte superior los valores están en los deciles menos secos y hacia el final de la tabla se encuentran los deciles más secos o bajo lo normal.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

4.5.1.- Deciles total

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
PEDERNAL HACIENDA	91,39	128,58	170,53	194,92	217,5	269,28	333,4	385,62	555,2	893,5
QUILIMARI	120,31	156,9	185,84	205,52	238,75	286,34	308,11	351,94	519,38	770,3
CHALACO HACIENDA	76,54	122,9	142,57	167,98	212	231,8	276,97	338,3	429,73	643,7
EL TRAPICHE	101,71	127,18	165,84	181,28	218,65	240,86	290,12	371,68	439,4	683
PALQUICO	105,26	139,3	165,61	215,88	244,8	272,5	303,1	349,08	533,78	723
ALICAHUE HACIENDA	116,95	165,7	191,75	223,12	244,6	267,6	330,12	412,98	472,39	724,5
ESTERO RABUCO	119,64	196,1	261,6	311,76	379,15	420,8	482,65	526,76	703,74	871,5
VILCUYA	168,53	194,64	234,94	304,54	352,25	381,82	460,31	499,78	623,05	868,1
RIECILLOS	195,8	292,58	335,87	375,82	470,3	571,82	652,17	806,76	888,68	1196,8
CALEU	178,58	303,12	383,4	448,1	520,75	548,02	627,6	732,86	1085,34	1626,1
RUNGUE EMBALSE	106,97	145,54	192,89	246,68	293,5	363,92	446,3	531,08	799,77	1054,9
VALPARAÍSO	207,18	218,64	277,36	323,1	395,1	442,16	499,4	627,14	690,18	791,3
LAGO PEÑUELAS	338,55	410,28	508,35	522,82	625,45	754,94	797,62	973,5	1232,04	1366,4
COLLIGUAY	314,13	385,9	451,15	463,78	520,9	676,24	746,4	833,16	1151,41	1428
CERRO CALAN	196,36	240,1	292,34	339,12	410,35	436,86	496,11	525,58	749,24	883,6
SANTIAGO	167,96	201,88	254,97	294,26	314,3	346,24	369,45	457,2	603,06	713
LOS PANGUILES	164,81	198,46	242,55	292,68	316,5	338,9	371,95	503,18	629,38	732
TERRAZA OFCS. DGA	140,56	195,1	220,39	283,12	331,75	375,34	386,73	434,38	605,48	746,8
ANTUPIREN	234,16	278,56	322,82	408,52	452,7	469,32	475,94	623,14	714,85	907,8
SAN ANTONIO	201,09	236,3	259,4	263,54	385,45	427,78	459,69	590,32	660,44	779,5
CERRILLOS DE LEYDA	239,4	271,58	323,63	363,82	423,05	519,88	557,15	642,62	777,27	933
SAN JOSE RETEN	295,15	331,84	377,78	435,6	499,5	542,8	593,69	738,7	870,8	1176
PIRQUE	222,11	266,82	326,79	419,66	441	469,98	539,25	615,9	732,93	926
EL YESO EMBALSE	309,5	392,1	458,34	473,66	535,35	659,62	799,07	938,04	1159,37	1271,5
MELIPILLA (ESC. TEC)	153,07	236,6	301,09	322,28	345,65	398,28	449,81	529,22	714,52	759
CARMEN DE LAS ROSAS	192,96	252,16	326,75	334,74	360,6	462,8	495,12	634,62	759,24	859,2
SAN GABRIEL	294,75	348,06	417,89	523,06	562,55	698,32	800,96	873,28	1044,81	1513
	Deciles de Sequía				Normal			Deciles Lluviosos		
Clasificación de Deciles	Muy abajo de lo normal		Abajo de lo normal		Cercano a lo normal		Arriba de lo normal		Muy arriba de la normal	

Tabla 27 Resultados Deciles

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

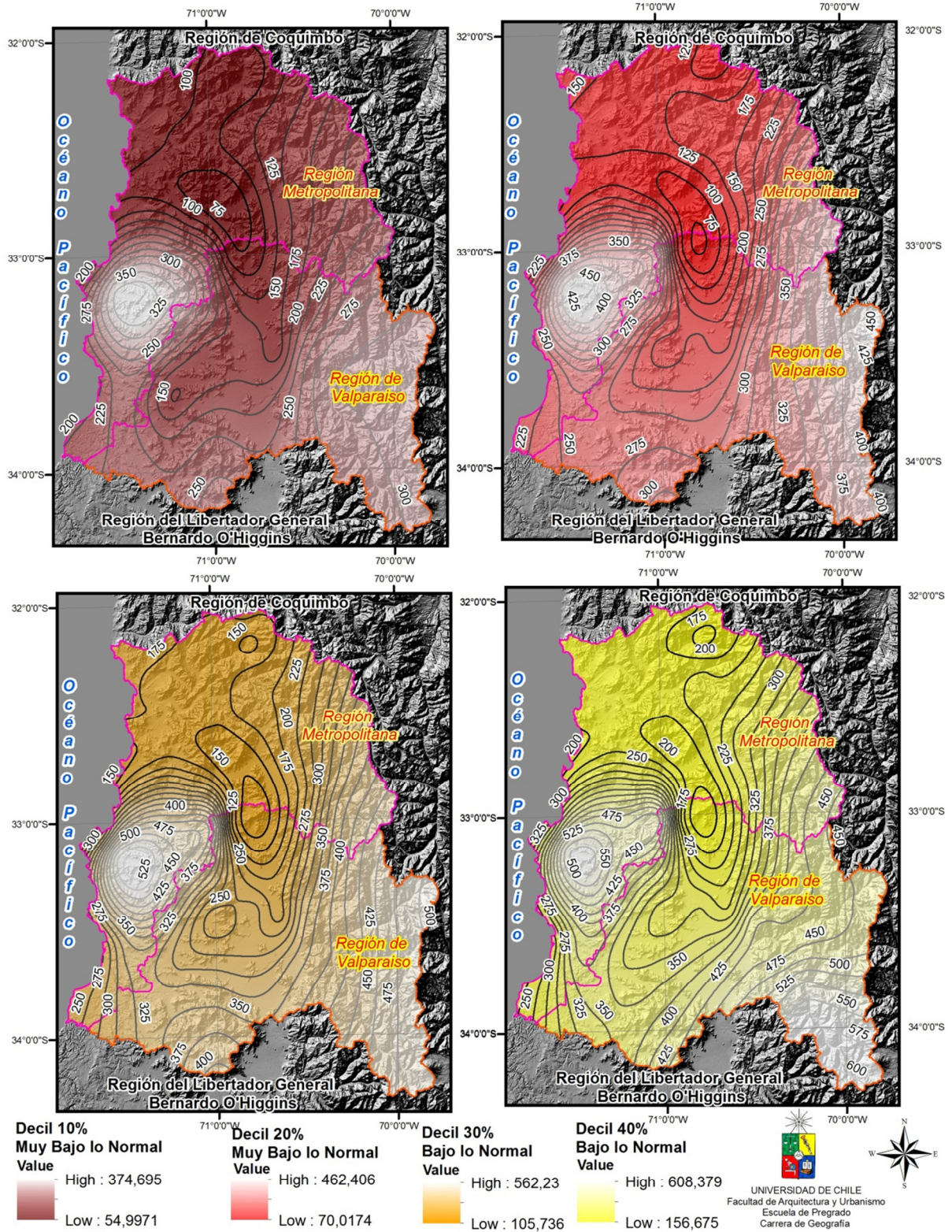


Ilustración 30 Cartografía de Deciles de Sequía

4.6.- Índices y su relación con teleconexiones ENSO, PDO, AAO

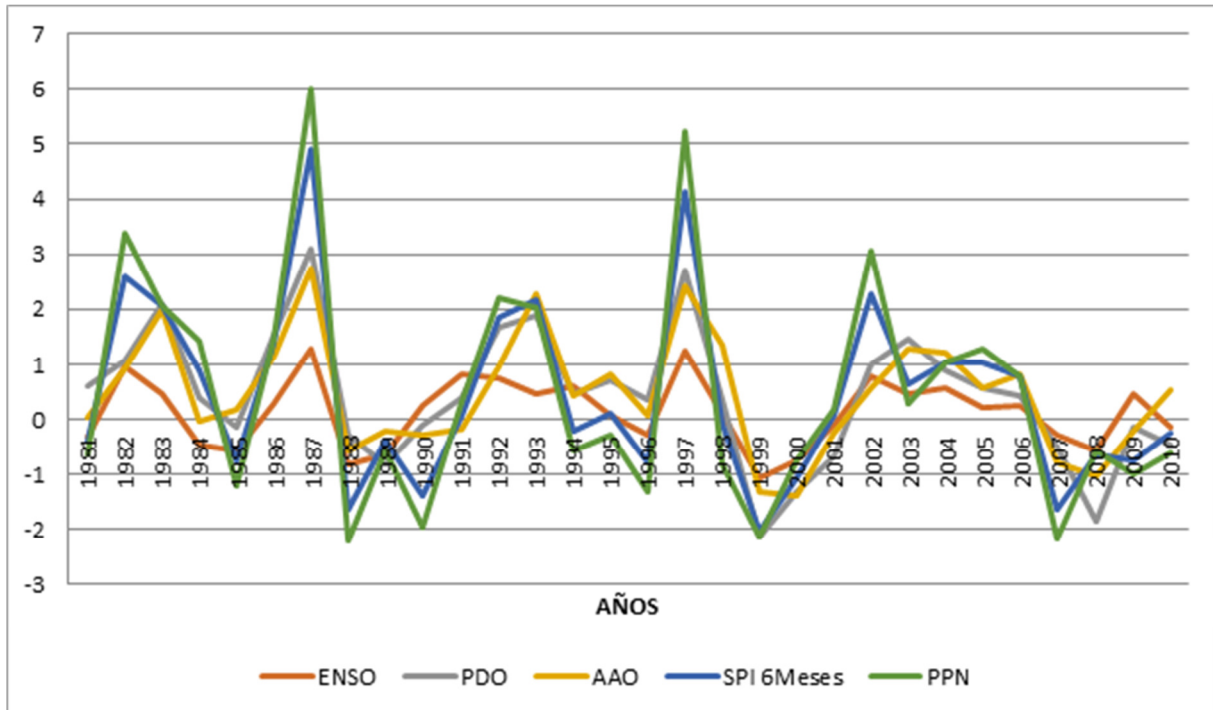


Ilustración 31 Grafico de Índices de Teleconexiones Climáticas y Resultados de Índices SPI y PPN

El resultado de los índices PPN y SPI 6 meses se correlaciona en la mayoría de los años con las teleconexiones climáticas ENSO, PDO. Ello sirve para entender la relevancia de las teleconexiones climáticas y su modulación de las precipitaciones. En consecuencia, sobre los resultados obtenidos de los índices de sequía aplicados durante la investigación.

La mayoría de las teleconexiones climáticas, a excepción de AAO se relacionan directamente a los índices de sequía aplicados, lo cual es concordante con la teoría. Además se puede visualizar mejor los períodos de cada fase en teleconexiones y cómo se comportan los índices durante esas fases. Esto permite entender que son procesos repetitivos y variables de fases positivas -cálidas o negativas-frías durante el período de estudio (1981 - 2010).

En las siguientes ilustraciones (32, 33, 34), se realizaron gráficos de correlación lineal entre el índice SPI y los índices de las teleconexiones PDOi, ONI, AAOi, esto con el fin de observar si se relacionan de manera directa o inversa.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

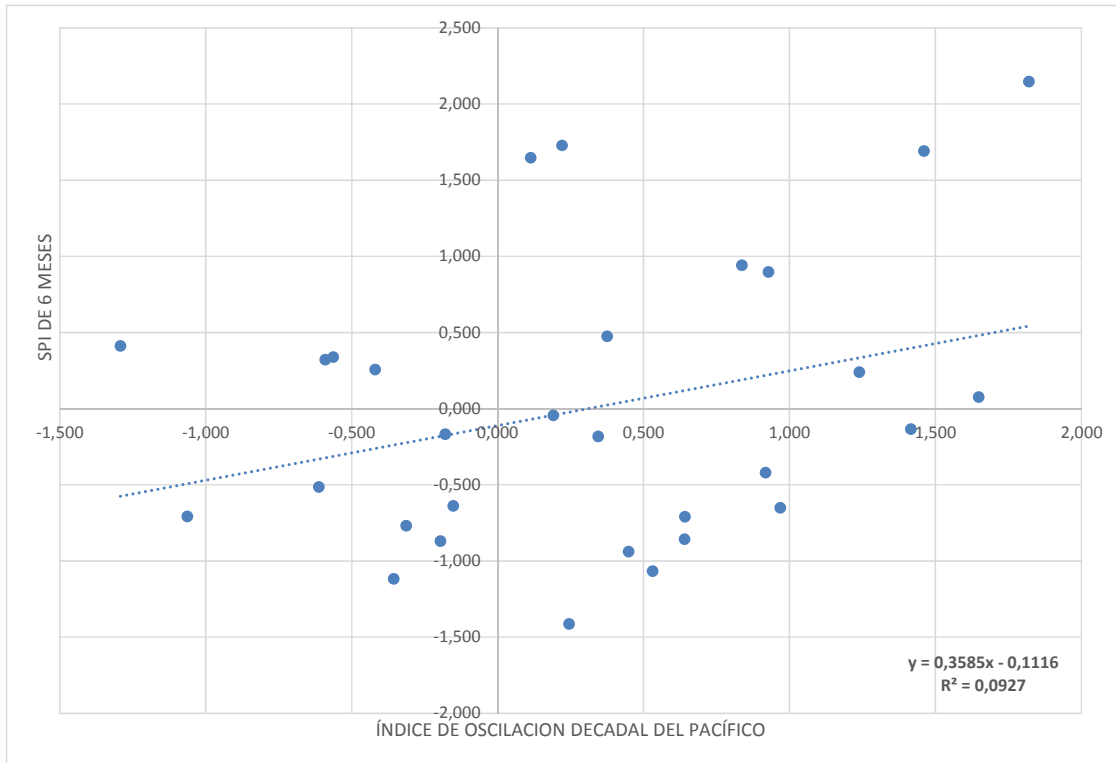


Ilustración 32 Correlación entre SPI y el índice de la PDO

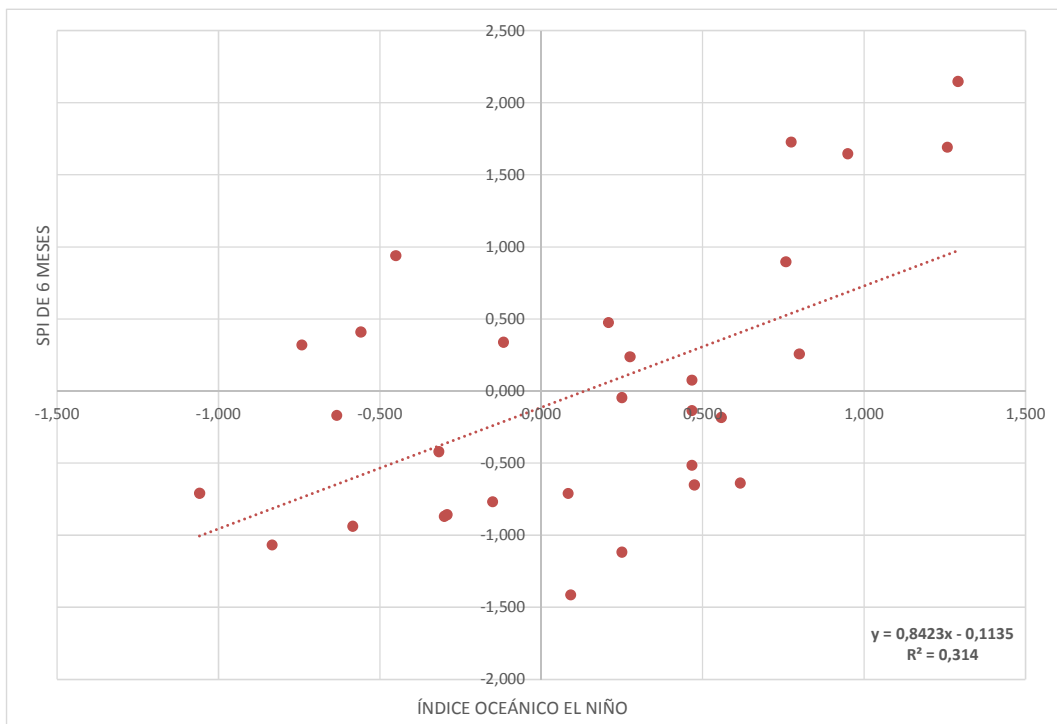


Ilustración 33 Correlación entre SPI y ENSO ONI

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LA SEQUÍA A RESOLUCIÓN DIARIA EN CHILE CENTRAL (V - RM) Y SU RELACIÓN CON PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE BAJA FRECUENCIA.

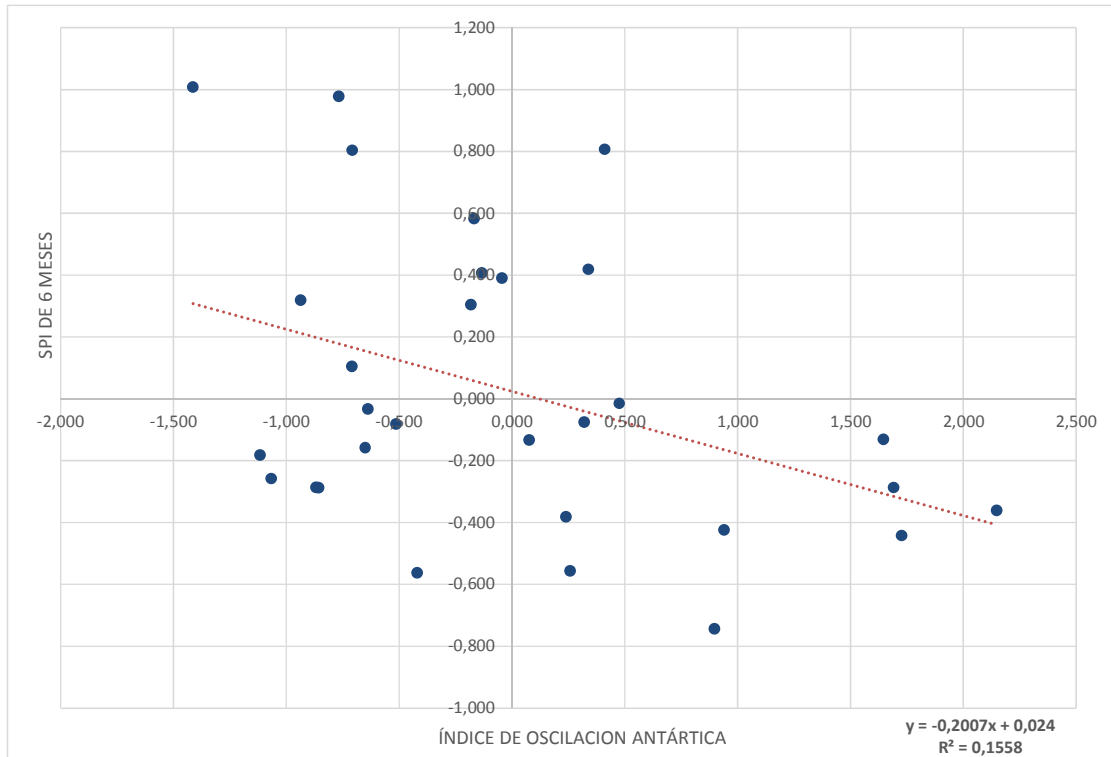


Ilustración 34 Correlación entre SPI y AAOi

Las ilustraciones (32, 33, 34), muestran las correlaciones lineales. Se demuestra que cuando el PDOi y el ONI se encuentran en fase fría hay más probabilidad de sequía (asociado a la Niña); mientras que en fases cálidas (El Niño) el SPI alcanza valores positivos. Con la oscilación Antártica la relación es inversa; Cuando la AAO es positiva (el anticiclón del Pacífico es potente y las bajas presiones se encuentran en zonas subpolares) llueve menos (SPI negativo), mientras que con AAO negativo (bajas presiones frente a Chile central y sur) las precipitaciones aumentan (SPI positivo). Las significancias de las relaciones antes aplicadas son válidas para el ONI y la AAO, no para la PDO, pese a que la relación posee el signo correcto.

	Coefficiente de Correlación	R ²	Significancia del p-value al 95% (<0,05)
ONI SPI 6 meses	0,56035063	0,31399283	Ok (0,002)
PDO SPI 6 meses	0,30453788	0,09274332	No (0,123)
AAO SPI 6 meses	-0,39469662	0,15578542	Ok (0,042)

Tabla 28 Correlación de teleconexiones con índice SPI 6 meses

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- Discusión

La Unidad de Diagnóstico Parlamentario (UDP, 2012) indica para Chile que el desierto avanzará de 0,4 a 1 Km por año. Teniendo como principales causas los cambios climáticos naturales que acentúan la aridez del territorio, así como las actividades humanas inadecuadas y persistentes, el sobre pastoreo, la repetida rotura del suelo que conduce al agotamiento de la fertilidad, a la oxidación de la materia orgánica y a la erosión, todas fuentes de desertificación. Este trabajo no ha podido determinar cambios temporales de la sequía, pero si su configuración espacial. A futuro es deseable ver si la magnitud y persistencia de la sequía se ha incrementado.

Entre otras causas, las consecuencias directas de la sequía han sido la disminución en un 32% de la productividad agrícola en menos de 10 años (UDP, 2012). Con los resultados obtenidos podríamos afirmar que lo anteriormente mencionado es correcto, ya que el resultado de la longitud media de rachas de sequía y el índice estandarizado de precipitaciones indica que la sequía aumenta gradualmente de norte a sur. Además en el sector de Chile Central se ve severamente afectada la zona litoral.

Se puede comprobar con el resultado que el índice estandarizado de precipitaciones es máximo en los años El Niño. Es decir, con el ENSO en su fase cálida el área de estudio es más resistente a los efectos de la sequía. Se puede inferir que en los años El Niño la sequía no se manifiesta en el área de estudio.

También es importante considerar que aunque la sequía y la desertificación avanzan de norte a sur cada año, este efecto se ve mayoritariamente en el secano costero y secano interior, y según los resultados las áreas precordilleranas de las regiones estudiadas (Valparaíso y Metropolitana), se ven menos afectadas por los efectos de las sequía. Por lo mismo, se debe proteger estas áreas, por su importancia estratégica al momento de abastecer a las poblaciones y actividades agrícolas en el área de estudio.

5.2.- Conclusiones

Las distribuciones espaciales resultantes son de ayuda para definir que subcuencas, áreas agroclimáticas y los terrenos de cultivo son más afectados por episodios de sequía, y sirven de apoyo a las organizaciones de usuarios de agua, para enfrentar de mejor sus efectos adversos.

Los resultados del índice de Besson permiten concluir que las cuencas más afectadas por la sequía se encuentran mayoritariamente en la región de Valparaíso, específicamente en las comunas administrativas de La Ligua, Petorca y Cabildo, también en la región Metropolitana, está afectada mayoritariamente en la cuenca del Estero Alhué (Provincia de Melipilla).

Según análisis del índice SPI de 6 meses se puede determinar que entre marzo y agosto (MAMJJA) que la sequía es leve en un 40% del tiempo; y moderada a severa en un 7% y 3% del tiempo, respectivamente.

Del índice de precipitación normal se puede inferir que al separar los años donde hubo una fase fría del ENSO, la sequía se acentuó, ya que en la mayoría de los porcentajes están dentro de los valores negativos del PPN. Esto da cuenta de sequías de tipo moderada y severa. Además y para reafirmar lo anterior al realizar el mismo análisis con los resultados del SPI 6 Meses (MAMJJA) en los años de teleconexión ENSO fase fría, se observa como en los sectores de secano costero y secano interior se manifiestan el índice con valores moderadamente seco y severamente seco. Esto afectaría la mayoría de los terrenos agrícolas ubicados en estos sectores y sus cultivos.

Lo anterior es coincidente con los resultados de las longitudes medias de rachas de sequía, ya que éstas se presentan con mayor longitud en el área de secano costero e interior de la región de Valparaíso. En general la longitud media de rachas de días secos se manifiesta gradualmente disminuyendo de norte a sur. En los sectores precordilleranos de la región de Valparaíso y Metropolitano, se observan menores rachas de días secos, por lo cual estas áreas podrían ser catalogadas como más resistentes a períodos de sequía.

En el histograma de precipitación normal, se puede concluir que al dividir el período de 30 años a la mitad (1981-1995 y 1996-2010), no se puede asegurar que las sequias están aumentando con el avance del tiempo. Así entre 1981-1995 existieron 8 años en los cuales las precipitaciones estuvieron por debajo de lo normal, mientras que entre 1996-2010 existieron 7 en la misma condición. Lo que sí se puede confirmar es que en la mayoría de los años donde la precipitación estuvo por debajo de lo normal, se manifestó La Niña, siendo el más severo en cuanto sequía el año 1998.

Al realizar el análisis de comparar las precipitaciones promedio en años La Niña con los deciles de precipitaciones, los porcentajes de precipitación promedio estuvieron dentro del

decil 10% y 20% y también existieron algunos casos de decil 30% (sequías entre muy abajo y bajo lo normal).

Al examinar en conjunto los índices de PPN y Deciles de sequía, es posible entender que los episodios de sequía son procesos repetitivos y variables de fases positivas-cálidas o negativas-frías. Ellas están moduladas con las teleconexiones climáticas, de manera directa con ONI y PDO y de manera inversa con AAO. Entender la relación entre estos factores ayuda a deducir paulatinamente la magnitud y las consecuencias de la sequía.

Otro punto a destacar es que las zonas donde la sequía impacta de menor manera (o son más resistentes) corresponde a precordillera y cordillera ubicadas entre las regiones de Valparaíso y Metropolitana. Esto se ve evidenciado en la distribución espacial de los índices estandarizado de precipitaciones mínimos en años La Niña pues son menos afectados por la sequía. Además en la distribución espacial del índice SPI MAX años El Niño, precordillera y cordillera son más lluviosos y deben ser considerados como reservorios de agua. También, esta situación se evidencia en las rachas de sequía, mostrando menores longitudes medias de rachas de sequía en el sector antes mencionado.

Es importante tener en consideración las áreas definidas como reservorios de agua, ya que actualmente estos sectores están siendo objeto de enormes proyectos mineros como Andina 244 de Codelco, entre otros. Las pérdidas de agua deberían ser recuperadas mediante un manejo de cuencas integral, por ejemplo, favoreciendo la recarga de acuíferos y embalses de riego.

Lo relevante es que después de períodos largos de sequía, como el que ha manifestado actualmente el país, toman mayor importancia los aportes de los glaciares y acuíferos para disponer de agua en los períodos de primavera y verano. Es decir, si Chile pierde superficie glaciar o recarga de nuestras napas freáticas, la vulnerabilidad y disponibilidad de agua va a ser absolutamente insostenible.

5.3.- Alcances de la investigación

5.1.2.- Fortalezas del estudio realizado

- Al realizar una investigación de tipo cuantitativa, esta se basa en las muestras y los grandes rasgos. Este tipo de investigación se sustenta en información estadística de datos duros, lo que permite tratar grandes cantidades de información o problemas complejos e interpretarlos y dividirlos de una manera más fiable, que en una investigación de tipo cualitativa.
- Los resultados de los índices son muy correlacionables con otras fuentes de información, por mencionar algunas; teleconexiones, cuencas hidrográficas, organizaciones de usuarios de agua, estaciones meteorológicas, red hídrica, entre otras.
- El indicador normalizado de precipitaciones (SPI), que fue aplicado en esta investigación fue adoptado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el año 2009 como estándar mundial para medir las sequías meteorológicas.
- El tipo de sequía oficial en Chile es meteorológica, al igual que los índices utilizados en esta investigación. “Se da esta situación cuando las precipitaciones alcanzan a un 60% o menos de la normal anual” (Promedio de los últimos 30 años), durante dos años consecutivos o más, en el 50% de la extensión espacial de la región” (UEA, 2003).

5.1.1.- Debilidades del estudio realizado

- Los índices aplicados en esta investigación apuntan a definir sequía meteorológica, sólo considerando la variable de las precipitaciones en un rango temporal de 30 años.

Estas metodologías intentan modelar la realidad, pero como en todo modelo, no se alcanza a considerar todas las variables dejando afuera otras variables atmosféricas importantes como temperatura, el viento, radiación solar o la humedad del aire.

Tampoco considera otros factores como evapotranspiración, manchas solares, cambios en la temperatura superficial del mar, tipos de cultivos, tipos de suelos, entre muchos otros.

- Al representar los índices espacialmente, no se logró en todos integrar la variable topográfica. Esto produce menor calidad en la cartografía al considerar menos variables en el modelo.

5.3.- Recomendaciones

La recomendación más importante después de realizar esta investigación, es que se torna indispensable que en el corto plazo se gestione la creación de un monitor de la sequía en Chile, por la importancia que tienen las consecuencias de este fenómeno para nuestro desarrollo como país. Esta institución puede ser gestionada desde el mismo sector de investigación universitario como es el caso del National drought mitigation center gestionado por la University of Nebraska–Lincoln o gestionada por el gobierno en alguno de sus ministerios como es el caso del monitor de la sequía de México, Canadá o España.

La sequía se puede estudiar de muchísimas maneras y existen en la actualidad numerosas fuentes de información gratuita a la cual se puede acceder de manera fácil y gratuita, lo que permitiría mantener un centro de investigación de la sequía especializado con estudiantes y profesor en la misma universidad.

Un monitor de la sequía permitiría seguir las variaciones climáticas y aportaría antecedentes para definir períodos de normalidad, alerta o emergencia frente al riego de sequía prolongada.

La ausencia de las lluvias no es el único causante de la sequía, se debe avanzar en métodos de riego tecnificado, profundización de pozos para regadío, infraestructura de canales y captación del recurso, sistemas de infiltración.

Más de un déficit hídrico, hay un déficit en infraestructura, ya que un 84% del recurso hídrico disponible con aptitud de riego se vierte en el mar (DGA, 2003). Proponer métodos de mitigación a la sequía dentro de nuestro país es tarea de todos.

5.3.1.- Etapas futuras y proyecciones

- Utilizar los resultados de esta investigación para destinar más recursos a las cuencas más afectadas por episodios de sequía.
- Avanzar en Estrategias de gestión de agua, como por ejemplo el riego tecnificado o por goteo ocupa entre 50% y 60% menos de agua que el riego tradicional, avanzar en este tipo de tecnificación es el camino para reducir las pérdidas en la agricultura producto de episodios de larga ausencia de precipitaciones.
- Apoyar a las Organización de usuarios de aguas y capacitarlos para enfrentar de mejor manera los efectos de la sequía y aprender a prevenir.

BIBLIOGRAFÍA

1. Banco Central de Chile. (2006 y 2010a). Recuperado el 25 de Abril de 2013, de <http://www.bcentral.cl/estudios/estudios-economicos-estadisticos/index.htm>
2. Donoso et al. . (1999). Impacto económico de las sequías sobre la agricultura en Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile.
3. Aldunce, P., & González, M. (2009). *Desastres asociados al clima en la agricultura y medio rural en Chile*.
4. AMS. (2013). American Meteorological Society.
5. ASDC. (2005). Mapas de Amenazas por Sequía Meteorológica. En Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
6. Astaburuaga. (2003). *El agua en las zonas áridas de Chile*. Santiago.
7. Banco Mundial. (31 de Marzo de 2011). *CHILE: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Recuperado el 25 de Abril de 2013, de http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2011/07/21/000020953_20110721091658/Rendered/PDF/633920ESW0SPAN0le0GRH0final0DR0REV.0doc.pdf
8. Bass et al. (2008). *Disaster Management Systems Analysis. Enviromental, climate Change and Bioenergy Division*.
9. Bellow et al. (2007). *Documenting Drought-Related Disasters A Global Reassessment*.
10. Besson. (1924). *"Sur la probabibilité de la pluie"*. Paris.
11. Casanova, M. (2006). *El agua como recurso natural renovable*.
12. Dai, A. (2010). *Drought under global warming: a review*.
13. Database Emergency Management. (2010).
14. DGA. (2011). *Dirección General de Aguas , Ministerio de Obras Publicas*. Chile.
15. DMC. (2008). *Dirección Meteorológica de Chile*. Recuperado el 27 de Agosto de 2013, de http://www.meteochile.cl/nino_nina/nino_nina.html
16. DMC. (Febrero de 2012). *Anomalías pluviométricas en Chile en el año 2010 y proyecciones para año 2011*. (Dirección Meteorologica de Chile, Ed.) Recuperado el 25 de Abril de 2013, de <http://www.meteochile.cl/>
17. Douguédroit. (1987). The variations of dry spells in Marseilles from 1865 to 1984. *Journal of Climatology*.
18. Estudios y Planificación. (2011). *Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Ministerio de Obras Publicas, Dirección General de Aguas. DARH, DGA.
19. FAO. (2002). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*.
20. FAO. (2007). *World Water Day*. (Food And Agriculture Organization) Recuperado el 5 de Octubre de 2013, de <http://www.unwater.org/wwd07/flashindexes.html>
21. FECYT. (2005). La Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.
22. Fernández. (1991). Sequías en la zona central de Chile.
23. GHI. (2013). GLOBAL HUNGER INDEX. En IFPRI, *THE CHALLENGE OF HUNGER, Building Resilience to Achieve Food and Nutrition Security*.

24. Gibbs & Maher. (1967). Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bulletin, No. 48. Melbourne, Australia.
25. Giddings & Soto. (2006). Teleconexiones y precipitación en América del Sur. Veracruz, Mexico.
26. IGM. (2008). Chile: Atlas Geográfico Militar.
27. INE. (2007). VII Censo Agropecuario. En Instituto Nacional de Estadísticas. Chile.
28. La Red. (2003). Guía Metodológica de Desinventar. En R. d. Desastres.
29. Martín-Vide, J. (2003). *EL TIEMPO Y EL CLIMA*.
30. McKee et al. (1993). *Standardized Precipitation Index*. Colorado.
31. Molina. (2000). Efectos causados por la sequía al sector agrícola y la respuesta del Gobierno. Chile: Universidad Mayor.
32. MOP. (1999). Diagnostico Situación Actual de Usuarios de Aguas a Nivel Nacional. En R.E.G. Ingenieros Consultores. Santiago: MOP S.I.T N° 55.
33. Naranjo Toledo, R. C. (2011). *Análisis Regional de frecuencia mediante el método de los L-Momentos en las regiones de Valparaíso y Metropolitana para la generación de cartografías probabilísticas de sequía meteorológica*. Santiago, Chile.
34. NDMC. (2014). En National Drought Mitigation Center. University of Nebraska Lincoln.
35. NDPC. (2000). Preparing for Drought in the 21th. Century, United States Congress. 2000. En N. D. Commission..
36. Nuñez Cobo & Verbist. (2010). *“Guía metodológica para la aplicación del Análisis Regional de Frecuencia de Sequías basado en L-momentos y resultados de aplicación en América Latina”*. Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
37. Nuñez, V. (2012). Actualización del Estado de registro de Juntas de Vigilancia y levantamiento de su Jurisdicción desde XV a VIII Región, 2012. Ministerio de Obras Públicas Informe Técnico.
38. ODEPA. (2005). Análisis de los efectos de la variación del tipo de cambio en los principales rubros de la agricultura chilena. En Oficina de Estudios y Políticas Agrarias .
39. ODEPA. (2005). Panorama de la agricultura chilena. En M. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.
40. OMM. (1992). Vocabulario Meteorológico Internacional. Organización Meteorológica Mundial.
41. OMM. (2003). *Boletín OMM Volumen 53 N°1*. Organización Meteorológica Mundial.
42. ONU. (2004). Convención de Lucha contra la desertificación. En Organización de las Naciones Unidas.
43. Pizarro et al. (2005). Aguas continentales. En Centro de Análisis de Políticas Públicas.
44. PNUD. (2006). *Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua*.

45. preventionweb. (2014). *www.preventionweb.net*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2013, de http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/bgdocs/GAR-2011/SP_GAR2011_Report_CH3.pdf
46. Rein. (1997). Impacto de las sequías al sector silvoagropecuario. En Conferencia Internacional. Madrid.
47. Riquelme, C. (2014). La intervención ciudadana en el mecanismo jurídico para la gestión de la sequía. Seminario Uso de metodologías participativas en la co-construcción de la conceptualización y aplicación de la resiliencia en el contexto Chileno para el Cambio Climático y la Sequía.
48. Santibáñez & Uribe. (1999). *Origen, variabilidad y aspectos de las sequías en Chile*.
49. SIIT. (2014). *Clima y vegetación Región de Valparaíso*. Recuperado el 27 de Agosto de 2013, de Sistema Integrado de Información Territorial: <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region5/clima.htm>
50. Steinman et al. (2005). The isotopic and hydrologic response of small, closed-basin lakes to climate forcing from predictive models: Application to paleoclimate studies in the upper Columbia River basin.
51. Subrahmanyam. (1967). Incidence and spread of continental drought. OMM.
52. Sudene. (1999). O fenomeno das secas. Superintendência do desenvolvimento do nordeste.
53. Trenberth et al. (2007). *Changes in precipitation with climate change*.
54. UDP. (2012). La Desertificación en Chile. *Desierto avanza: productividad agrícola disminuyó 32 % en una década*. Unidad de Diagnostico Parlamentario.
55. UEA. (2003). Segundo informesemestral. En Unidad de Emergencias Agrícola. Chile: Ministerio de Agricultura.
56. UNESCO. (2014). *Día Mundial de Lucha contra la Desertificación, 17 de junio*. Recuperado el 5 de Octubre de 2013, de <http://www.un.org/es/events/desertificationday/>
57. Valiente, Ó. (2001). *Sequía : definiciones, tipologías y métodos de cuantificación*.
58. Vergara Castro, J. (2004). El Rol de las Organizaciones y la adaptación al cambio climático en Chile. Dpto. Cs. Ambientales y Recursos Naturales, Programa de Aguas y Sociedad, Universidad de Chile.
59. Wilhite & Glantz. (1985). *"Understanding and Defining Drought"*.
60. WWAP. (Marzo de 2012). El Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.