

***Estudio del impacto hídrico en el sistema productivo del palto en la  
cuenca de río Aconcagua, V región de Valparaíso - Chile***

Por ***Elena Luisa Campusano Ahumada***

Presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich como parte de los requerimientos para la obtención del grado de

**MAGISTER EN APLICACIONES ESPACIALES DE ALERTA Y RESPUESTA TEMPRANA A EMERGENCIAS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Marzo, 2015

©IG - CONAE/UNC 2015

©FaMAF - UNC 2015

DIRECTOR

***Dr. Diego Pons Daher***

INTA

Córdoba, Argentina

CODIRECTOR

***Dr. Marcelo Scavuzzo***

IG - CONAE/FaMAF - UNC

Córdoba, Argentina



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

## Índice de Contenido

<b>ACRÓNIMOS</b>	<b>12</b>
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES GENERALES</b>	<b>16</b>
<hr/>	
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DE CAPÍTULOS</b>	<b>16</b>
<b>1.2 INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
<b>1.3 TIPO DE ESTUDIO</b>	<b>19</b>
<b>1.4 PROBLEMÁTICA</b>	<b>20</b>
1.4.1 ESCASEZ HÍDRICA	22
1.4.1.1 Indicador de escasez hídrica	23
1.4.2 ESTRÉS HÍDRICO	27
<b>1.5 HIPÓTESIS</b>	<b>29</b>
<b>1.6 OBJETIVOS</b>	<b>29</b>
1.6.1 OBJETIVO GENERAL	29
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>30</b>
<hr/>	
<b>2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA V REGIÓN DE VALPARAÍSO</b>	<b>30</b>
2.1.1 EMPLAZAMIENTO	30
2.1.2 SUPERFICIE Y POBLACIÓN	33
2.1.3 ECONOMÍA	35
2.1.4 BIOGEOGRAFÍA	36
2.1.5 RELIEVE	37
2.1.6 CLIMA	38
2.1.7 HIDROGRAFÍA	39
<b>2.2 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>41</b>
2.2.1 CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA	43
2.2.1.1 Ubicación y Superficie	43
2.2.1.2 Actividades económicas	43
2.2.1.3 Suelo	44
2.2.1.4 Clima	44
2.2.1.5 Red Hidrográfica	45
<b>2.3 DISCUSIÓN</b>	<b>47</b>
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA UTILIZANDO TELEDETECCIÓN</b>	<b>48</b>
<hr/>	
<b>3.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>48</b>
<b>3.2 CAUDAL</b>	<b>51</b>
<b>3.3 PRECIPITACIONES (LLUVIA - NIEVE)</b>	<b>58</b>
3.3.1 PRECIPITACIÓN (LLUVIA)	58
3.3.2 PRECIPITACIÓN (NIEVE)	74

<b>3.4 TEMPERATURA</b>	<b>93</b>
<b>3.5 DISCUSIÓN</b>	<b>107</b>
<b>CAPÍTULO 4. EL PALTO Y SU SISTEMA PRODUCTIVO</b>	<b>108</b>
<hr/>	
<b>4.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>108</b>
<b>4.2 CATASTRO FRUTÍCOLA</b>	<b>109</b>
4.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PALTO	112
4.2.2 VARIEDADES	116
4.2.3 CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES QUE INCIDEN EN EL CULTIVO DEL PALTO	120
<b>4.3 SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL PALTO</b>	<b>125</b>
4.3.1 SUPERFICIE PLANTADA (HA) CON PALTOS	125
4.3.2 PRODUCCIÓN	128
4.3.3 PRODUCTIVIDAD	131
4.3.4 MANEJO DEL RIEGO	134
<b>4.4 DISCUSIÓN</b>	<b>143</b>
<b>CAPÍTULO 5. DINÁMICA AGROECONÓMICA DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA</b>	<b>144</b>
<hr/>	
<b>5.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>144</b>
<b>5.2 CICLOS DE SEQUÍA</b>	<b>145</b>
<b>5.3 HUELLA HÍDRICA</b>	<b>147</b>
<b>5.4 MERCADO INTERNACIONAL</b>	<b>149</b>
5.4.1 ACUERDOS COMERCIALES DE CHILE	149
5.4.2 CRECIMIENTO ECONÓMICO DE CHILE	152
5.4.3 EXPORTACIÓN DE PALTA	154
<b>5.5 MERCADO INTERNO</b>	<b>156</b>
<b>5.6 ASENTAMIENTOS URBANOS</b>	<b>157</b>
5.6.1 CENTROS POBLADOS	157
5.6.2 CENSOS	158
<b>5.7 ASENTAMIENTOS MINEROS</b>	<b>161</b>
<b>5.8 DISCUSIÓN</b>	<b>164</b>
<b>CAPÍTULO 6 - ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>165</b>
<hr/>	
<b>6.1 ANÁLISIS GENERAL</b>	<b>165</b>
<b>6.2 CORRESPONDENCIA ENTRE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN (LLUVIA Y NIEVE)</b>	<b>166</b>
<b>6.3 CORRESPONDENCIA ENTRE PRECIPITACIÓN (LLUVIA) Y CAUDAL</b>	<b>170</b>
<b>6.4 CORRESPONDENCIA ENTRE CAUDAL PROMEDIO, SISTEMA PRODUCTIVO DEL PALTO, MERCADO NACIONAL E INTERNACIONAL</b>	<b>173</b>
<b>6.5 FACTORES CRÍTICOS</b>	<b>177</b>
6.5.1 PLANTACIONES EN LADERAS	177
6.5.2 ADAPTACIÓN DEL PALTO EN CONDICIONES DE RIEGO	183
<b>6.6 DISCUSIONES Y CONCLUSIONES</b>	<b>185</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>189</b>
<hr/>	

## Índice de Figuras

Figura 1: Recursos hídricos renovables totales por habitante en 2014 a nivel Mundial (m <sup>3</sup> /año).....	24
Figura 2: Provincias de la V región de Valparaíso (zona continental).....	31
Figura 3: Biogeografía de la V región de Valparaíso .....	36
Figura 4: Relieve de la V región de Valparaíso .....	37
Figura 5: Climas de la V región de Valparaíso .....	38
Figura 6: Hidrografía de la V región de Valparaíso.....	39
Figura 7: Distribución de paltos en las cuencas de la V región de Valparaíso .....	42
Figura 8: Red hidrográfica de la cuenca del río Aconcagua .....	45
Figura 9: Estaciones fluviométricas de la cuenca del río Aconcagua.....	52
Figura 10: Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Aconcagua – Lluvia .....	59
Figura 11: Mapa conceptual de la metodología empleada para obtener cobertura de nieve .....	75
Figura 12: Ejemplo de corrección de bandeo en banda 2 de la imagen Landsat 7 ETM+ de agosto 2011.....	79
Figura 13: Ejemplo de mosaico en banda 2, de tres Imágenes Landsat 7 ETM+ de agosto 2011. ....	80
Figura 14: Ejemplo de máscara de temperatura.....	81
Figura 15: Árbol de decisión para obtener máscara de nubes .....	82
Figura 16: Ejemplo de máscara de nubes. ....	85
Figura 17: Ejemplo de máscara de nubes. ....	85
Figura 18: Ejemplo de máscara de sombras.....	86
Figura 19: Árbol de decisión para obtener máscara de nubes .....	87
Figura 20: Ejemplo de máscara de cobertura sin nieve. ....	87
Figura 21: Árbol de decisión para generar máscara de cobertura de nieve .....	88
Figura 22: Resultado máscara de nieve.....	89
Figura 23: Nieve en Imagen Landsat .....	89
Figura 24: Máscara de nieve de la cuenca del río Aconcagua.....	90
Figura 25: Región de Interés utilizada para extraer datos de la Máscara de nieve .....	90
Figura 26: Resultados estadísticos obtenidos al extraer datos de la Máscara de nieve.....	90
Figura 27: Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Aconcagua - Temperatura.....	94
Figura 28: Perfil Topográfico de la V región de Valparaíso .....	120
Figura 29: Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 1996....	126
Figura 30: Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2002....	126
Figura 31: Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2008....	127
Figura 32: Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2014....	127
Figura 33: Evolución del método de riego microaspersión en la cuenca del río Aconcagua.....	138
Figura 34: Evolución del método de riego goteo en la cuenca del río Aconcagua .....	139
Figura 35: Evolución del método de riego surco en la cuenca del río Aconcagua.....	140
Figura 36: Evolución del método de riego tendido en la cuenca del río Aconcagua .....	141
Figura 37: Evolución del método de riego aspersión en la cuenca del río Aconcagua .....	142
Figura 38: Sequías en Chile .....	146
Figura 39: Huella hídrica.....	147

Figura 40: Asentamientos urbanos y predios agrícolas localizados en la cuenca del río Aconcagua (año 2015)	159
Figura 41: Asentamientos Mineros localizados en la cuenca del río Aconcagua	162
Figura 42: Pendientes de las Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 1996	179
Figura 43: Pendientes de las Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2002	180
Figura 44: Pendientes de las Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2008	181
Figura 45: Pendientes de las Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2014	182
Figura 46: Adaptación de las plantaciones de palta Hass en condiciones de riego en la cuenca del río Aconcagua según el MODAGRO	184

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Principales frutas exportadas en América del Sur.....	21
Gráfico 2: Principales plantaciones frutales en Chile.....	21
Gráfico 3: Disponibilidad del agua en Chile.....	26
Gráfico 4: Distribución de los usos consuntivos del agua en Chile .....	27
Gráfico 5: Oferta y demanda de agua en Chile .....	28
Gráfico 6: Población estimada al año 2015 según rango de edad, V región de Valparaíso.....	34
Gráfico 7: PIB por región 2015 .....	35
Gráfico 8: Distribución del consumo de agua del palto en porcentaje para los diferentes meses del año. ....	49
Gráfico 9: Promedio caudales mensuales en las estaciones fluviométricas de la cuenca del río Aconcagua ..	54
Gráfico 10: Caudal de diciembre, estación río Aconcagua en Chacabuquito .....	55
Gráfico 11: Caudal de diciembre, estación río Aconcagua en Romeral .....	55
Gráfico 12: Caudal de diciembre, estación río Aconcagua en San Felipe .....	56
Gráfico 13: Caudal de diciembre, estación río Putaendo en Resguardo Los Patos .....	56
Gráfico 14: Promedio de precipitaciones mensuales, estación El Cobre.....	61
Gráfico 15: Precipitaciones de junio, estación El Cobre.....	61
Gráfico 16: Promedio de precipitaciones mensuales, estación embalse Lliu Lliu.....	62
Gráfico 17: Precipitaciones de junio, estación embalse Lliu Lliu .....	62
Gráfico 18: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Los Aromos .....	63
Gráfico 19: Precipitaciones de junio, estación Los Aromos .....	63
Gráfico 20: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Quillota .....	64
Gráfico 21: Precipitaciones de junio, estación Quillota .....	64
Gráfico 22: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Resguardo Los Patos.....	65
Gráfico 23: Precipitaciones de julio, estación Resguardo Los Patos.....	65
Gráfico 24: Precipitaciones de junio, estación Resguardo Los Patos.....	66
Gráfico 25: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Riecillos .....	67
Gráfico 26: Precipitaciones de junio, estación Riecillos.....	67
Gráfico 27: Promedio de precipitaciones mensuales, estación río Aconcagua en Chacabuquito.....	68
Gráfico 28: Precipitaciones de junio, estación río Aconcagua en Chacabuquito.....	68
Gráfico 29: Promedio de precipitaciones mensuales, estación río Aconcagua en Romeral.....	69
Gráfico 30: Precipitaciones de junio, estación río Aconcagua en Romeral.....	69
Gráfico 31: Promedio de precipitaciones mensuales, estación San Felipe.....	70
Gráfico 32: Precipitaciones de junio, estación San Felipe.....	70
Gráfico 33: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Vilcuya.....	71
Gráfico 34: Precipitaciones de junio, estación Vilcuya .....	71
Gráfico 35: Superficie de nieve (ha) en la cuenca del río Aconcagua .....	91
Gráfico 36: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación embalse Lliu Lliu .....	96
Gráfico 37: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación embalse Lliu Lliu.....	96
Gráfico 38: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación embalse Lliu Lliu .....	96
Gráfico 39: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Nogales.....	97

Gráfico 40: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Nogales .....	97
Gráfico 41: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Nogales .....	97
Gráfico 42: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación La Cruz .....	98
Gráfico 43: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación La Cruz.....	98
Gráfico 44: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación La Cruz .....	98
Gráfico 45: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Llay Llay .....	99
Gráfico 46: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Llay Llay.....	99
Gráfico 47: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Llay Llay .....	99
Gráfico 48: Promedios de Temperaturas Máximas y Mínimas, estación Los Aromos.....	100
Gráfico 49: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Los Aromos.....	100
Gráfico 50: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Los Aromos .....	100
Gráfico 51: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Olmué.....	101
Gráfico 52: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Olmué.....	101
Gráfico 53: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Olmué .....	101
Gráfico 54: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Quillota.....	102
Gráfico 55: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Quillota.....	102
Gráfico 56: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Quillota .....	102
Gráfico 57: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación San Felipe .....	103
Gráfico 58: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación San Felipe .....	103
Gráfico 59: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación San Felipe .....	103
Gráfico 60: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Vilcuya .....	104
Gráfico 61: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Vilcuya .....	104
Gráfico 62: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Vilcuya .....	104
Gráfico 63: Tasa de crecimiento anual porcentual de las temperaturas medias máximas de enero.....	106
Gráfico 64: Evolución de la superficie plantada (ha) por especie frutícola en la V región de Valparaíso .....	110
Gráfico 65: Especies frutícolas destacadas en cuando a superficie plantada (ha), V región de Valparaíso ...	111
Gráfico 66: Variedad de paltas catastradas (ha) en la cuenca del río Aconcagua. ....	117
Gráfico 67: Principales variedades de palta catastradas cuenca del río Aconcagua .....	118
Gráfico 68: Ciclo Fenológico de la palta Hass.....	119
Gráfico 69: Superficie plantada con paltos (hectáreas catastradas).....	125
Gráfico 70: Producción informada de paltas en la V región de Valparaíso.....	128
Gráfico 71: Destino de la producción informada .....	129
Gráfico 72: Productividad promedio de paltas en la V región de Valparaíso .....	131
Gráfico 73: Densidad promedio de las plantaciones de paltos en la V región de Valparaíso.....	133
Gráfico 74: Superficie regada según método de riego en la cuenca del río Aconcagua .....	137
Gráfico 75: Huella hídrica referencial del palto (l/Kg) en la cuenca del río Aconcagua .....	148
Gráfico 76: Distribución del comercio exterior de Chile por zona geográfica 2014. ....	149
Gráfico 77: Tasa de crecimiento anual (%) del PIB en Chile.....	153
Gráfico 78: Precio de la palta por volumen exportado en Chile .....	154
Gráfico 79: Precio de la palta por volumen para consumo interno proveniente de las provincias de Los Andes, San Felipe de Aconcagua y Quillota .....	156
Gráfico 80: Crecimiento en la cantidad de viviendas de la cuenca del río Aconcagua .....	158

Gráfico 81: Extracción de agua para la minería en la cuenca del río Aconcagua.....	163
Gráfico 82: Promedio temperaturas máximas mensuales en la cuenca del río Aconcagua .....	166
Gráfico 83: Promedio temperaturas mínimas mensuales en la cuenca del río Aconcagua.....	166
Gráfico 84: Promedio temperaturas máximas y mínimas mensuales en la cuenca del río Aconcagua.....	167
Gráfico 85: Tasa de crecimiento anual porcentual de las temperaturas máximas de enero en la cuenca de río Aconcagua .....	167
Gráfico 86: Temperaturas máximas y superficie de nieve de julio en la estación Vilcuya .....	168
Gráfico 87: Temperaturas máximas y precipitaciones de julio en la estación Vilcuya .....	168
Gráfico 88: Precipitaciones y superficie de nieve de julio en la estación Vilcuya .....	169
Gráfico 89: Correlación entre precipitaciones de julio (Vilcuya) y caudales de diciembre (PP) (Chacabuquito) .....	170
Gráfico 90: Correlación entre precipitaciones de julio y caudales de diciembre estación San Felipe.....	171
Gráfico 91: Correlación entre precipitaciones de julio y caudales de diciembre estación Romeral .....	172
Gráfico 92: Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) de diciembre en la cuenca de río Aconcagua.....	173
Gráfico 93: Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) y superficie plantada de paltos (ha) en la cuenca del río Aconcagua .....	174
Gráfico 94: Producción informada (ton) y densidad promedio (planta/ha) en la V región de Valparaíso .....	174
Gráfico 95: Superficie plantada de paltos (ha) y productividad promedio (ton/ha) en la V región de Valparaíso .....	175
Gráfico 96: Superficie plantada (ha) y métodos de riego en la cuenca del río Aconcagua.....	175
Gráfico 97: Volumen de palta vendida en la V región de Valparaíso (mercado externo) y en la cuenca del río Aconcagua (mercado interno).....	176
Gráfico 98: Variación en el precio de la palta en la V región de Valparaíso (mercado externo) y en la cuenca del río Aconcagua (mercado interno). .....	176

## Índice de Tablas

Tabla 1: Indicador de Escasez Hídrica .....	23
Tabla 2: Recursos hídricos totales per cápita en Chile (m <sup>3</sup> /hab/año).....	25
Tabla 3: Recursos hídricos renovables totales per cápita a nivel regional (m <sup>3</sup> /año/hab) .....	25
Tabla 4: Provincias de la V región de Valparaíso.....	32
Tabla 5: Superficie de la V región de Valparaíso .....	33
Tabla 6: Población estimada al año 2015 en Chile.....	33
Tabla 7: Cuencas de la V región de Valparaíso.....	40
Tabla 8: Uso del agua de ríos en la cuenca del río Aconcagua.....	46
Tabla 9: Uso del agua de los esteros en la cuenca del río Aconcagua .....	46
Tabla 10: Principales características de las estaciones fluviométricas de la cuenca del río Aconcagua – Caudales .....	57
Tabla 11: Principales Características de las Estaciones Meteorológicas de la cuenca del río Aconcagua - Precipitaciones .....	72
Tabla 12: Fenómeno del Niño - Niña en años donde se presentan registros anómalos de Precipitaciones...72	
Tabla 13: Características Generales de las Imágenes Landsat procesadas.....	76
Tabla 14: Características radiométricas de las Imágenes Landsat procesadas.....	77
Tabla 15: Registro de los píxeles equivalentes a superficie de nieve .....	91
Tabla 16: Principales características de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Aconcagua - Temperatura .....	105
Tabla 178: Variedades de paltas: superficie plantada (ha) y representatividad dentro de la cuenca del río Aconcagua .....	118
Tabla 180: Destino de la producción informada en la V región de Valparaíso .....	129
Tabla 192: Acuerdos comerciales de Chile.....	151

## **Dedicatoria**

A mi papá, sé que siempre me acompañas y me guías, esta vez no fue la excepción.

A mi mamá, hermana y cuñado, familia y amigos, gracias por el inmenso apoyo, paciencia y comprensión por haberme ausentado durante esta maravillosa experiencia, en muchas ocasiones no compartí con ustedes momentos importantes por esta causa, pero les puedo decir que lo logré y volví a ustedes con grandes experiencias para compartir.

A Felipe por atreverte a tomar esta decisión junto a mí, por ser mi cómplice y cuidarme siempre, gracias, siempre recordaremos lo que hemos vivido en este hermoso viaje que disfrutamos juntos.

## **Agradecimientos**

A los Directores Ejecutivos del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) Eugenio González (2012–2015) y Juan Pablo López (2016-2018), por haberme permitido realizar esta Maestría facilitando las gestiones necesarias para llevarla a cabo, gracias por la confianza.

A Claudia Notarnicola, Tutora en la pasantía realizada en la Academia Europea (EURAC), por ofrecerme gentilmente tu experiencia y conocimientos.

A Abraham Aguilar y Antonio Padovano, grandiosos profesionales que conocí durante la pasantía, por su amistad y compañía.

A mis amigos Pamela, Diana y Andrés valiosas personas, por su amistad y compañía, disfrutamos grandes aventuras juntos, los quiero muchísimo.

A la camada que ingresamos ese agosto de 2013, inolvidables personalidades y culturas, por compartir sus vidas en estos años dentro y fuera de clases, los recordaré siempre.

A los profesores Mario, Gabriel, Sofía, Camilo, Romina, Carolina, Aureliano...y tantos otros que nos enseñaron, por sacar lo mejor de nosotros.

A Carmencita y Antonio, Alicia y Manuel, por brindarnos un hogar durante la estadía en Córdoba, junto a ustedes compartimos inolvidables momentos.

A Diego, por ser un Director paciente y dedicado, a Marcelo mi Codirector y profesor, agradecida por la forma de enseñar siempre atento a potenciar nuestras habilidades. A ambos gracias por la confianza y apoyo, los aprecio montón.

A todas las personas que conocí y compartí en el Instituto Gulich que de alguna u otra manera hicieron de esta una gran e inolvidable experiencia.

## Resumen

La agricultura cumple un rol fundamental en la economía mundial, ya que permite aplacar problemáticas tales como la desnutrición y el desempleo, pero ésta depende principalmente de la gestión que se tenga sobre el recurso hídrico disponible.

En la zona central de Chile se ubica la V región de Valparaíso, la cual se destaca a nivel nacional en la actividad agrícola por la exportación de paltas. Esta región se ha visto afectada por distintos eventos agroeconómicos (sequía, asentamientos urbanos, crisis económicas mundiales, etc.) desafiando la eficiencia del sistema productivo de esta especie frutícola.

Esta tesis pretende analizar el escenario productivo de la palta, el efecto de la escasez de agua, la variabilidad en la precipitación (nieve-lluvia) y la temperatura sobre la productividad, así como evaluar la capacidad adaptativa de los productores mediante cambios en la redistribución espacial de establecimientos productivos y cambios en la tecnología y la gestión del riego.

Mediante el uso de imágenes satelitales Landsat se relevó la cobertura superficial de nieve, observando relaciones entre la temperatura, el caudal de verano y la disponibilidad de agua para riego en los meses más críticos en la producción del palto. La superficie de nieve en 28 años mostró un comportamiento variable y las temperaturas mínimas y máximas en invierno no presentaron una tendencia clara, mientras que las temperaturas máximas tienden a aumentar, según lo registrado en algunas estaciones, para el mes de enero.

Desde un enfoque descriptivo los resultados sugieren que la cuenca del río Aconcagua está atravesando por un periodo de escasez hídrica desde el año 2007, aunque este evento es periódico. El impacto negativo provocado por la disminución de este recurso sobre el sistema productivo del palto se ha visto reflejado en los costos asociados para el productor, invirtiendo en tecnología para un riego eficiente, relocalizando las plantaciones en laderas para evitar la pérdida del fruto por las heladas y aumentando la densidad de paltos por hectáreas en detrimento de la superficie plantada.

Finalmente, se discuten sobre futuras líneas de investigación y la necesidad de implementar herramientas de análisis de serie temporal, entre otras.

## **Abstract**

Agriculture plays a fundamental role in the world economy, as it helps to alleviate problems such as malnutrition and unemployment, but this depends mainly on the management of available water resources.

The V region of Valparaíso is in the central zone of Chile, which stands out nationally in the agricultural activity for the export of avocados. This region has been affected by different agro-economic events (drought, urban settlements, global economic crises, etc.), challenging the efficiency of the productive system of this fruit species.

This thesis aims to analyze the productive scenario of the avocado, the effect of water scarcity, precipitation (snow-rain) and temperature variability on productivity, as well as to evaluate the adaptative capacity of producers through the changes in the spatial redistribution of productive establishments and changes in technology and irrigation management.

Using Landsat satellite images it was possible to survey the superficial snow cover, allowing observing relations with the summer flow and its relationship with the availability of water for irrigation in the most critical months in the production of the avocado. The surface of snow in 28 years showed a variable behavior and the minimum and maximum temperatures in winter did not show a clear trend, while the maximum temperatures tend to a slight rise for the month of January.

From a descriptive approach the results suggest that the Aconcagua river basin is going through a period of water scarcity since 2007, although this event is periodic. The negative impact caused by the reduction of this resource on the productive system of the avocado has been reflected in the associated costs for the producer, since it must invest in making irrigation more efficient by technifying the methods it uses, it must relocate plantations to hillsides to avoid the loss of fruit due to frost and to choose to increase the density of avocados per hectare instead of having a greater amount of planted area.

Finally, they discuss future lines of research and the need to implement time series analysis tools, among others.

## Acrónimos

**AAE** Acuerdo de Asociación Económica Estratégica

**AAP** Acuerdo de Alcance Parcial

**ACE** Acuerdo de Complementación Económica

**AIG** American International Group

**ALC** Acuerdo de Libre Comercio

**ALI** Advanced Land Imager

**AQUASTAT** Sistema de información global sobre el agua y la agricultura

**ASTER GDem** Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model

**BCCH** Banco Central de Chile

**BCN** Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

**CADE IDEPE** Ingeniería y Desarrollo de Proyectos, Ltda.

**CEPAL** Comisión Económica para América Latina y el Caribe

**CIREN** Centro de Información de Recursos Naturales

**CNID** Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo

**CNR** Comisión Nacional de Riego

**CODELCO** Corporación Nacional del Cobre

**CONAE** Comisión Nacional de Actividades Especiales

**CONAMA** Comisión Nacional del Medio Ambiente

**CORFO** Corporación de Fomento de la Producción

**CREA** Centro Regional de Estudios del Agua

**DEM** Digital Elevation Model

**DGA** Dirección General de Aguas

**DGAC** Dirección General de Aeronáutica Civil

**DN** Digital Number

**DIRECON** Dirección General de Relaciones Económicas

**DIRPLAN** Dirección de Planeamiento

**DMC** Dirección Meteorológica de Chile

**ENOS** Evaluación del riesgo de eventos

**EO-1** Earth Observing-1

**ESA** Agencia Espacial Europea

**ETM+** Enhanced Thematic Mapper Plus

**FAMAF** Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación

**FAO** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**FAOSTAT** Statistics Division Food and Agriculture Organization of the United Nations

**FEDEFruta** Federación de Productores de Frutas de Chile

**FONDART** Fondo Nacional para el Desarrollo Cultural y las Artes

**GCP** Ground Control Point

**GORE** Gobierno Regional

**GWP** Global Water Partnership

**IFRC** International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies

**IG** Instituto Gulich

**INE** Instituto Nacional de Estadísticas

**INIA** Instituto de Investigaciones Agropecuarias

**INRENA** Instituto Nacional de Recursos Naturales

**INTA** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

**IPCC** Intergovernmental Panel on Climate Change

**LDCM** Landsat Data Continuity Mission

**LANDSAT** Satélite de Observación de la Tierra

**MERCOSUR** Mercado Común del Sur

**MINAGRI** Ministerio de Agricultura

**MMA** Ministerio del Medio Ambiente

**MODAGRO** Modelo de Diagnóstico Agroecológico

**MODIS** Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

**MOP** Ministerio de Obras Públicas

**MSS** Multispectral Scanner

**NDSI** Normalized Difference Snow Index

**NASA** National Aeronautics and Space Administration

**NIR** Near Infrared

**ODEPA** Oficina de Estudios y Políticas Agrarias

**OECD** Organisation for Economic Co-operation and Development

**ONU** Organización de las Naciones Unidas

**PIB** Producto Interno Bruto

**ROI** Region of Interest

**SACH** Servicio Nacional de Aduanas

**SAMTAC** South American Technical Advisory Committee

**SECLAC** Secretaría de Planificación Comunal

**SERNAGEOMIN** Servicio Nacional de Geología y Minería

**SERNATUR** Servicio Nacional de Turismo

**SLC** Scan Line Corrector

**TIR** Thermal Infrared

**TLC** Tratado de Libre Comercio

**TM** Thematic Mapper

**UCLM** Universidad de Castilla-La Mancha

**UCPSI** Unidad de Coordinación Proyecto Subsectorial de Irrigación

**UNC** Universidad Nacional de Córdoba

**USGS** United States Geological Survey

**UTM** Universal Transverse Mercator

**VACEA** Vulnerabilidad y Adaptación a los Extremos Climáticos en las Américas

**WGS** World Geodetic System

# CAPÍTULO 1. Antecedentes generales

## 1.1 Descripción de capítulos

El siguiente trabajo de tesis consta de seis capítulos, cuyo contenido se describe a continuación:

### **Capítulo 1. Antecedentes generales.**

Se contextualiza el tema central relacionado con el impacto que tiene la disponibilidad de agua en la agricultura sugiriendo identificar y analizar otras variables influyentes en un sistema productivo. Se señala el tipo de estudio empleado, fundamentando la forma en que se aborda y desarrolla la investigación, el trabajo con los datos y los alcances esperados. Se presenta la problemática basada en el impacto que provoca la escasez de agua en la superficie frutícola de Chile, específicamente en el sistema productivo del palto, que es la principal plantación de la V región de Valparaíso. Por último, se plantean los desafíos a investigar para corroborar si efectivamente hay una disminución en la disponibilidad de agua y si es el principal y/o único factor que impacta negativamente al sistema productivo del palto.

### **Capítulo 2. Caracterización del Área de Estudio.**

En la primera parte de este capítulo se dan a conocer características generales de la V región de Valparaíso, para luego presentar el Área de Estudio correspondiente a la cuenca del río Aconcagua, señalando los principales aspectos relacionados con las plantaciones de paltos (localización, actividad económica, suelo, clima y red hidrográfica).

### **Capítulo 3. Caracterización hidrometeorológica de la cuenca del río Aconcagua, utilizando teledetección.**

Se indican las variables hidrometeorológicas que repercuten en la productividad de las paltas, tales como caudal, precipitaciones (lluvia y nieve) y temperatura. Aquí, se muestran por cada variable las estaciones (fluviométricas o meteorológicas) de donde se recopilan los datos, se ordenan, se representan mediante gráficos, se describen y analizan para finalmente realizar una conclusión parcial de los resultados obtenidos por cada uno de ellos. En el caso de la precipitación de nieve, se recurre a la teledetección para obtener datos de superficie de nieve, utilizando una metodología con imágenes satelitales para extraer esta cobertura en hectáreas.

### **Capítulo 4. El palto y su sistema productivo**

En la primera parte de este capítulo se dan a conocer las principales especies frutícolas plantadas en la V región de Valparaíso, los estados fenológicos de la palta, las variedades y las condiciones medioambientales que inciden en su cultivo (altitud, variables meteorológicas, plantación y suelo). Luego, se analizan los elementos presentes en su sistema productivo (superficie plantada, producción, productividad y manejo del riego). Estos datos son recopilados desde el catastro frutícola que realiza el Ministerio de Agricultura del gobierno de Chile, se ordenan, se representan mediante gráficos, se describen y analizan para finalmente realizar una conclusión parcial de los resultados obtenidos por cada uno de ellos.

### **Capítulo 5. Dinámica agroeconómica de la cuenca del río Aconcagua**

Se dan a conocer datos de factores presentes a través de los años y que inciden también en el sistema productivo de la palta, tales como ciclos de sequía, volumen total de agua dulce usada para producir un kilo de esta especie frutícola (huella hídrica), acuerdos comerciales, crecimiento económico de Chile, exportación de la palta, mercado interno, asentamientos urbanos y mineros. Estos datos son recopilados desde distintas fuentes, se ordenan, se representan mediante gráficos, se describen y analizan para finalmente realizar una conclusión parcial de los resultados obtenidos por cada uno de ellos.

### **Capítulo 6. Análisis de resultados**

En este capítulo se correlacionan los datos anteriormente trabajados para lograr entender que un sistema productivo se ve afectado no solo por la disponibilidad de agua, sino que, además depende de otros factores en mayor o menor medida, pero que a través de los años condiciona su eficiencia. Así, esta tesis identifica factores críticos y entrega como una de sus conclusiones que la gestión del riego que se tenga frente a la disponibilidad del agua establece considerablemente una diferencia que permitirá seguir produciendo y comercializando este producto.

## 1.2 Introducción

A nivel mundial, uno de los recursos más utilizados por el hombre es el agua y dependiendo de la zona geográfica en donde se encuentre, es como trata de administrarla para su desarrollo. Muchas veces los países se ven afectados en su progreso (alimentación, economía, salud, etc.) por no tener una adecuada gestión sobre el recurso hídrico, ya sea por falta de información o por políticas propias, lo que conlleva a que se desperdicie este insumo o no se aproveche de forma óptima.

Una de las áreas que se ve afectada directamente por la falta de agua es la agricultura, ya sea de secano (depende de las lluvias) o de regadío (depende de las técnicas de riego), debido a que diversos factores influyen en la disponibilidad de este recurso para los cultivos, como son la tecnificación del riego o la competencia por este recurso por otros actores territoriales, por ejemplo, la minería y/o la expansión demográfica.

La agricultura mundial se enfrenta a un enorme reto para los próximos 40 años: producir casi un 50% más alimentos hasta el año 2030 y duplicar la producción para el año 2050. Esto probablemente tendrá que ser logrado con menos agua, principalmente a causa de la presión de la creciente urbanización, industrialización y cambio climático. Por lo tanto, será importante en el futuro, que los agricultores reciban las señales correctas para aumentar la eficiencia en el uso del agua y mejorar la gestión de ésta para el uso agrícola, teniendo en cuenta que la agricultura es el principal consumidor en la mayoría de los países (*OECD, 2010*).

En Latinoamérica, en términos de proyecciones, la productividad de algunos cultivos relevantes disminuiría, y con ella, la productividad pecuaria, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. También los cambios en las precipitaciones y la desaparición de los glaciares afectarían notablemente la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico (*Pachauri et al., 2007*).

En Chile, un posible impacto lo puede presentar el sector silvoagropecuario, ya que se prevé un desplazamiento de los cultivos hacia el sur del país junto a una menor disponibilidad de agua para el riego en la zona central, generando cambios en la producción y en los ingresos netos, siendo negativos en las zonas norte y centro, y positivos en las zonas sur y austral, también es previsible efectos negativos no solo sobre la cantidad, sino que también sobre la calidad de los productos (*MMA, 2016*).

Los antecedentes recién expuestos enfatizan la relevancia que tiene el recurso hídrico en la agricultura y cómo ésta se ve afectada por la falta de agua, pero también se destaca la importancia de conocer otras variables que influyen en el sistema productivo de una determinada plantación (precipitación, temperatura, estabilidad económica del país, demanda del producto, expansión demográfica, etc.) para así poder identificar componentes vulnerables que merman esta actividad.

Esta tesis se enfocará en investigar el impacto hídrico en el sistema productivo del palto, ubicado en la cuenca del río Aconcagua, perteneciente a la V región de Valparaíso, zona central de Chile, utilizando datos de variables hidrometeorológicas y agroeconómicas con el fin de dar a conocer su evolución y asociación con otros componentes influyentes en su desarrollo, para así comprender cómo se ha podido enfrentar el estrés hídrico en esta región y aun así liderar el mercado nacional con la explotación de esta especie frutícola.

Mediante el procesamiento de imágenes satelitales se obtendrá datos de difícil acceso, como cobertura superficial de nieve en la cabecera de cuencas, la cual influye fuertemente en la hidrología de la cuenca. Además, se utilizará como herramienta de análisis la estadística descriptiva, con la cual se trabajarán los datos recopilados.

### 1.3 Tipo de estudio

El enfoque y los alcances de esta tesis están fundamentados en una Investigación Descriptiva, es decir, se realizará una recopilación de datos que describen los acontecimientos, para luego organizarlos, tabularlos, representarlos y describirlos (*Glass & Hopkins, 1984*), por lo tanto, se utilizará estadística descriptiva como una herramienta que ayude en la comprensión de la distribución de los datos que están en bruto mediante gráficos, tablas y análisis.

Uno de los objetivos es sintetizar los datos de cada una de las variables trabajadas y hacerlos más manejables para asociarlos entre ellos e identificar patrones.

En numerosas ocasiones se desconoce que para tomar una decisión acertada frente a una problemática existente se deben identificar todas las variables influyentes, analizarlas dentro de un rango de tiempo y correlacionarlas para poder entregar un resultado lo más cercano a la realidad posible.

Muchos estudios de investigación requieren la descripción de los fenómenos naturales o provocados por el hombre, tales como su forma, estructura, actividad, el cambio con el tiempo, la relación con otros fenómenos, y así sucesivamente. La descripción a menudo ilumina conocimientos que de otra forma no podría notar o incluso encontrar. Varios descubrimientos científicos importantes, así como información antropológica sobre eventos fuera de nuestras experiencias comunes son el resultado de tales descripciones. Los métodos de recogida de datos para la investigación descriptiva se pueden emplear solos o en diversas combinaciones, dependiendo de las preguntas de investigación a la mano. La investigación descriptiva a menudo insta a diseños de investigación de tipo cuasiexperimental (*Campbell & Stanley, 1963*).

Los datos de las variables consideradas como influyentes serán descritos, correlacionados y analizados con el objeto de visualizar su comportamiento a través de los años y obtener una perspectiva global de cómo cada una de ellas ha influido en el sistema productivo de esta especie frutícola emblemática, la cual cumple un rol determinante en la economía regional y nacional.

## 1.4 Problemática

A nivel global, la agricultura cumple un rol fundamental debido a la necesidad de producir alimentos suficientes para dar respuesta a la demanda actual y futura. Mundialmente existen unos 842 millones de personas subalimentadas y en América Latina y el Caribe se estima que alrededor del 7,9% de la población, es decir, unos 47 millones de personas padecen hambre (FAO, 2014).

Para alcanzar a cumplir dichas demandas, la producción de alimentos necesita intensificarse, con la consecuente presión sobre el recurso hídrico, ya que el agua es un factor fundamental para poder desarrollar distintas actividades relacionadas con la alimentación, como, por ejemplo, la agricultura. Se estima que la agricultura es el mayor usuario de agua dulce, usando un promedio global del 70% de todos los suministros hídricos superficiales (Siebert S. et al., 2010).

En Chile, la disponibilidad de agua es uno de los mayores problemas que limita el desarrollo económico, siendo éste un país minero y agrícola. La agricultura, está concentrada entre la IV región de Coquimbo y la X región de Los Lagos, cubriendo la mayor parte del territorio nacional con 270.000 agricultores que trabajan 30,45 millones de hectáreas, el 40% de la superficie continental. Chile, ha manifestado el propósito de incrementar la productividad del sector agrícola para convertirse en una potencia internacional proveedora de alimentos. Por otra parte, ***es importante tener una agricultura sustentable ya que las exportaciones provenientes de recursos naturales son finitas y será necesario, en algún futuro, reemplazarlos por exportaciones provenientes de la agricultura y la industria*** (CNID, 2016).

Dentro del contexto de la productividad, cabe señalar que la superficie frutícola en Chile alcanza a 294.000 ha, entre la III región de Atacama y la X región de Los Lagos. El sector produce cerca de 5 millones de toneladas de fruta, de las cuales se exportan 2,6 millones como fruta fresca, generando más de USD 4.000 millones anualmente (ODEPA, 2017).

La industria frutícola chilena ha llegado a ser líder y se ha mantenido como mayor exportador de frutas frescas del hemisferio sur, siendo líder mundial como exportador de uva de mesa y arándanos, segundo mayor exportador mundial de paltas y tercer mayor exportador mundial de cerezas, ciruelas y kiwis (ODEPA, 2012), ver gráfico 1.

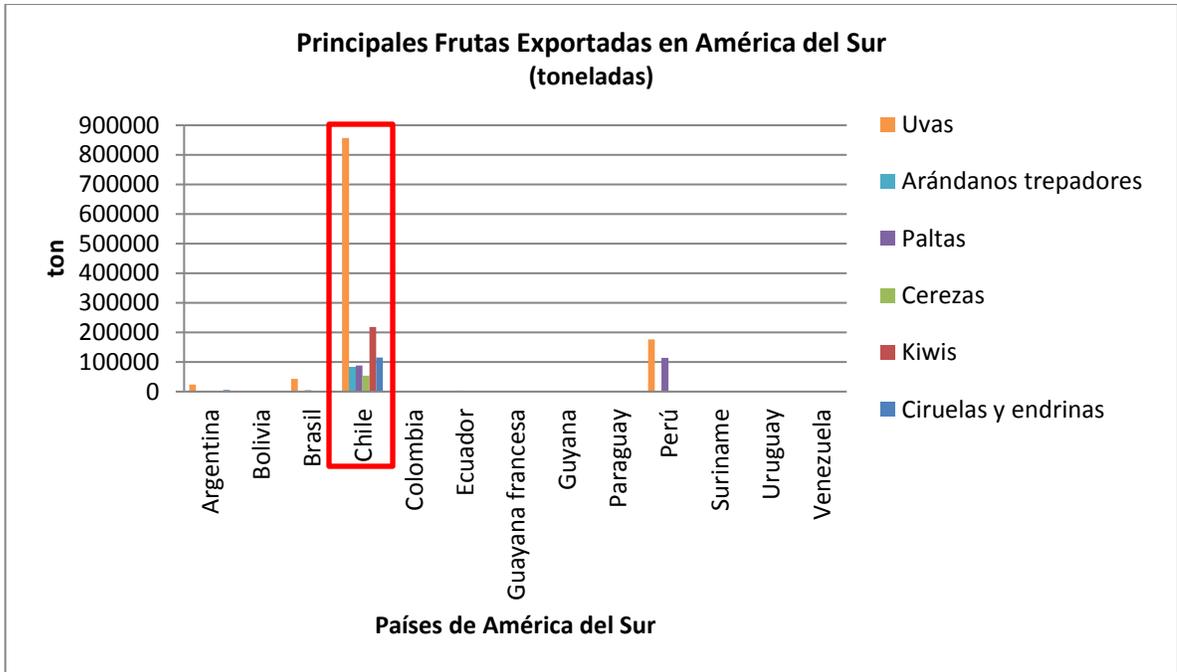


Gráfico 1: Principales frutas exportadas en América del Sur  
Fuente: elaboración propia.

Haciendo el símil con las mismas frutas señaladas anteriormente en el panorama de América del Sur, **los frutales destacados en la V región de Valparaíso son los paltos y la vid de mesa**, en relación con otras regiones del país, ver gráfico 2.

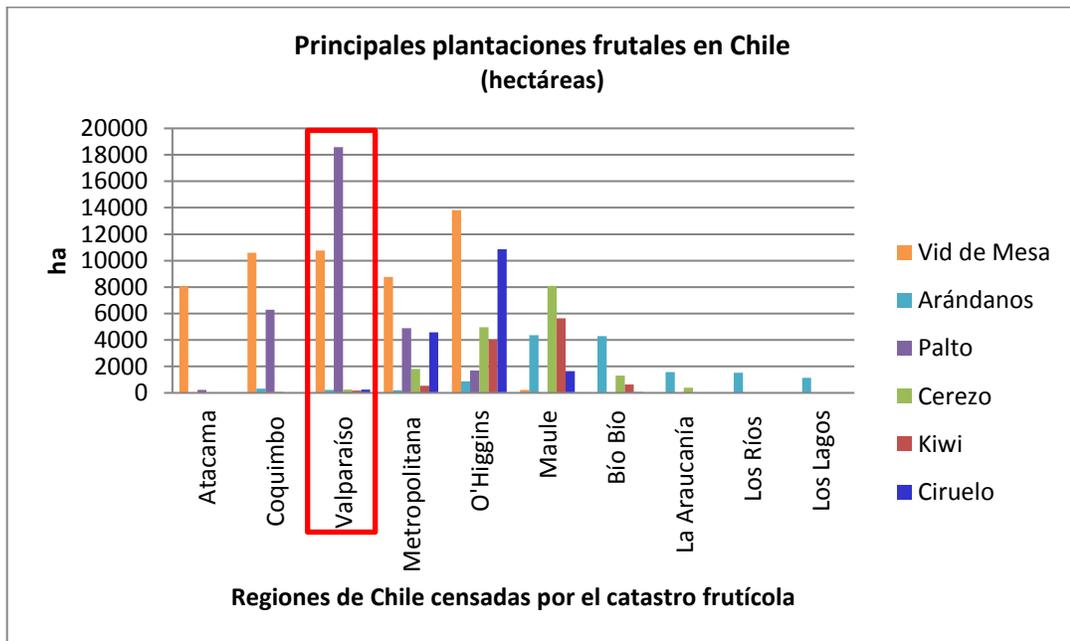


Gráfico 2: Principales plantaciones frutales en Chile  
Fuente: elaboración propia.

Específicamente en la V región de Valparaíso, la superficie de frutales es la más relevante, siguiendo en importancia productiva las hortalizas y luego las viñas, presentando una superficie agrícola de 1.114.926 ha, de las cuales 86.157 ha se encuentran bajo riego, y con riego tecnificado 50.140 ha, lo que constituye un 58% de tecnificación en el riego, lo que sitúa a esta región como una de las más tecnificadas en este parámetro (GORE Valparaíso, 2015).

Tal como se indicó anteriormente, la V región de Valparaíso está situada en la zona central del país en la que hay una menor disponibilidad de agua para el riego y donde se prevé el traslado de la agricultura hacia el sur, considerando estos factores y la importancia que tiene la palta para la región, se hace necesario estudiar la mayor cantidad de variables que podrían arriesgar su producción para ello se opta por la cuenca del río Aconcagua, la cual posee prolíferos valles aptos para plantar esta especie frutícola.

La cuenca del río Aconcagua, y tal cómo se verá más adelante es considerada como la principal de la región por su contribución a la economía regional, ya que sus aguas posibilitan la localización de asentamientos urbanos, mineros y el desarrollo de diversas actividades agrícolas.

En la cuenca se estudiarán variables hidrometeorológicas las que se complementarán con datos agroeconómicos, de uso del suelo, entre otros, los que serán analizados en un período de tiempo, según disponibilidad de datos, para conocer y entender la evolución del sistema productivo del palto, la interacción que ha tenido la superficie plantada con los demás actores de su entorno y las medidas tomadas para afrontar el estrés hídrico. Estar al tanto del comportamiento de los antecedentes recopilados a través de los años permite evaluar la problemática de forma global y plantear medidas que se puedan considerar al respecto.

Existen dos conceptos utilizados y reconocidos a nivel mundial que son importantes de conocer y diferenciar: Escasez de Agua y Estrés Hídrico (Steduto et al., 2012).

### 1.4.1 Escasez hídrica

Es la brecha entre el suministro disponible y la demanda expresada de agua dulce en un área determinada, bajo las disposiciones institucionales (incluyendo la “fijación del precio” del recurso y los costes acordados para el consumidor) y las condiciones de infraestructura existentes.

***Escasez de agua = un exceso de demanda de agua para el suministro disponible***

La escasez se pone de manifiesto por una demanda insatisfecha, tensiones entre usuarios, competencia por el agua, sobreexplotación de agua subterránea y flujos insuficientes al entorno natural.

Se considera que las muchas combinaciones posibles de causas de escasez de agua están siempre relacionadas con la interferencia humana en el ciclo del agua. La escasez de agua es fundamentalmente dinámica y varía con el tiempo como resultado de la variabilidad hidrológica natural, pero cambia aún más en función de los modelos de política económica, planificación y gestión del momento y de la capacidad de las sociedades para anticipar cambios en los niveles de suministro o demanda. La escasez puede resultar de políticas poco previsoras, como la asignación de demasiadas licencias de uso en una acometida, o la expansión excesiva de áreas de regadío con agua gratis o muy barata para los agricultores.

El problema empeora con la demanda creciente por parte de los usuarios, con la calidad y disponibilidad menguante del recurso. La escasez de agua puede deberse a situaciones en las que, habiendo suficiente agua, pero no hay disposiciones legales o institucionales para mejorar el acceso, o no existen las infraestructuras necesarias o éstas no son funcionales. Si se identifican correctamente, muchas de las causas de la escasez de agua se pueden predecir, evitar y/o mitigar.

#### 1.4.1.1 Indicador de escasez hídrica

Existe un indicador reconocido a nivel mundial de **agua renovable per cápita** que utiliza valores umbral de 500, 1.000 y 1.700 m<sup>3</sup>/persona/año para distinguir entre distintos niveles de estrés hídrico. Según este criterio, **se considera que un país o una región se enfrentan a un cierto nivel de estrés hídrico dependiendo de los valores de los recursos hídricos renovables**, ver tabla 1:

Agua dulce renovable anual (m <sup>3</sup> /pers.año)	Nivel de estrés hídrico
< 500	Escasez absoluta de agua
500 – 1 000	Escasez crónica de agua
1 000 – 1 700	Estrés hídrico
> 1 700	Estrés hídrico localizado u ocasional

Tabla 1: Indicador de Escasez Hídrica

Fuente: Falkenmark & Widstrand, 1992; ONU-Agua, 2006.

Esta sencilla aproximación a la medida de la escasez de agua se basa fundamentalmente en estimaciones del número de personas que puede vivir razonablemente con una determinada unidad de recursos hídricos (Falkenmark, 1984).

AQUASTAT de la FAO, considera como base este indicador porque se puede calcular fácilmente para cada país y para cada año con los datos disponibles sobre recursos hídricos y población, pero en una versión más actual donde amplía sus rangos a seis categorías en vez de cuatro, ver figura 1.

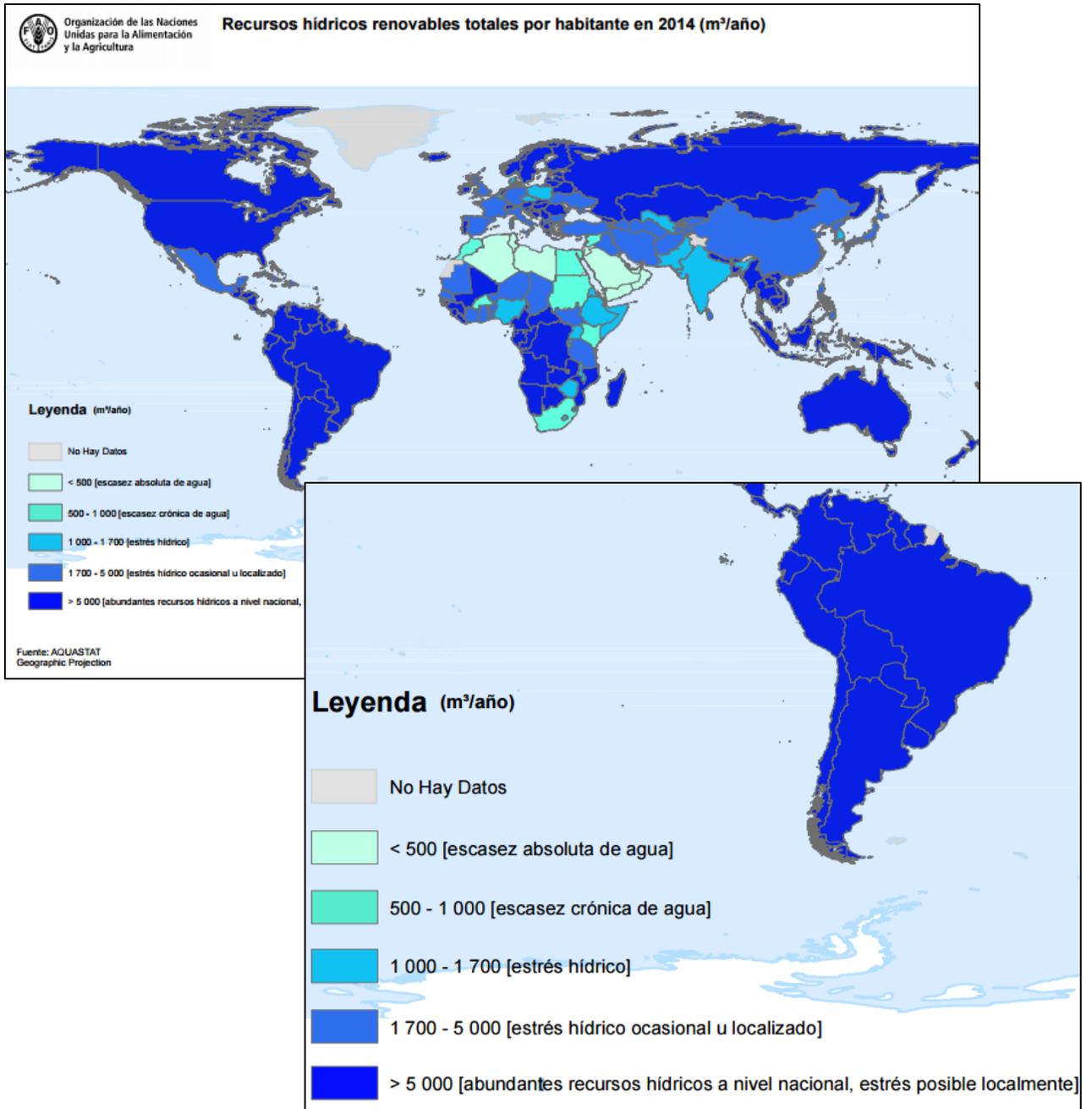


Figura 1: Recursos hídricos renovables totales por habitante en 2014 a nivel Mundial (m<sup>3</sup>/año)

Fuente: FAO - AQUASTAT, 2015

A **nivel Sudamericano** el valor representativo es mayor a 5.000 m<sup>3</sup>/hab/año, ver figura 1. Esto significa que **existen abundantes recursos hídricos a nivel nacional, estrés posible localmente**.

Para **Chile**, se registra que los recursos hídricos renovables totales per cápita equivalen a 51.432 m<sup>3</sup>/hab/año, ver tabla 2.

Esto representa que *el nivel de estrés hídrico es localizado u ocasional*.

<b>Recursos hídricos renovables totales per cápita (m<sup>3</sup>/hab/año)</b>	Latest value(s)
<b>Chile</b>	51.432K(2014)
<b>Símbolo de la Base de Datos Principal AQUASTAT</b>	
K Valor agregado, puede corresponderse con la unión de dos o más fuentes.	

Tabla 2: Recursos hídricos totales per cápita en Chile (m<sup>3</sup>/hab/año)

Fuente: FAO - AQUASTAT, 2014.

En la **V región de Valparaíso**, los recursos hídricos renovables totales per cápita tienden a acercarse al rango de los 500 y 1.000 m<sup>3</sup>/año/hab para un período de 25 años, ver tabla 3.

Esto indica que *el nivel de estrés hídrico estará reflejado en una escasez crónica de agua para el año 2025*.

Región	Disponibilidad de recursos renovables de agua per cápita *		
	[m <sup>3</sup> /año/hab]		
	2000	2005	2025
I	1.280	1.190	929
II	311	293	240
III	656	608	468
IV	2.452	2.295	1.841
V	1.224	1.161	983
RM	730	682	544
VI	8.759	8.247	6.779
VII	27.589	26.521	23.773
VIII	27.116	25.814	22.206
IX	37.551	35.764	30.814
X	153.150	145.743	125.274
XI	3.362.822	3.143.550	2.508.208
XII	2.023.658	1.955.320	1.795.419
TOTAL PAIS	60.977	57.482	47.449

Tabla 3: Recursos hídricos renovables totales per cápita a nivel regional (m<sup>3</sup>/año/hab)

Fuente: Brown E. & Saldivia J., 2000.

\* Corresponde al Indicador de Falkenmark

Los valores registrados en la V región de Valparaíso son característicos de la **zona norte y centro del país**, zonas áridas y semiáridas respectivamente, localizadas al norte de la XIII región Metropolitana de Santiago, cuya disponibilidad de agua alcanza los 800 m<sup>3</sup>/año/hab, ver gráfico 3.

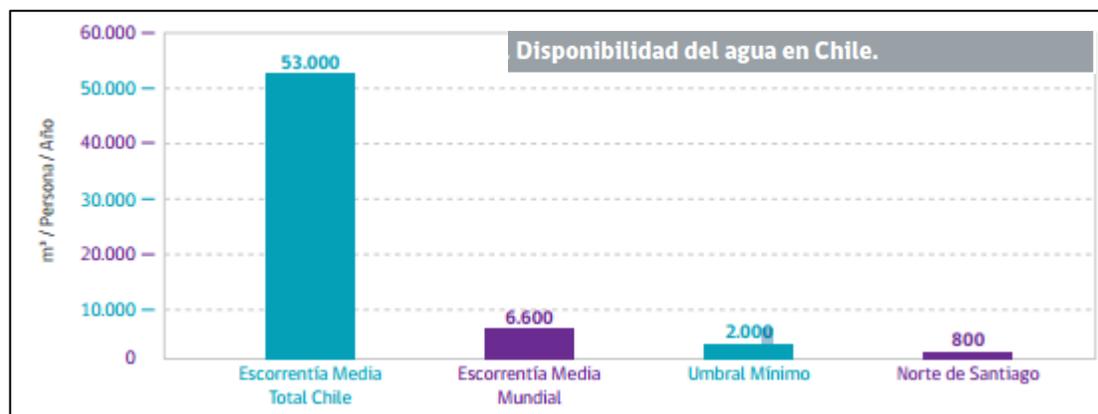


Gráfico 3: Disponibilidad del agua en Chile  
Fuente: Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015.

Se debe considerar que aunque esta medida tiene ciertas ventajas, simplifica demasiado la situación hídrica de países concretos, ignorando los factores locales que determinan el acceso al agua, así como la viabilidad de ciertas soluciones en distintos lugares. No puede tener en cuenta las condiciones climáticas del momento, la variabilidad estacional e interanual de los recursos hídricos; las regulaciones existentes; los problemas de acceso al agua, los derechos del agua y la exclusión social; la competición entre sectores; la posibilidad de reciclar el agua o de aprovechar recursos hídricos no convencionales; y las necesidades hídricas medioambientales, que varían de una región a otra (*Molle & Mollinga, 2003*). Los valores medios a nivel nacional tampoco tienen mucho significado, sobre todo para países grandes con mucha variabilidad entre regiones.

Es por ello, que en esta tesis se analizará la situación hídrica del Área de Estudio considerando datos de variables hidrometeorológicas y agroeconómicas que permitan conocer cómo los sistemas productivos del palto han enfrentado el estrés hídrico presentes en esta región.

## 1.4.2 Estrés hídrico

Son los síntomas de la escasez o desabastecimiento de agua, por ejemplo, aumento de la competencia y de los conflictos entre usuarios, empeoramiento de la calidad y fiabilidad del servicio, pérdida de cosechas e inseguridad alimentaria. Este término se usa para describir una gran variedad de circunstancias y causas.

### ¿Qué sucede en Chile con el recurso hídrico y la agricultura?

Chile, se divide político-administrativamente en 15 regiones, destacándose cada una de ellas por una actividad económica principal que desarrolla de acuerdo con los recursos naturales que posee y la mano de obra con la que cuenta. A nivel nacional, la actividad minera y agrícola son las principales.

A nivel nacional se usan 4.710 m<sup>3</sup>/s de agua al año, de éstos el 89% corresponde a usos no consuntivos (el agua que se utiliza es devuelta posteriormente al medio del cual ha sido extraída, aunque no al mismo lugar); la hidroelectricidad efectúa el mayor uso no consuntivo del recurso hídrico. El 11% restante corresponde a usos consuntivos (el agua, una vez usada, no se devuelve al medio donde se ha captado, ni de la misma manera que se ha extraído). El sector agrícola es el principal usuario de agua con extracciones de un 73% para la agricultura de riego, el sector industrial con un 12%, seguido del sector minero con un 9% y por último el sector sanitario con un 6% correspondiente al agua potable, transporte y tratamiento de las aguas residuales generadas por la población, ver gráfico 4:

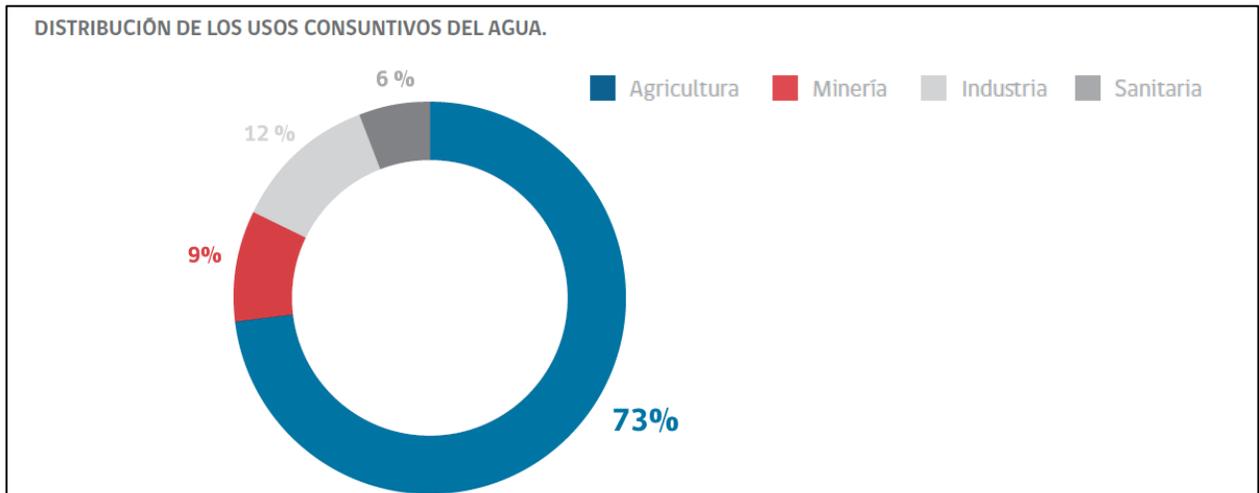


Gráfico 4: Distribución de los usos consuntivos del agua en Chile

Fuente: Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015.

A nivel nacional, la oferta y la demanda de agua sobre los recursos hídricos se presenta de manera desigual, ver gráfico 5.

- Desde la XIII región Metropolitana de Santiago hacia el norte, las extracciones superan el caudal disponible, situación que se evidencia particularmente en la III región de Atacama y IV región de Coquimbo.
- Entre la VI región del Libertador General Bernardo O'Higgins y IX región de La Araucanía la relación extracción y disponibilidad es favorable.
- De la X región de Los Lagos al sur, la disponibilidad de agua supera ampliamente el uso.

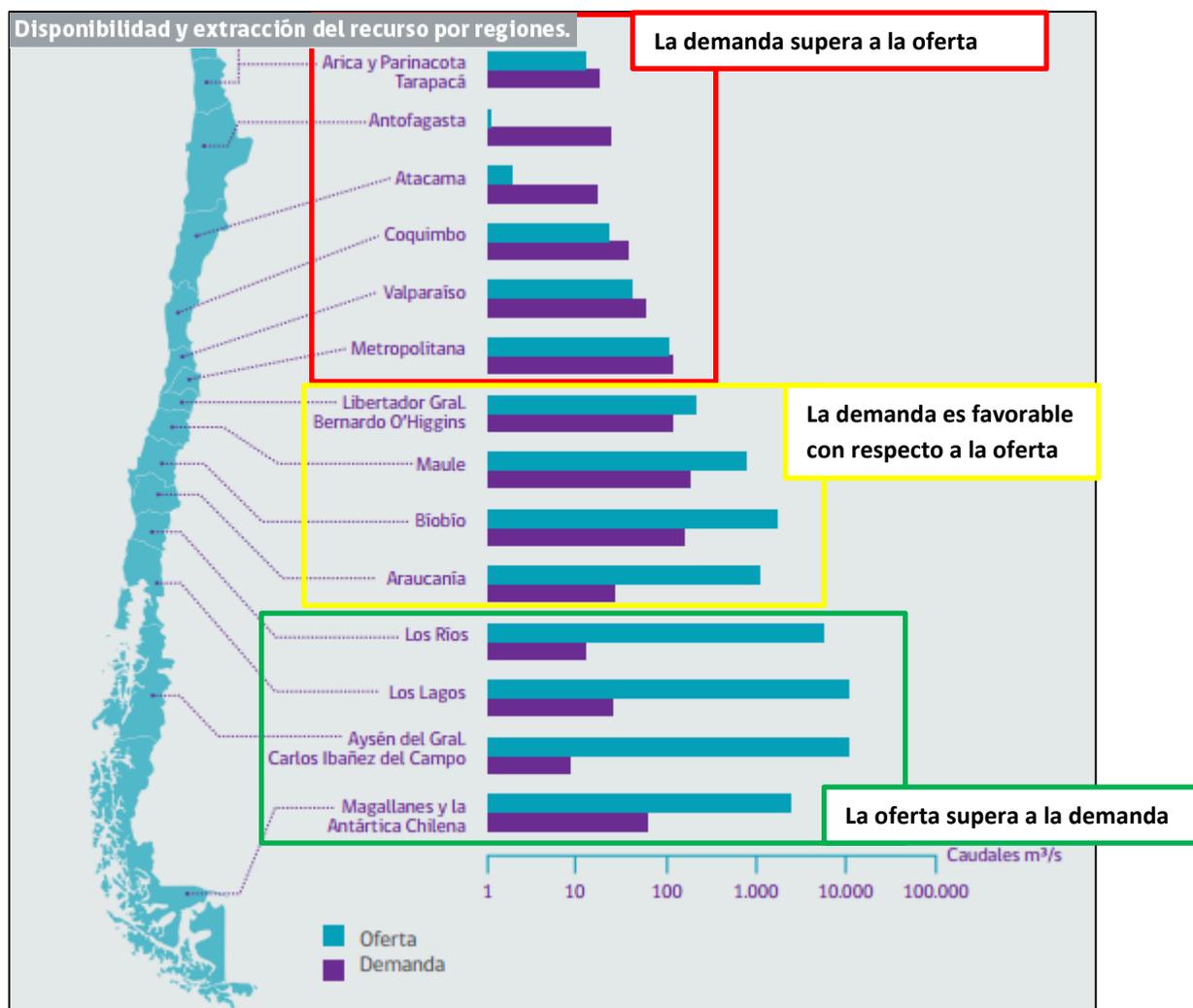


Gráfico 5: Oferta y demanda de agua en Chile  
Fuente: Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015.

Es importante advertir que se trata de “disponibilidad técnica” (relación con la existencia física y debidamente comprobada del recurso), y no de “disponibilidad jurídica” (no existencia de prohibiciones legales o derechos previos sobre el recurso) del recurso agua.

## 1.5 Hipótesis

Existe una disminución del recurso hídrico en la cuenca del río Aconcagua, el cual, es el principal factor que ha provocado un impacto negativo en el sistema productivo del palto.

## 1.6 Objetivos

### 1.6.1 Objetivo general

- Verificar si existe una disminución del recurso hídrico en la cuenca del río Aconcagua, evaluando mediciones de caudal.

### 1.6.2 Objetivos específicos

- Identificar variables medioambientales (hidrometeorológicas y agroeconómicas) consideradas como influyentes en el sistema productivo del palto.
- Usar estadística descriptiva para comprender la distribución de los datos, asociados a estas variables mediante gráficos, tablas y análisis.
- Usar técnicas de teledetección para obtener datos de difícil acceso debido a su ubicación geográfica (superficie de nieve caída).
- Relacionar las distintas variables trabajadas para analizar la correspondencia entre ellas.

## CAPÍTULO 2. Caracterización del Área de Estudio

### 2.1 Características generales de la V región de Valparaíso

Chile, tiene un total de 15 regiones localizadas a lo largo del país, abarcando en toda su extensión territorio continental, insular y antártico. Cada una de estas regiones divide al territorio chileno político-administrativamente, por lo tanto, son similares a otras delimitaciones empleadas en otros países, tales como provincias o estados. Cada una de estas regiones, está denominada por un número romano seguida de un nombre, pero este número romano no es correlativo, es decir, no tiene relación con la ubicación geográfica dentro del país, por ejemplo, la XV región de Arica y Parinacota, es geográficamente la primera región de Chile y no la última como se podría pensar por su número romano. Si bien es cierto, esto puede ser confuso, se debe a que a través de los años se ha ido subdividiendo el territorio nacional, creando nuevas regiones, lo que ha generado esta distorsión entre la lógica de la numeración y la localización geográfica de cada región.

La V región de Valparaíso, está ubicada en la zona central de Chile, situada en territorio tanto continental como insular, pero en este trabajo de tesis sólo se abordará la parte continental, específicamente el análisis estará enfocado en la cuenca del río Aconcagua, es decir, se excluyen la Isla de Pascua, Salas y Gómez, San Félix, San Ambrosio y el Archipiélago Juan Fernández (compuesto por las islas Alejandro Selkirk, Robinson Crusoe y Santa Clara).

Antes de precisar las características del área de estudio correspondiente a la cuenca del río Aconcagua abordadas en este capítulo (*apartado 2.2, Definición del Área de Estudio*), se presentan las características generales de la región a la cual pertenece.

#### 2.1.1 Emplazamiento

La localización geográfica de la V región de Valparaíso, en lo que respecta a su parte continental, está ubicada entre los 32° 02' y 33° 57' latitud sur y entre los 70°00' y 72°00' longitud oeste. Al norte delimita con la IV región de Coquimbo; al sur con la XIII región Metropolitana de Santiago y la VI región del Libertador General Bernardo O'Higgins; al este con la República de Argentina; y al oeste con el Océano Pacífico.

Administrativamente, la V región de Valparaíso se encuentra dividida en ocho provincias y 38 comunas, siendo su capital regional, la ciudad de Valparaíso, ver figura 2 y tabla 4.

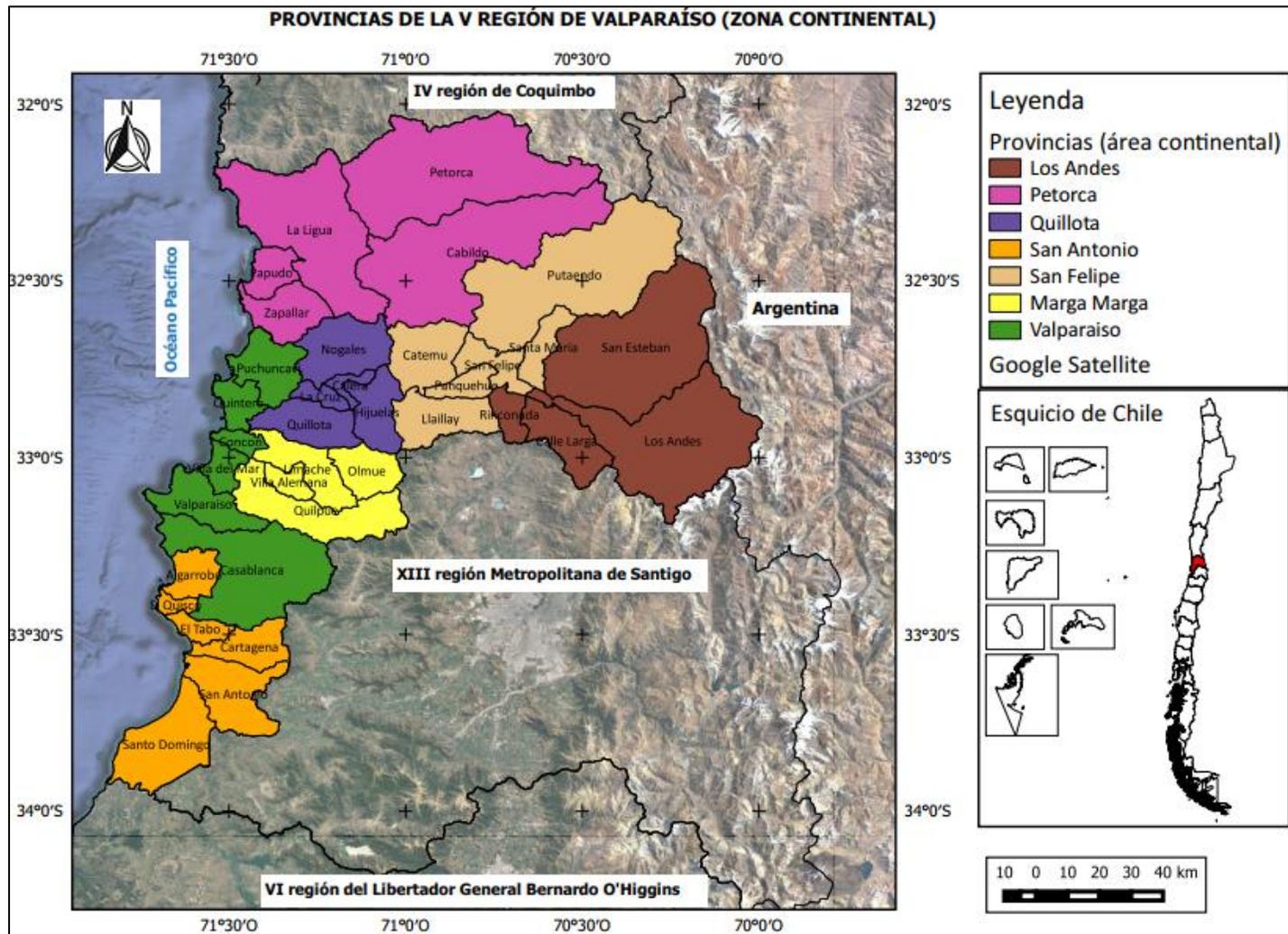


Figura 2: Provincias de la V región de Valparaíso (zona continental).

Fuente: elaboración propia.

**Provincias de la V región de Valparaíso:**

<p><b>1.- provincia Los Andes</b>  Capital: Los Andes  1. Los Andes  2. Calle Larga  3. Rinconada  4. San Esteban</p>	<p><b>2.- provincia Petorca</b>  Capital: La Ligua  1. La Ligua  2. Cabildo  3. Papudo  4. Petorca  5. Zapallar</p>
<p><b>3.- provincia Quillota</b>  Capital: Quillota  1. Quillota  2. La Calera  3. Hijuelas  4. La Cruz  6. Nogales</p>	<p><b>4.- provincia San Antonio</b>  Capital: San Antonio  1. San Antonio  2. Algarrobo  3. Cartagena  4. El Quisco  5. El Tabo  6. Santo Domingo</p>
<p><b>5.- provincia San Felipe de Aconcagua</b>  Capital: San Felipe  1. San Felipe  2. Catemu  3. Llaillay  4. Panquehue  5. Putaendo  6. Santa María</p>	<p><b>6.- provincia Marga Marga</b>  Capital: Quilpué  1. Quilpué  2. Limache  3. Olmué  4. Villa Alemana</p>
<p><b>7.- provincia Valparaíso</b>  Capital: Valparaíso  1. Valparaíso  2. Casablanca  3. Concón  4. Juan Fernández  5. Puchuncaví  7. Quintero  9. Viña del Mar</p>	<p><b>8.- provincia Isla de Pascua</b>  Capital: Hanga Roa  1. Isla de Pascua</p> <p><b>Esta provincia no está contemplada en la figura 2, ya este trabajo de tesis sólo abarca el área continental</b></p>

**Tabla 4: Provincias de la V región de Valparaíso**

Fuente: elaboración propia.

## 2.1.2 Superficie y Población

La V región de Valparaíso tiene una superficie total de 16.396,1 Km<sup>2</sup>, la que representa a nivel nacional un 2,2%; ésta contempla territorio tanto continental como insular, siendo la superficie continental equivalente a 16.129,07 Km<sup>2</sup>, ver tabla 5.

V región de Valparaíso	Superficie (Km <sup>2</sup> )
<b>Isla de Pascua</b>	<b>163,6</b>
<b>Archipiélago de Juan Fernández</b>	<b>99,68</b>
Isla Robinson Crusoe	47,94
Isla Alejandro Selkirk	49,52
Isla Santa Clara	2,22
<b>Islas Desventuradas</b>	<b>3,6</b>
Isla San Ambrosio	2,2
Isla San Félix	1,4
<b>Isla Salas y Gómez</b>	<b>0,15</b>
<b>TOTAL, SUPERFICIE INSULAR</b>	<b>267,03</b>
<b>SUPERFICIE CONTINENTAL</b>	<b>16.129,07</b>
<b>TOTAL, SUPERFICIE REGIONAL</b>	<b>16.396,10</b>

Tabla 5: Superficie de la V región de Valparaíso

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a su población, la V región de Valparaíso es la tercera región más habitada del país, alcanzando una cifra para el año 2015 de 1.825.757 habitantes, de los cuales 929.037 corresponde a mujeres y 896.720 a hombres, siendo su densidad de población equivalente a 111 hab/Km<sup>2</sup> y representa el 10% de la población total del país, ver tabla 6.

Región	Población	% Nacional
I	336.769	2
II	622.640	3
III	312.486	2
IV	771.085	4
<b>V</b>	<b>1.825.757</b>	<b>10</b>
VI	918.751	5
VII	1.042.989	6
VIII	2.114.286	12
IX	989.798	5
X	841.123	5
XI	108.328	1
XII	164.661	1
XIII	7.314.176	41
XIV	401.548	2
XV	239.126	1
<b>Total</b>	<b>18.003.523</b>	<b>100</b>

Tabla 6: Población estimada al año 2015 en Chile

Fuente: elaboración propia.

Para visualizar de mejor forma la distribución de la población de manera porcentual por grupos de edad, se divide la cantidad total de población en rangos etarios, ver gráfico 6.

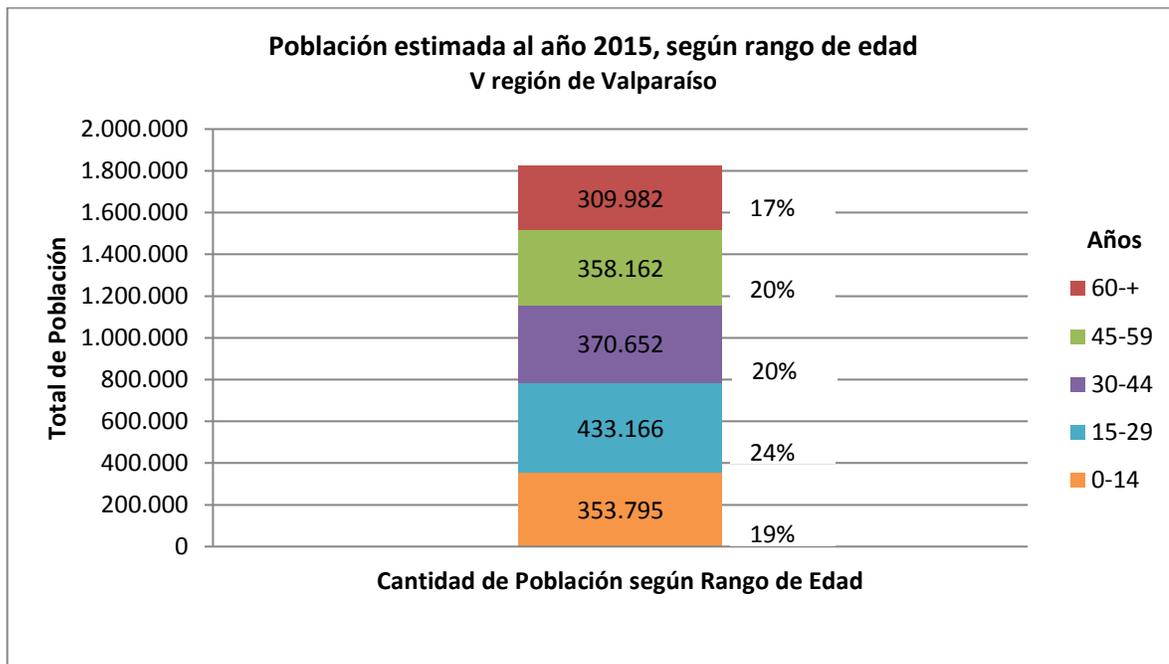


Gráfico 6: Población estimada al año 2015 según rango de edad, V región de Valparaíso

Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos, se puede destacar que el mayor porcentaje de población se encuentra entre los 15 y 29 años representado por un 24%, la población de 0 y 14 años equivale a un 19% y la población entre 60 y más años alcanza un 17%, este rango a nivel nacional alcanza un 14%, por lo tanto, la V región de Valparaíso supera el promedio nacional de población envejecida, esta cifra es característica a nivel nacional, donde el censo revela que Chile es el tercer país más envejecido de Latinoamérica (después de Cuba y Uruguay) (INE, 2007).

### 2.1.3 Economía

La V región de Valparaíso desarrolla una gran variedad de actividades económicas, tales como industriales, marítimo-portuarias, turísticas, agrícolas, mineras, universitarias y científico-tecnológicas, lo que ha permitido una estabilidad y un progreso importante dentro del país. La región se ha proyectado como una potencia agroalimentaria, universitaria y cultural, contribuyendo enormemente a la calidad de vida de su población (GORE Valparaíso, 2015).

Chile, utiliza un indicador que compara el nivel de bienestar que tienen distintos países llamado PIB. En principio, aquellos que tienen un PIB más elevado gozan de mayor bienestar, ya que poseen más bienes y servicios. Sin embargo, para medir con mayor precisión el bienestar de un país hay que relacionar el PIB con su población y otros indicadores de bienestar (INE, 2012).

Este indicador llevado a nivel nacional permite identificar en qué situación se encuentra cada región del país, situando a la V región de Valparaíso en el tercer lugar, después de la XIII región Metropolitana de Santiago y la II región de Antofagasta, ver gráfico 7.

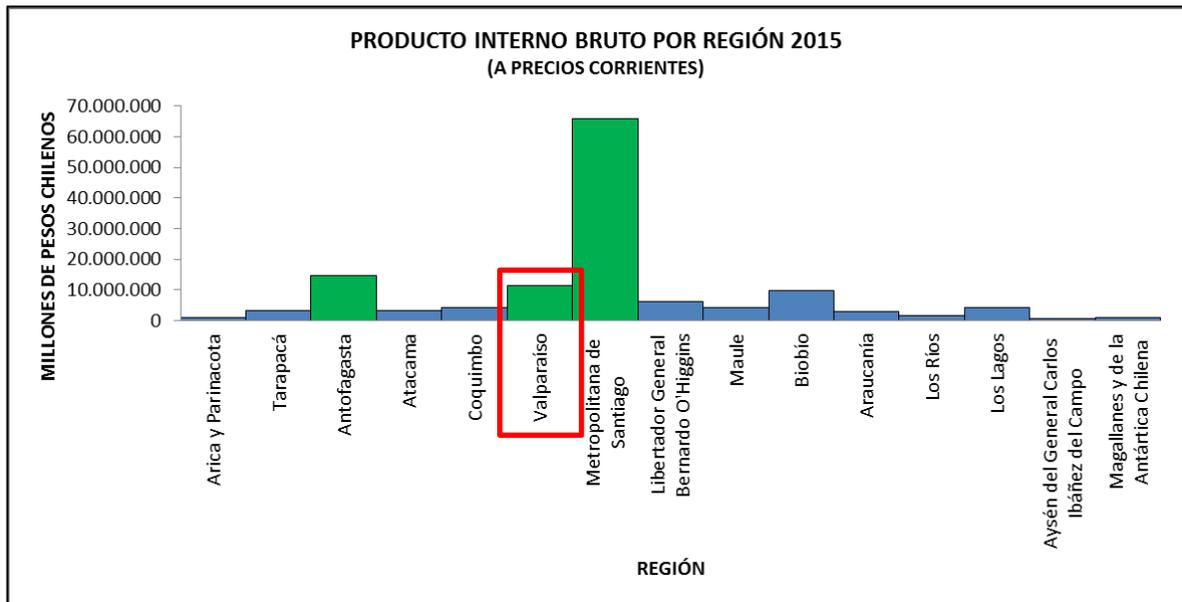


Gráfico 7: PIB por región 2015

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.4 Biogeografía

La V región de Valparaíso presenta seis áreas biogeográficas (MOP, 2012; FONDART, 2014; CONAMA, 2008), ver figura 3.

- Estepa Andina dispersa (abierto): comienza a partir de los 2.500 msnm, su vegetación es baja y adaptada a condiciones climáticas extremas, siendo las plantas más comunes, las *gramíneas* y en sectores más húmedos las *vegas de altura*.
- Matorral Andino: se encuentra entre los 2.500 y los 1.500 msnm, son especies arbustivas tales como la *llaretilla*, *olivillo*, *quinchamalés*, *guindillo*, entre otros.
- Bosque esclerófilo: presente hasta los 1.500 msnm en la Cordillera de la Costa y de Los Andes con árboles que se desarrollan en un clima de características mediterráneas (inviernos lluviosos y veranos secos), está compuesto por una gran variedad de especies, tales como *quillay*, *peumo*, *litre*, *maitén*, *boldo*, *arrayán*, entre otros.
- Policultivo, ganadería y forestación: presente en los Valles Transversales, es un modelo agroforestal que consiste en sistemas que combinan masa arbórea con la agricultura y/o ganadería en un mismo predio, con diferentes dimensiones de distribución espacial y temporal de cada una de las actividades productivas.
- Espinal o estepa de Acacia Caven: presente en la Depresión Intermedia, puede encontrarse pura o asociada a otras especies arbóreas o hierbas anuales exóticas. Este tipo de vegetación se ha ido transformando en suelos agrícolas y urbanos.
- Estepa Costera sub árida: presente en las planicies costeras antepuesta a la Cordillera de la Costa, de aspecto enmarañado de cubierta primaveral herbácea muy rica, siendo frecuente las *cactáceas* y las *bromeliáceas*.

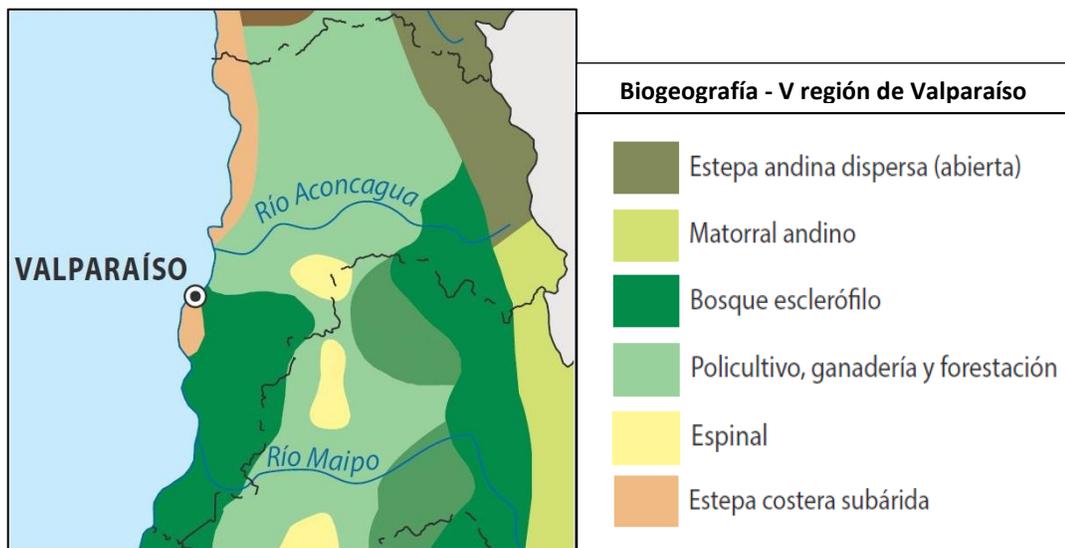


Figura 3: Biogeografía de la V región de Valparaíso

Fuente: INE, 2014.

## 2.1.5 Relieve

La V región de Valparaíso tiene cuatro unidades de relieve (BCN, 2016), ver figura 4.

- Cordillera de los Andes: se presenta como un gran macizo que va aproximadamente entre los 5.000 y los 6.000 msnm, es aquí, en la alta cordillera donde se almacena la nieve que nutre a los ríos en temporadas estivales, uno de los más importantes y factor de estudio en esta tesis es el río Aconcagua. Al norte, conforma una sola unidad con la Cordillera de la Costa, ya que están unidas a los cordones transversales.
- Depresión Intermedia o Valles Transversales: se presenta con un relieve llano, donde se pueden distinguir tres valles transversales relacionados con los ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua.
- Cordillera de la Costa: se presenta alta, cercana a los 2.000 msnm, aquí nacen hoyas hidrográficas menores que desembocan en el mar independientemente de los sistemas hidrográficos andinos.
- Farellón Costero y/o Planicie Fluviomarina: se presenta en forma de terrazas escalonadas de hasta cuatro niveles; la línea costera es mixta, la cual va alternando entre sectores con extensas playas en donde su nivel más bajo se encuentra cubierto por dunas; sectores de acantilados de entre 20 a 100 m y sectores altos llegando a los 140 msnm hacia el Este, lo que permite zonas aptas para la instalación de ciudades.

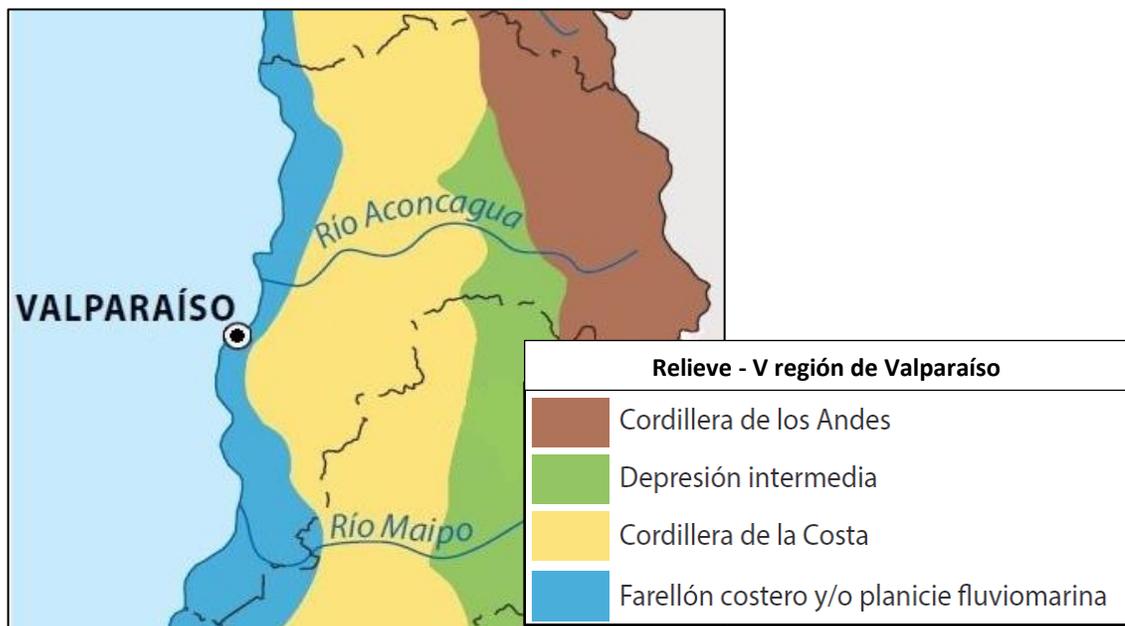


Figura 4: Relieve de la V región de Valparaíso

Fuente: INE, 2014.

## 2.1.6 Clima

En términos generales, la V región de Valparaíso presenta un clima templado mediterráneo, pero con algunas variaciones. Hacia el norte del río Aconcagua se presentan zonas semiáridas; en el litoral es más húmedo o mediterráneo costero, y hacia la Cordillera es mucho más frío a medida que aumenta la altura (*SERNATUR, 2015*).

Según la clasificación de Koppen, y de manera más específica en el ámbito regional continental, es factible distinguir seis tipos de climas, ver figura 5.

- Tundra por efecto de la altura (ETH).
- Templado frío con lluvias invernales (Csc).
- Templado cálido con lluvias invernales (Csb).
- Semiárido templado con lluvias Invernales (BSks).
- Semiárido con nieblas abundantes (BSn).
- Templado cálido con lluvias invernales y gran humedad atmosférica (Csbn).



Figura 5: Climas de la V región de Valparaíso

Fuente: INE, 2014.

## 2.1.7 Hidrografía

La V región de Valparaíso presenta numerosos cursos de agua, esto se debe principalmente a su relieve y precipitaciones (BCN, 2010), destacándose los siguientes:

- Ríos:
  - Petorca, régimen pluvial.
  - La Ligua, régimen pluvial.
  - Aconcagua, régimen nivo-pluvial.
  - Maipo, régimen nivo-pluvial.
- Embalses:
  - Los Aromos y Lliu Lliu, en la provincia de Marga Marga.
  - La laguna de Catapilco, en la provincia de Petorca.
  - Cerrillos de Leyda y Las Mercedes, en la provincia de San Antonio.
  - Lo Orozco, Lo Ovalle, Los Perales de Tapihue, Pitana y Purísima, en la provincia de Valparaíso.
- Laguna del Inca o Portillo, en la provincia de Los Andes.
- Lago Peñuelas, en la provincia de Valparaíso.

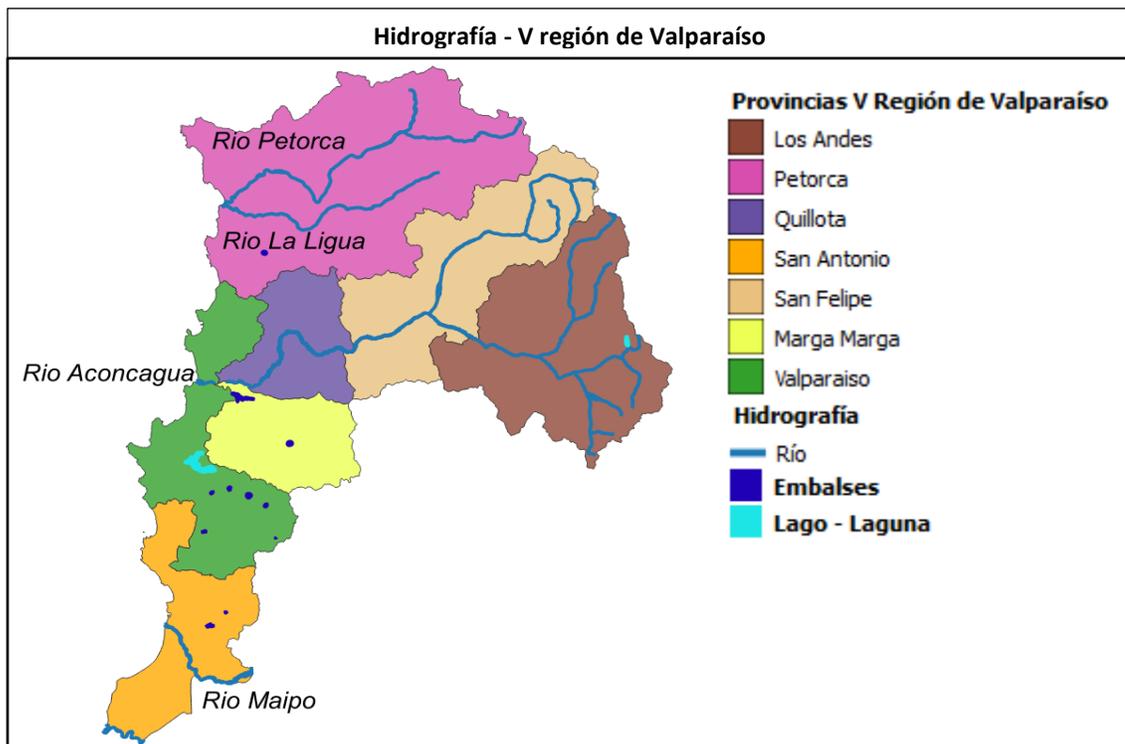


Figura 6: Hidrografía de la V región de Valparaíso

Fuente: elaboración propia.

Además, dentro de la región se emplazan ocho cuencas hidrográficas, ver tabla 7.

Nombre Cuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	Condición y Origen del Drenaje	Régimen Hidrológico	Principales Afluentes	Principales Cuerpos de Agua
río Petorca	1.985,71	Exorreica, pre andina	Pluvial	río Pedernal, río El Sobrante, estero Las Palmas	
Costeras río Quilimarí - Petorca	322,54	Exorreica, Cordillera de la Costa	Pluvial	estero Los Molles, estero El Pangal, estero Guaquén	
río Ligua	1.981,55	Exorreica, pre andina	Pluvial	estero Alicahue, estero Los Ángeles, estero La Patagua	
río Aconcagua	7.338,72	Exorreica, andina	Pluvial - Nival	río Putaendo, río Colorado, río Juncal, río Blanco, estero Limache	laguna Del Inca o Portillo
Costeras río Ligua - río Aconcagua	843,29	Exorreica, Cordillera de la Costa	Pluvial	estero Las Salinas, estero Catapilco, estero Puchuncaví	
río Maipo	15.303,62	Exorreica, andina	Pluvial - Nival	estero Puangue (en región de Valparaíso)	
Costeras río Aconcagua - río Maipo	2.322,36	Exorreica, Cordillera de la Costa	Pluvial	estero Viña del Mar, estero El Sauce, estero Casablanca, estero San Jerónimo, estero Cartagena	lago Peñuelas
Costeras río Maipo - río Rapel	1.152,32	Exorreica, Cordillera de la Costa	Pluvial	estero Yali, estero Maitenlahue	

Tabla 7: Cuencas de la V región de Valparaíso.

Fuente: MOP, 2012.

## 2.2 Definición del Área de Estudio

Las plantaciones de paltos se encuentran en toda la V región de Valparaíso, distribuidas en las distintas cuencas hidrográficas, siendo la cuenca del río Aconcagua la que contiene una mayor superficie plantada, ver figura 7.

El conocimiento que se tiene acerca de la distribución de las plantaciones de paltos y sus características tiene su origen a partir del año 1996, gracias al primer catastro frutícola realizado en la V región de Valparaíso, cuyos datos son recopilados entre CIREN y ODEPA cada seis años a partir de la fecha señalada, siendo la última colección de datos la del año 2014.

La cuenca del río Aconcagua es la más importante de la V región de Valparaíso, constituyéndose un soporte para los principales asentamientos productivos y de servicios, destacándose por la gran diversidad de usos de agua en las distintas actividades económicas (*MOP, 2012*). Además, tiene gran relevancia económica a nivel regional, porque gran parte del PIB recae en las actividades agropecuarias e industriales que se realizan en torno al curso medio e inferior del río. Por lo tanto, la disponibilidad de agua es un aspecto esencial para planificar el desarrollo económico regional en términos de sustentabilidad, en especial si se considera que la demanda para riego, industria, minería y uso doméstico supera los 500 millones de m<sup>3</sup> de agua al año (*Martínez C. et al., 2012*).

Todas las variables estudiadas para establecer la relación que existe entre ellas y el sistema productivo del palto se realizarán al interior de la cuenca del río Aconcagua, la cual, es el área de estudio que se ha definido en base a lo recién expuesto.

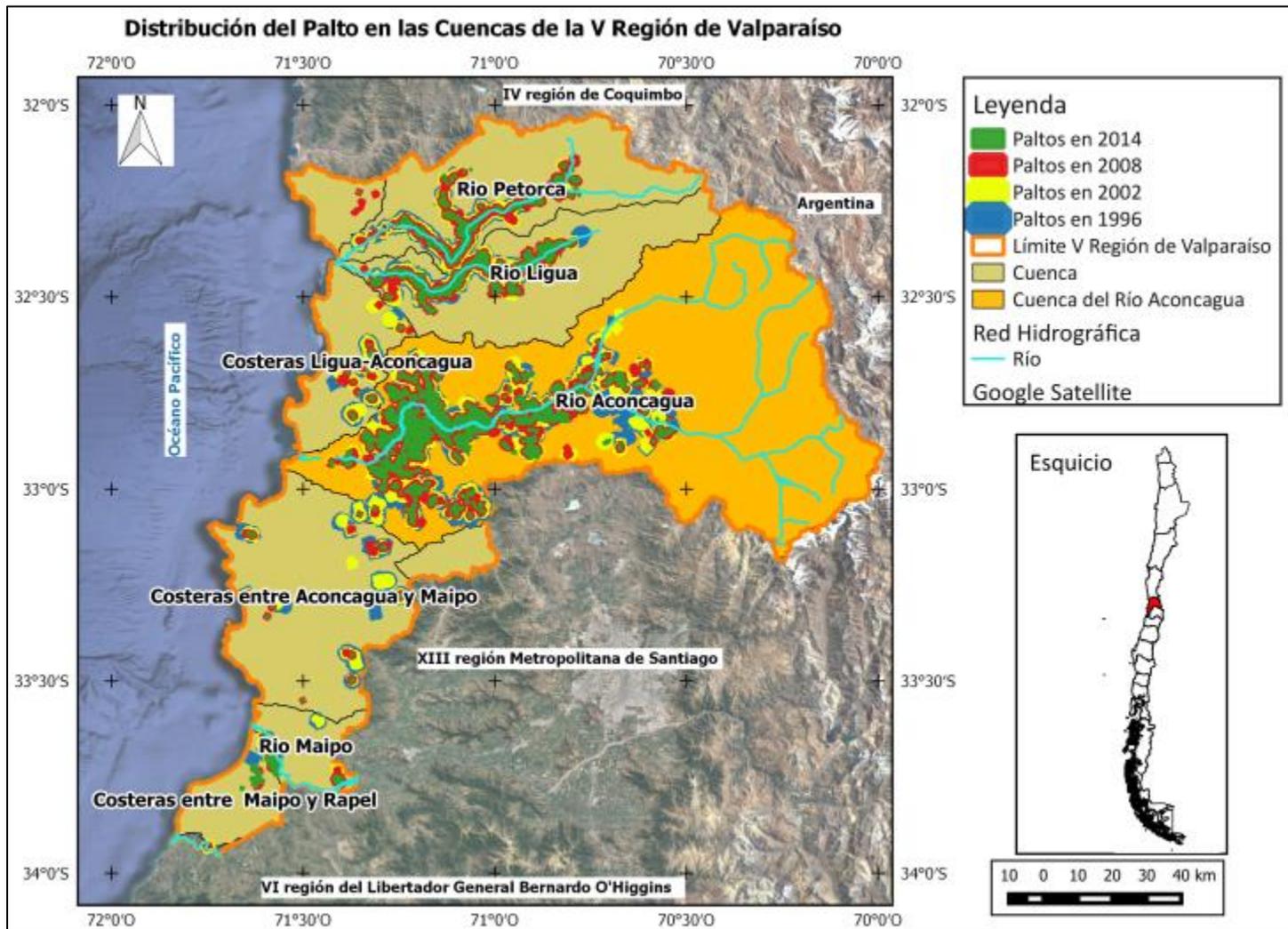


Figura 7: Distribución de paltos en las cuencas de la V región de Valparaíso  
Fuente: elaboración propia.

## 2.2.1 Cuenca del río Aconcagua

Esta cuenca es la segunda más extensa de la V región de Valparaíso, ya que posee un área de 7.338,72 Km<sup>2</sup>, quien la antecede, es la cuenca del río Maipo, con un área de 15.303,62 Km<sup>2</sup>, pero únicamente está presente en una pequeña parte al suroeste, por lo tanto, no es una cuenca representativa de la región, ver figura 7.

### 2.2.1.1 Ubicación y Superficie

Se ubica en el centro de la región, específicamente entre los 32° 20' y 33° 07' latitud sur y entre los 71° 31' y 70° 00' longitud oeste, ver figura 7.

Incluye secciones de cinco provincias, tales como Los Andes, San Felipe, Quillota, Marga Marga y Valparaíso, abarcando un total de 20 comunas, ver figura 2.

El área que abarca equivale al 45% de la superficie regional y tal como su nombre lo indica, el río principal que drena sus aguas es el río Aconcagua, cuya superficie aproximada de 7.340 Km<sup>2</sup>, éste recorre una distancia cercana a los 142 Km de cordillera a mar comenzando en el empalme con el río Blanco hasta su desembocadura al Océano Pacífico en la Bahía de Concón.

### 2.2.1.2 Actividades económicas

En la cuenca se desarrolla todo tipo de actividades, en las que se utiliza el agua como insumo principal, lo cual incide directamente en la economía y el progreso regional, ya que aproximadamente el 44% de la V región de Valparaíso utiliza este recurso. Entre las actividades económicas destacan las siguientes:

- Agricultura: caracterizada por la plantación de cereales y chacras.
- Minería: se destaca la explotación de cobre, molibdeno y caliza.
- Industria: sobresale la diversidad con actividades tales como industria de alimentos, conserveras, productos químicos industriales y frigoríficos relacionados con la conservación de todo tipo de carnes (MOP-DGA et al., 2004).

Estas actividades económicas se distribuyen de acuerdo a las características geográficas presentes, es decir, en el sector de la desembocadura del río Aconcagua se encuentran los asentamientos humanos con actividades turísticas, pesqueras e industriales; en el sector medio se encuentran los principalmente asentamientos humanos con actividades agrícolas y en el sector donde se encuentra la cabecera del río Aconcagua se tiene las actividades mineras (la cual genera gran cantidad de descargas líquidas) (MOP, 2012). Además, se desarrollan actividades económicas tales como forestales, ganaderas y domésticas (agua potable, energía eléctrica).

Las características específicas donde se emplaza la cuenca del río Aconcagua que permiten gestionar la agricultura local son el suelo y el clima (MOP-DGA et al., 2004).

### 2.2.1.3 Suelo

#### Uso del Suelo:

- Praderas.
- Terrenos Agrícolas y Agricultura de Riego.
- Plantaciones Forestales.
- Áreas Urbanas e Industriales.
- Minería Industrial.
- Bosque Nativo y Bosque Mixto.
- Áreas sin Vegetación.
- Otros Usos.

#### Tipo de Suelo:

- Alfisoles: presentes en sectores costeros, son suelos compuestos por roca granítica, presentando un fuerte incremento del contenido de arcilla en profundidad.
- Inceptisoles: situados preferentemente en la costa, son suelos derivados de terrazas marinas altas y de relieve plano a ligeramente inclinado, de colores pardo-rojizos.
- Mollisoles: ubicados en el valle central, son suelos aluviales, donde se desarrolla la mayor parte de la agricultura de riego.

### 2.2.1.4 Clima

- Templado de tipo Mediterráneo con estación seca: la estación seca es prolongada de septiembre a enero, en invierno la temperatura mínima es de 0 °C, la temperatura media anual de 15,2 °C y la temperatura máxima alcanza los 27 °C durante el día. En el sector costero la temperatura oscila en los 14 °C.
- Frío de altura en la Cordillera de Los Andes: este tipo de clima está presente sobre los 3.000 msnm, aquí las temperaturas son bajas y las precipitaciones se solidifican permitiendo la acumulación de nieve, la cual es permanente en las cumbres y quebradas en la alta cordillera.

Ambos tipos de clima presentan una mayor cantidad de precipitaciones en la estación de invierno (junio, julio y agosto), donde las cifras anuales fluctúan entre los 467 mm en lo alto de la cuenca, 261 mm en el centro de la cuenca y en la costa estos valores se aproximan a los 395 mm.

### 2.2.1.5 Red Hidrográfica

El régimen hidrológico de la cuenca del río Aconcagua es mixto, es decir, recibe alimentación del derretimiento de las nieves y de los aportes de las lluvias, siendo su régimen nivo-pluvial:

- Nival: se aprecia en la parte media y en la alta cordillera en la cuenca, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera (septiembre, octubre y noviembre) producto de los deshielos cordilleranos.
- Pluvial: presente en la parte baja de la cuenca, con crecidas del caudal asociadas directamente con las precipitaciones en los meses de invierno (junio, julio y agosto) (DGA, 2004).

En cuanto a su condición y origen del drenaje la cuenca del río Aconcagua es de tipo exorreica, es decir, sus afluentes desembocan en un curso principal, que en este caso corresponde al río Aconcagua. Los principales cuerpos de agua presentes en esta cuenca son ríos y esteros, pero además existen embalses y lagunas que también cumplen un importante rol dentro de la cuenca, ver figura 8.

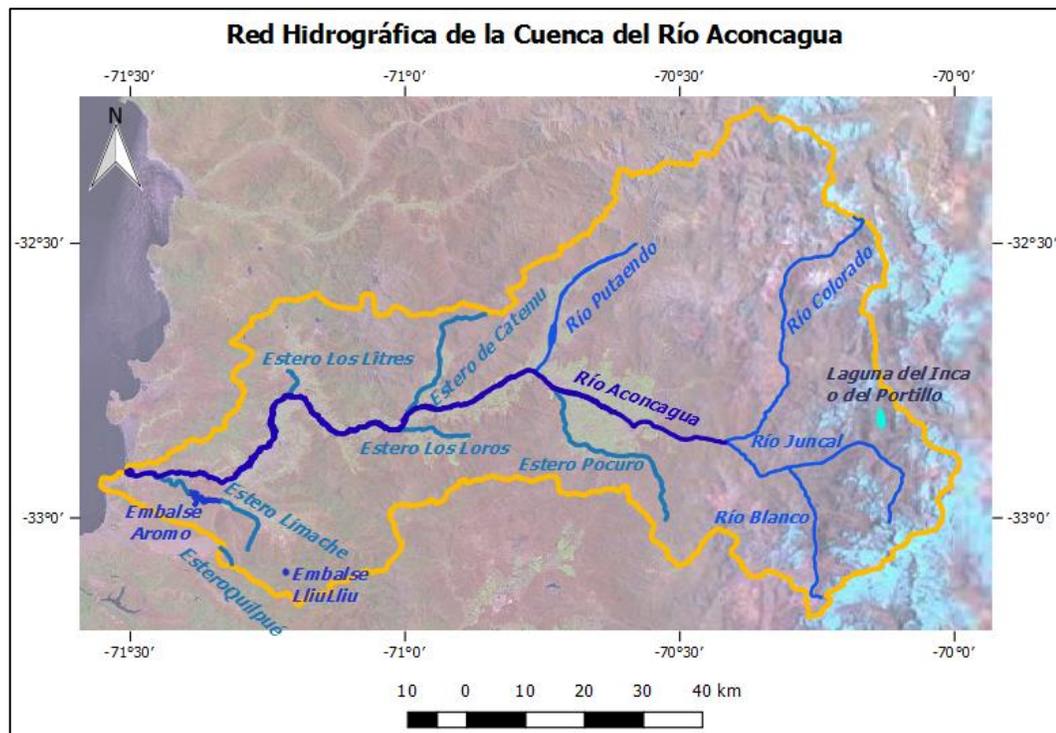


Figura 8: Red hidrográfica de la cuenca del río Aconcagua

Fuente: elaboración propia.

**Ríos:**

Nombre del río	Riego	Hidroelectricidad	Captación Agua Potable	Actividad Industrial	Actividad Minera	Biodiversidad
Aconcagua	X	X		X		X
Blanco	X	X		X	X	X
Colorado	X	X				
Juncal		X				
Putando				X		

Tabla 8: Uso del agua de ríos en la cuenca del río Aconcagua

Fuente: DGA, MOP, 2004.

**Esteros:**

Nombre del estero	Riego	Hidroelectricidad	Captación Agua Potable	Actividad Industrial	Actividad Minera	Biodiversidad
Catemu	X					
Limache	X					
Los Litres	X					
Los Loros	X					
Pocuro	X					
Quilpué						

Tabla 9: Uso del agua de los esteros en la cuenca del río Aconcagua

Fuente: DGA, MOP, 2004.

**Lagunas:**

- Laguna del Inca o Portillo.

**Embalses:**

- Los Aromos.
- Lliu Lliu.

## 2.3 Discusión

En el valle central del centro sur de Chile existe una gran demanda de recursos hídricos por parte de las actividades económicas, como también por las demandas de una mejor calidad del ambiente. La agricultura es una de las principales actividades económicas de la zona, la cual requiere asegurar la disponibilidad de recursos con una planificación y gestión adecuada, en especial para escenarios hidro-meteorológicos que se alejan de las condiciones normales o medias (Zúñiga et al., 2012).

La V región de Valparaíso, ubicada en la zona central de Chile presenta una transición en relieve y clima, donde se pasa de un semiárido o estepárico cálido a templado de tipo mediterráneo, su vegetación es variada debido a la mayor presencia de humedad y de un relieve que permite el desarrollo de sistemas hidrográficos de tipo andinos y costeros, destacándose los ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua y la desembocadura del río Maipo, en el extremo meridional de la región (DGA, 2007).

El río Aconcagua es el principal afluente de la cuenca del río Aconcagua, área de estudio de esta tesis. La cuenca, es la zona hídrica más importante de la V región de Valparaíso, constituyéndose en el soporte para los principales asentamientos humanos, procesos productivos y de servicios. Adicionalmente, se destaca por la gran diversidad de usos del agua, ya sea en la minería, agroindustria, hidroelectricidad y agricultura, entre otros. Tal diversidad ha derivado en la diferenciación de la gestión a través de los diversos afluentes en función de las presiones a los que estos cuerpos de agua van siendo sometidos espacial y temporalmente (MOP, 2012).

El río Aconcagua cumple un rol fundamental en el uso del agua para la agricultura dentro de la cuenca, ya que se utiliza principalmente como fuente de canales de regadío en huertos frutales (cítricos y paltos principalmente) y hortalizas (CNR, 2015).

## CAPÍTULO 3. Caracterización hidrometeorológica de la cuenca del río Aconcagua utilizando teledetección

### 3.1 Introducción

Distintas variables están presentes en el sistema productivo del palto, cuyo comportamiento a través del tiempo han repercutido en la productividad de esta especie frutícola, por lo que es necesario identificarlas, relacionarlas y analizarlas. En este apartado se abordarán principalmente las variables relacionadas con la disponibilidad del agua, tales como:

- Caudal.
- Precipitaciones (Lluvia-nieve).
- Temperatura.

El río Aconcagua, principal curso hídrico de la V región de Valparaíso, se caracteriza por presentar grandes fluctuaciones, lo que se traduce en crecidas del caudal en primavera producto de los deshielos cordilleranos; y en invierno producto de las lluvias. Esto evidencia su régimen mixto. Gran parte de los elementos que intervienen en las precipitaciones se entienden por la distribución de estas, a medida que aumenta la altura aumentan tanto las precipitaciones como la temperatura (MOP, 2012).

#### Intervalo de tiempo en estudio

Los registros de las distintas variables a trabajar serán analizados en un intervalo de tiempo, según disponibilidad de los datos. En cada variable se realiza un análisis preliminar donde se especifica en una tabla el nombre de la estación, la altitud, el período y la cantidad de años abordados.

Las características climáticas que posee la cuenca del río Aconcagua (*apartado 2.2.1.4, Clima*), permite conocer los registros normales tanto de temperatura como de precipitación, por lo tanto, dentro del período estudiado se espera detectar anomalías, si las hubiera.

En relación con los requerimientos hídricos del palto, se puede señalar que cerca del 80% del consumo de agua se presenta entre los meses de octubre y marzo; entre los meses de junio, julio y agosto la demanda de agua está cubierta en parte en por las lluvias, por lo tanto, **las estaciones a considerar, para ser evaluadas, son: verano donde las plantaciones dependen de la gestión del riego e invierno, donde las plantaciones se riegan por la lluvia caída**, ver gráfico 8.

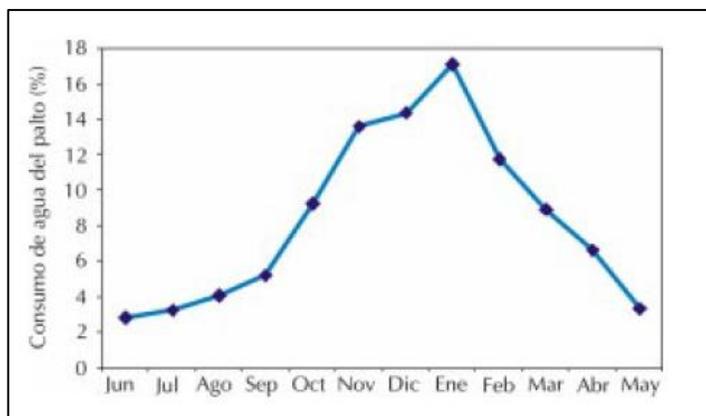


Gráfico 8: Distribución del consumo de agua del palto en porcentaje para los diferentes meses del año. Valle de Aconcagua  
Fuente: Ferreyra E., 2007

### Uso de la Teledetección

Una de las variables a analizar es la precipitación de nieve, ya que es la reserva natural de agua que posee la cuenca, se almacena en la cordillera durante el invierno y partir de la primavera la surte producto de los deshielos.

Muchas veces obtener datos relacionados con el monitoreo de superficie de nieve caída tanto de invierno como de verano a través de los años, es difícil de conseguir, ya que son registros que involucran altos costos, sobre todo si se trata de observaciones en campo, como por ejemplo de nivómetros, debido a la topografía del lugar y las condiciones meteorológicas extremas.

La teledetección, es una ciencia que principalmente pretende descubrir y observar qué pasa en la superficie de la Tierra, es un modo de obtener información acerca de objetos tomando y analizando datos sin que los instrumentos empleados para adquirir los datos estén en contacto directo con el objeto, siendo muy importante comprender los distintos datos proporcionados por los sensores para poderlos interpretar correctamente (ESA, 2009).

Por lo tanto, en esta tesis se opta por utilizar imágenes satelitales: procesar y obtener como resultado datos de superficie de nieve para analizarlas junto a las demás variables medidas en estaciones meteorológicas y fluviométricas.

## **Estadística empleada**

Para conocer el comportamiento de las variables hidrometeorológicas relacionadas con el caudal, la precipitación lluvia-nieve y la temperatura a través de los años, se opta por graficar los registros obtenidos según disponibilidad de datos.

En cada una de las variables a analizar se trata de identificar desde una perspectiva descriptiva, patrones de comportamiento estacional y temporal, es decir, distinguir los meses más representativos y su variabilidad en el tiempo.

El método utilizado en la recolección de datos se basa en la recopilación de registros obtenidos de mediciones de estaciones fluviométricas (caudal) y meteorológicas (precipitación de lluvia y temperatura. En lo que respecta a la variable precipitación de nieve se recurre al procesamiento de imágenes satelitales y mediante la teledetección se obtiene una cobertura de superficie (ha) de nieve, los resultados obtenidos se grafican y se analizan al igual que las tres variables mencionadas.

Por cada período en donde existen registros, se escoge utilizar estadística descriptiva para comprender la distribución de los datos asociados a estas variables, mediante gráficos, tablas y análisis.

## 3.2 Caudal

Es la cantidad de agua que pasa por un lugar en un período determinado, es decir, corresponde al volumen de agua por unidad de tiempo (*INIA, 2000*).

La hidrometría, permite medir y determinar el caudal del agua que fluye por este lugar mediante una estación de aforo, la que cuantifica el caudal de agua que pasa por la sección transversal de un río (*INRENA, 2005*).

Es de suma importancia conocer el caudal que fluye por una determinada fuente, ya que éste fluctúa según las épocas del año y las condiciones meteorológicas y son estas variaciones las que definen el régimen hidrológico de un río.

Los datos de caudal recopilados provienen de la DGA, la cual posee un inventario compuesto por toda la información correspondiente a mediciones efectuadas con estaciones de monitoreo en todo Chile, dando origen a la Red Hidrométrica Nacional, muchas de estas estaciones de monitoreo siguen vigentes aún (última actualización marzo 2012), entregando datos fluviométricos y meteorológicos a través de diversos reportes estadísticos oficiales de estas variables hidrometeorológicas.

Las estaciones fluviométricas seleccionadas, cumplen básicamente dos criterios:

- Poseen datos históricos suficientes para conocer su comportamiento dentro del período 1996-2014 o lo más cercano, donde se encuentra el levantamiento del catastro frutícola.
- Están distribuidos dentro de la cuenca del río Aconcagua, cercanas a las plantaciones de paltos y a las estaciones con datos de temperatura y precipitación.

En base a lo anterior, son cuatro las estaciones cuyos datos fueron procesados:

1. Río Aconcagua en Chacabuquito.
2. Río Aconcagua en Romeral.
3. Río Aconcagua en San Felipe.
4. Río Putaendo en Resguardo Los Patos.

Distribución de las estaciones fluviométricas en la cuenca del río Aconcagua con registro de caudal, ver figura 9.

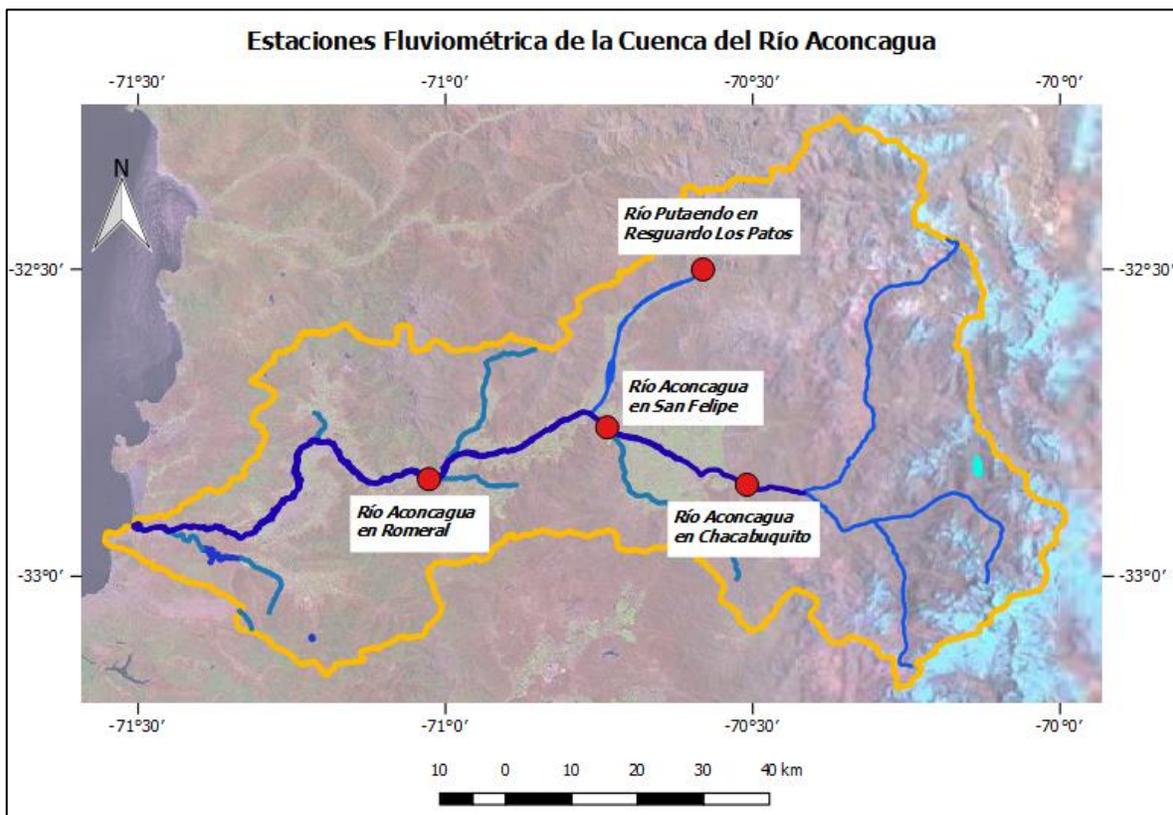


Figura 9: Estaciones fluviométricas de la cuenca del río Aconcagua.  
Fuente: elaboración propia.

## **Metodología**

Una vez descargados los datos, se procede a estructurarlos en una planilla considerando tres elementos principales:

1. Año: se recopilan los registros a partir del año más antiguo hasta el más actual disponible, ya que posteriormente se grafica para poder visualizar el comportamiento de la variable a través del tiempo.
2. Mes: se desglosan los datos por mes, para así al graficar poder identificar el mes más representativo del verano (diciembre, enero, febrero), donde las plantaciones dependen de la gestión del riego que se tenga para aprovechar este recurso, después de los deshielos de la nieve acumulada.
3. Promedio de los caudales: por cada mes se ordena el registro correspondiente al caudal medio mensual.

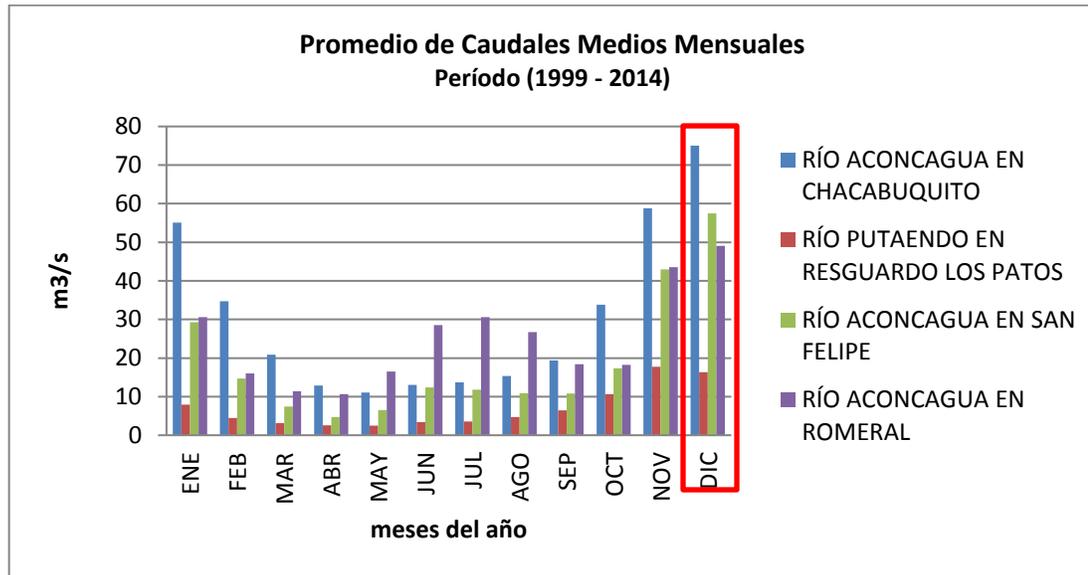
Ya ordenados los datos, se procede a identificar principalmente dos patrones:

1. Patrón Estacional: hace referencia a identificar el mes en donde se registra el mayor caudal.
2. Patrón Temporal: teniendo en cuenta el mes representativo en donde se registra el mayor caudal, se selecciona éste y se analiza su comportamiento individual a través del tiempo, esto para analizar su variabilidad, es decir, detectar si los caudales vienen disminuyendo, aumentando o no existe cambio.

## **Resultado**

Una vez que los datos se procesan, se procede a graficar para visualizar e identificar los patrones recién mencionados:

**Promedio de caudales medio mensuales en las estaciones fluviométricas de la cuenca del río Aconcagua:**



**Gráfico 9: Promedio caudales mensuales en las estaciones fluviométricas de la cuenca del río Aconcagua**

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Estacional:** el mes que registra el mayor caudal, en cuatro estaciones fluviométricas de la cuenca del río Aconcagua, en un período de 15 años, es **diciembre**, ver gráfico 9:

En la estación río Putaendo en Resguardo Los Patos, el Patrón Estacional corresponde al mes de noviembre, pero la diferencia entre el mes de noviembre y diciembre es de aproximadamente 0,4 m³/s caídos, por lo tanto, se considerará el mes de diciembre para graficar el patrón temporal, tal cual se realizará con las demás estaciones trabajadas.

**Estación río Aconcagua en Chacabuquito:**

**Patrón Temporal:** los datos de caudales *parecen mostrar un comportamiento cíclico* en un período de 30 años, observando que el caudal viene disminuyendo a partir del año 2008, ver gráfico 10.

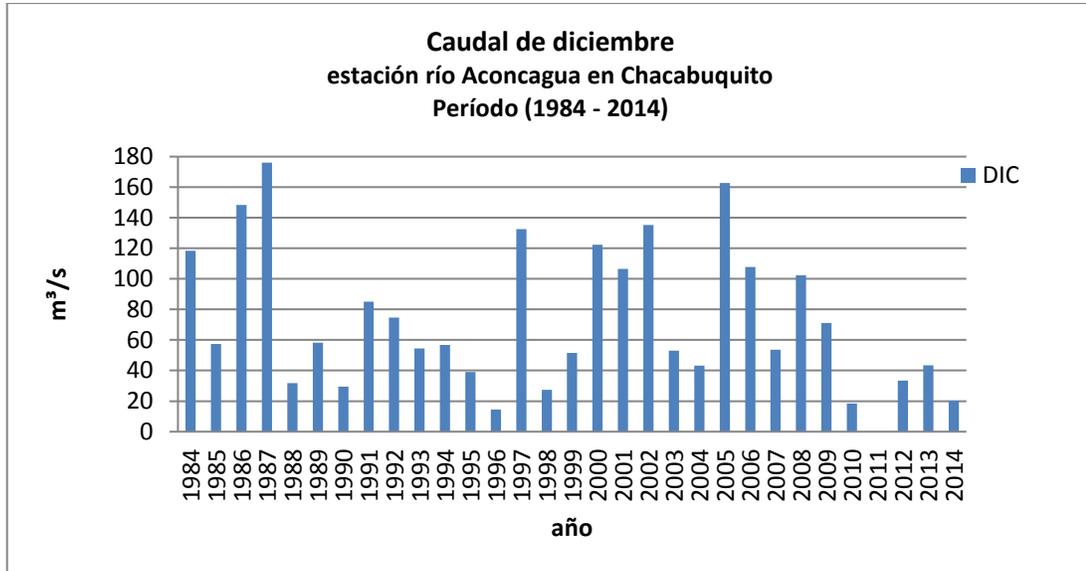


Gráfico 10: Caudal de diciembre, estación río Aconcagua en Chacabuquito

Fuente: elaboración propia.

**Estación río Aconcagua en Romeral:**

**Patrón Temporal:** los datos de caudales *parecen mostrar un comportamiento cíclico* en un período de 15 años, observando que el caudal viene disminuyendo a partir del año 2008, ver gráfico 11.

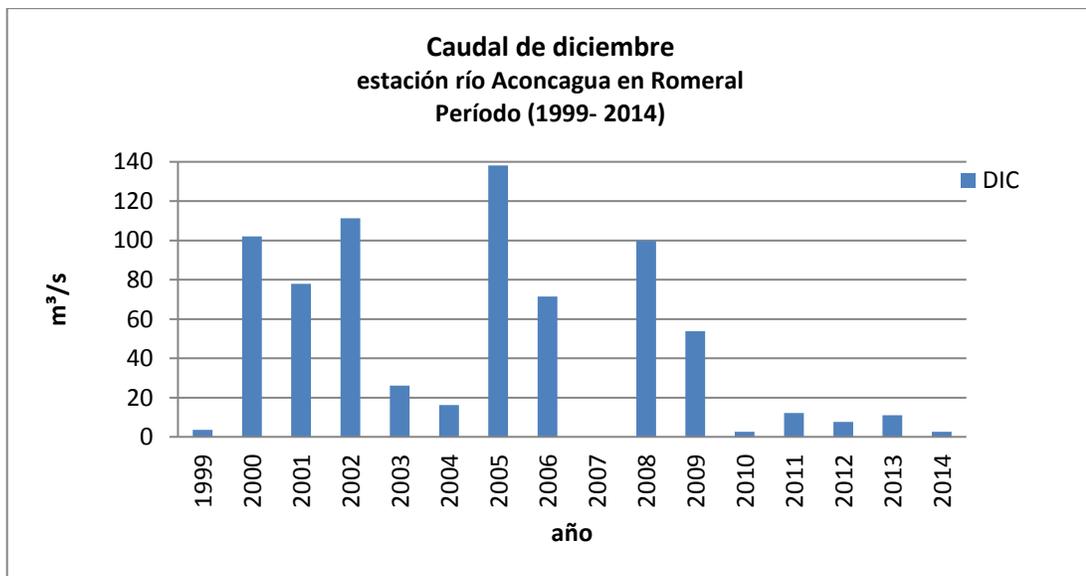


Gráfico 11: Caudal de diciembre, estación río Aconcagua en Romeral

Fuente: elaboración propia.

**Estación río Aconcagua en San Felipe:**

**Patrón Temporal:** los datos de caudales *parecen mostrar un comportamiento cíclico* en un período de 30 años, observando que el caudal viene disminuyendo a partir del año 2008, ver gráfico 12.

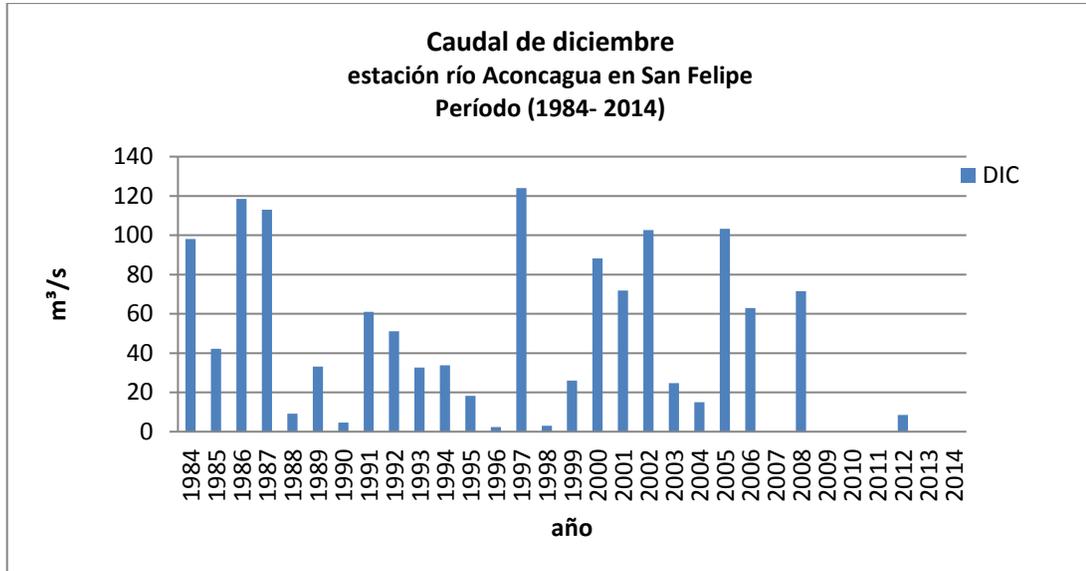


Gráfico 12: Caudal de diciembre, estación río Aconcagua en San Felipe

Fuente: elaboración propia.

**Estación río Putaendo en Resguardo Los Patos:**

**Patrón Temporal:** los datos de caudales *parecen mostrar un comportamiento cíclico* en un período de 29 años, observando que el caudal viene disminuyendo a partir del año 2008, ver gráfico 13.

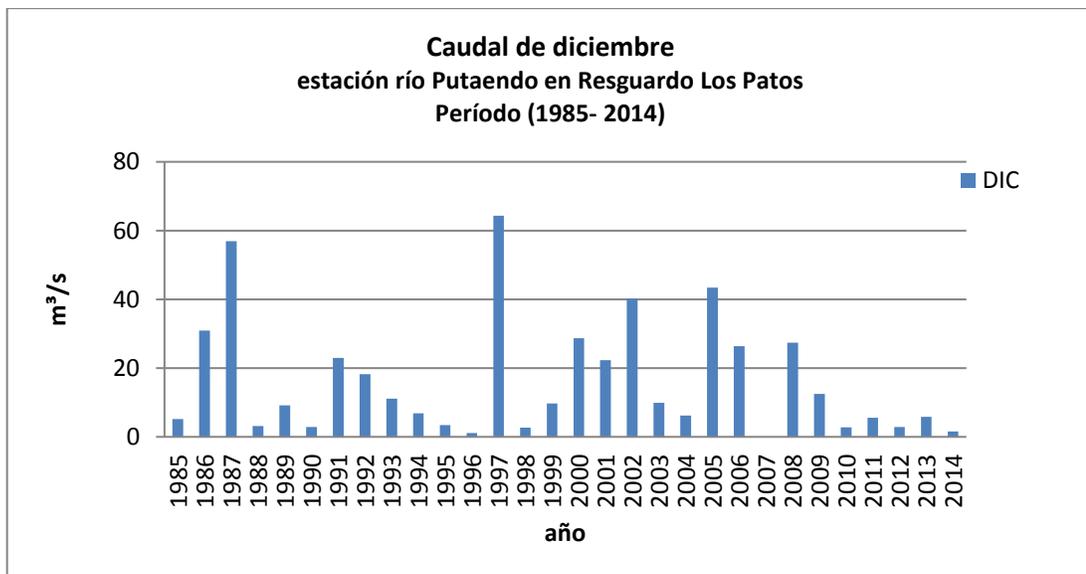


Gráfico 13: Caudal de diciembre, estación río Putaendo en Resguardo Los Patos

Fuente: elaboración propia.

## Análisis preliminar de la variable

Existen tres estaciones meteorológicas con una amplia base de registros: río Putaendo en Resguardo Los Patos, río Aconcagua en Chacabuquito y río Aconcagua en San Felipe, pero de igual forma se procesan los registros de la estación río Aconcagua en Romeral, que tiene un período menor de datos, ya que permitirá obtener resultados más representativos de los caudales al interior de la cuenca.

Principales características de las cuatro estaciones fluviométricas graficadas, ver tabla 10.

Estación fluviométrica	Altitud (msnm)	Período	Años con registros
río Putaendo en Resguardo Los Patos	1.218	1985-2014	29
río Aconcagua en Chacabuquito	950	1984-2014	30
río Aconcagua en San Felipe	650	1984-2014	30
río Aconcagua en Romeral	365	1999-2014	15

Tabla 10: Principales características de las estaciones fluviométricas de la cuenca del río Aconcagua – Caudales  
Fuente: elaboración propia.

El 90% del conjunto de datos procesados indica que el **Patrón Estacional corresponde al mes de diciembre**, ya que históricamente y en tres estaciones meteorológicas, es en este mes en donde existe mayor caudal en la cuenca. La única estación fluviométrica que arroja otro Patrón Estacional es la correspondiente al río Putaendo en Resguardo Los Patos, ubicada en la cuenca alta, la que arroja a noviembre como mes representativo, pero tal como se señala anteriormente, la diferencia no es significativa ( $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ), por lo tanto, se considera de igual forma los valores registrados correspondiente al mes de diciembre.

Teniendo en cuenta este precedente en el que **diciembre** es representativo del caudal de verano, se analiza el **Patrón Temporal en donde el caudal registrado parece mostrar un comportamiento cíclico a través de los años en todas las estaciones analizadas**, observando que en el último período hay una disminución de éste a partir del año 2008.

## 3.3 Precipitaciones (lluvia - nieve)

La precipitación es agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La medición de la lluvia se realiza en las estaciones meteorológicas a través de instrumentos llamados pluviómetros (Ordoñez, J., 2011).

La precipitación, constituye la principal entrada de agua dentro del ciclo hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca.

### 3.3.1 Precipitación (lluvia)

Los datos de precipitaciones recopilados provienen de la DGA, la cual posee un inventario compuesto por toda la información correspondiente a mediciones efectuadas con estaciones de monitoreo en todo Chile, dando origen a la Red Hidrométrica Nacional, muchas de estas estaciones de monitoreo siguen vigentes aún (última actualización marzo de 2012), entregando datos pluviométricos y meteorológicos a través de diversos reportes estadísticos oficiales de estas variables hidrometeorológicas.

Las estaciones meteorológicas seleccionadas, cumplen básicamente dos criterios:

- Poseen datos históricos suficientes para conocer su comportamiento dentro del período 1996-2014 o lo más cercano, donde se encuentra el levantamiento del catastro frutícola.
- Están distribuidos dentro de la cuenca del río Aconcagua, cercanas a las plantaciones de paltos y a las estaciones con datos de temperatura.

En base a lo anterior, son 10 las estaciones cuyos datos fueron procesados:

1. El Cobre.
2. Embalse Lliu Lliu.
3. Los Aromos.
4. Quillota.
5. Resguardo Los Patos.
6. Riecillos.
7. Río Aconcagua en Chacabuquito.
8. Río Aconcagua en Romeral.
9. San Felipe.
10. Vilcuya.

Distribución de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Aconcagua con registro de lluvias, ver figura 10.

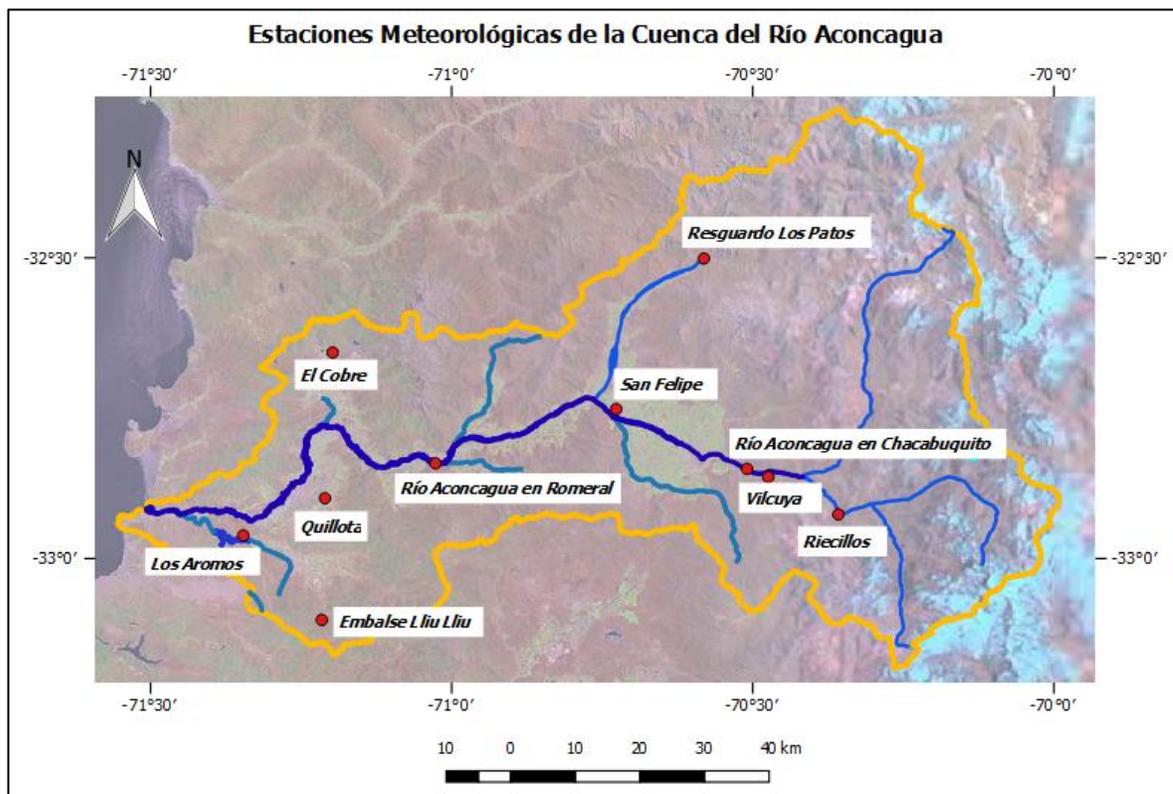


Figura 10: Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Aconcagua – Lluvia  
Fuente: elaboración propia.

## **Metodología**

Una vez descargados los datos, se procede a estructurarlos en una planilla, considerando tres elementos principales, los que a continuación se detallan:

1. Año: se recopilan los registros a partir del año más antiguo hasta el más actual disponible, ya que posteriormente se grafica para poder visualizar el comportamiento de la variable a través del tiempo.
2. Mes: se desglosan los datos por mes, para así al graficar, poder identificar el mes más representativo del invierno (junio, julio y agosto), donde se acumula la nieve, principal recurso de abastecimiento de la cuenca.
3. Promedio de las precipitaciones: por cada mes se ordena el registro correspondiente a la precipitación media mensual.

Ya ordenados los datos, se procede a identificar principalmente dos patrones:

1. Patrón Estacional: hace referencia a identificar el mes en donde cae la mayor cantidad de precipitaciones.
2. Patrón Temporal: teniendo en cuenta el mes representativo en donde se registra la mayor cantidad de precipitaciones, se selecciona éste y se analiza su comportamiento individual a través del tiempo, esto para analizar su variabilidad, es decir, detectar si las precipitaciones vienen disminuyendo, aumentando o no existe cambio.

## **Resultado**

Finalmente se grafican los resultados obtenidos de cada una de las estaciones para visualizar e identificar los patrones recién mencionados:

**Estación El Cobre:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 25 años, es *junio*, ver gráfico 14.

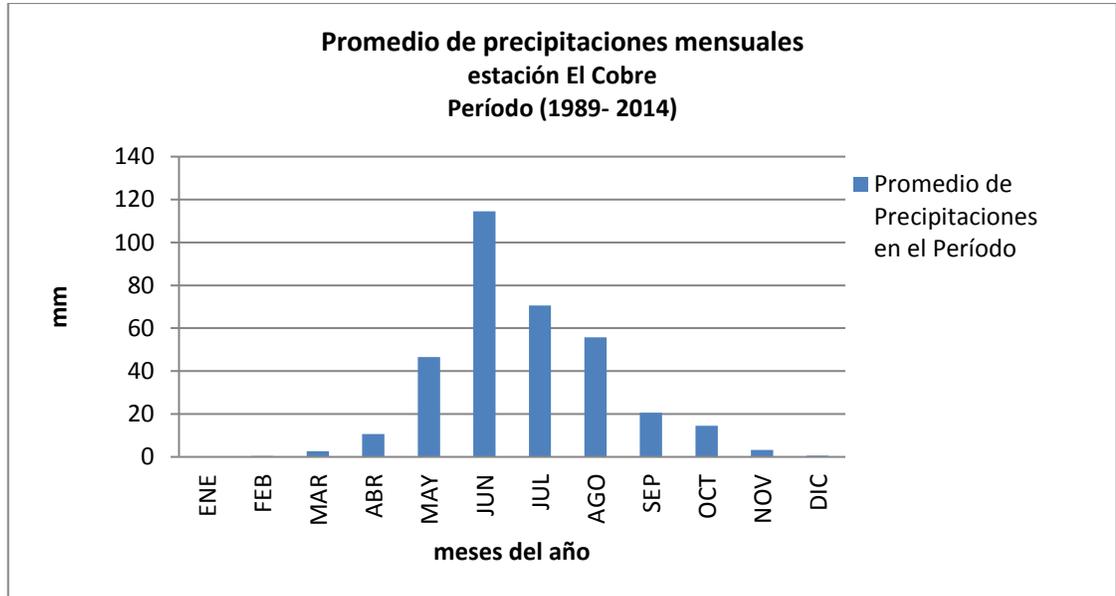


Gráfico 14: Promedio de precipitaciones mensuales, estación El Cobre

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 25 años, sin embargo, hay cinco años que se destacan por sus valores sobresalientes, fuera del promedio (70 mm): 1991 (190 mm), 1992 (224 mm), 1997 (401 mm), 2000 (348 mm) y 2002 (328 mm), ver gráfico 15.

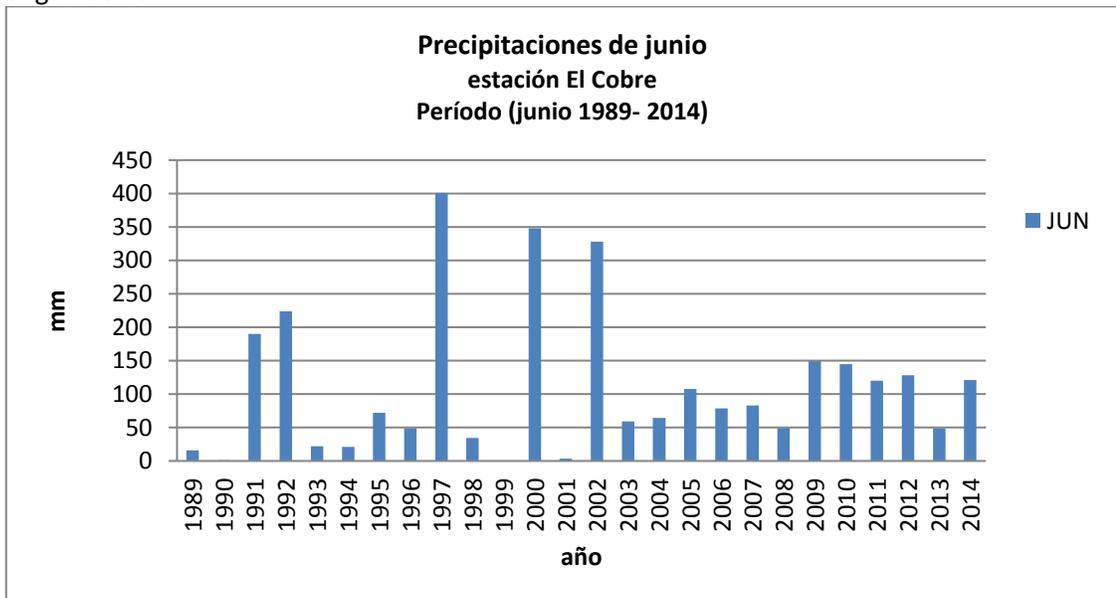


Gráfico 15: Precipitaciones de junio, estación El Cobre

Fuente: elaboración propia.

**Estación embalse Lliu Lliu:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 30 años, es *junio*, ver gráfico 16.

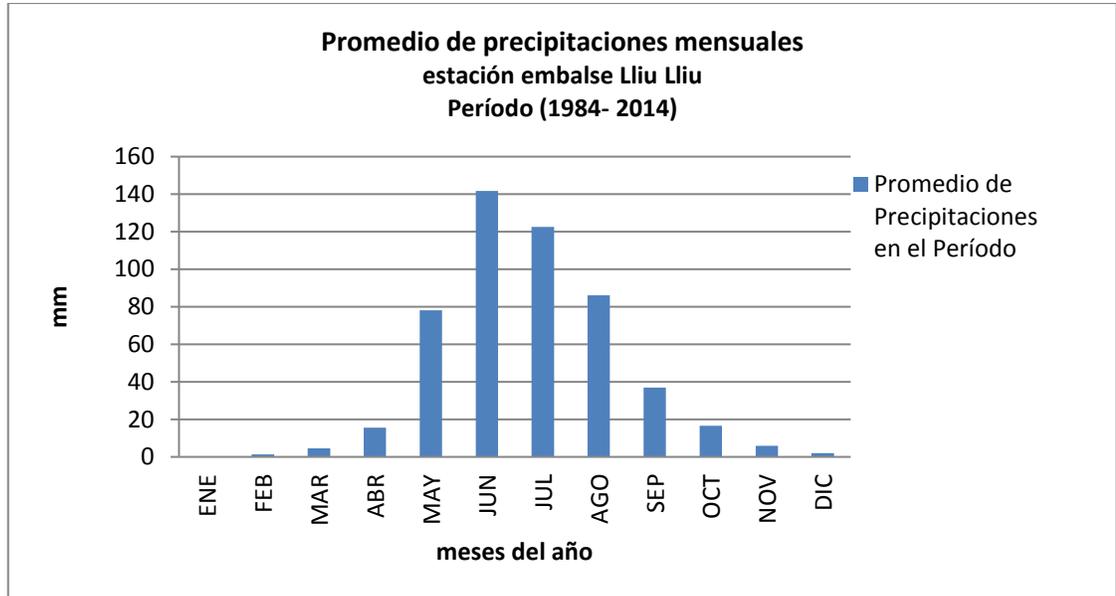


Gráfico 16: Promedio de precipitaciones mensuales, estación embalse Lliu Lliu

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 30 años, sin embargo, hay cinco años que se destacan por sus valores sobresalientes, fuera del promedio (88 mm): 1991 (261 mm), 1992 (293 mm), 1997 (580 mm), 2000 (572 mm) y 2002 (392 mm), ver gráfico 17.

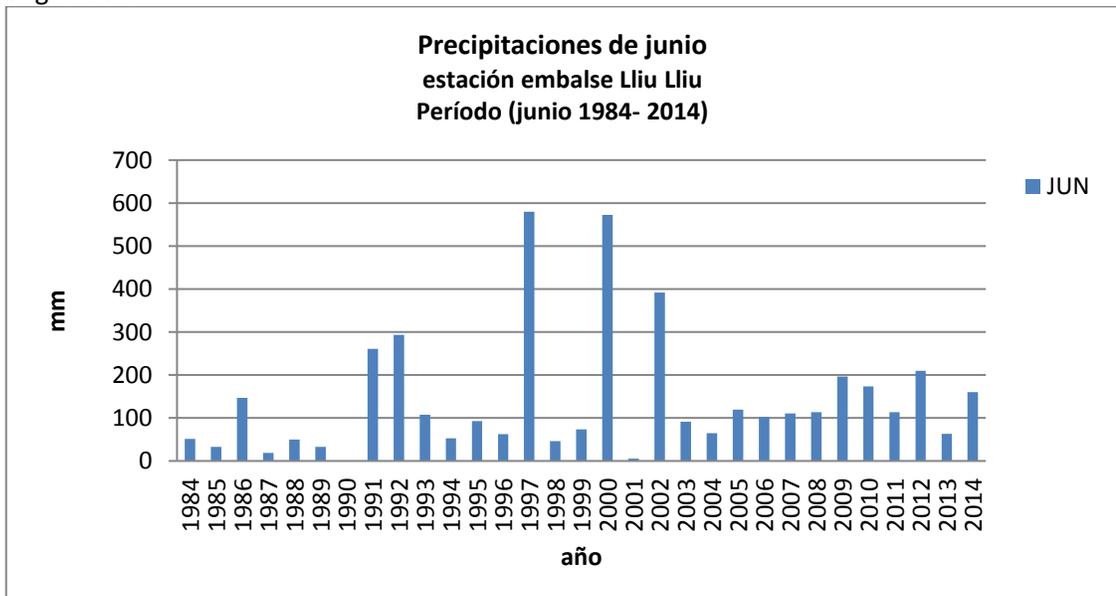


Gráfico 17: Precipitaciones de junio, estación embalse Lliu Lliu

Fuente: elaboración propia.

**Estación Los Aromos:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 30 años, es *junio*, ver gráfico 18.

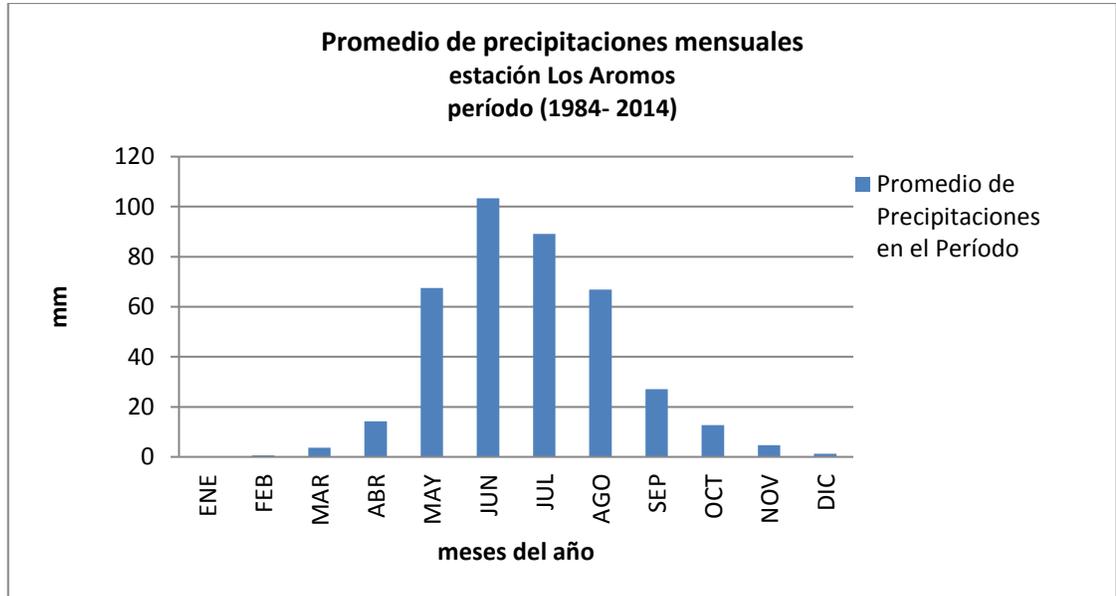


Gráfico 18: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Los Aromos

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 30, sin embargo, hay cinco años que se destacan por sus valores sobresalientes, fuera del promedio (64 mm): 1991 (188 mm), 1992 (240 mm), 1997 (383 mm), 2000 (424 mm) y 2002 (303 mm), ver gráfico 19.

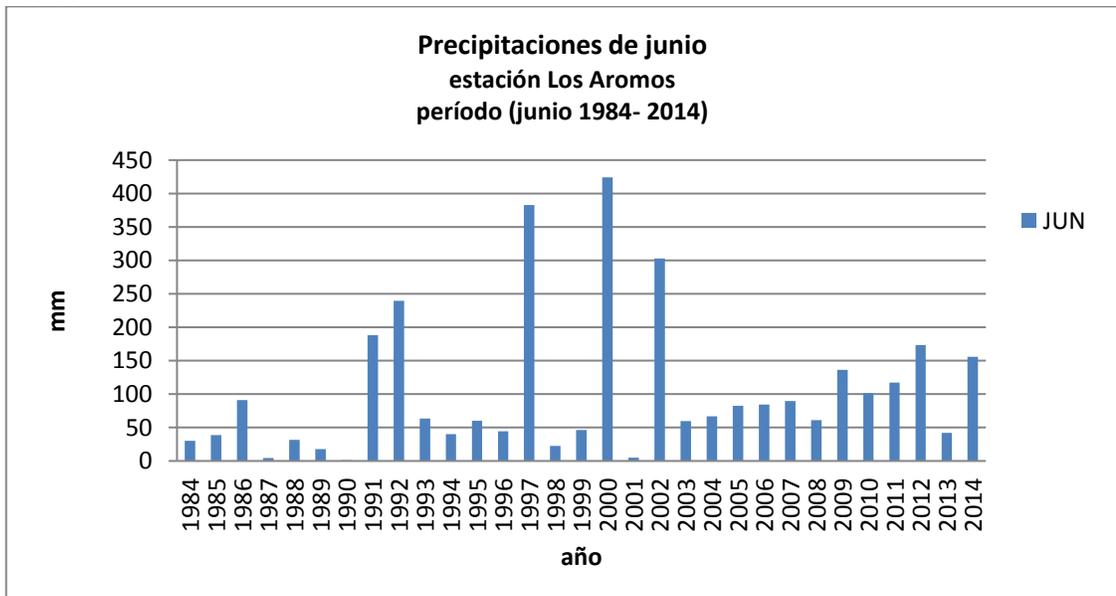


Gráfico 19: Precipitaciones de junio, estación Los Aromos

Fuente: elaboración propia.

**Estación Quillota:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 30 años, es **junio**, ver gráfico 20.

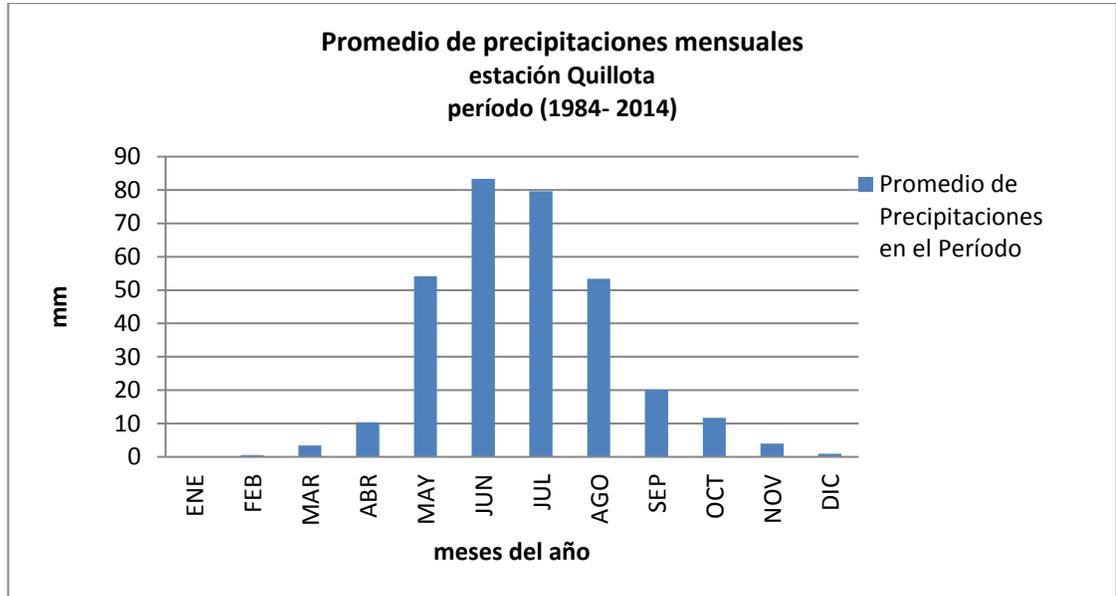


Gráfico 20: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Quillota

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 30 años, sin embargo, hay cinco años que se destacan por sus valores sobresalientes, fuera del promedio (54 mm): 1991 (189 mm), 1992 (231 mm), 1997 (220 mm), 2000 (263 mm) y 2002 (281 mm), ver gráfico 21.

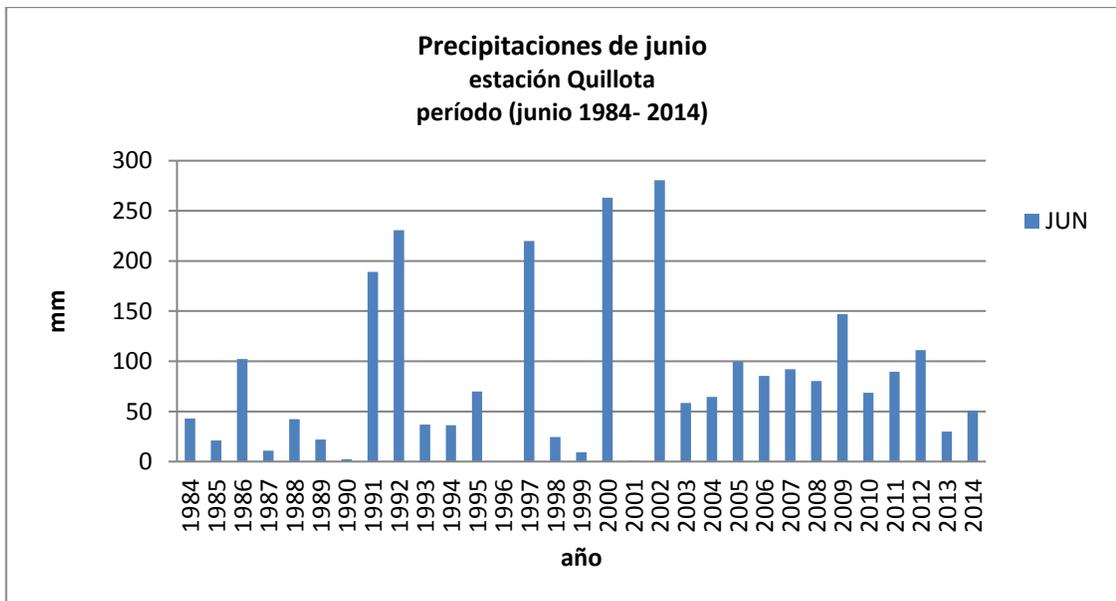


Gráfico 21: Precipitaciones de junio, estación Quillota

Fuente: elaboración propia.

**Estación Resguardo Los Patos:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 30 años, es **julio**, ver gráfico 22.

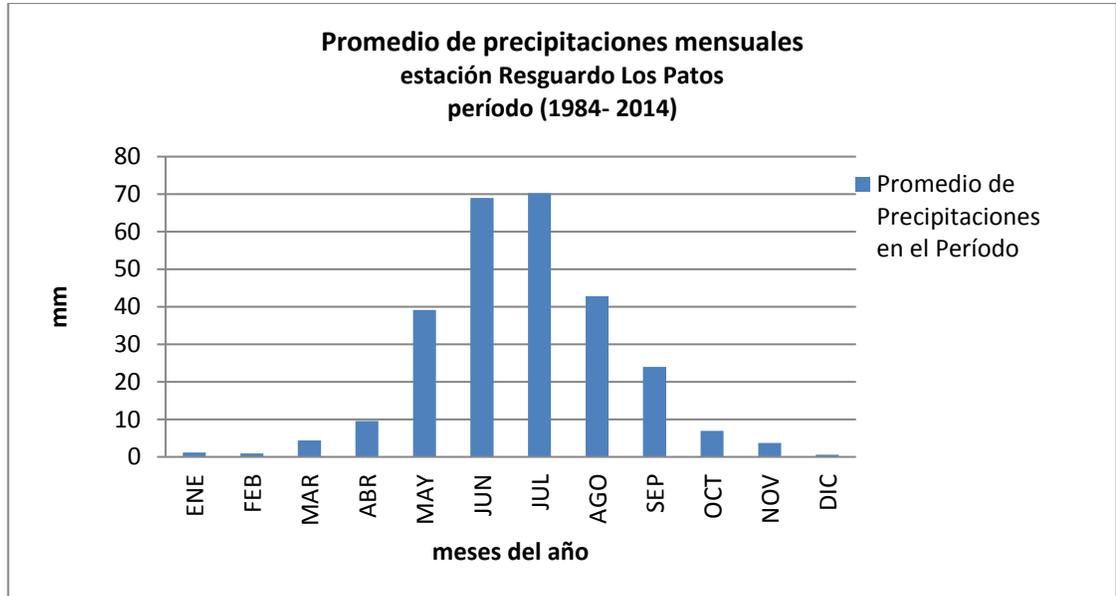


Gráfico 22: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Resguardo Los Patos

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de julio* en un período de 30 años, sin embargo, hay cuatro años que se destacan por sus valores sobresalientes, fuera del promedio (39 mm): 1984 (352 mm), 1987 (445 mm), 2002 (120 mm) y 2006 (214 mm), ver gráfico 23.

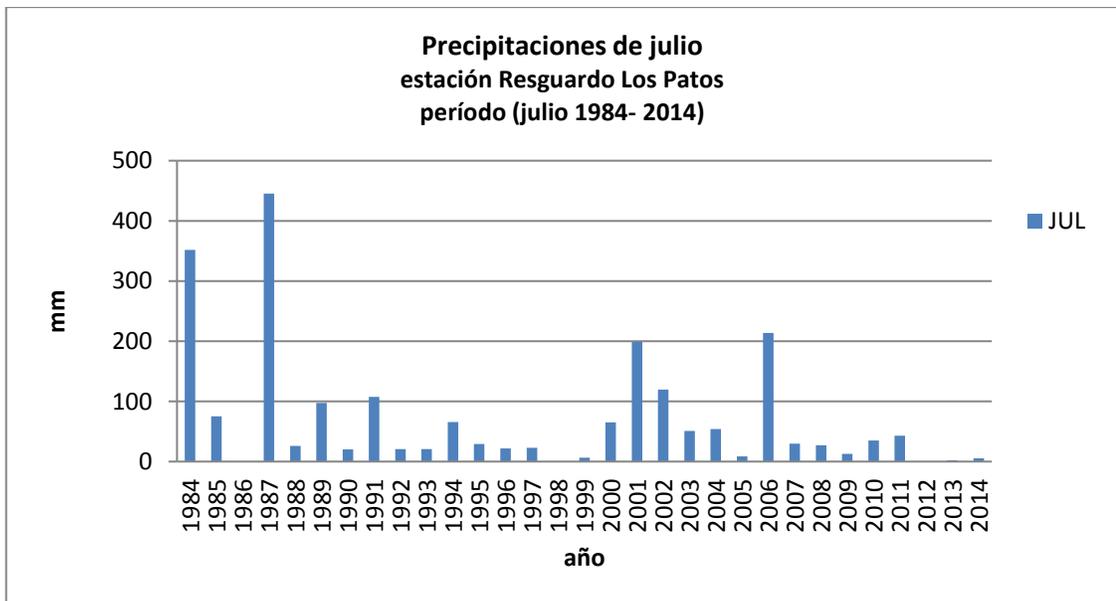


Gráfico 23: Precipitaciones de julio, estación Resguardo Los Patos

Fuente: elaboración propia.

Debido a que la diferencia entre el mes de junio y julio es de aproximadamente 1,3 mm caídos, se considera necesario graficar de igual forma lo ocurrido con el mes de junio, tal cual se ha realizado con las demás estaciones trabajadas.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 30 años, sin embargo, hay cinco años que se destacan por sus valores sobresalientes, fuera del promedio (42 mm): 1991 (160 mm), 1992 (155 mm), 1997 (389 mm), 2000 (192 mm) y 2002 (166 mm), ver gráfico 24.

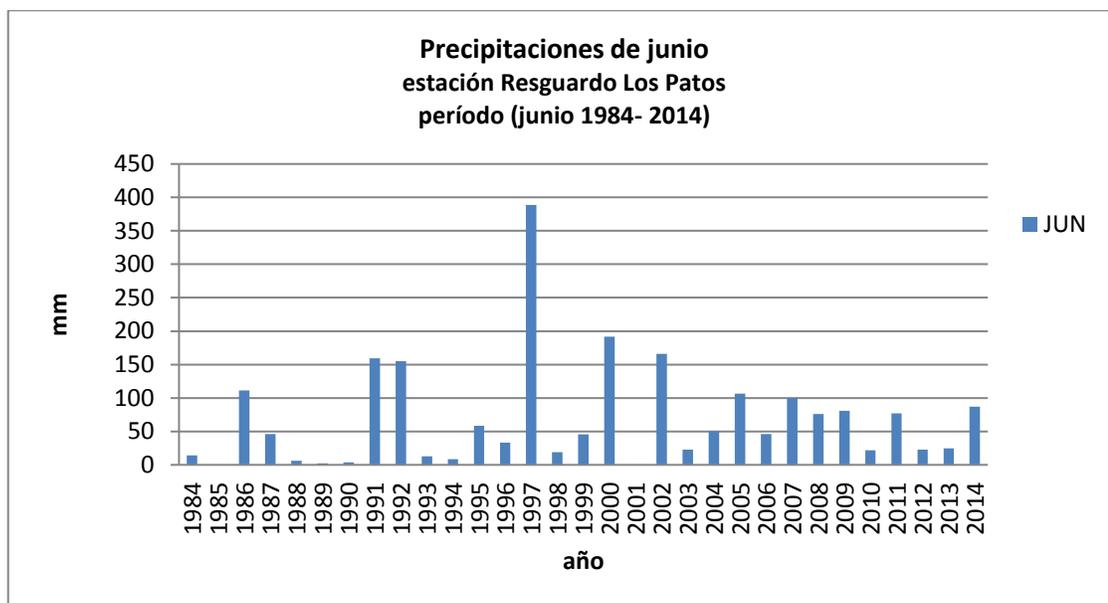
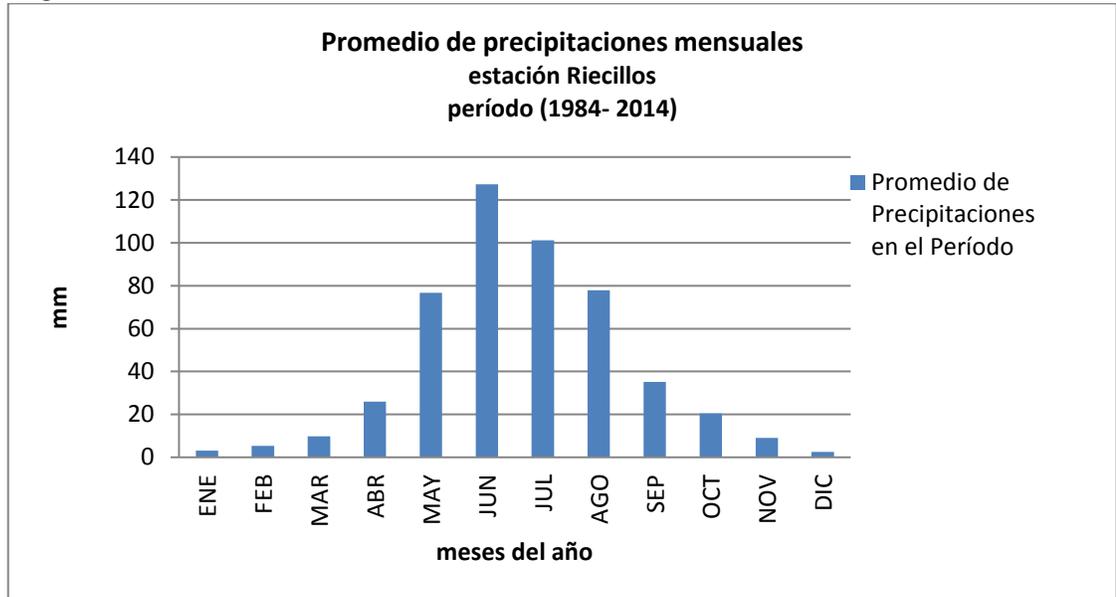


Gráfico 24: Precipitaciones de junio, estación Resguardo Los Patos

Fuente: elaboración propia.

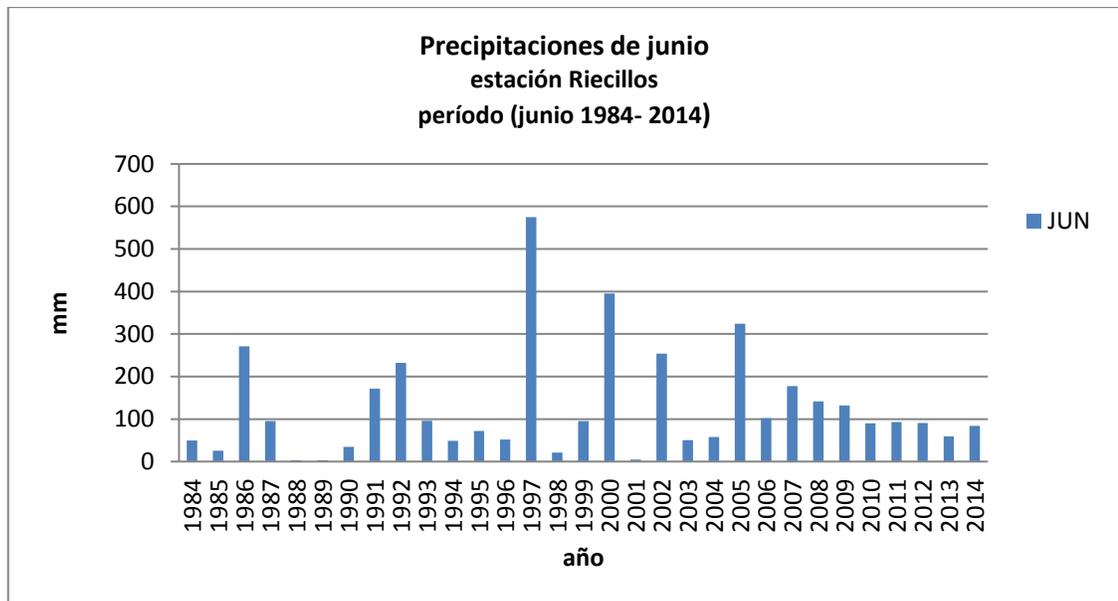
**Estación Riecillos:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 30 años, es **junio**, ver gráfico 25.



**Gráfico 25: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Riecillos**  
Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 30 años, sin embargo, hay cinco años que se destacan por sus valores sobresalientes, fuera del promedio (80 mm): 1986 (271 mm), 1997 (575 mm), 2000 (395 mm), 2002 (254 mm) y 2005 (324 mm), ver gráfico 26.



**Gráfico 26: Precipitaciones de junio, estación Riecillos**  
Fuente: elaboración propia.

**Estación río Aconcagua en Chacabucito:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 14 años, es **junio**, ver gráfico 27.

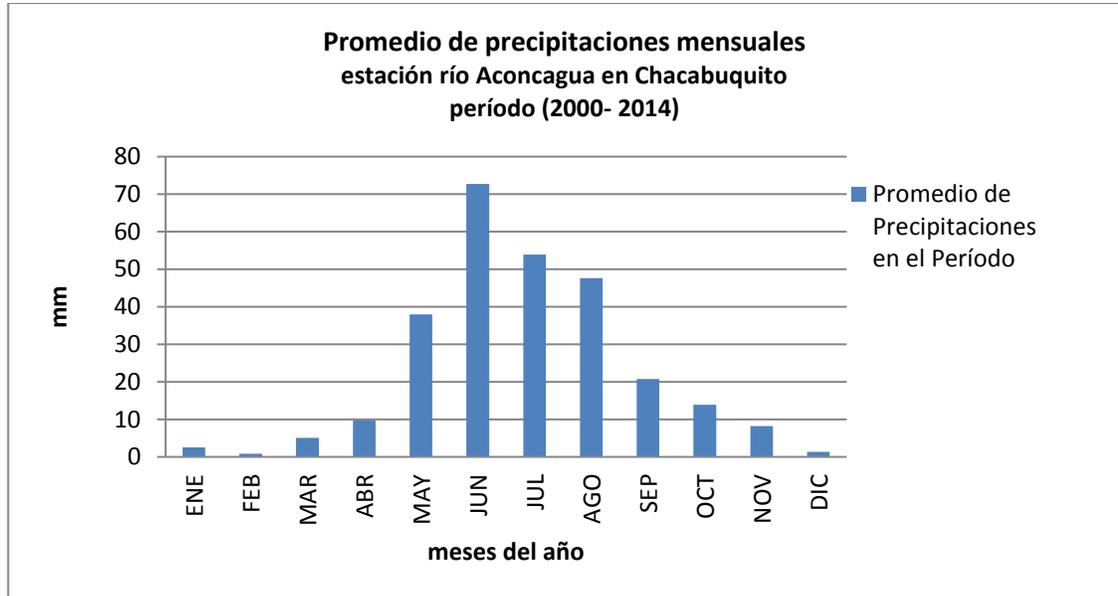


Gráfico 27: Promedio de precipitaciones mensuales, estación río Aconcagua en Chacabucito

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 14 años, ver gráfico 28.

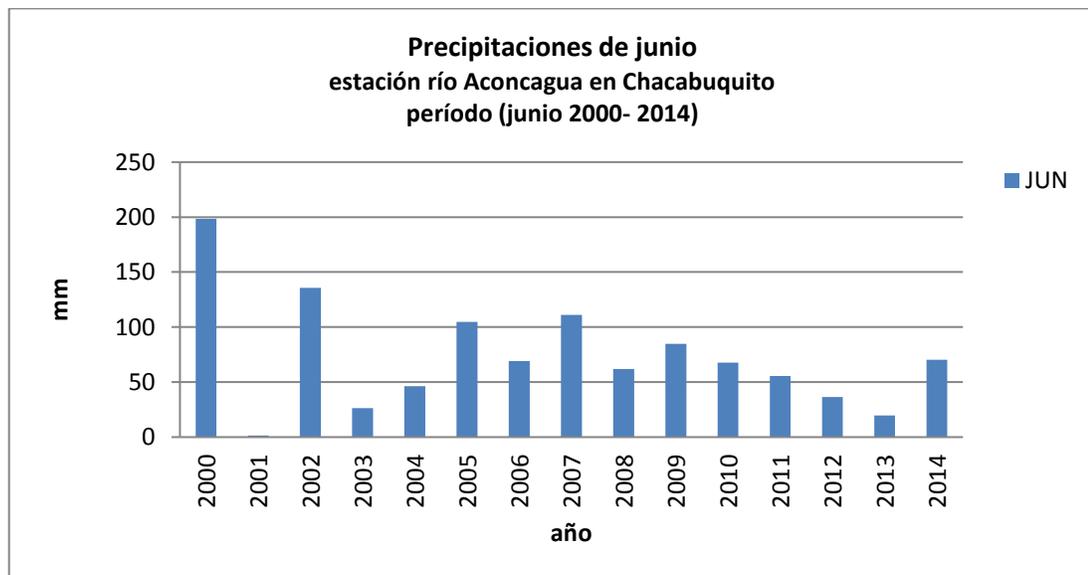


Gráfico 28: Precipitaciones de junio, estación río Aconcagua en Chacabucito

Fuente: elaboración propia.

**Estación río Aconcagua en Romeral:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 12 años, es **junio**, ver gráfico 29.

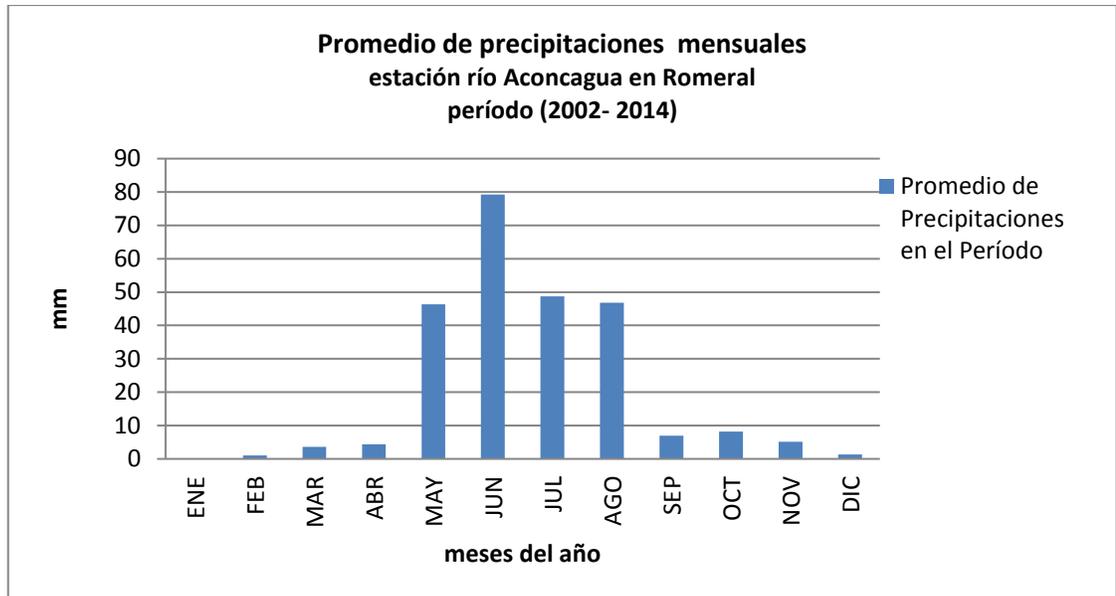


Gráfico 29: Promedio de precipitaciones mensuales, estación río Aconcagua en Romeral

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 12 años, ver gráfico 30.

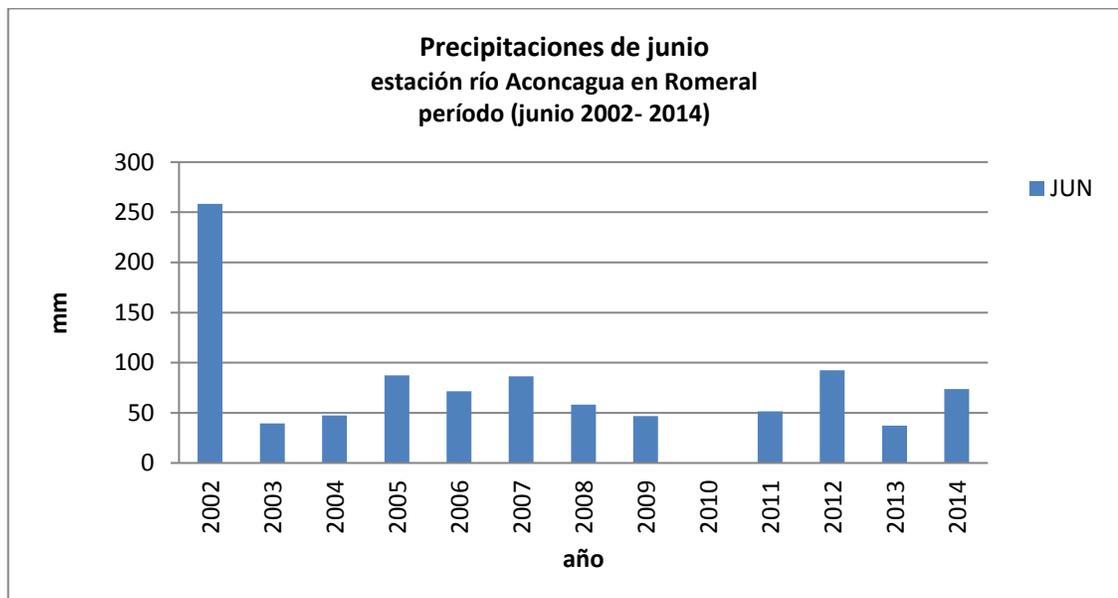


Gráfico 30: Precipitaciones de junio, estación río Aconcagua en Romeral

Fuente: elaboración propia.

**Estación San Felipe:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 30 años, es **junio**, ver gráfico 31.

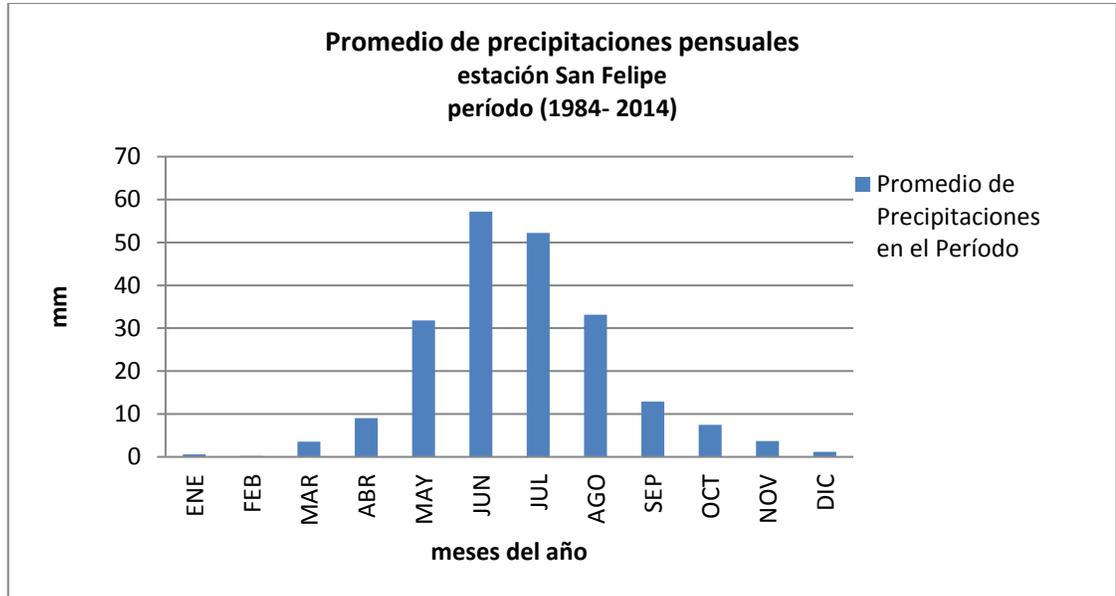


Gráfico 31: Promedio de precipitaciones mensuales, estación San Felipe

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 30 años, sin embargo, hay cinco años que se destacan por sus valores sobresalientes, fuera del promedio (31 mm): 1991 (158 mm), 1992 (125 mm), 1997 (316 mm), 2000 (195 mm) y 2002 (185 mm), ver gráfico 32.

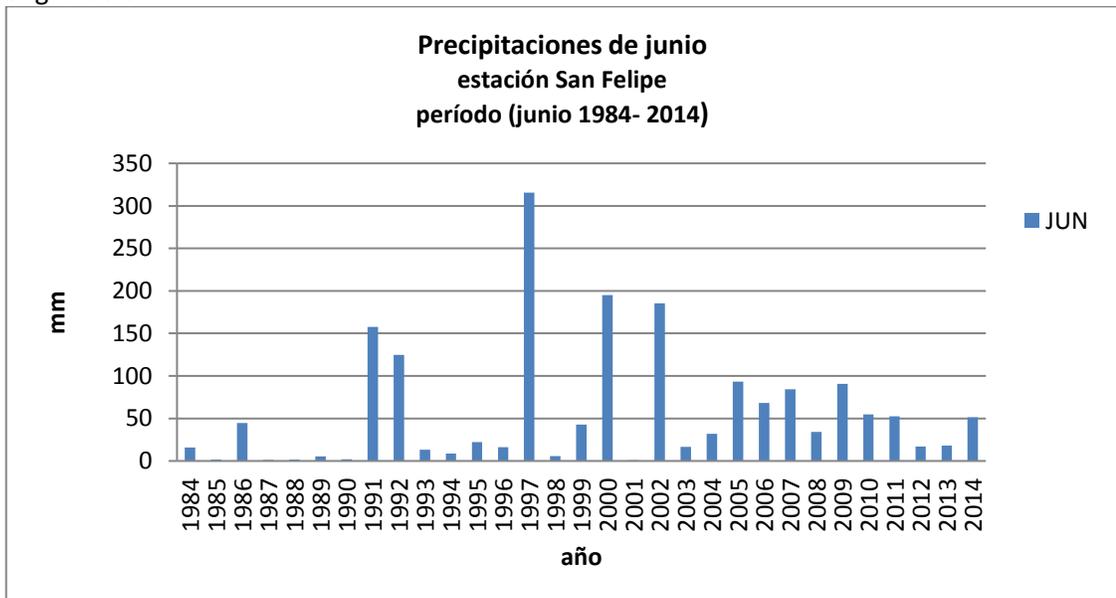


Gráfico 32: Precipitaciones de junio, estación San Felipe

Fuente: elaboración propia.

**Estación Vilcuya:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la mayor cantidad de precipitaciones, en un período de 30 años, es **junio**, ver gráfico 33.

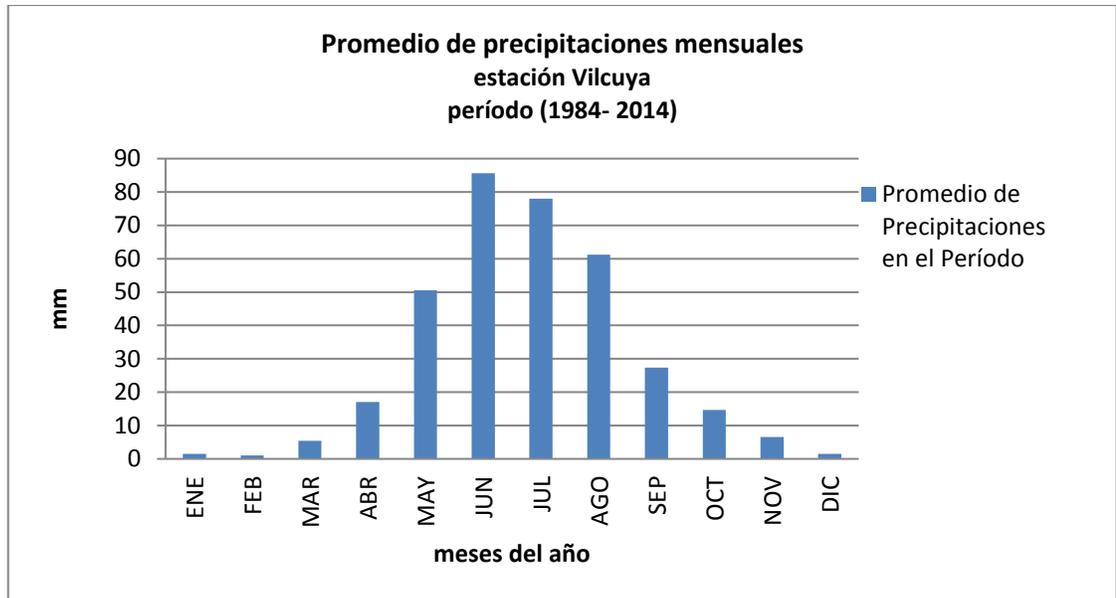


Gráfico 33: Promedio de precipitaciones mensuales, estación Vilcuya

Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** los datos de precipitaciones *parecen tener un comportamiento variable para el mes de junio* en un período de 30 años, sin embargo, hay seis años que se destacan por sus valores sobresalientes, fuera del promedio (54 mm): 1991 (140 mm), 1992 (178 mm), 1997 (417 mm), 2000 (214 mm), 2002 (172 mm) y 2005 (194 mm), ver gráfico 34.

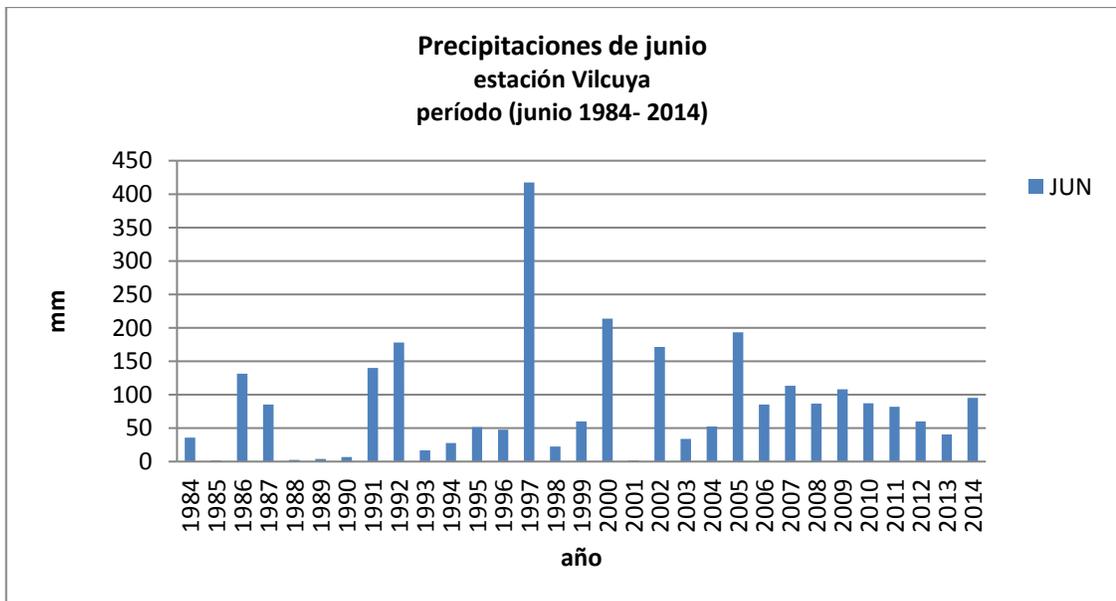


Gráfico 34: Precipitaciones de junio, estación Vilcuya

Fuente: elaboración propia.

## Análisis preliminar de la variable

Principales características de las 10 estaciones meteorológicas graficadas, ver tabla 11.

Estación Meteorológica	Altitud (msnm)	Período	Años con Registros
Riecillos	1.290	1984-2014	30
Resguardo Los Patos	1.220	1984-2014	30
Vilcuya	1.100	1984-2014	30
Río Aconcagua en Chacabuquito	950	2000-2014	14
San Felipe	640	1984-2014	30
Río Aconcagua en Romeral	365	2002-2014	12
El Cobre	280	1989-2014	25
Embalse Lliu Lliu	260	1984-2014	30
Quillota	130	1984-2014	30
Los Aromos	100	1984-2014	30

Tabla 11: Principales Características de las Estaciones Meteorológicas de la cuenca del río Aconcagua - Precipitaciones

Fuente: elaboración propia.

Las 10 estaciones meteorológicas trabajadas tienen una amplia base de registros, lo que permitirá obtener resultados representativos de las precipitaciones caídas al interior de la cuenca. Además, cinco de ellas coinciden con las trabajadas en la variable de temperaturas (embalse Lliu Lliu, Los Aromos, Quillota, San Felipe y Vilcuya).

El 90% del conjunto de datos procesados indica que **el Patrón Estacional de Precipitaciones corresponde al mes de junio**, ya que históricamente y en nueve estaciones meteorológicas, es en este mes, en donde cae la mayor cantidad de lluvia en la cuenca, correspondiendo al invierno como la estación del año en donde precipita más. La única estación que arroja otro Patrón Estacional es Resguardo Los Patos, ubicado en la cuenca alta, la que arroja a julio como el mes representativo, pero tal como se señala anteriormente, la diferencia no es significativa (1,3 mm), por lo tanto, se considera de igual forma los valores registrados en el mes de junio.

Teniendo en cuenta este precedente en el que **junio** es representativo de las precipitaciones de invierno, se analiza el **Patrón Temporal en donde las precipitaciones caídas son variables a través de los años, no parecen mostrar un comportamiento específico**.

Todas las estaciones meteorológicas presentan anomalías en sus registros, es decir, valores muy superiores al promedio histórico, esto coincide con los Fenómenos de Niña y Niño, ver tabla 12.

Estación Meteorológica	Años anómalos	Fenómeno asociado
El Cobre- embalse Lliu Lliu-Los Aromos-Quillota-San Felipe	1991-1992-1997-2000 -2002	Niño - Niña
Resguardo Los Patos	1984-1987-2002-2006	Niño - Niña
Riecillos	1986-1997-2000-2002-2005	Niño - Niña
Río Aconcagua en Chacabuquito	2000	Niña
Río Aconcagua en Romeral	2005	Niño
Vilcuya	1991-1992-1997-2000 -2002-2005	Niño - Niña

Tabla 12: Fenómeno del Niño - Niña en años donde se presentan registros anómalos de Precipitaciones

Fuente: elaboración propia.

**Fenómeno del Niño y la Niña en Chile** (*Chilean Eagles College, 2016*).

### **¿CÓMO AFECTA LA NIÑA EN EL CLIMA DE CHILE?**

Cada cierta cantidad de 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 denominado *La Niña*, el cual está **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 y 2 °C por debajo del promedio en la costa norte de Chile, durante el período en que La Niña presenta su máxima intensidad.

***La precipitación es el elemento climático más afectado. 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.

### **¿CÓMO AFECTA EL NIÑO EN EL CLIMA DE CHILE?**

Cada cierta cantidad de años, se presentan condiciones cálidas en el Pacífico ecuatorial y costas del norte de Chile, Perú, Ecuador y Colombia, **asociadas a disminución de la presión atmosférica**, evidenciando así la presencia de un fenómeno denominado *El Niño*. Este calentamiento del agua marina inhibe la surgencia en la superficie del mar (afloramiento de aguas frías, ricas en microorganismos, desde las profundidades marinas), aumentándose la temperatura del aire en 1 a 2 °C sobre lo normal, lo que es sensible en la costa norte de Chile durante el período de máxima intensidad del Niño. La parte central, sur y austral del país no experimentan variaciones térmicas importantes.

***El elemento climático más afectado por un Fenómeno de El Niño es la precipitación. Desde la III hasta la VII región del país, muchas veces se experimenta un importante aumento en los totales de precipitaciones y en su intensidad, que han dejado consecuencias catastróficas*** en la infraestructura vial y en algunos sectores económicos del país, como el sector agrícola, ganadero, de vivienda y minero.

### 3.3.2 Precipitación (nieve)

La monitorización de la cubierta nival es imprescindible en la estimación del cálculo del volumen de agua que drena hacia las diversas cuencas hidrológicas proveniente de la fusión nival, dato a su vez necesario para la gestión y planificación eficiente de los recursos hídricos a escalas regionales (López C. et al., 2007).

#### Selección de Imágenes del satélite Landsat

Teniendo en cuenta que los principales períodos de tiempo involucrados en el ciclo fenológico del palto son las estaciones de invierno y verano, se genera una cobertura superficial de nieve de la temporada de invierno, ya que es en esta época del año en donde se forma y acumula la reserva de agua para abastecer a la cuenca del río Aconcagua en verano.

Para generar esta cobertura de nieve, se recurre al procesamiento de imágenes satelitales Landsat debido a que tienen una base más antigua en la fecha de adquisición y se pueden obtener de forma gratuita, pero, además, de acuerdo con las características que estas imágenes poseen, la nieve presenta una *respuesta espectral muy elevada* en ciertas longitudes de onda, esto hace que este tipo de sensores sea óptimo para detectar zonas cubiertas de nieve (López C. et al., 2007).

De acuerdo con la metodología empleada en esta tesis, se extrae la cantidad de píxeles que representa el área de nieve superficial para graficar y relacionar el resultado obtenido con otras variables tales como precipitación y temperatura para así poder conocer el comportamiento del recurso hídrico en la cuenca del río Aconcagua, ya que éste es uno de los factores más importantes que influyen en la productividad del palto.

La selección de las imágenes Landsat para ser procesadas, está basada en los datos arrojados por la estación fluviométrica río Aconcagua en Chacabuquito, una de las principales estaciones de aforo donde se registra el caudal del río Aconcagua cuenca arriba, ver figura 9.

Los datos del caudal del río Aconcagua en esta estación están a partir del año 1936, pero el corte de estos datos va en función de la fecha en que se pueden descargar las imágenes Landsat a partir del año 1984. En base a esto, se confecciona una tabla separando los registros de caudales por las cuatro estaciones del año (otoño, invierno, primavera y verano), seleccionando las imágenes dentro del período de invierno (junio, julio y agosto), teniendo en cuenta que el porcentaje de nubes permita realizar el procesamiento necesario en base a la metodología empleada.

## Metodología

Metodología empleada en el procesamiento de imágenes satelitales para obtener cobertura superficial de nieve en la cuenca del río Aconcagua con imágenes Landsat, ver figura 11:

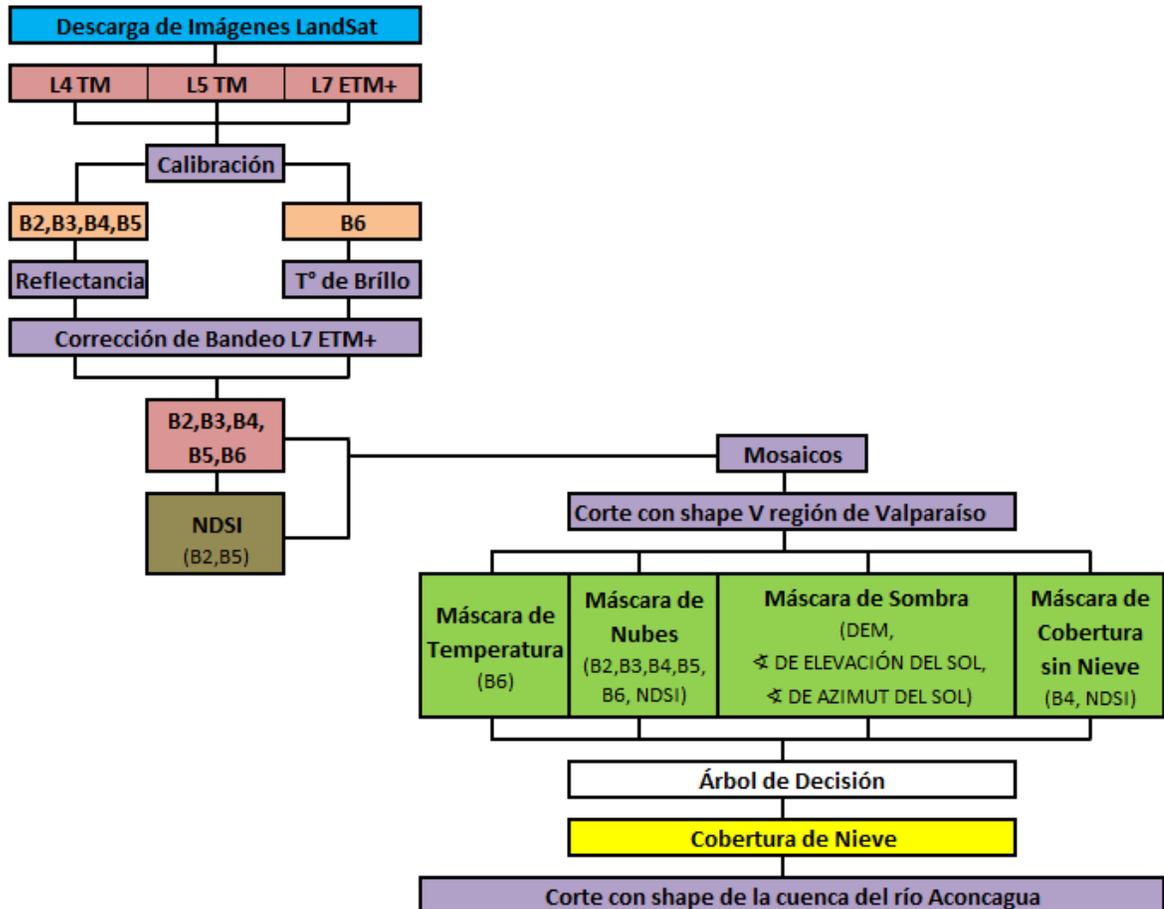


Figura 11: Mapa conceptual de la metodología empleada para obtener cobertura de nieve

Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que el corte con el vector de la cuenca del río Aconcagua se realizó al final del procesamiento de las imágenes, ya que fue una decisión posterior, es decir mientras se definía el área de estudio en paralelo se comenzó a trabajar sobre la V Región de Valparaíso completa.

## Principales Características de las Imágenes Landsat:

Se descargan imágenes Landsat 4, 5 y 7, como productos L1T, a excepción de una imagen que estaba disponible como L1G, ver tabla 13.

Satélite	Sensor	Franja (Km)	Escena (Km <sup>2</sup> )	Altitud	Revisita (días)
L 4-5	TM	185	170X183	705	16
L 7	ETM+	185	170X183	705	16

Tabla 13: Características Generales de las Imágenes Landsat procesadas

Fuente: University of Maryland, 2004.

Productos (Ariza A., 2013):

- Productos de Nivel L1G: datos de imágenes radiométricamente corregidas, con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas y muestreos para el registro en una proyección cartográfica, estos datos se encuentran referenciados al Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS 84), G873, o a su versión actual.
- Los productos de datos L1: datos de imágenes radiométricamente corregidas, con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas, utilizando para ello puntos de control terrestre (GCP) o información de posición integrada a bordo para entregar una imagen registrada a una proyección cartográfica, referenciada a WGS 84, G873, o a su versión actual. Adicionalmente, los datos también contienen una corrección topográfica por el desplazamiento del terreno debido al relieve.

Sensores (ESA, 2015):

- Sensor TM: es un radiómetro de barrido multiespectral que opera en las regiones visible e infrarroja del espectro electromagnético que se llevó a bordo de Landsat 4-5. Los sensores TM han proporcionado una cobertura casi continua de julio de 1982 a junio de 2013.
- Sensor ETM+: es un radiómetro de barrido de 8 bandas introducido en Landsat 7. Las principales diferencias entre el sensor ETM + y la serie anterior TM son la adición de una banda pancromática de 15 m de resolución y dos rangos de 8 bits de "gain". El ETM+ añade una banda térmica de resolución de 60 m, reemplazando la banda de 120 m en ETM/TM (banda número 6\*). Por lo tanto, los datos ETM+ cubren las bandas espectrales visibles, cercanas a infrarrojos (NIR), ondas cortas e infrarrojas térmicas (TIR) del espectro electromagnético.

\* Al descargar las imágenes desde la página de la USGS la banda infrarroja térmica 6 se remuestrea a 30 metros, así también se puede verificar en el archivo MTL al descargarlas.

### Características Radiométricas:

Para generar la cobertura de nieve, principalmente se utilizan las bandas 2, 3, 4, 5 y 6, ver tabla 14:

	TM	Banda	Resolución Espacial (m)
Landsat 4-5	Banda 1: 0,45 - 0,52	Azul	30
	Banda 2: 0,52 - 0,60	Verde	30
	Banda 3: 0,63 - 0,69	rojo	30
	Banda 4: 0,76 - 0,90	IR Cercano	30
	Banda 5: 1,55 - 1,75	IR medio	30
	Banda 6*: 10,4 - 12,5	Térmico	120
	Banda 7: 2,08 - 2,35	IR medio	30
	Landsat 7	ETM+	
Banda 1: 0,450 - 0,515		Azul	30
Banda 2: 0,525 - 0,605		Verde	30
Banda 3: 0,630 - 0,690		rojo	30
Banda 4: 0,760 - 0,900		IR Cercano	30
Banda 5: 1,550 - 1,750		IR medio	30
Banda 6*: 10,40 - 12,50		Térmico	60
Banda 7: 2,080 - 2,35		IR medio	30
Banda 8: 0,52 - 0,92		Pan	15

Tabla 14: Características radiométricas de las Imágenes Landsat procesadas

Fuente: University of Maryland, 2004.

\* Al descargar las imágenes desde la página de la USGS la banda infrarroja térmica 6 se remuestrea a 30 metros, así también se puede verificar en el archivo MTL al descargarlas.

### Calibración:

Las imágenes Landsat han tenido una constante evolución, y con ello la forma de procesarlas también ha cambiado, ya que tienen características distintas según el tipo de sensor (TM, ETM+), estas diferencias en sus parámetros son las que hay que considerar al momento de calibrarlas para poder obtener resultados confiables a partir de los DN.

La Calibración Radiométrica, consiste en corregir distorsiones ocurridas por fallas en el sensor, condiciones atmosféricas y de iluminación, siendo uno de los objetivos obtener valores de Reflectancia y Temperatura de Brillo.

Estas conversiones proporcionan una base para la comparación estandarizada de datos en una escena, en varias imágenes adquiridas en distintas fechas o por diferentes sensores (G. Chander et al., 2009).

Algoritmos utilizados, utilizando los datos provenientes de los metadatos de las imágenes:

- **Reflectancia:**

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} d^2}{ESUN_{\lambda} \sin \theta}$$

$\pi$  = Constante matemática igual a 3,14159

$L_{\lambda}$  = Radiancia espectral en la apertura del sensor en unidades W/ (m<sup>2</sup> \* sr \* μm)

$d$ : = Distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas

$ESUN_{\lambda}$ : = Irradiación Solar en unidades W/ (m<sup>2</sup> \* μm)

$\theta$  = Ángulo Cenital en grados

La Reflectancia ajusta los valores de DN de brillo de la imagen basándose en la elevación del sol, la fecha de adquisición y las propiedades del sensor. Las imágenes se ajustan a una condición de iluminación teóricamente común, por lo que debería haber menos variación entre las escenas de diferentes fechas y de diferentes sensores. Esto puede ser útil para la clasificación de imágenes, el balance de color y la creación de mosaicos.

- **Temperatura de Brillo:**

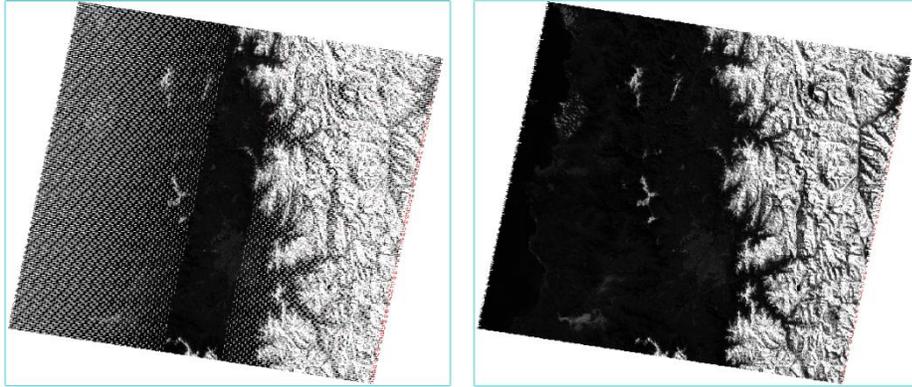
$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

$K1$  y  $K2$ = Constantes de Calibración en Kelvin

La Temperatura de Brillo, es la que convierte los DN en valores de temperatura en grados Kelvin, usando para ello la constante térmica suministrada en el archivo de metadatos. Las imágenes térmicas permiten realizar distintos estudios medioambientales, como por ejemplo la estimación de la evapotranspiración y aplicaciones en la gestión de los recursos hídricos (Jiménez-Muñoz et al., 2010).

### Corrección de Bando:

A partir del 31 de mayo de 2003, Landsat 7 presenta una falla en el SLC, desde entonces las imágenes quedaron bandas negras diagonales resultando una pérdida de datos aproximada del 22%. Para corregir este problema se utiliza una técnica para llenar huecos en una escena con datos de otra escena Landsat. Se aplica una transformación lineal a la imagen de "relleno" para ajustarla en función de la desviación estándar y los valores medios de cada banda, de cada escena (Storey J. et al., 2005), ver figura 12.



**Figura 12: Ejemplo de corrección de bando en banda 2 de la imagen Landsat 7 ETM+ de agosto 2011.**

Imagen izquierda: escena con bandas negras diagonales, imagen derecha: escena corregida.

Fuente: elaboración propia.

### NDSI:

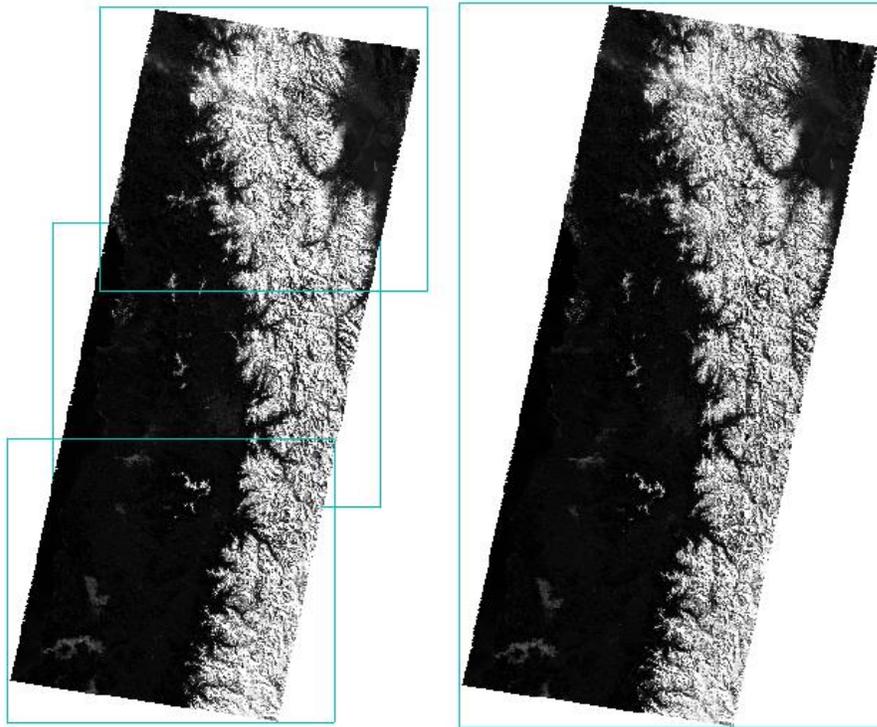
Se utiliza para cartografiar la nieve. Es la diferencia normalizada entre dos bandas (una en el visible y otra en el infrarrojo cercano o partes del infrarrojo de onda corta del espectro electromagnético). La nieve es altamente reflectante en la parte visible del espectro electromagnético y altamente absorbente en la parte del infrarrojo cercano o de onda corta del espectro electromagnético, mientras que la reflectancia de la mayoría de las nubes permanece alta en esas mismas partes del espectro, permitiendo una buena separación de la mayoría de las nubes y nieve (Hall D. et al., 2010).

Este índice es uno de los primeros insumos para generar la cobertura de nieve. Las imágenes Landsat utilizadas, tienen la misma resolución espectral dentro del espectro electromagnético, por lo tanto, en todas se utilizó el siguiente cálculo:

$$\text{NDSI} = (\text{banda2} - \text{banda5}) / (\text{banda2} + \text{banda5})$$

### Mosaicos:

En cada fecha seleccionada es necesario descargar tres imágenes para poder cubrir el área que contiene a la V región de Valparaíso, por lo tanto, una vez realizada la calibración, la corrección del Bando y el cálculo del NDSI, se procede a empalmar cada uno de estos conjuntos de imágenes para dejar una sola imagen final por fecha, ver figura 13.



**Figura 13: Ejemplo de mosaico en banda 2, de tres Imágenes Landsat 7 ETM+ de agosto 2011.**

Imagen izquierda: escenas separadas, imagen derecha: mosaico.

Fuente: elaboración propia.

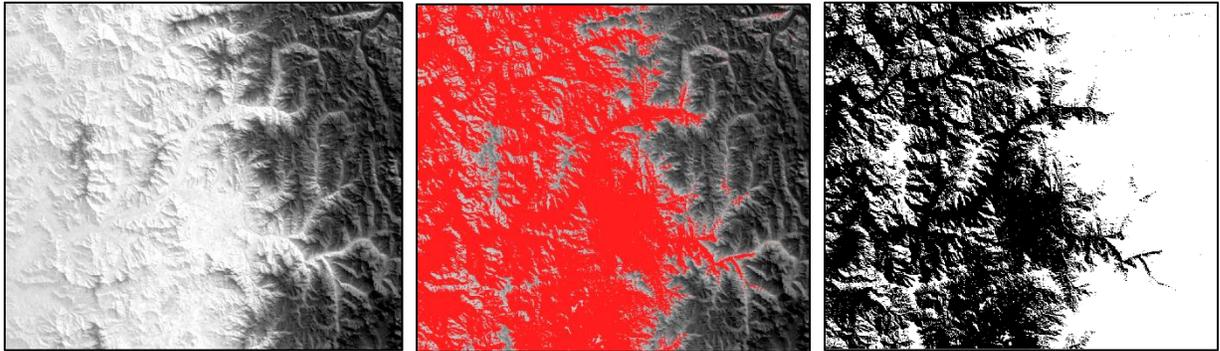
### Corte de Imágenes con archivo vectorial de la V región de Valparaíso:

Una vez generados los mosaicos de todas las imágenes calibradas, corregidas y del índice de nieve se procede a cortarlas utilizando un archivo vectorial de *límite regional*, para así trabajar sólo dentro del área perteneciente a la V región de Valparaíso.

A continuación, se generan cuatro máscaras relacionadas con diferentes variables (temperatura, nubes, sombras, cuerpos de agua), ya que éstas son los insumos previos para obtener la cobertura de nieve, a continuación se detallan cada una de ellas:

### Máscara de Temperatura:

El objetivo de este proceso es enmascarar todas las áreas libres de nieve, para ello, se utiliza el mosaico de Temperatura de Brillo en el que se utilizó la banda 6. Teniendo en cuenta que, si la temperatura de un píxel es mayor a  $283^{\circ}\text{K}$ , entonces el píxel no será mapeado como nieve (Riggs et al., 2003), por lo tanto, se establece este valor para enmascarar todos los píxeles de la imagen que cumplan esta condición, ver figura 14.



**Figura 14: Ejemplo de máscara de temperatura.**

Imagen izquierda: Mosaico de Temperatura de Brillo en imágenes Landsat 7 ETM+ de agosto 2011, imagen central: colorido de umbral, imagen derecha: resultado obtenido luego de aplicar el umbral para identificar áreas con nieve.

Fuente: elaboración propia.

El resultado entrega una imagen con valores 0 (negro) y 1 (blanco) donde 0 equivale a las áreas libres de nieve y 1 equivale a las áreas con nieve.

### Máscara de Nubes:

El objetivo de este proceso es enmascarar las nubes, para ello, se emplea un algoritmo reflejado en un árbol de decisiones donde las propiedades reflectantes y térmicas de la imagen se utilizan para establecer la presencia o ausencia de nubes en una escena. Se trabaja con ocho filtros, con el objetivo de desarrollar una firma confiable de la nube, ver figura 15.

El filtrado se realiza en cada píxel hasta que se elimina o se clasifica como nube (Irish Richard, 2000).

Árbol de Decisión para generar Máscara de Nubes:

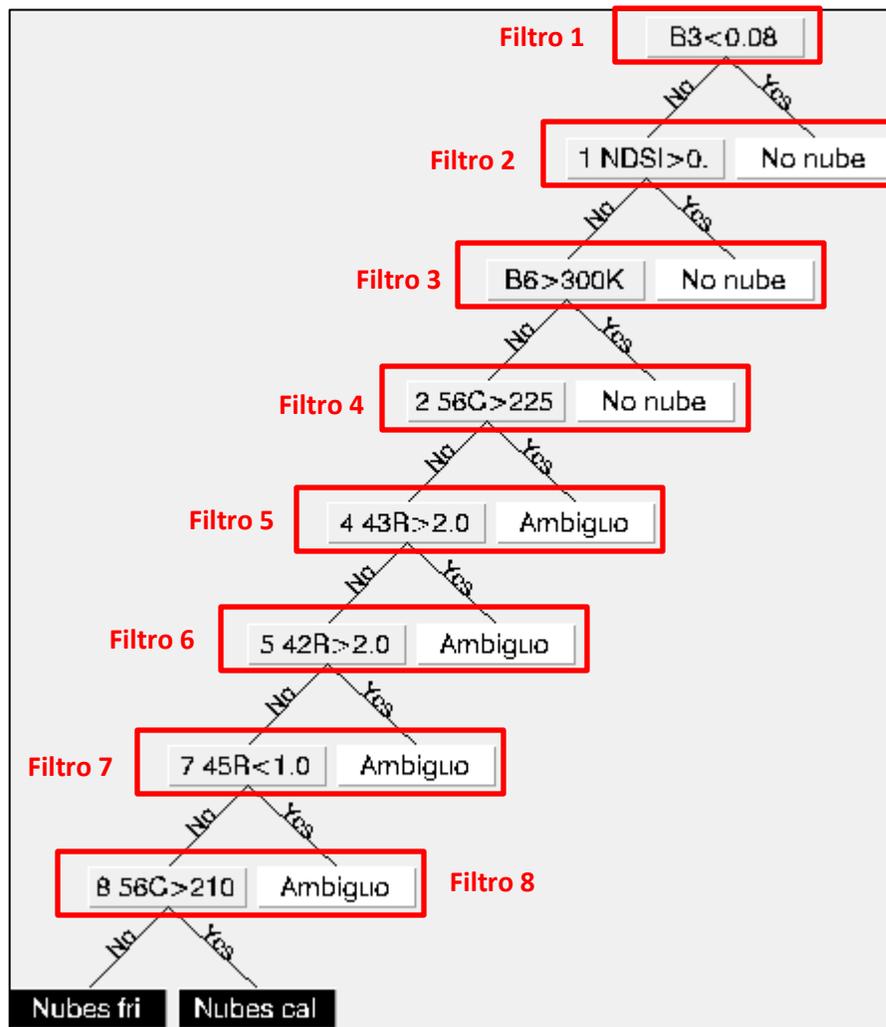


Figura 15: Árbol de decisión para obtener máscara de nubes

Fuente: elaboración propia.

*Filtro 1:*

*Umbral de Brillo*

Cada píxel de la banda 3 se compara primero con el umbral de brillo. Los píxeles que caen por debajo de este umbral se identifican como no-nubes y se marcan como tales en la máscara de nube. Los píxeles que superan el umbral de la banda 3 pasan al filtro 2.

$$\text{Banda 3} < 0,08$$

*Filtro 2:*

*NDSI*

Se utiliza el mismo concepto mencionado anteriormente (*apartado NDSI*), pero el umbral de este índice es de 0,7 (para capturar las nubes compuestas por cristales de hielo, ya que otras metodologías emplean el umbral 0,4; pero se eliminan éstas). Los valores por encima de este umbral se califican como nieve y se registran como no-nube en la máscara de nubes. Los píxeles de nieve que permanecen sin filtrar están normalmente atrapados con un filtro subsiguiente. Los píxeles que caen por debajo del umbral NDSI pasan al filtro 3.

$$\text{NDSI} > 0,7$$

*Filtro 3:*

*Umbral de Temperatura*

Este filtro examina los valores de temperatura de la banda 6 para los píxeles de nubes potenciales. Si un valor de píxel supera los 300°K, refleja una temperatura de nube máxima, se excluye y se etiqueta como no-nube en la máscara. Todos los píxeles con temperatura inferior a 300°K pasan al filtro 4.

$$\text{Banda 6} > 300$$

*Filtro 4:*

*Banda 5/6 Compuesta*

Los valores de píxeles de las bandas 5 y 6 se usan para formular el compuesto de banda 5/6. Este filtro funciona excepcionalmente bien porque las nubes son frías y muy reflectantes en la banda 5. Es particularmente útil para eliminar las características de la superficie de tierra fría que tienen reflectancia baja en la banda 5 como la nieve y la tundra. El valor umbral de 225 funciona de manera óptima, los valores de píxeles por encima de este umbral se denominan ambiguos, los que caen por debajo de este umbral se pasan al filtro 5.

$$\text{Banda 5/6 Compuesta} = (1 - \text{Banda 5}) * \text{Banda 6} > 225$$

*Filtro 5:*

*Relación Banda 4/3*

Este filtro elimina la vegetación altamente reflectante y es simplemente la reflectancia de la banda 4 dividida por la reflectancia de la banda 3. En el infrarrojo cercano (banda 4), la reflectancia de las hojas verdes es alta porque se absorbe muy poca energía. En la región roja (banda 3), la clorofila en las hojas verdes absorbe la energía por lo que la reflectancia es baja. La proporción de 4/3 da como resultado valores más altos para la vegetación que para otras características de la escena, incluidas las nubes. Se utiliza un valor umbral de 2,0. Los píxeles que superan este umbral se denominan ambiguos, los por debajo de este umbral se pasan al filtro 6.

$$\text{Relación Banda 4/3} = \text{Banda 4/Band 3} > 2,0$$

*Filtro 6:*

*Relación Banda 4/2*

Este filtro elimina la vegetación senescente altamente reflectante y se forma dividiendo la reflectancia de la banda 4 por la reflectancia de la banda 2. En el infrarrojo cercano (banda 4), las hojas verdes que están muertas o moribundas absorben aún menos energía y, por tanto, son altamente reflectantes. En la región verde (banda 2), las hojas absorben menos energía debido a la pérdida de clorofila y exhiben una mayor reflectividad. Los valores de relación 4/2 son más altos para la vegetación que otras características de la escena incluyendo las nubes. Una configuración de umbral de 2,0 funciona de manera efectiva. Los píxeles que exceden este número son ambiguos los por debajo de este umbral se pasan al filtro 7.

$$\text{Relación Banda 4/2} = \text{Banda 4/Band 2} > 2,0$$

*Filtro 7:*

*Relación banda 4/5*

Este filtro elimina las rocas altamente reflectantes y las arenas en paisajes desérticos y se forma dividiendo la reflectancia de la banda 4 por la reflectancia de la banda 5. Las rocas y la arena tienden a presentar una mayor reflectancia en la banda 5 que en la banda 4, mientras que lo contrario es cierto para las nubes. Una configuración de umbral de 1.0 funciona de manera efectiva. Los píxeles que caen por debajo de este umbral son etiquetados como ambiguos los que superan este umbral se pasan al filtro 8.

$$\text{Relación Banda 4/5} = \text{Banda 4/Band 5} < 1,0$$

*Filtro 8:*

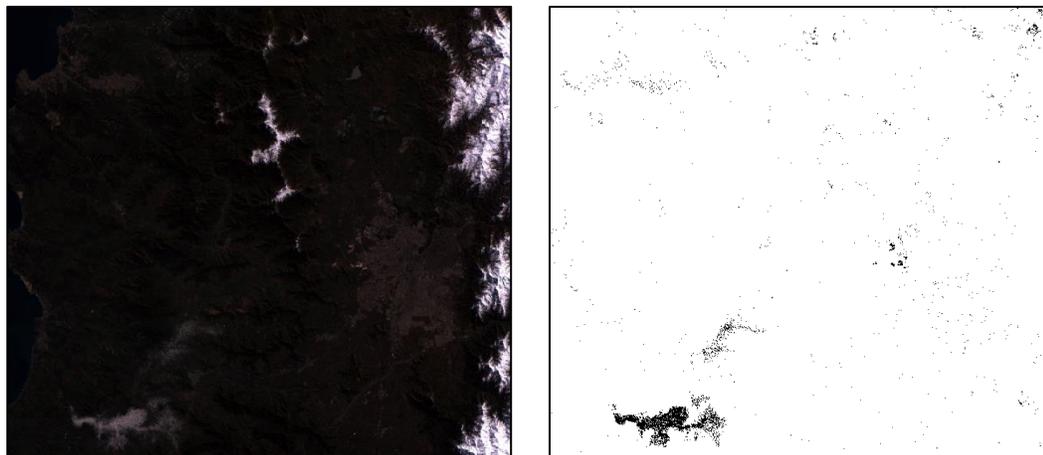
*Banda 5/6 Compuesta:*

Todos los píxeles que alcanzan este nivel de filtrado se clasifican como nubes. Una separación adicional en dos clases se logra utilizando el filtro compuesto de banda 5/6. Para cada píxel de nube, se compara el compuesto de banda 5/6 con un valor umbral de 210. Los píxeles por encima y por debajo de este umbral se clasifican como nubes cálidas y frías respectivamente. Estas dos clases de nube se registran en la máscara de nube.

$$\text{Banda 5/6 Compuesta} = (1 - \text{Banda 5}) * \text{Banda 6} > 210$$

El filtro 8 permite identificar nubes cálidas y frías, lo que diferencia las más bajas de las más altas y por ende conocer cuáles están compuestas por agua o hielo, pero en este caso se ocupó ambas de forma agrupada (se enmascararon ambas a la vez).

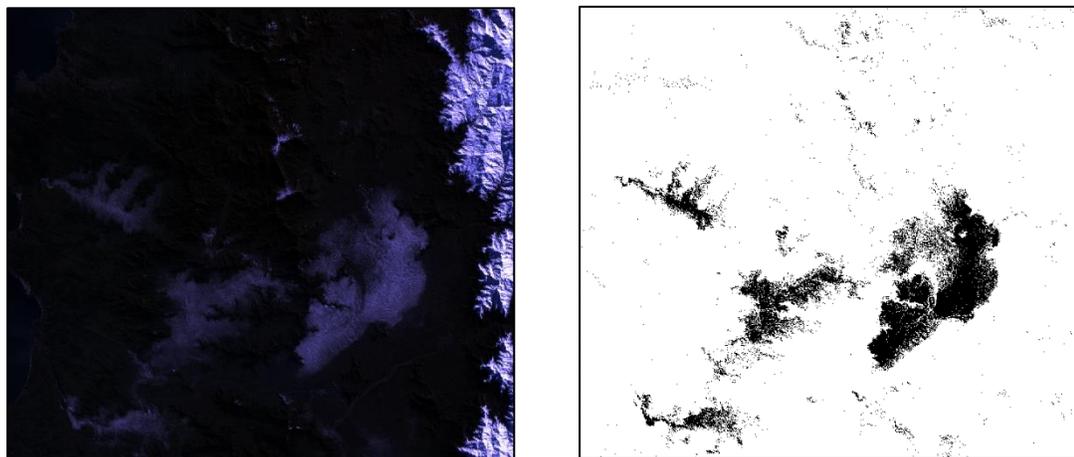
Ejemplos de los resultados obtenidos con el procedimiento empleado:



**Figura 16: Ejemplo de máscara de nubes.**

Imagen izquierda: Imagen Landsat 7 ETM+ de agosto 2011 en color real, con un 2% de cobertura de nube, imagen derecha: resultado obtenido luego de aplicar el algoritmo mediante un árbol de decisión.

Fuente: elaboración propia.



**Figura 17: Ejemplo de máscara de nubes.**

Imagen izquierda: Imagen Landsat 5 TM de junio 1986 en color real, con un 41% de cobertura de nube, imagen derecha: resultado obtenido luego de aplicar el algoritmo mediante un árbol de decisión.

Fuente: elaboración propia.

El resultado entrega una imagen con valores 0 (negro) y 1 (blanco) donde 0 equivale a las áreas donde hay nubes y 1 equivale a las áreas sin nubes.

### Máscara de Sombras:

El objetivo de este proceso es enmascarar las sombras, para ello se requiere de tres elementos:

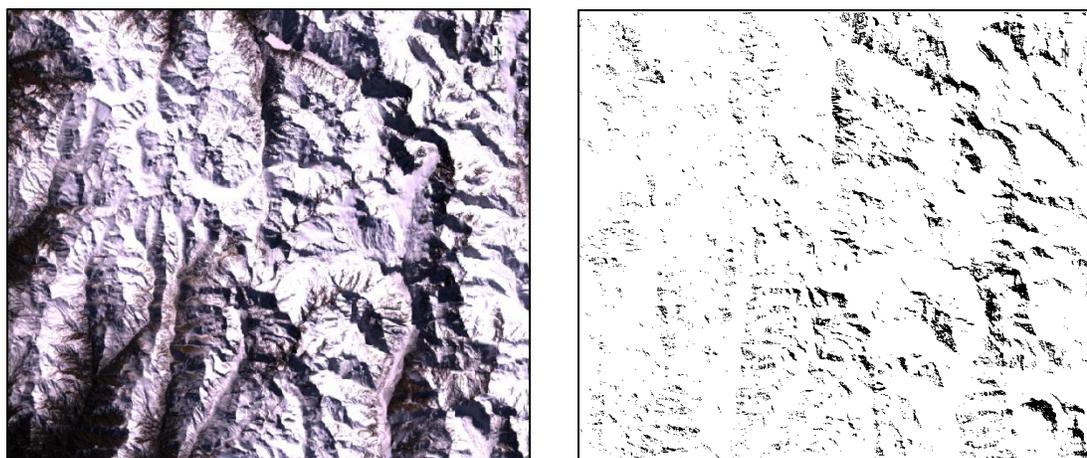
- Modelo digital de elevación (Digital Elevation Model, DEM).
- Ángulo de elevación del Sol de la Imagen.
- Ángulo de azimut del Sol de la Imagen.

El DEM utilizado para llevar a cabo este proceso es el Aster GDem que contiene a la V región de Valparaíso, con una resolución espacial de 30 m, el cual está en coordenadas rectangulares UTM - WGS 84, Huso 19 Sur. Con respecto a los ángulos de elevación y de azimut, son recaudados del archivo de metadato de cada una de las imágenes.

Teniendo estos insumos se crea una imagen de relieve sombreada, es decir, una representación 3D en escala de grises de la superficie que tiene en cuenta la posición relativa del Sol para sombrear la imagen. Esta función utiliza las propiedades de altitud y acimut para especificar la posición del Sol.

La máscara de sombra tiene la imagen de relieve sombreada como entrada, con rangos de valores enteros de 0 a 255, donde los píxeles en sombra se les asigna un valor 0, por lo tanto, se genera la máscara de sombra a partir de estos valores, ver figura 18.

La máscara de sombras se obtuvo a partir del software ArcGIS versión 10.1, ya que permite conseguir este resultado rápidamente.



**Figura 18: Ejemplo de máscara de sombras.**

Imagen izquierda: Imagen Landsat 7 ETM+ de agosto 2011 en color real, imagen derecha: resultado obtenido luego de aplicar el umbral para identificar áreas con nubes.

Fuente: elaboración propia.

El resultado entrega una imagen con valores 0 (negro) y 1 (blanco) donde 0 equivale a las áreas donde hay sombra y 1 equivale a las áreas sin sombra.

### Máscara de cobertura sin nieve:

El objetivo de este proceso es enmascarar todas las zonas en donde no exista nieve, para ello, se emplea el NDSI. Si el umbral del NDSI es mayor a 0,4; entonces la nieve está presente, pero al utilizar este umbral para la nieve se requiere una condición adicional para separar el agua de ésta, por lo tanto, en este se trabaja adicionalmente con la banda 4, donde el agua queda excluida para valores mayores que 0,11 (Hall D. et al., 2002).

Por lo tanto, todos aquellos píxeles que no cumplan estas dos condiciones serán enmascarados:

$$\text{NDSI} > 0,4 \text{ and Banda } 4 > 0,11$$

Para llevar a cabo este procedimiento se crea un árbol de decisión, ver figura 19.

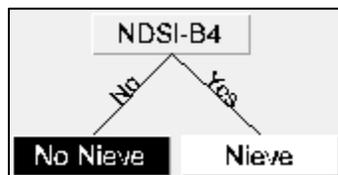


Figura 19: Árbol de decisión para obtener máscara de nieve

Fuente: elaboración propia.

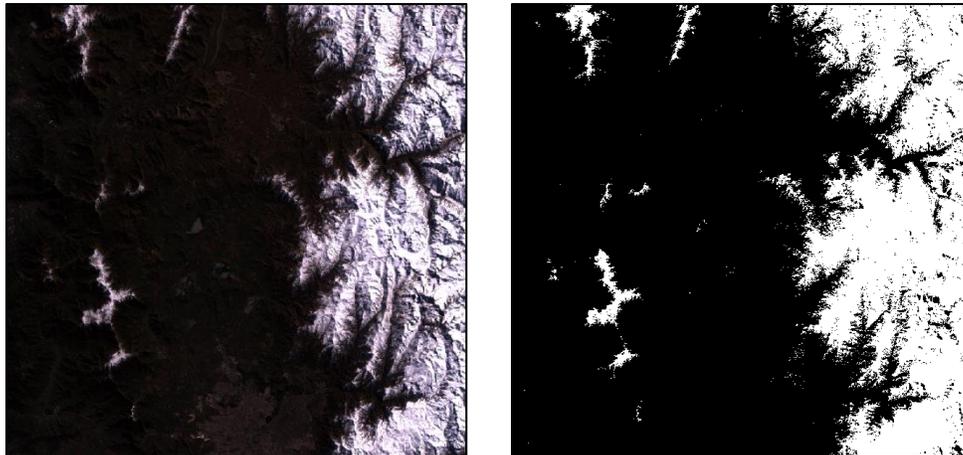


Figura 20: Ejemplo de máscara de cobertura sin nieve.

Imagen izquierda: Imagen Landsat 7 ETM+ de agosto 2011 en color real, imagen derecha: resultado obtenido luego de aplicar el umbral para identificar áreas sin nieve.

Fuente: elaboración propia.

El resultado entrega una imagen con valores 0 (negro) y 1 (blanco) donde 0 equivale a las áreas donde no hay nieve y 1 equivale a las áreas con nieve.

## Cobertura de nieve:

Con las máscaras creadas se puede obtener una cobertura de nieve de la V región de Valparaíso, para ello, en un árbol de decisión se unen todos los criterios aplicados anteriormente, generando así el resultado esperado, ver figura 21.

El filtrado se realiza en cada píxel hasta que se clasifica como nieve (Solarza, 2011).

Árbol de Decisión para generar máscara de cobertura de nieve

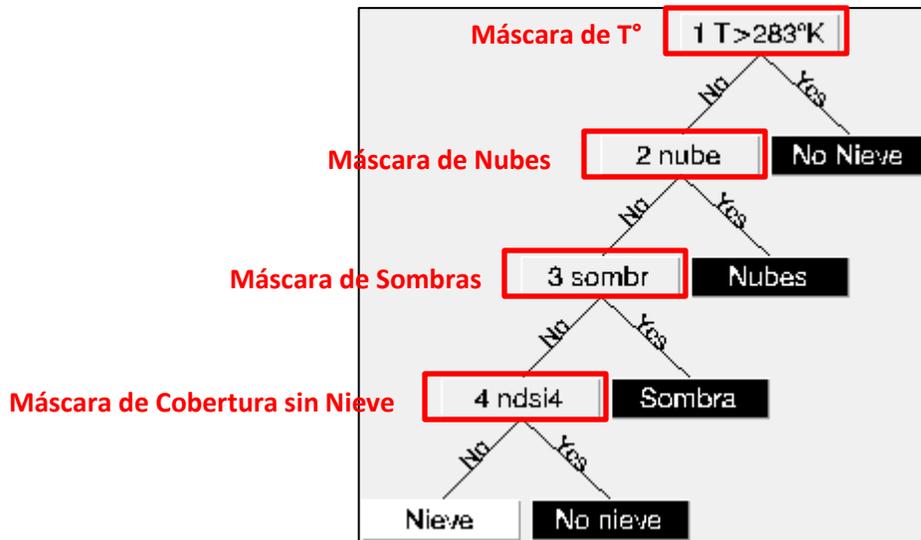


Figura 21: Árbol de decisión para generar máscara de cobertura de nieve

Fuente: elaboración propia.

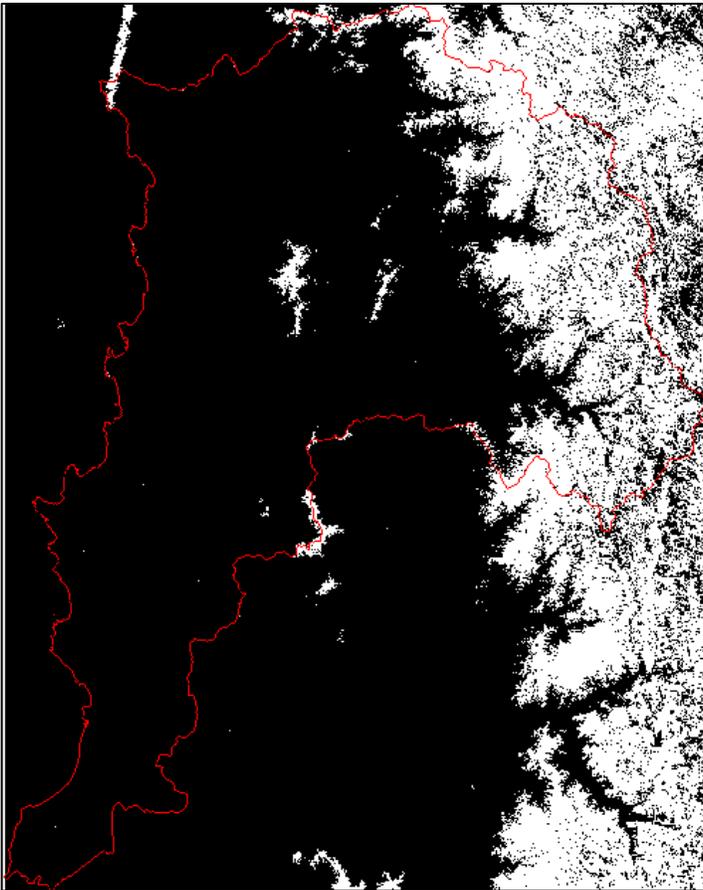
## Filtros empleados:

Filtro 1: Máscara de Temperatura = 0, si se cumple es un área libre de nieve, si no, pasa al filtro 2.

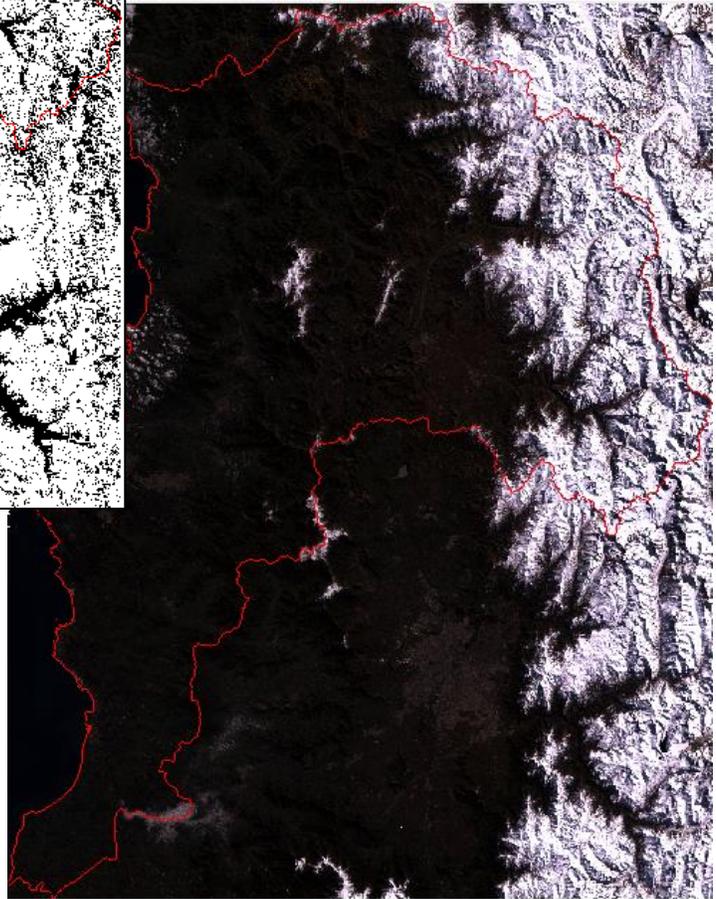
Filtro 2: Máscara de Nubes = 0, si se cumple es un área donde hay nubes, si no, pasa al filtro 3.

Filtro 3: Máscara de Sombra = 0, si se cumple es un área donde hay sombra, si no, pasa al filtro 4.

Filtro 4: Máscara de Cobertura sin nieve = 0, si se cumple es un área donde no hay nieve, si no, es un área cubierta de nieve.



**Figura 22: Resultado máscara de nieve**  
Resultado obtenido luego de aplicar árbol de decisión para obtener cobertura de nieve.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 23: Nieve en Imagen Landsat**  
Imagen Landsat 7 ETM+ de agosto 2011 en color real.  
Fuente: elaboración propia.

**Extracción de Píxeles con nieve:**

La Cobertura de nieve obtenida se corta con el archivo vectorial de límites de la cuenca del río Aconcagua y se extrae la cantidad de píxeles que representan la existencia de nieve. Los datos obtenidos en este proceso permitirán el análisis estadístico al relacionarlos con otras variables.

1. Corte de la imagen de cobertura de nieve con archivo vectorial de límites de la cuenca del río Aconcagua, ver figura 24.

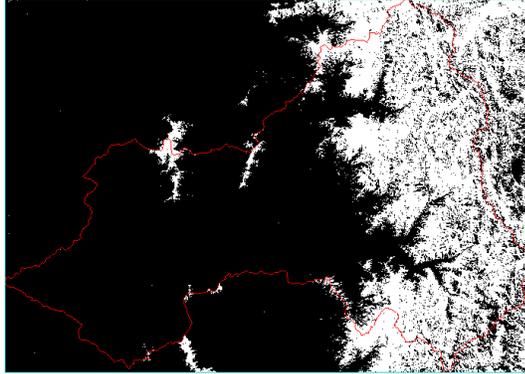


Figura 24: Máscara de nieve de la cuenca del río Aconcagua

Fuente: elaboración propia.

2. Extracción de valores de píxeles con datos de nieve, utilizando archivo vectorial de límites de la cuenca del río Aconcagua como región de interés, ver figura 25.

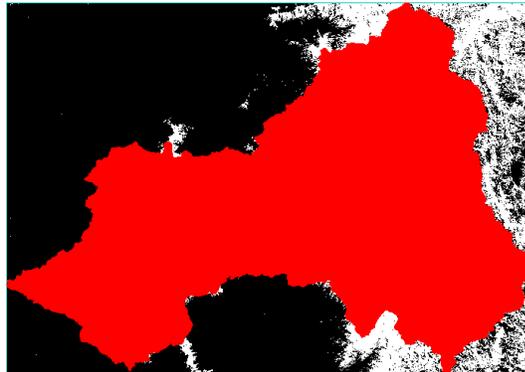


Figura 25: Región de Interés utilizada para extraer datos de la Máscara de nieve

Fuente: elaboración propia.

3. Obtención de resultado de la estadística extraída de la intersección de la región de interés con la Imagen cortada, ver figura 26.

ROI: ROI #1					
Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	
Band 1	0	1	0.341911	0.474350	
Histogram	DN	Npts	Total	Percent	Acc Pct
Band 1	0	5368158	5368158	65.8089	65.8089
	1	2789036	8157194	34.1911	100.0000

Figura 26: Resultados estadísticos obtenidos al extraer datos de la Máscara de nieve

Fuente: elaboración propia.

4. Los pasos previos se repiten para todas las imágenes de las fechas seleccionadas, se extrae el valor correspondiente a 1 (equivale a las áreas con nieve), éstos se convierten a hectáreas para finalmente graficar los resultados obtenidos, ver tabla 15.

Fecha	Número de píxeles	Superficie de nieve (hectáreas)
junio 1986	2784339	250590,51
julio 1989	734236	66081,24
julio 1993	2467199	222047,91
julio 1996	1519303	136737,27
julio 2000	2481216	223309,44
julio 2002	3163264	284693,76
julio 2005	2085966	187736,94
agosto 2008	2695854	242626,86
agosto 2011	2789036	251013,24
julio 2014	1767133	159041,97

Tabla 15: Registro de los píxeles equivalentes a superficie de nieve  
Fuente: elaboración propia.

#### Resultado:

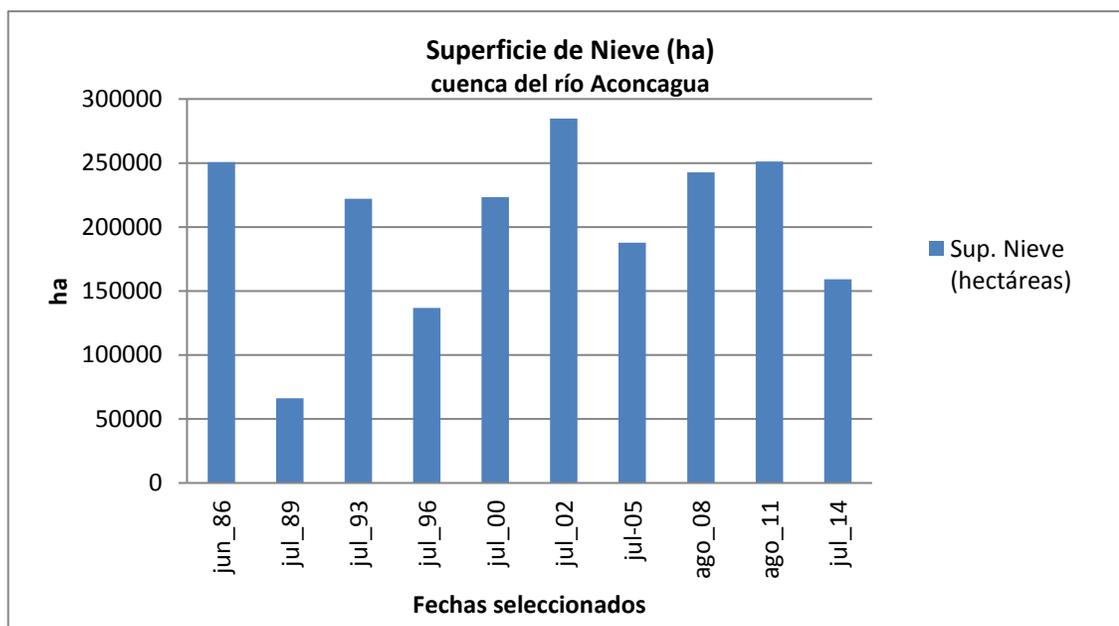


Gráfico 35: Superficie de nieve (ha) en la cuenca del río Aconcagua  
Fuente: elaboración propia.

**Patrón Temporal:** la superficie de nieve caída en un período de 28 años es muy dinámica, *parece tener un comportamiento variable para la estación de invierno.*

### **Análisis preliminar de la variable**

En época de invierno, en la alta cordillera es donde se forma y acumula la reserva de agua para abastecer a la cuenca del río Aconcagua en verano, pero en esta parte del territorio se localizan pocas estaciones meteorológicas y fluviométricas, lo que conlleva a tener escasos datos de precipitaciones (lluvia y nieve). Este panorama, ha fomentado el optar por otro tipo de recursos tales como la teledetección, empleada en este trabajo de tesis, ya que mediante el procesamiento de imágenes satelitales Landsat se pudo obtener el registro aproximado de la cobertura superficial de nieve caída en el sector cordillerano de la cuenca, la cual entrega una idea de lo ocurrido en las estaciones de invierno en un período aproximado de 28 años.

El resultado obtenido es complejo de entender sin tener mayores antecedentes al respecto, ya que al igual que las demás variables, su comportamiento es muy dinámico, por este motivo es que en el capítulo 6 estos registros serán correlacionados con otras variables de temperatura y precipitación, para de alguna forma, poder explicar el comportamiento de la superficie de nieve observada a través de los años y con eso determinar el impacto que tiene el recurso hídrico en el sistema productivo del palto.

Un factor importante por considerar es que con la metodología utilizada no se pueden obtener resultados concernientes a la profundidad que tiene la cobertura de nieve, es decir, solo se mide el área superficial nevada aproximada lo que entregará una referencia del territorio con presencia de nieve y no lo compacta que se encuentra ésta en el sector nevado.

## 3.4 Temperatura

La Temperatura se refiere a la cantidad de energía solar retenida por el aire en un momento dado. Se puede afirmar que la temperatura depende ante todo de la radiación solar. El termómetro es el instrumento de fiabilidad que se utiliza para medir esa cantidad de energía. El resultado de ello se expresa en una escala centígrada o en grados Celsius, o bien en la escala de Fahrenheit. No obstante, son tres los factores del clima que hacen funcionalmente variar la temperatura: la altitud, la latitud y la proximidad al mar. Pero además hay que agregarle en la influencia de los cambios términos a los movimientos de rotación y traslación de la Tierra (Ordoñez J., 2011).

Los datos de temperatura recopilados provienen específicamente de dos fuentes, las que a continuación se mencionan:

- DGA: Posee un inventario compuesto por toda la información correspondiente a mediciones efectuadas con estaciones de monitoreo en todo Chile, dando origen a la Red Hidrométrica Nacional, muchas de estas estaciones de monitoreo siguen vigentes aún (última actualización marzo de 2012), entregando datos fluviométricos y meteorológicos a través de diversos reportes estadísticos oficiales de estas variables hidrometeorológicas.
- DMC: es el organismo responsable del quehacer meteorológico en el país. Depende de la DGAC y su objetivo es satisfacer las necesidades de información y previsión meteorológica de todas las actividades nacionales. Realiza el mantenimiento del instrumental de la red nacional de estaciones meteorológicas y del equipamiento meteorológico de todos los aeropuertos y aeródromos de Chile.

Las estaciones meteorológicas seleccionadas, cumplen básicamente dos criterios:

- Poseen datos históricos suficientes para conocer su comportamiento dentro del período 1996-2014 o lo más cercano, donde se encuentra el levantamiento del catastro frutícola.
- Están distribuidos dentro de la cuenca del río Aconcagua y cercano a las plantaciones de paltos.

En base a lo anterior son nueve las estaciones cuyos datos fueron procesados:

1. Embalse Lliu Lliu.
2. Nogales.
3. La Cruz.
4. Llay Llay.
5. Los Aromos.
6. Olmué.
7. Quillota.
8. San Felipe.
9. Vilcuya.

Distribución de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Aconcagua con registros de Temperatura ( $T^{\circ}$ ), ver figura 27.

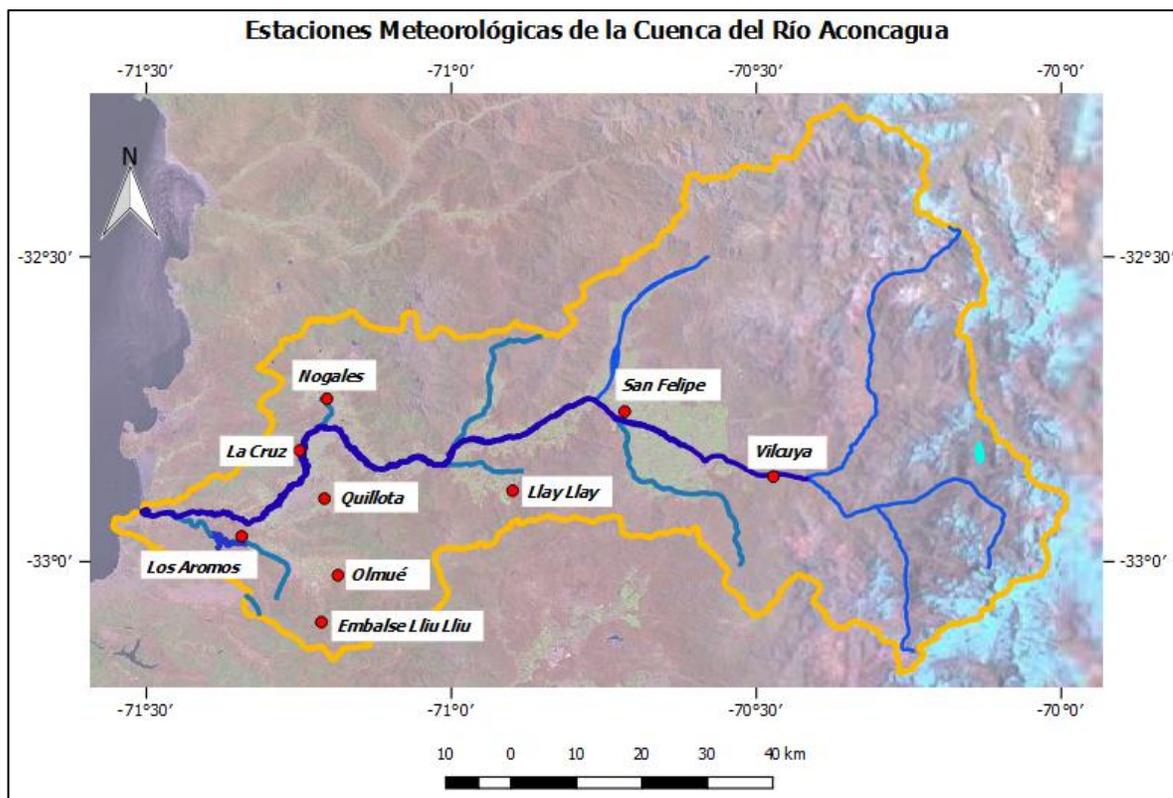


Figura 27: Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Aconcagua - Temperatura  
Fuente: elaboración propia.

## **Metodología**

Una vez descargados los datos e independientemente del origen y formato de éstos, se procede a estructurarlos en una planilla considerando cuatro elementos principales, los que a continuación se detallan:

1. Año: se recopilan los registros a partir del año más antiguo hasta el más actual disponible, ya que posteriormente se grafica para poder visualizar el comportamiento de la variable a través del tiempo.
2. Mes: se desglosan los datos por mes, para así al graficar, poder identificar el mes más representativo del invierno (junio, julio y agosto), donde se acumula la nieve, principal recurso de abastecimiento de la cuenca; y verano (diciembre, enero y febrero), donde las plantaciones dependen de la gestión del riego que se tenga para aprovechar este recurso, después de los deshielos de la nieve acumulada.
3. Temperatura Mínima: por cada mes se ordena el registro correspondiente a la temperatura mínima media mensual.
4. Temperatura Máxima: por cada mes se ordena el registro correspondiente a la temperatura máxima media mensual.

Luego, se procede a identificar principalmente d patrones:

1. Patrón Estacional: hace referencia a identificar los dos meses en donde se refleja la temperatura mínima y máxima a través de los años.
2. Patrón Temporal: teniendo en cuenta el mes representativo de las temperaturas máximas y mínimas, se selecciona éste y se analiza su comportamiento individual a través del tiempo, esto para analizar su variabilidad, es decir, detectar en cada caso si las temperaturas vienen bajando, subiendo o no existe cambio.

## **Resultado**

Finalmente se grafican los resultados obtenidos de cada una de las estaciones para visualizar e identificar los patrones recién mencionados:

**Estación embalse Lliu Lliu:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la temperatura más baja es **julio** y la más alta es **enero** en un período de 30 años, ver gráfico 36.

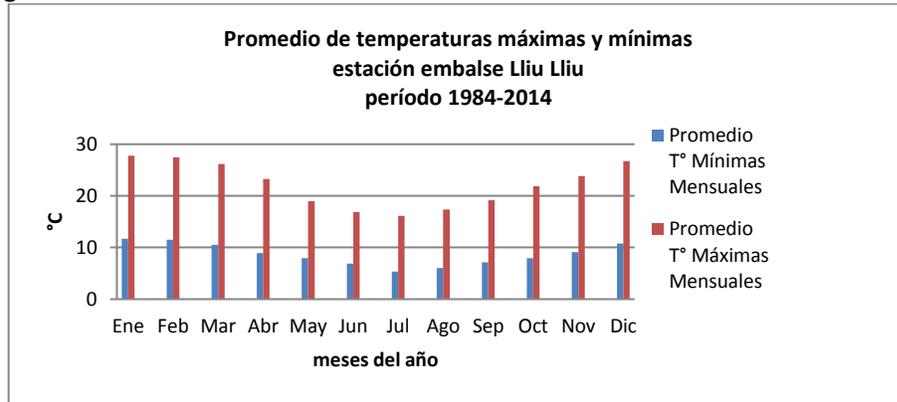


Gráfico 36: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación embalse Lliu Lliu

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de julio** en un período de 30 años, ver gráfico 37.

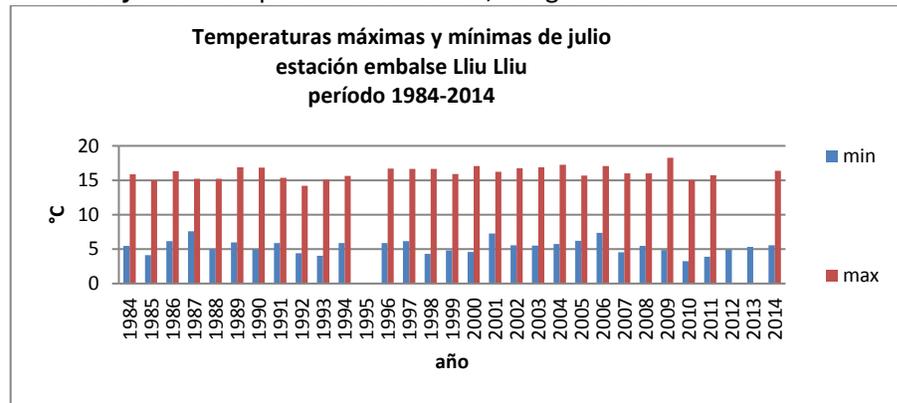


Gráfico 37: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación embalse Lliu Lliu

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de enero** en un período de 30 años, sin embargo, las **temperaturas máximas vienen aumentando** a partir del año 2005 según el promedio (27,8°C): 2005 (28,6°C), 2006 (28,5°C), 2007 (28,5°C), 2008 (28,7°C), 2009 (28,5°C), 2010 (29,4°C), 2011 (28,3°C), 2012 (28,3°C) y 2014 (28,8°C), ver gráfico 38.



Gráfico 38: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación embalse Lliu Lliu

**Estación Nogales:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la temperatura más baja es **julio** y la más alta es **enero** en un período de 14 años, ver gráfico 39.

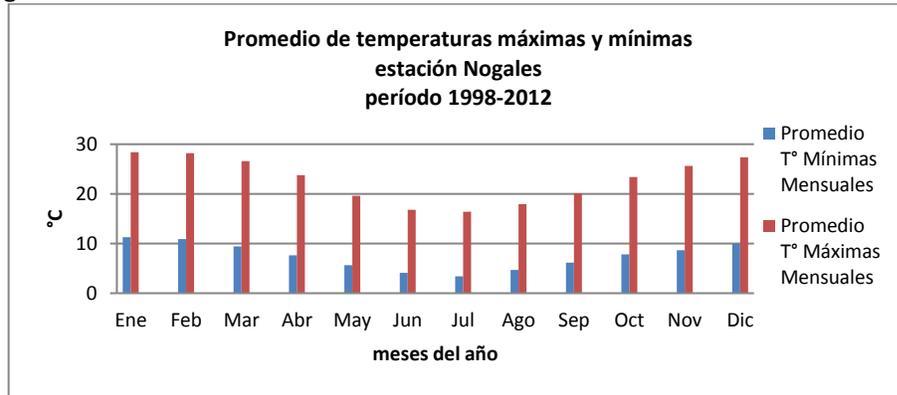


Gráfico 39: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Nogales

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de julio** en un período de 14 años, ver gráfico 40.

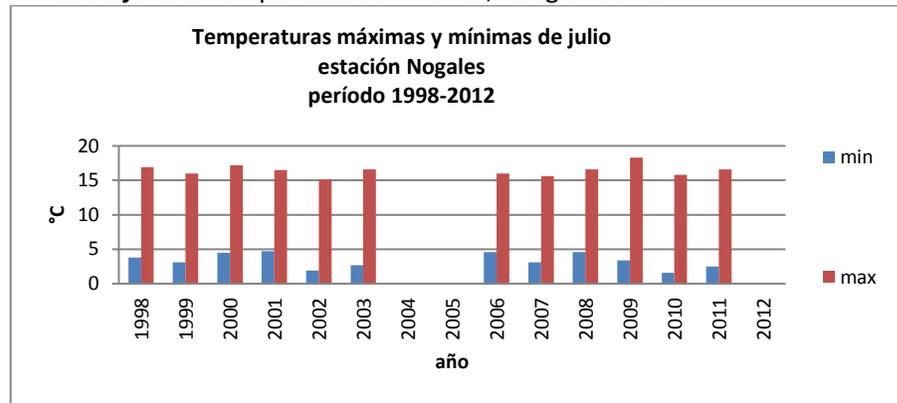


Gráfico 40: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Nogales

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de enero** en un período de 14 años, sin embargo, las **temperaturas máximas vienen aumentando** a partir del año 2009 según el promedio (28,4°C): 2009 (28,9°C), 2010 (30,7°C), 2011 (30,2°C) y 2012 (30,2°C), ver gráfico 41.

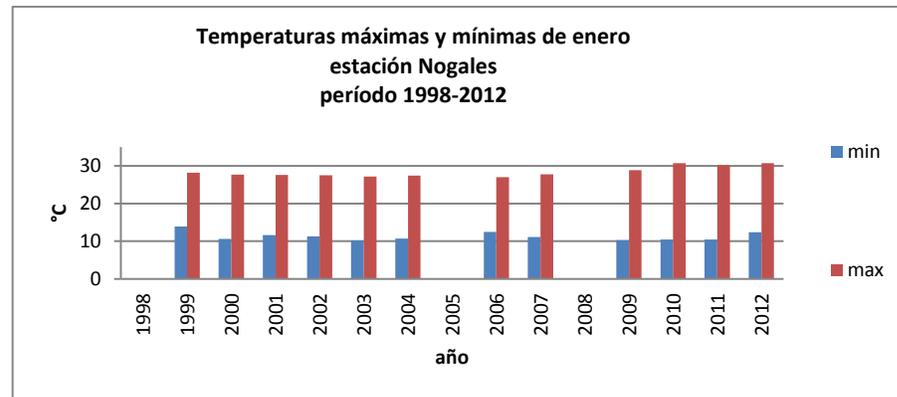


Gráfico 41: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Nogales

**Estación La Cruz:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la temperatura más baja es **julio** y la más alta es **enero** en un período de 17 años, ver gráfico 42.

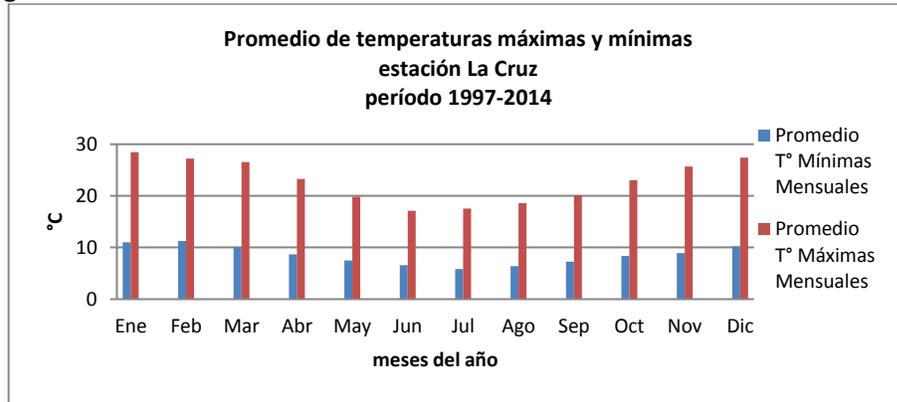


Gráfico 42: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación La Cruz

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de julio** en un período de 17 años, ver gráfico 43.

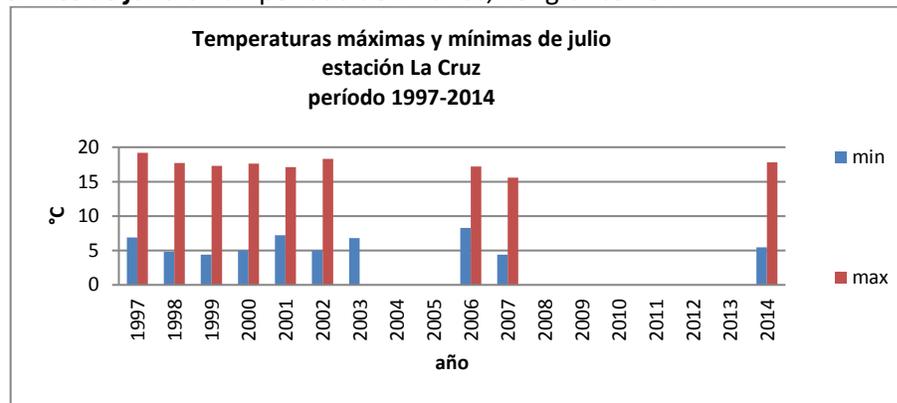


Gráfico 43: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación La Cruz

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de enero** en un período de 17 años, ver gráfico 44:

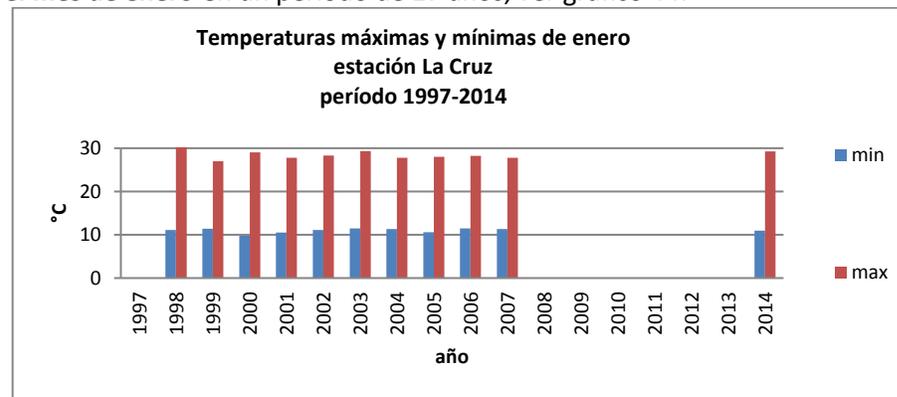


Gráfico 44: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación La Cruz

**Estación Llay Llay:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la temperatura más baja es **julio** y la más alta es **enero** en un período de 14 años, ver gráfico 45.

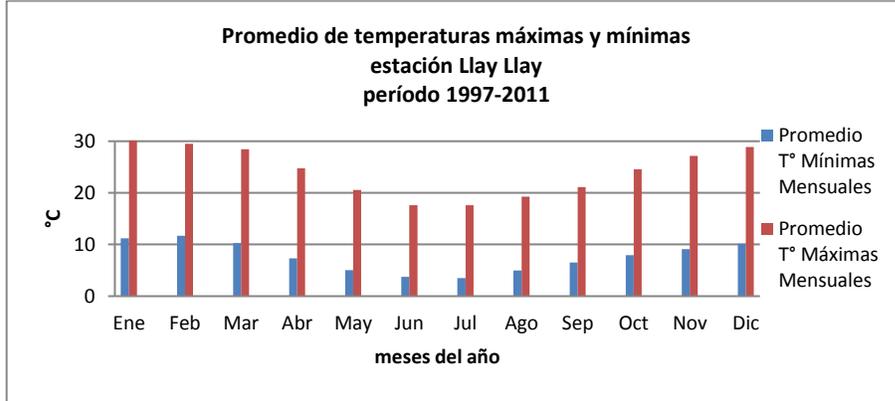


Gráfico 45: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Llay Llay

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de julio** en un período de 14 años, ver gráfico 46.

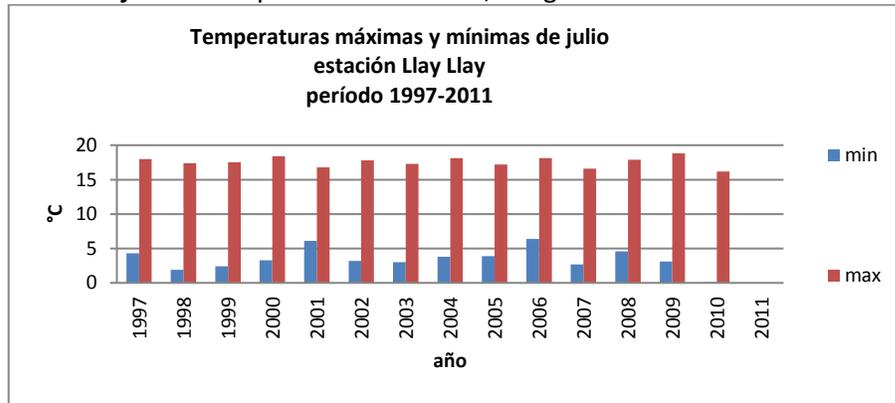


Gráfico 46: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Llay Llay

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de enero** en un período de 14 años, sin embargo, las **temperaturas máximas vienen aumentando** a partir del año 2008 según el promedio (30,2°C): 2008 (31,7°C), 2009 (31,6°C), 2010 (31,0°C) y 2011 (30,2°C), ver gráfico 47.



Gráfico 47: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Llay Llay

**Estación Los Aromos:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la temperatura más baja es **julio** y la más alta es **enero** en un período de 30 años, ver gráfico 48.

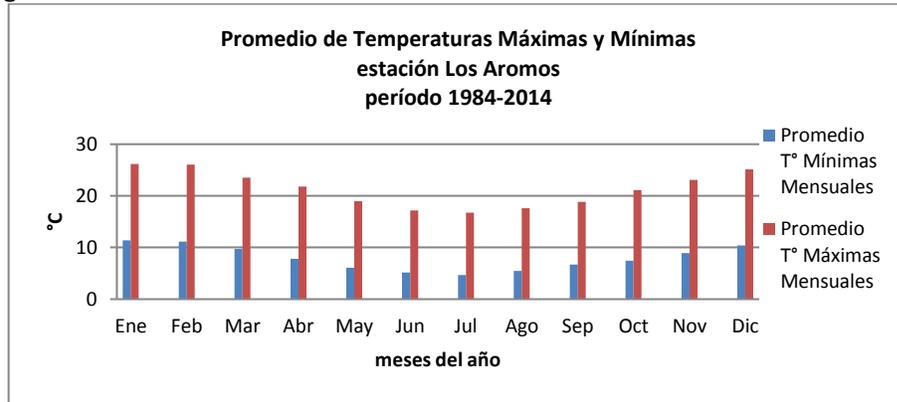


Gráfico 48: Promedios de Temperaturas Máximas y Mínimas, estación Los Aromos

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de julio** en un período de 30 años, ver gráfico 49.

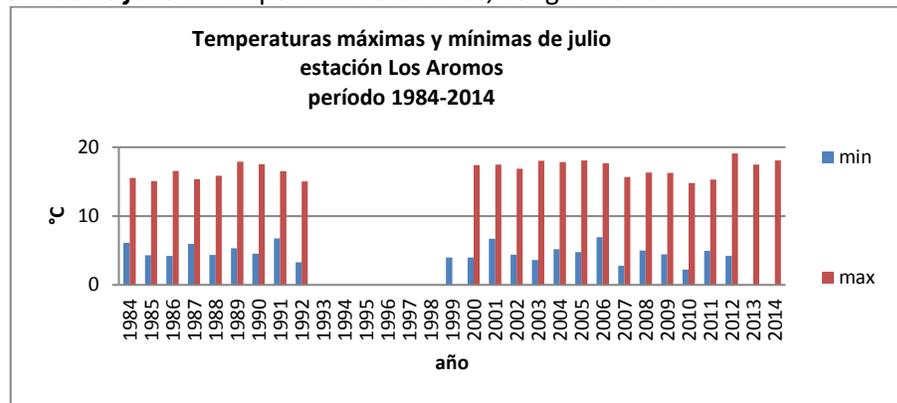


Gráfico 49: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Los Aromos

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de enero** en un período de 30 años, sin embargo, las **temperaturas máximas vienen aumentando** a partir del año 2003 según el promedio (26,2°C): 2003 (26,4°C), 2004 (26,4°C), 2005 (27,7°C), 2006 (30,4°C), 2007 (30,1°C), 2008 (28,7°C), 2009 (28,1°C), 2010 (26,7°C), 2011 (27,2°C), 2012 (28,1°C) y 2014 (27,6°C), ver gráfico 50.

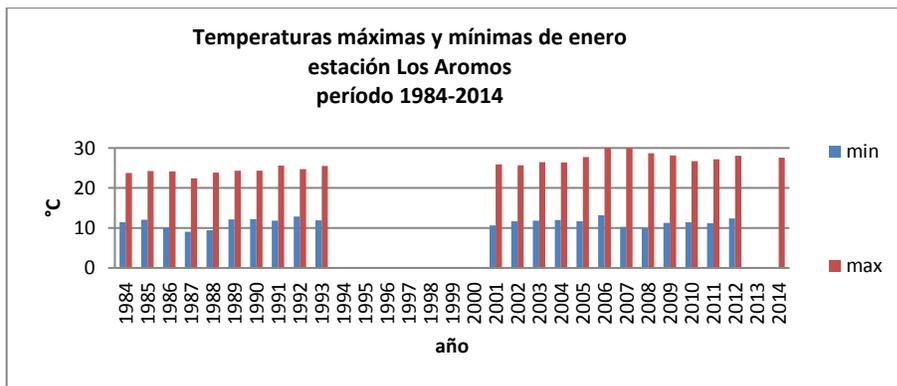


Gráfico 50: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Los Aromos

**Estación Olmué:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la temperatura más baja es **julio** y la más alta es **enero** en un período de 15 años, ver gráfico 51.

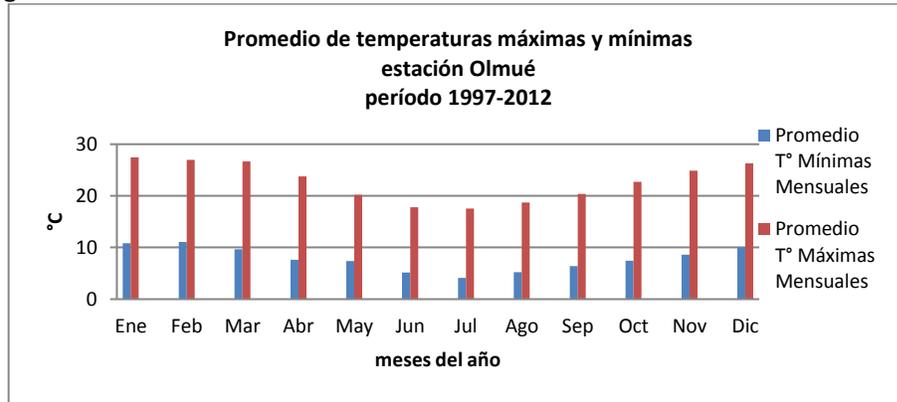


Gráfico 51: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Olmué

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de julio** en un período de 15 años, ver gráfico 52.

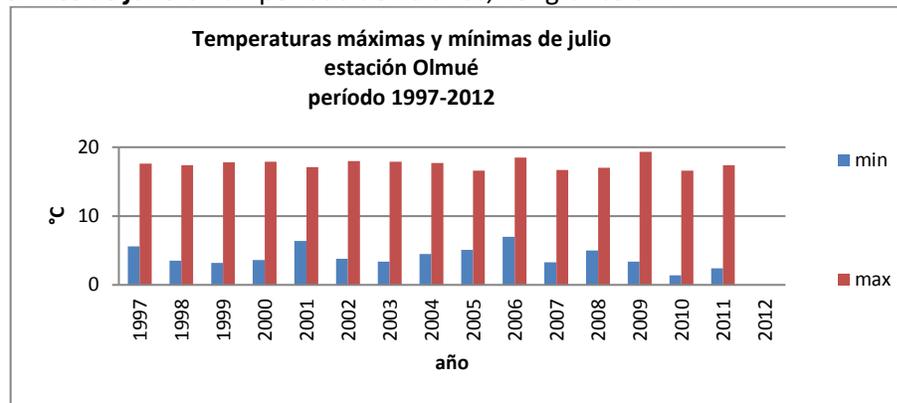


Gráfico 52: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Olmué

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de enero** en un período de 15 años, ver gráfico 53.



Gráfico 53: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Olmué

**Estación Quillota:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la temperatura más baja es **julio** y la más alta es **enero** en un período de 30 años, ver gráfico 54.

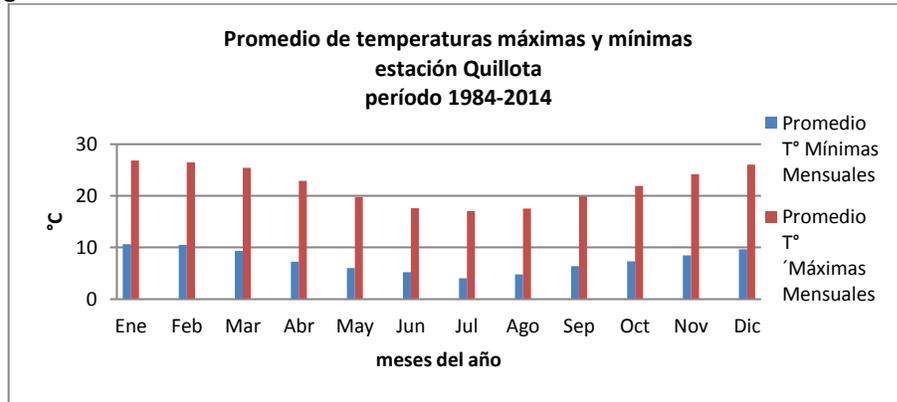


Gráfico 54: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Quillota

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de julio** en un período de 30 años, ver gráfico 55.

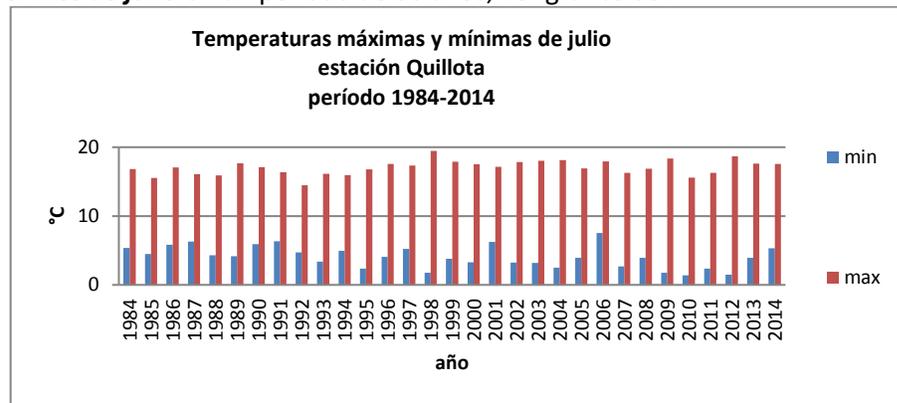


Gráfico 55: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Quillota

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de enero** en un período de 30 años, ver gráfico 56.

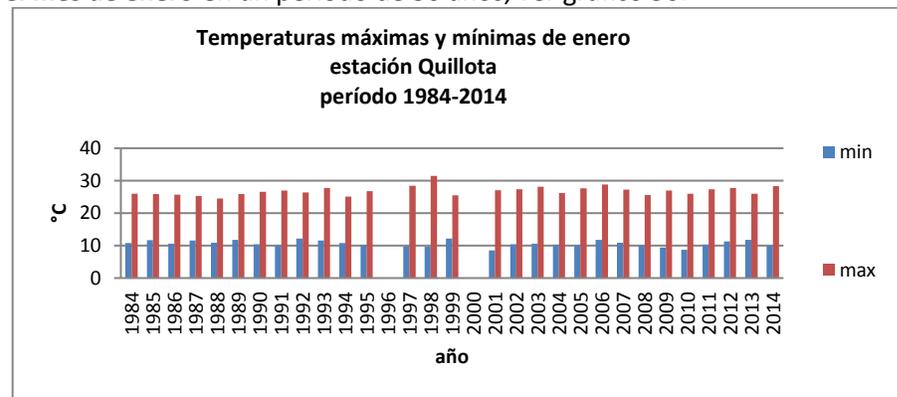


Gráfico 56: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Quillota

**Estación San Felipe:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la temperatura más baja es **julio** y la más alta es **enero** en un período de 15 años, ver gráfico 57.

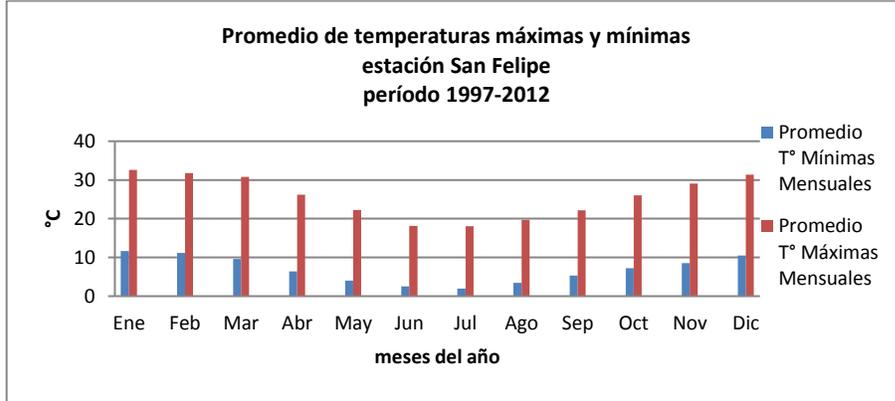


Gráfico 57: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación San Felipe

**Patrón Temporal:** los datos de las **temperaturas mínimas y máximas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de julio** en un período de 15 años, ver gráfico 58.

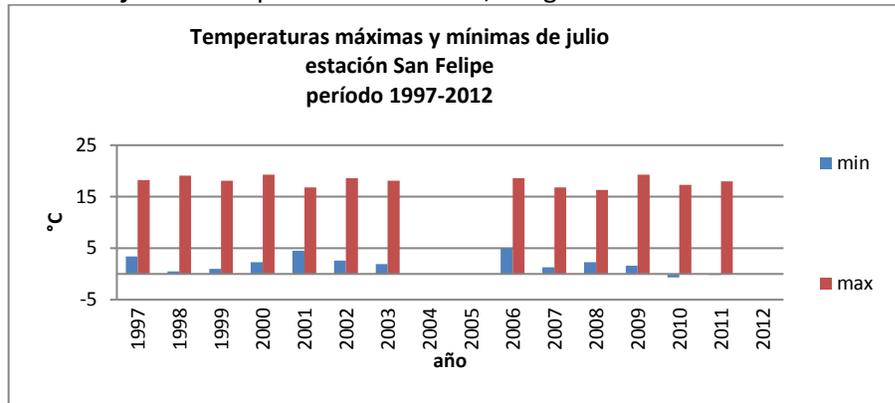


Gráfico 58: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación San Felipe

**Patrón Temporal:** los datos de **temperaturas mínimas parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de enero** en un período de 15 años, sin embargo, las **temperaturas máximas vienen aumentando** a partir del año 2007 según el promedio (32,6°C): 2007 (32,7°C), 2008 (32,8°C), 2009 (32,9°C), 2010 (33,7°C), 2011 (33,0°C) y 2012 (32,7°C), ver gráfico 59.

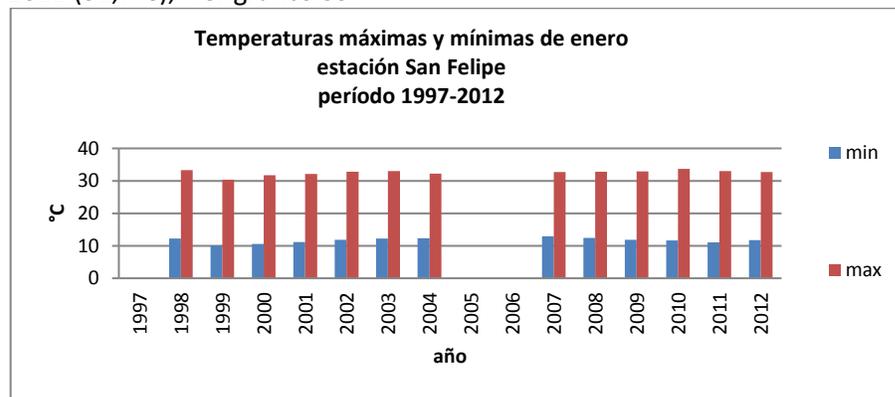


Gráfico 59: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación San Felipe

**Estación Vilcuya:**

**Patrón Estacional:** el mes que registra la temperatura más baja es **julio** y la más alta es **enero** en un período de 30 años, ver gráfico 60.

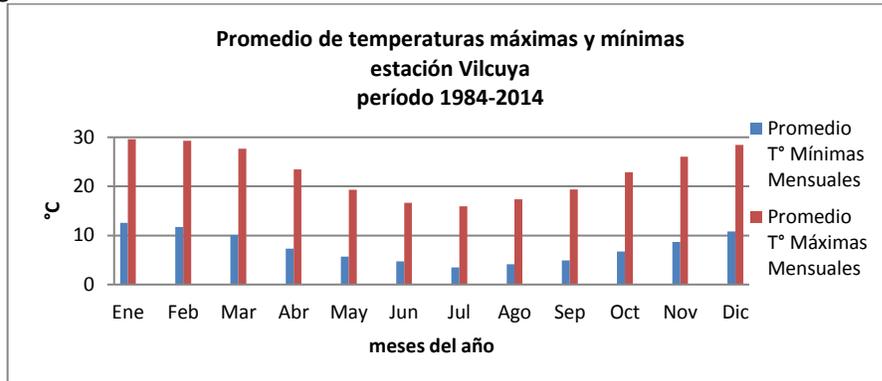


Gráfico 60: Promedios de temperaturas máximas y mínimas, estación Vilcuya

**Patrón Temporal:** los datos de temperaturas mínimas y máximas **parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de julio** en un período de 30 años, ver gráfico 61.



Gráfico 61: Temperaturas máximas y mínimas de julio, estación Vilcuya

**Patrón Temporal:** los datos de temperaturas mínimas y máximas **parecen mostrar un comportamiento constante para el mes de enero** en un período de 30 años, sin embargo, las **temperaturas máximas vienen aumentando** a partir del año 2002 según el promedio (29,6°C), a excepción del año 2011: 2002 (30,4°C), 2003 (30,7°C), 2004 (30,5°C), 2005 (29,9°C), 2006 (30,9°C), 2007 (29,8°C), 2008 (30,7°C), 2009 (30,8°C), 2010 (29,9°C), 2012 (30,9°C), 2013 (30,9°C) y 2014 (30,9°C), ver gráfico 62.

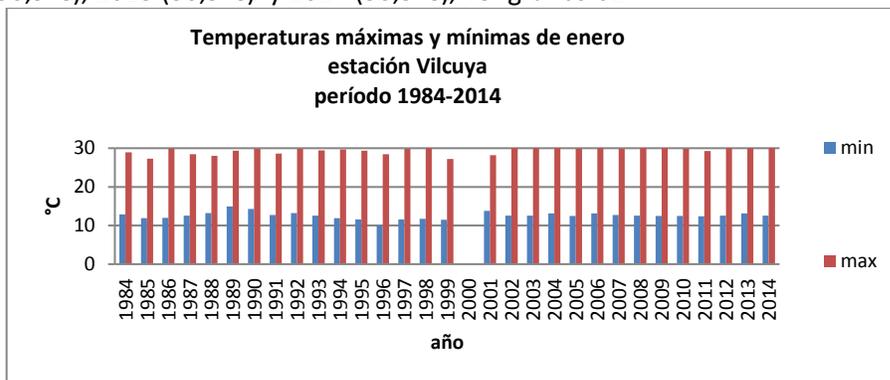


Gráfico 62: Temperaturas máximas y mínimas de enero, estación Vilcuya

## Análisis preliminar de la variable

Principales características de las nueve estaciones meteorológicas graficadas, ver tabla 16.

Estación Meteorológica	Altitud (msnm)	Período	Años con Registros
Vilcuya	1.100	1984-2014	30
San Felipe	650	1997-2012	15
Nogales	400	1998-2012	14
Llay Llay	390	1997-2011	14
Embalse Lliu Lliu	260	1984-2014	30
Olmué	148	1997-2012	15
Quillota	130	1984-2014	30
La Cruz	120	1997-2014	17
Los Aromos	100	1984-2014	30

Tabla 16: Principales características de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Aconcagua - Temperatura

Fuente: elaboración propia.

Existen cuatro estaciones meteorológicas con una amplia data de registros (Vilcuya, embalse Lliu Lliu, Quillota y Los Aromos), pero de igual forma se procesan los registros de otras estaciones que tienen un período menor de datos, ya que permitirá obtener resultados más representativos de las temperaturas al interior de la cuenca.

El 100% del conjunto de datos procesados indica que el **Patrón Estacional de Temperaturas Bajas corresponde al mes de julio y el Patrón Estacional de Temperaturas Altas corresponde al mes de enero**, ya que históricamente y en todas las estaciones meteorológicas, estos meses presentan temperaturas extremas dentro de la cuenca del río Aconcagua, correspondiendo al invierno y al verano como la estación del año más fría y más cálida respectivamente.

Teniendo en cuenta este precedente en el que **julio** es representativo de las temperaturas bajas, se analiza el **Patrón Temporal en donde las temperaturas medias mínimas y máximas se mantienen constantes a través de los años**.

En relación con el mes de **enero** representativo de las temperaturas altas, se analiza el **Patrón Temporal** en donde **las temperaturas medias mínimas se mantienen constantes a través de los años**, sin embargo, **las temperaturas medias máximas de las estaciones Los Aromos, Nogales, Vilcuya, Llay Llay, embalse Lliu Lliu y San Felipe registran un aumento en los últimos años**, ver gráfico 63.

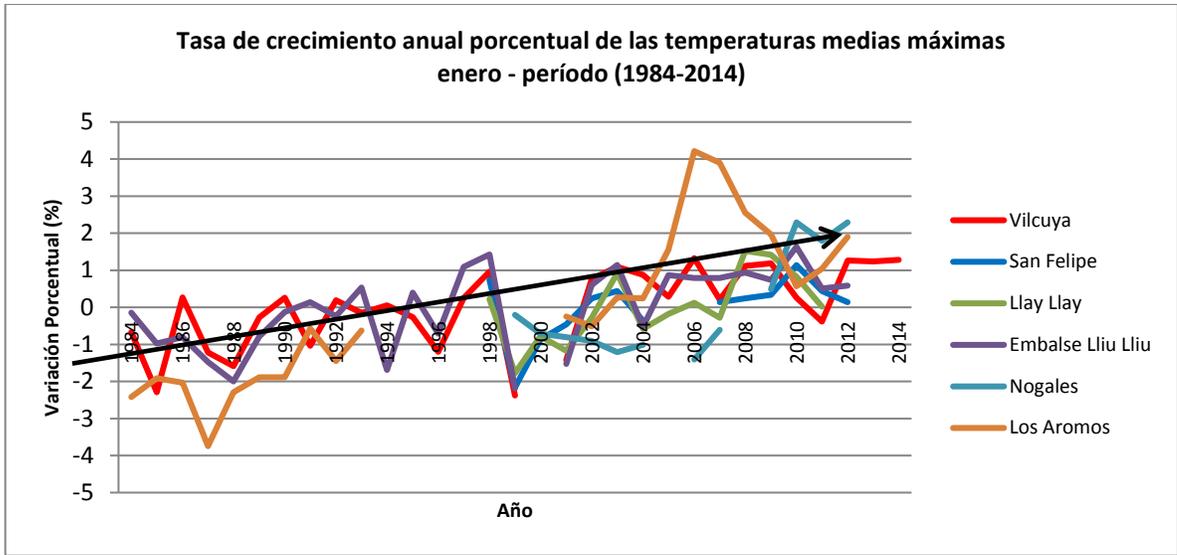


Gráfico 63: Tasa de crecimiento anual porcentual de las temperaturas medias máximas de enero

Fuente: elaboración propia.

La variable correspondiente a la temperatura se analizó tanto para invierno (donde las plantaciones de paltos se riegan por la lluvia caída) como para verano (donde las plantaciones de paltos dependen de la gestión del riego que se tenga), en las próximas dos variables a trabajar (precipitaciones de lluvia y nieve), sólo se considerará lo que ocurra en la estación de invierno, ya que es en esta época del año es en donde se forma y acumula la reserva de agua para abastecer a la cuenca del río Aconcagua en verano.

### 3.5 Discusión

El ciclo fenológico del palto permite realizar una búsqueda específica y representativa de los datos, enfocándose en las etapas críticas donde esta especie frutícola necesita del riego.

La metodología empleada para trabajar las variables relacionadas con la disponibilidad de agua en la cuenca del río Aconcagua (caudal, precipitaciones de lluvia-nieve y temperatura), entrega resultados parciales obtenidos y analizados de forma individual, es decir, en este capítulo cada variable se trabajó de forma independiente, es decir, no se correlacionaron entre ellas ni con otras variables que pudieran explicar el comportamiento que han tenido a través de los años.

Los datos de cada variable permitieron identificar patrones tanto estacionales como temporales. El patrón estacional distingue el mes que ha presentado el mayor registro a través de los años, siendo diciembre en el caso del caudal, junio en precipitaciones, julio en temperaturas mínimas y enero en temperaturas máximas, es decir, en los meses de invierno (junio-julio) llueve, nieva y hace frío, y en los meses de verano (diciembre-enero) hace calor y se dispone de una mayor cantidad de agua.

El patrón temporal da a conocer el comportamiento de la variable a través del tiempo en el mes identificado como patrón estacional. En el caso del caudal, las precipitaciones de lluvia-nieve y temperaturas mínimas los registros no parecen mostrar una tendencia, a excepción de las temperaturas máximas para el mes de enero donde en seis de las nueve estaciones evaluadas existe un aumento en ellas con respecto al promedio y no son parte de un ciclo anteriormente observado, como es en el caso del caudal, que viene aumentando desde hace unos años, pero esta situación se ha producido anteriormente.

Esta conclusión parcial, no desconoce que indudablemente si se analiza cualquiera de las cuatro variables en forma detallada considerando la ubicación de la estación dentro de la cuenca del río Aconcagua y el período que contemple sólo los últimos 10 años, se podría observar una tendencia en los valores registrados, es por este motivo que el período de análisis es superior a los 14 años para poder distinguir si su comportamiento en parte de un ciclo mayor.

Por lo tanto, se reflexiona, que estos potenciales cambios en las variables hidrometeorológicas afectan al sistema productivo en las plantaciones de paltos debido a que están dentro del período en que se llevó a cabo el catastro frutícola (1996-2014), datos que se analizarán en el capítulo siguiente.

Además, es importante tener en cuenta otros factores que inciden de una u otra manera en el clima a nivel mundial, como son el Fenómeno del Niño y de la Niña, por este motivo, es que se ha incluido cuando se analizaron los resultados de las precipitaciones, ya que en cierto modo explica los registros drásticos e inestables que nos impiden visualizar a primera vista el patrón que tienen las variables estudiadas.

## CAPÍTULO 4. El palto y su sistema productivo

### 4.1 Introducción

Chile, es uno de los principales países exportadores de paltas a nivel mundial, siendo la V región de Valparaíso en donde existe la mayor cantidad de superficie plantada (ha) con esta especie frutícola, lo que la convierte en un producto emblemático no solo para esta región, sino que también lo es a nivel nacional e internacional.

La V región de Valparaíso tiene como principales usos productivos de la tierra las plantaciones frutales y forestales, y así queda reflejado a nivel nacional, donde el 60% de la producción de paltos se encuentra presente en esta región, principalmente en el Valle del Aconcagua (sector centro interior), Valle de Petorca y el Valle de la Ligua (sector norte) (*DirPlan, 2007*).

El Valle del Aconcagua es parte de la cuenca del río Aconcagua, área de estudio en la cual está enfocado esta tesis.

La variedad representativa de la V región de Valparaíso y en general de Chile, con mayor cantidad de superficie plantada (ha), es la palta Hass. El desarrollo de esta variedad, debido principalmente a los beneficios económicos que tiene con respecto a otros frutales, ha provocado que las zonas de producción se hayan desplazado hacia el norte del país y en gran parte a laderas de cerro, en busca de lugares con climas benignos, que signifiquen producciones tempranas y libres de heladas, o bien reemplazar a otros cultivos frutales que actualmente carecen de rentabilidad. Por esta razón, el palto se cultiva hoy en día en suelos cada vez más limitantes, lo que, junto a problemas en el manejo y diseño de sistemas de riego, ha aumentado el decaimiento por asfixia radical de zonas cultivadas en la mayoría de los huertos (*Gil P., 2006*).

En este capítulo, se mostrará principalmente el panorama histórico del sistema productivo en torno a las plantaciones de paltos con datos obtenidos en una base de casi 20 años de los cuatro catastros frutícolas realizados entre el año 1996 y el 2014. Se evaluará la forma de plantar, regar, preservar y explotar esta especie frutícola para así poder inferir cómo influyen los factores de gestión y disponibilidad del agua con respecto a la productividad del palto.

## 4.2 Catastro frutícola

CIREN y ODEPA trabajan en conjunto realizando catastros frutícolas para diferentes regiones de Chile, lo que conlleva a que una determinada región se vuelve a catastrar cada cierta cantidad de años. Los datos para hacer los cálculos corresponden a los catastros frutícolas y los gráficos son de elaboración propia.

El catastro frutícola en términos generales consiste en ejecutar una encuesta en la región seleccionada cuyos predios tengan una superficie mayor a 0,5 ha plantadas con especies frutales, dando a conocer una serie de características como por ejemplo la cantidad de árboles plantados, año de plantaciones, sistema de riego, producción, entre otros datos.

En la V región de Valparaíso, el catastro frutícola data del año 1996 realizado cada seis años a partir de la fecha señalada, siendo la última colección de datos aquella realizada el año 2014.

Un dato que recopila el catastro frutícola es la superficie plantada (ha) por cada especie frutícola, la cual, permite representar el aumento o disminución de esta variable a través de los años, ver gráfico 64. Estos registros han sido determinantes en este trabajo de tesis para seleccionar a la especie frutícola del palto como representativa en la región, ver tabla 17.

Especies	1996	2002	2008	2014	Totales
palto	8.071,20	14.929,82	22.007,59	18.588,02	63.596,63

**Tabla 17: Superficie plantada (ha) con paltos según catastros frutícolas realizado en la V región de Valparaíso**

Fuente: elaboración propia.

La superficie plantada (ha) ha ido en aumento desde el año 1996 hasta el año 2014. En el año 1996 equivale a 8.071,20 ha, siendo la segunda plantación frutícola con mayor superficie plantada después de la Vid de Mesa, la cual tenía un total de plantaciones equivalente a 10.851,50 ha.

Para el año 2002, la superficie plantada corresponde a un total de 14.929,82 ha, superando a la plantación de Vid de Mesa, la cual alcanzó un total de 10.374,83 ha.

En los siguientes catastros, correspondiente a los años 2008 y 2014, la superficie plantada con paltos lidera regionalmente con un total de 18.588,02 ha y 63.596,63 ha respectivamente.

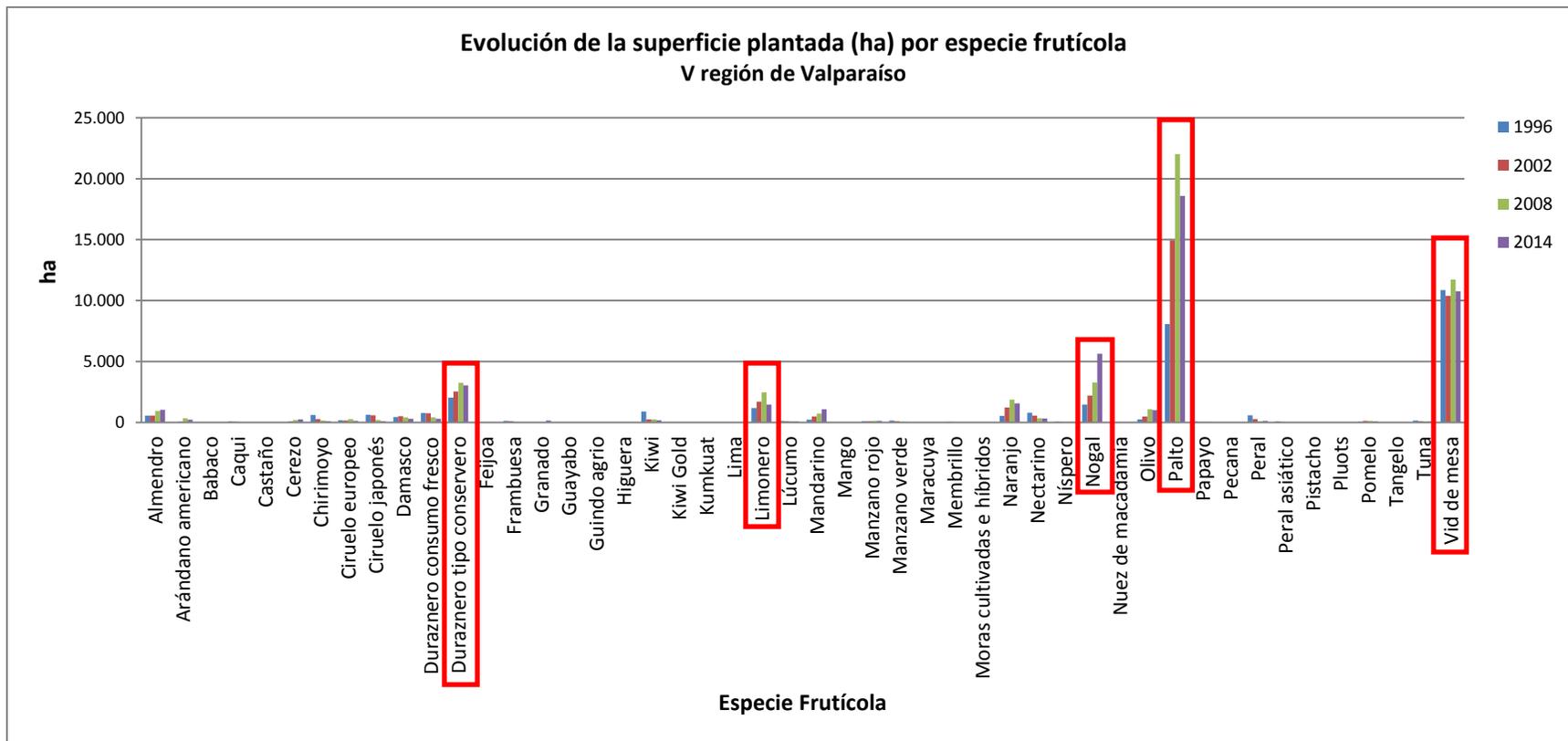


Gráfico 64: Evolución de la superficie plantada (ha) por especie frutícola en la V región de Valparaíso

Fuente: elaboración propia.

Cinco especies frutícolas han destacado por sobre las demás a través de los años presentando una mayor superficie plantada (ha) en el período de los catastros frutícolas realizados, ver gráfico 65.

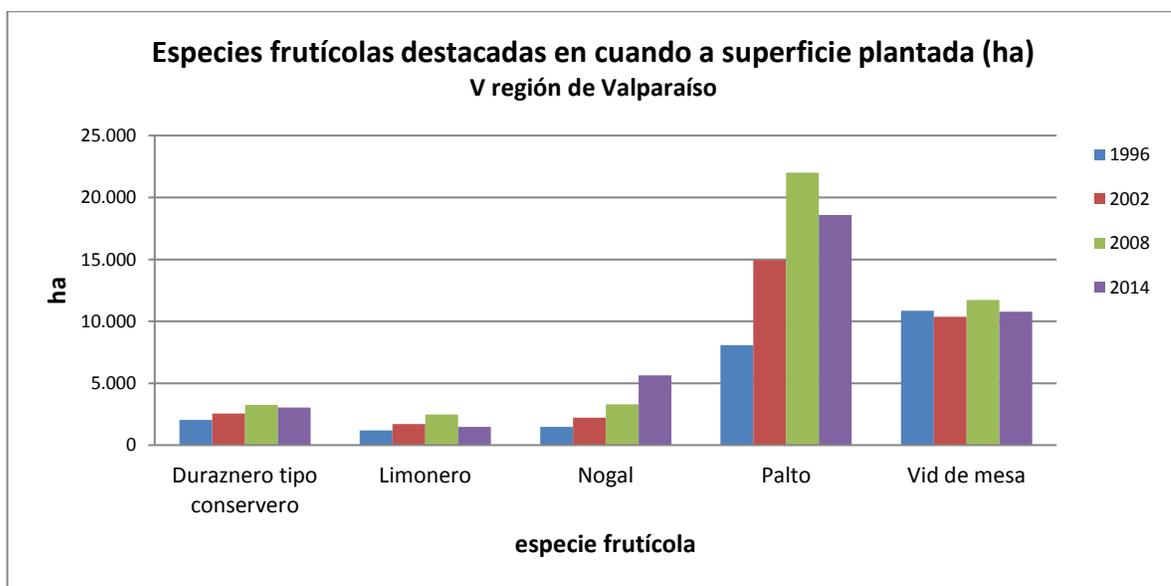


Gráfico 65: Especies frutícolas destacadas en cuanto a superficie plantada (ha), V región de Valparaíso

Fuente: elaboración propia.

### 4.2.1 Características del palto

El palto (*Persea americana Mill.*) es un árbol de hoja perenne, nativo del área de América Central, alcanzando alturas de 12 metros y 14 metros de diámetro de copa aproximadamente. Existen diferentes variedades o tipos que pueden agruparse según su altura, forma, tamaño de la fruta, color del follaje y adaptación a diferentes condiciones climáticas (Lemus G. et al., 2010), las que más adelante se darán a conocer, pero independientemente de la variedad de esta especie frutícola, hay diferentes procesos de crecimiento y desarrollo que están relacionadas directamente con el medio que la rodea, y que son importantes de contemplarlas en el sistema productivo, ya que esta información permite un mejor manejo de las plantaciones.

El palto tiene ocho diferentes estados fenológicos (Donoso J. et al., 2006), los cuales se muestran a continuación:

1. Yema de invierno: Caracteriza el estado de reposo de la yema, la que se presenta completamente cerrada.



2. Inicio de brotación: Apertura de la yema extrema superior (apical) y engrosamiento de las yemas laterales.



3. Brotación: Las yemas apicales y axilares se presentan brotadas.



4. Inicio de elongación de la panícula (racimo cuyos ejes laterales se ramifican): La panícula floral comienza su proceso de elongación, aún no se distinguen las yemas florales.



5. Panícula en crecimiento: Comienza la ramificación de la panícula floral, las yemas florales visibles se presentan cerradas.



6. Máxima elongación de panícula: La panícula floral alcanza su máximo desarrollo, las yemas florales se mantienen cerradas.



7. Floración: A lo menos el 50% de las flores están abiertas (antesis).



8. Fruto cuajado: El ovario fecundado se agranda, aun se observan los sépalos (cubierta exterior de la flor) y estambres (órgano reproductor masculino de la flor) en estado de vejez.



### **Enfermedades y Plagas (López E. & Bermúdez P., 2007):**

En cada una de las etapas del ciclo fenológico del palto pueden aparecer enfermedades y plagas que afectan directamente la producción de esta especie frutícola, tales como:

Enfermedades:

- Asfixia Radicular (causada el hongo *Phytophthora cinnamomi*),
- Antracnosis (causada el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*), y
- Pudrición de la Cicatriz del Pedúnculo (causada por el hongo *Botryodiplodia theobromae*).

Plagas:

- Arañita roja del palto (*Oligonychus yothersi*),
- Chanchito blanco (*Pseudococcus longispinus, calceolariae, viburni*),
- Trips del palto (*Heliothrips haemorrhoidalis*),
- Escamas blancas (*Aspidiotus nerii* y *Hemiberlesia rapax*),
- Conchuela negra del olivo (*Saissetia oleae*) y
- Conchuela corazón (*Protopulvinaria pyriformis*).

De los anteriores sólo la arañita roja y el Trips son necesarios de controlar si superan un cierto nivel de daño, y el resto tiene un control natural muy efectivo. **En Chile existe una gran cantidad de enemigos naturales, como parasitoides y depredadores.**

## 4.2.2 Variedades

La palta, es un fruto cuyo origen se ubica en las tierras americanas, sobre todo en México, en Centroamérica y en la región norte de Sudamérica. En ellas se generó la principal especie botánica, *Persea americana*, con sus tres razas: mexicana, guatemalteca y antillana (López E., 1999). De las tres razas se han derivado innumerables híbridos y variedades:

Mexicanas:

1. Atlixco.
2. Bacon.
3. Duke.
4. Sinaloa.
5. Zutano.

Guatemaltecas:

1. Anaheim.
2. Collins.
3. Lamat.
4. Linda.

Antillanas:

1. Baker.
2. Butler.
3. Polok.
4. Villa Campa.

La cruce de raza guatemalteca con mexicana dio origen a la **variedad Fuerte**.

La **variedad Hass** se originó en California, EEUU; también resultado entre raza guatemalteca y mexicana.

Tanto la **variedad Negra de la Cruz o Prada como Edranol**, son también híbridos de raza mexicana y guatemalteca. En Chile, los cultivares más importantes son Hass, Fuerte, Negra de La Cruz o Prada, Bacon, Edranol y Zutano (Lemus G. et al., 2010).

Con respecto a la cuenca del río Aconcagua, existe una gran diversidad de paltas, alrededor de 48 variedades, ver gráfico 66, destacándose las siguientes:

1. Hass.
2. Negra de la Cruz o Prada.
3. Fuerte.
4. Edranol.

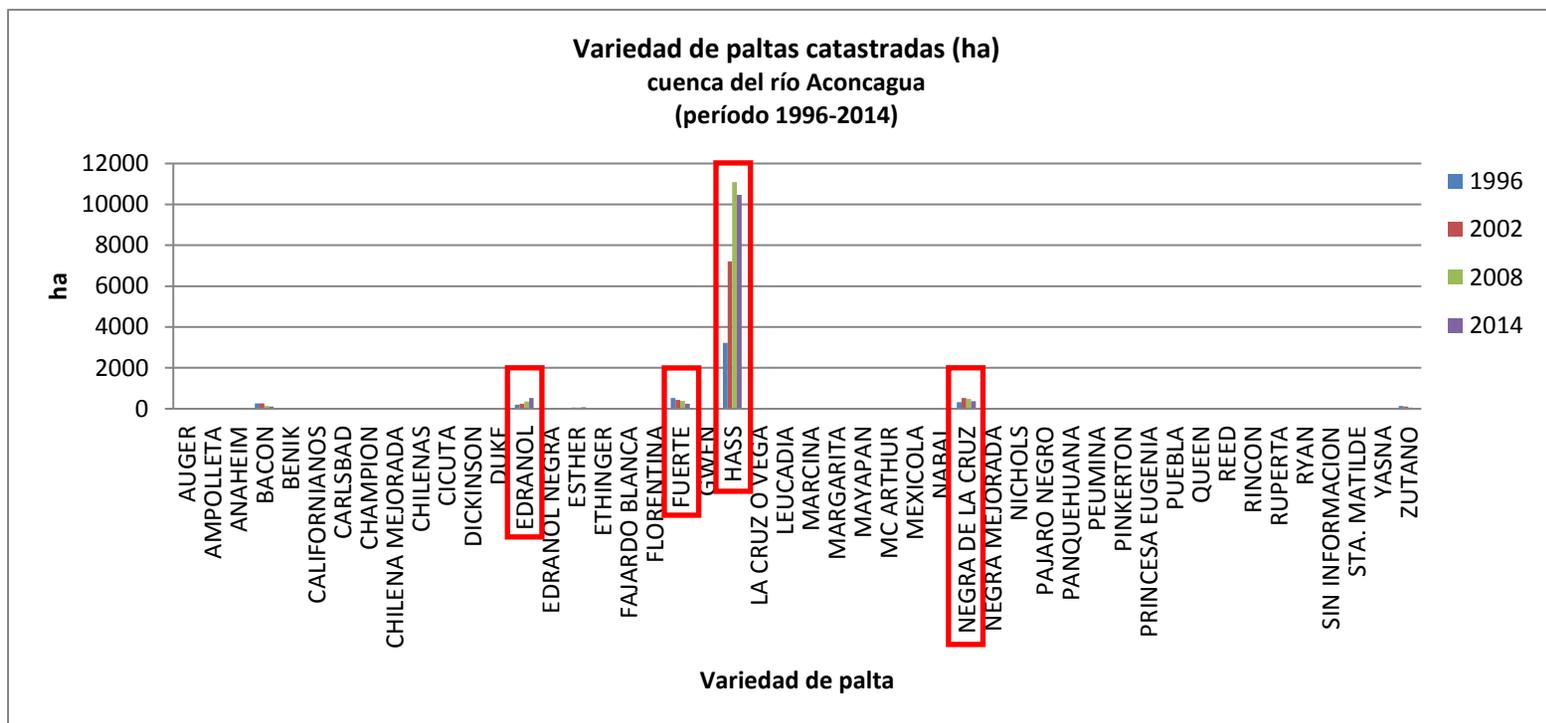


Gráfico 66: Variedad de paltas catastradas (ha) en la cuenca del río Aconcagua.

Fuente: elaboración propia.

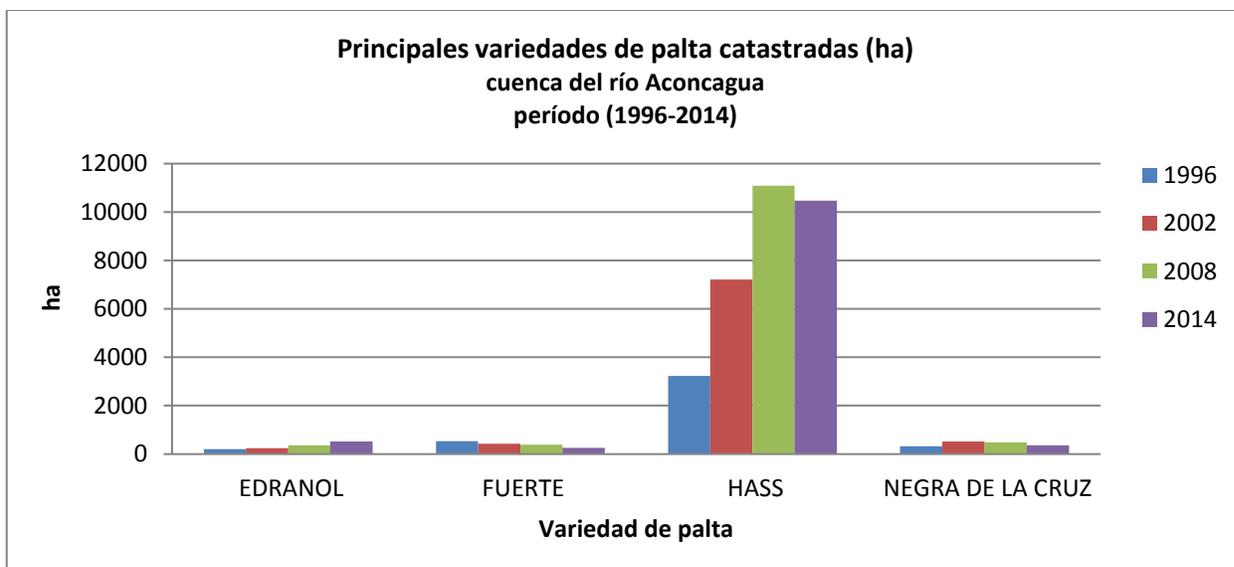


Gráfico 67: Principales variedades de palta catastradas cuenca del río Aconcagua

Fuente: elaboración propia.

Entre los cuatro principales tipos de paltos, se destaca la variedad Hass, alcanzando un 87% de superficie plantada (ha), luego con un 5% está la variedad Negra de la Cruz y con un 4% se encuentran las variedades Fuerte y Edranol, ver tabla 18.

Variedad	Superficie Plantada (ha)				Totales (ha)	Representatividad (%)
	1996	2002	2008	2014		
EDRANOL	206,8	248,48	362,96	522,2	1.340,44	4
FUERTE	530,4	435,11	387,13	252,36	1.605	4
<b>HASS</b>	<b>3.230,04</b>	<b>7.217,31</b>	<b>11.091,68</b>	<b>10.471</b>	<b>32.010,03</b>	<b>87</b>
NEGRA DE LA CRUZ	318,1	523	479,95	364,78	1.685,83	5
Total	4.285,34	8.423,9	12.321,72	11.610,34	36.641,3	
<b>Total, Variedades de palto</b>	<b>4.883,21</b>	<b>9.031,72</b>	<b>12.707,97</b>	<b>11.920,33</b>	<b>38.543,23</b>	

Tabla 178: Variedades de paltas: superficie plantada (ha) y representatividad dentro de la cuenca del río Aconcagua

Fuente: elaboración propia.

Cada una de las variedades de paltas tiene características específicas que permiten la adaptación al clima y suelo del lugar, éstas se deben tener en consideración en el sistema productivo asociado a cada una, ver tabla 19.

Características	EDRANOL	FUERTE	HASS	NEGRA DE LA CRUZ
Origen	Híbrido de raza guatemalteca y raza mexicana	Híbrido de raza guatemalteca y raza mexicana	Híbrido de raza guatemalteca y raza mexicana	Híbrido de raza guatemalteca y raza mexicana
Resistencia a la Helada (°C)	-3,3	-2,7	-1,1	-4,4
Fruto	De buenas características organolépticas, semilla pequeña	Alto Vigor, crecimiento desordenado, piel verde	Vigor medio a grande, redondeado, fruto color negro a violáceo	Buen aspecto, color negro a violáceo
Cosecha	marzo a mayo	agosto a octubre (en algunas localidades a partir de julio)	agosto a noviembre	abril a julio

Tabla 19: Características de las principales variedades de paltas

Fuente: Lemus G. et al., 2010.

#### Ciclo Fenológico de la palta Hass:

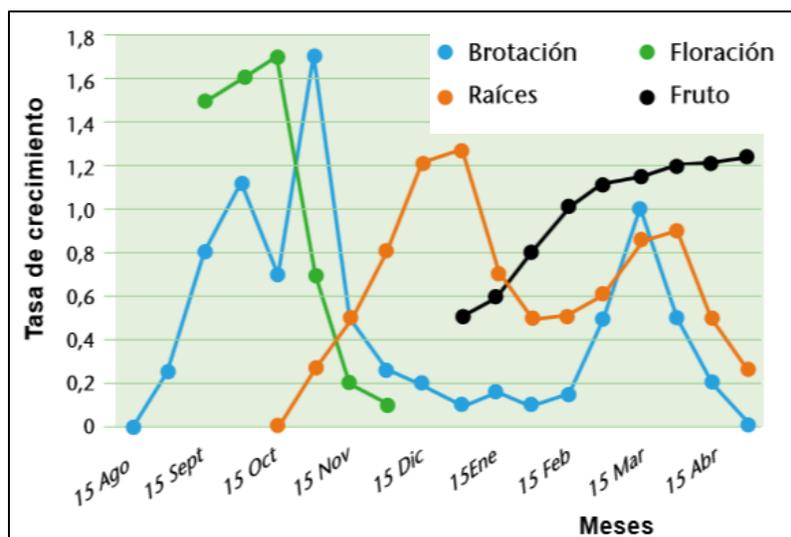


Gráfico 68: Ciclo Fenológico de la palta Hass

Fuente: Lemus G. et al., 2010.

En el desarrollo del palto hay dos épocas de **brotación**, una en primavera (7 septiembre al 21 diciembre) y otra en otoño (29 marzo al 17 mayo), siendo la primera de mayor intensidad. El desarrollo de la **raíz** también ocurre en dos períodos, el primero en primavera-verano (28 octubre al 3 febrero), el segundo en un crecimiento que comienza en marzo y termina a mediados de mayo, la **floración** se produce entre el 21 de octubre y el 13 de noviembre, seguida de la cuaja. Luego, existe una primera caída de **frutos** que ocurre desde mediados de noviembre a fines de diciembre. La segunda caída de frutos o regulación natural de carga ocurre entre marzo y abril (Lemus G. et al., 2010).

### 4.2.3 Condiciones medioambientales que inciden en el cultivo del palto

#### Altitud

Tal como se indicó en el capítulo 2, la V región de Valparaíso tiene cuatro unidades de relieve que la caracteriza:

- Cordillera de Los Andes.
- Depresión Intermedia o Valles Transversales.
- Cordillera de la Costa.
- Farellón Costero y/o Planicie Fluvio Marina.

Perfil topográfico de la V región de Valparaíso, ver figura 28.

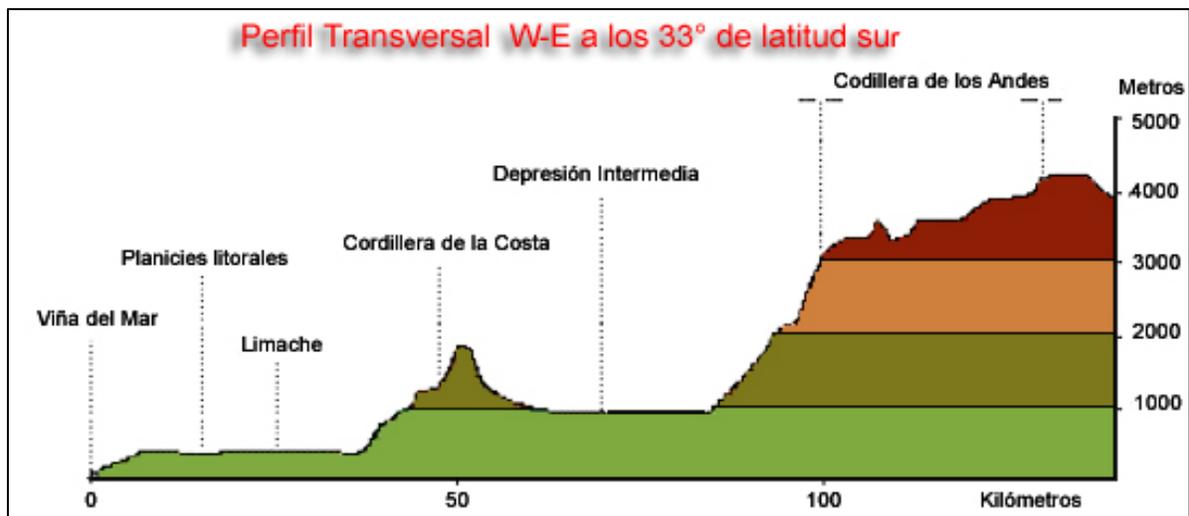


Figura 28: Perfil Topográfico de la V región de Valparaíso

Fuente: Borgel R., 1983.

La palta puede cultivarse desde el nivel del mar hasta los 2.500 m; sin embargo, su cultivo se recomienda en altitudes entre 800 y 2.500 m, para evitar problemas con enfermedades, principalmente de las raíces (Villar M., 2016).

Debido a diversos factores, las mayores producciones se logran en las partes más altas de los cerros, entre otras cosas, porque con exceso de temperatura el palto no florece. En los cerros se tiene temperaturas más bajas en verano y más altas en invierno. A la larga, eso provoca que se tengan mejores floraciones y mejores producciones en las partes altas de los cerros (Gardiazabal F., 2017).

## Variables Meteorológicas

En el capítulo 2 se analizó entre otras, las variables meteorológicas de temperatura y precipitación en la cuenca del río Aconcagua, en este apartado se desglosan estas variables en función de los cultivos del palto dando a conocer la incidencia directa que tienen en el buen desarrollo de las distintas etapas del fruto del palto tales como floración, fecundación y cuaje, lo que conlleva a poder controlar estos factores y/o disminuir el riesgo de perder la producción que se pronostica obtener.

La temperatura y la precipitación son los dos factores de mayor incidencia en el desarrollo del cultivo (*Villar M., 2016*):

- Sequías prolongadas provocan la caída de las hojas, lo que reduce el rendimiento.
- El exceso de precipitación durante la floración y fructificación reduce la producción y provoca la caída del fruto.
- El exceso de humedad relativa puede ocasionar el desarrollo de algas o líquenes sobre el tallo, ramas y hojas o enfermedades fúngicas que afectan el follaje, la floración, la polinización y el desarrollo de los frutos.
- Un ambiente muy seco provoca la muerte del polen con efectos negativos sobre la fecundación y con ello la formación de menor número de frutos.

En función de la incidencia que tienen en las plantaciones de paltos (*Lemus G., 2010*):

Temperatura: dependiendo de la variedad es la tolerancia que posee una planta para resistir una helada antes de sufrir algún tipo de daño varía entre los -1,1 °C y los -4,4 °C, ver tabla 19. Idealmente, se espera que para una exitosa fecundación y buena cuaja las temperaturas al momento de la floración varíen entre los 20 °C y los 25 °C de día y 10 °C de noche. En zonas con riesgo de heladas, la época de plantación se desplaza. Una alternativa para liberar a la planta de heladas convectivas es plantar en laderas de cerros.

Precipitación: la cantidad de lluvia caída generalmente se produce en invierno (junio-julio-agosto) y la cantidad de agua que se acumula en este período se utiliza en primavera (septiembre-octubre-noviembre) y verano (diciembre-enero-febrero), sin embargo, cuando la cantidad de agua caída sobrepasa los niveles que la planta necesita o cae en temporadas distintas a las regulares puede dañar las plantaciones, provocando la pérdida o disminución de la producción. Para sobrellevar estos eventos, ayuda bastante el sistema de drenaje que se tenga, que el diseño de la plantación considere la evacuación aguas-lluvia tanto en sectores planos como en laderas de cerro; además, beneficia bastante el manejo de riego que se posea (goteo, aspersión, surco, etc.) en base a la fuente de agua que se tenga para la producción (canal, pozo, noria, dren, tranque acumulador, etc.).

Otros factores influyentes en las plantaciones de paltos son el Viento, la Radiación Solar, la Humedad Relativa del Aire y la Evapotranspiración, a continuación, se detallan éstos (*Lemus G., 2010*):

- Viento: provoca que las plantas se doblen, pierdan las flores y el fruto, afecte la polinización, aumente la demanda hídrica, entre otras consecuencias. Para resguardar a las plantas del viento se implementan sistemas de protección, ya sea en forma natural mediante otros árboles, o en forma artificial con mallas plásticas a una distancia aproximada de cuatro veces la altura del árbol, esto evita la interacción dañina con esta especie frutícola.
- Radiación Solar: un exceso de radiación solar provoca varios daños uno de ellos es el golpe de Sol que sufre tanto la madera como los frutos. Las formas de mitigación para el caso del golpe de Sol, es pintar el tronco y ramas principales con cal o látex agrícola de color blanco y mantener un equilibrio en la distribución del follaje.
- Humedad relativa del aire: la condición de humedad puede agravar o aliviar una condición de estrés de la planta afectando sus funciones fisiológicas dependiendo de la baja o la alta humedad que reciba, es por eso por lo que este tipo de plantaciones se da bien en la zona central cuya humedad relativa del aire fluctúa entre 60% y 80%, valores cercanos en zonas con climas subtropicales de donde es originaria esta especie. Además, afecta la viabilidad de los granos de polen y la receptividad de la parte femenina de la flor. En condiciones bajo el 50% de humedad relativa, el tiempo en que se mantiene receptivo el estigma y la viabilidad de los granos de polen se reduce considerablemente (*Rojo M., 2007*). El exceso de humedad relativa puede ocasionar el desarrollo de algas o líquenes sobre el tallo, ramas y hojas, o enfermedades fungosas que afectan al follaje, la floración, la polinización y el desarrollo de los frutos. Un ambiente excesivamente seco, provoca la muerte del polen con efectos negativos sobre la fecundación y con ello la formación de menor número de frutos (*Castro R. et al., 2008*).

Para zonas donde la radiación y la humedad relativa son limitantes en la producción, debiera elegirse un diseño de huerto con mayores distancias y árboles de mayor tamaño; de esta forma puede favorecerse un microclima a nivel de huerto y con ello mejorar las condiciones de humedad relativa, dejando también un volumen de canopia en condición de menor radiación directa.

- Evapotranspiración: la cual hace referencia a la cantidad de agua que se devuelve a la atmósfera y la que necesita esta especie frutícola teniendo en cuenta la disponibilidad de agua en el lugar de plantación, por lo tanto, si no es controlada produce pérdida de agua de los cultivos. Además, incide la cobertura foliar del árbol, por lo tanto, la cantidad aproximada de agua a aplicar deben ser ajustados de acuerdo con las condiciones agroclimáticas de los predios, por ello es importante conocer el volumen de agua con que se cuenta para reponer el agua evapotranspirada por la planta en momentos de máxima demanda.

## Plantación

Esta especie frutícola, en todo su proceso de desarrollo, depende de diversos componentes, por lo tanto, la calidad del fruto que se va a conseguir y la productividad que se va a obtener obedece en gran medida a la forma de plantar (*Lemus G., 2010*).

En cuanto a lo que la plantación se refiere es importante considerar lo siguiente:

- Estructura que se le dará a la plantación en el terreno: sentido norte-sur y en forma rectangular, para la captura de luz solar de la planta.
- Ubicación de la infraestructura y el acceso a los árboles: deben estar cerca, ya que la cosecha se hace a mano.
- Distancia entre paltos: dependiendo si están en zonas planas (5x3 m hasta 6x6 m) o en laderas (6x4 m hasta 7x6 m) para evitar que se topen entre ellos.
- Control de densidad de plantación mediante la poda: al menos una vez cada temporada, esto sirve para definir la altura del tronco y el número de las ramas madres.
- Reguladores del crecimiento: hormonas del crecimiento vegetal, lo que permitirá un mejor manejo de la producción, además de mejoras nutricionales en las primeras etapas.

La época de plantación varía según sea en terrenos de ladera o plano, siendo las fechas más recomendables las siguientes:

- Cerro: 15 de junio – 15 de agosto.
- Plano: 15 de agosto – 15 de septiembre.

En laderas de cerros, donde el drenaje del aire frío es más pesado, libera a la planta de los riesgos de heladas convectivas, la época de plantación puede ser realizada a partir de mediados de junio, mientras que, en sectores bajos y planos, ésta debe realizarse luego del período de riesgo de heladas, es decir, a partir de mediados de agosto, dependiendo de la zona. También es posible plantar más temprano para tener tres épocas de crecimiento vegetativo, con lo cual se logra un mayor crecimiento. En zonas donde existen condiciones climáticas más benignas, la época de plantación puede ser desde marzo a abril. Cuando la zona es más fría, la plantación debe hacerse desde septiembre en adelante.

## Suelo

El suelo destinado a la plantación de paltos tiene que tener ciertas particularidades en cuanto a fertilidad, estructura, contenido orgánico y textura. Para ello, debe realizarse un estudio de suelo, mediante calicatas, y conocer a cabalidad el tipo de suelo existente y sus componentes. Es recomendable además complementar con análisis químico y nematológico (gusanos) del suelo (*Lemus G., 2010*).

Con estos estudios se puede encontrar, por ejemplo, presencia de sales que pueden afectar el desarrollo del árbol y compactación, lo que impide el crecimiento de raíces y, por consecuencia, de la planta. Una forma de prevenir la salinidad es no poner guano al hoyo de la plantación, ya que la salinidad que contiene puede afectar el crecimiento de la planta, pero sí se puede utilizar en los primeros centímetros del suelo (de preferencia el guano de caballo en vez que el de ave, debido a que el primero es menos salino).

Una limitante del suelo para el palto es la presencia de textura arcillosa y mal drenaje, debido a la gran sensibilidad de esta especie a la asfixia radicular. El mejor suelo para este cultivo es aquel de textura liviana, suelto y que presenta una gran cantidad de piedras, que tenga un gran porcentaje de macroporos, característica de suelos con buena estructura, dado principalmente por su contenido de materia orgánica. Los macroporos permiten una apropiada fluidez al movimiento tanto del agua, como del oxígeno que debe estar presente en las raíces en una concentración suficiente para que se realicen los procesos de absorción de agua y de nutrimentos. Una posible solución ante la existencia de texturas pesadas o poca profundidad efectiva es hacer camellones, montículos, terrazas, subsolado y sistemas de drenaje, entre otros.

Otro factor importante es la profundidad necesaria que permita el buen desarrollo de esta especie frutícola, por lo tanto, en suelos planos debe tener a lo menos 1 m de profundidad, 70 cm para sus raíces y 30 cm para su drenaje.

Las plantaciones de paltos en Chile se encuentran principalmente en dos grupos de tipos de suelos (*Ferreira E., 2007*):

- Alfisoles de origen aluvial, textura franca, alcalinos y pobres en materia orgánica.
- Suelos de cerros de origen granítico y/o basáltico, de textura franco arcilloso, desuniformes y pobres en materia orgánica.

Ambos grupos de suelos presentan características físicas y químicas distintas a los andisoles, de donde es originario el palto, derivados de cenizas volcánicas (*Anguiano-Contreras et al., 2003*).

Las nuevas plantaciones de paltos en Chile se han realizado principalmente en laderas de cerro, donde generalmente se presentan condiciones heterogéneas de textura y profundidad efectiva de suelo (desde 30 cm a 1,5 m) con pendientes que varían desde 15% a más de 100% (*Ferreira et al., 2001*).

## 4.3 Sistemas productivos del palto

### 4.3.1 Superficie plantada (ha) con paltos

Según los registros obtenidos de cada uno de los catastros frutícolas en un período de 18 años, se puede conocer la evolución de las superficies (ha) destinadas a las plantaciones de paltos tanto a nivel regional como a nivel de cuenca, ver gráfico 69.

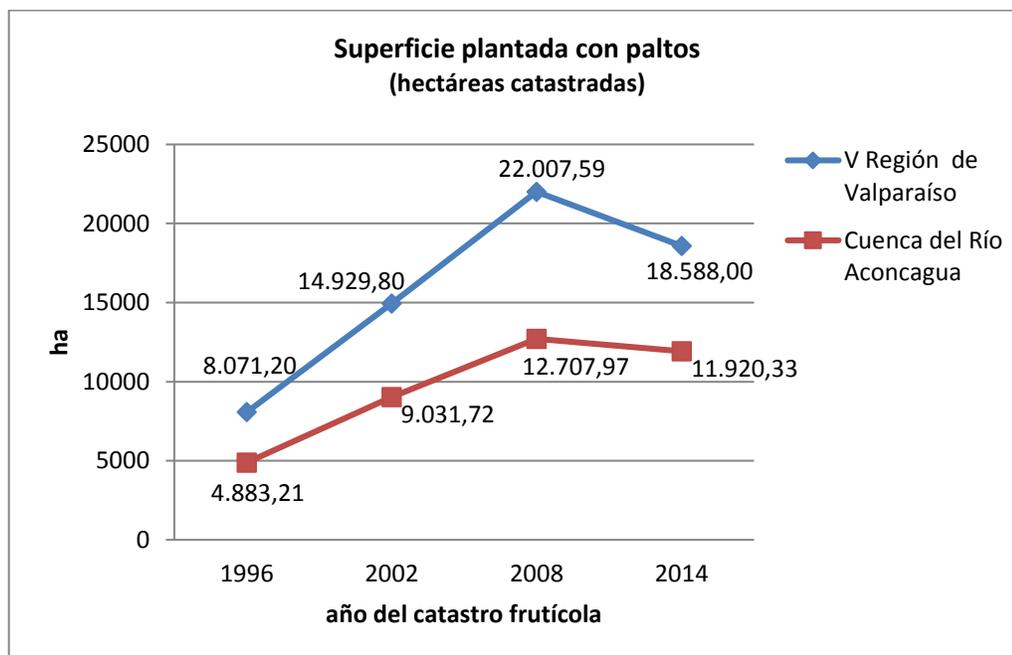


Gráfico 69: Superficie plantada con paltos (hectáreas catastradas)

Fuente: elaboración propia.

**A nivel regional existe un alza de un 173% en las superficies destinadas a las plantaciones de paltos en un período de 12 años, observando 8.071,2 ha para el año 1996 y 22.007,6 ha para el 2008. En la cuenca del río Aconcagua también existe un alza reflejada en un 160%, para el mismo período, registrando 4.883,2 ha para el año 1996 y 12.708,0 ha para el año 2008.**

Al comparar los catastros realizados en el año 2008 y el 2014, se aprecia en ambos casos una disminución del área destinada a este tipo de plantaciones.

**A nivel regional, existe una baja de un 16%, en las superficies destinadas a las plantaciones de paltos en un período de seis años correspondiente a los últimos catastros realizados, con 18.588,0 ha para el año 2014. En la cuenca del río Aconcagua, también existe una baja reflejada en un 6%, para el mismo período, registrando 11.920,3 ha para el año 2014.**

A continuación, se muestra la distribución espacial de la superficie (ha) plantada con paltos en la cuenca del río Aconcagua según datos obtenidos de los catastros frutícolas. Se utiliza imágenes satelitales Landsat de base apiladas en composición Color Real (RGB = B3 B2 B1).

**Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 1996.**

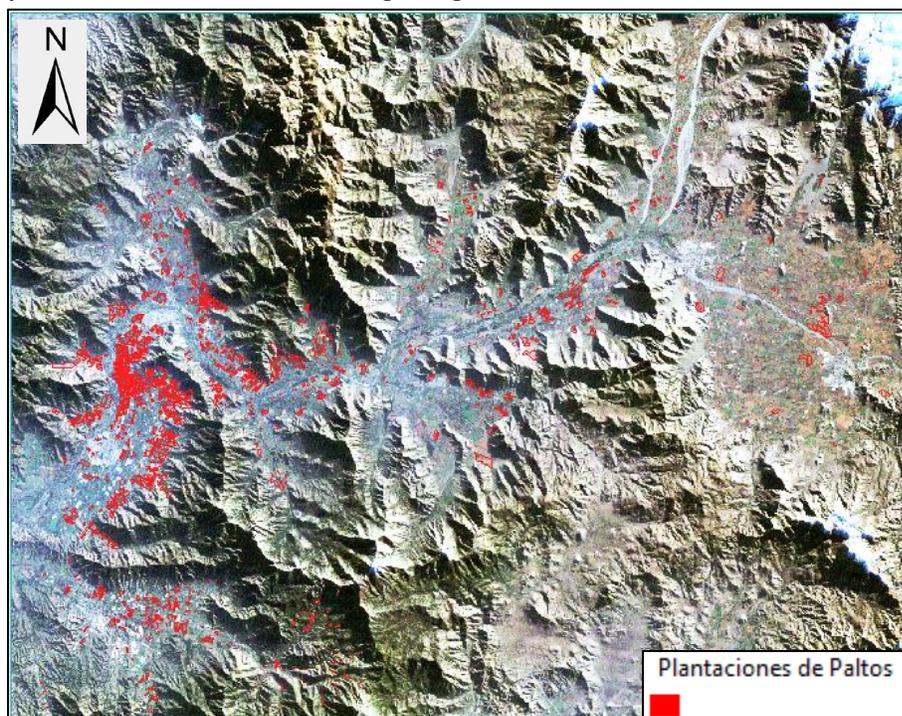


Figura 29: Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 1996  
Imagen Landsat julio 02 de 1996  
Fuente: elaboración propia.

**Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2002.**

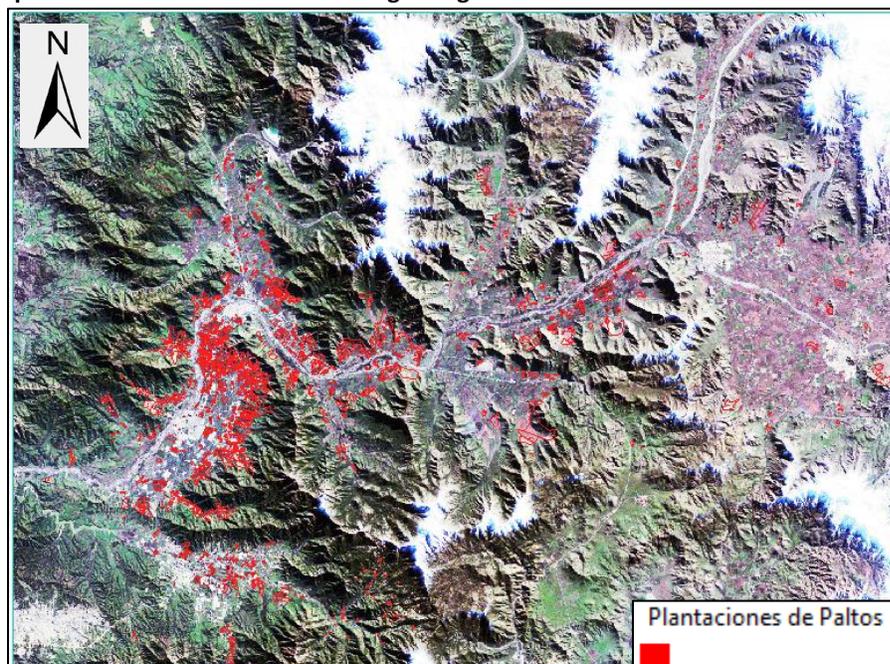
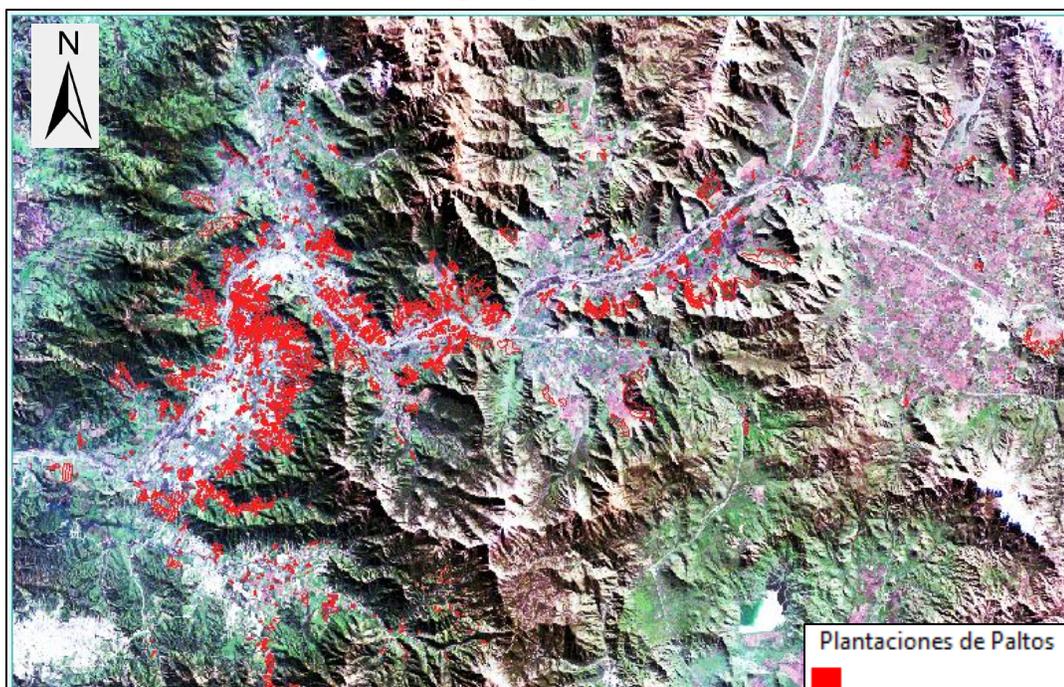


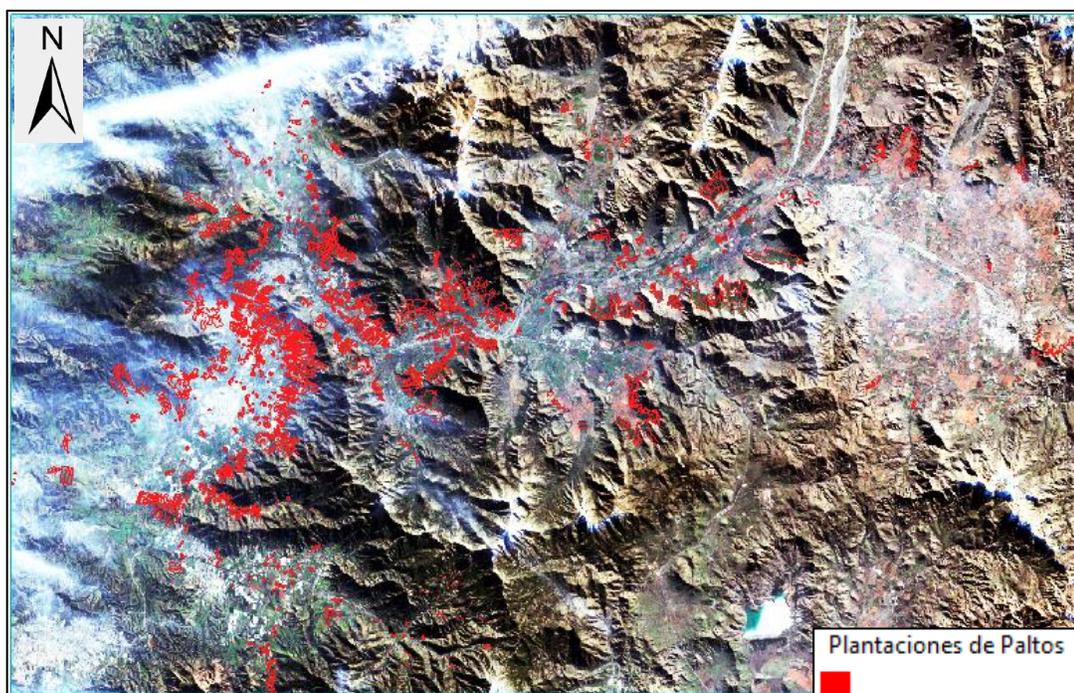
Figura 30: Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2002  
Imagen Landsat julio 27 de 2002  
Fuente: elaboración propia.

**Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2008.**



**Figura 31: Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2008**  
Imagen Landsat agosto 12 de 2008  
Fuente: elaboración propia.

**Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2014.**



**Figura 32: Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2014**  
Imagen Landsat julio 12 de 2014  
Fuente: elaboración propia.

### 4.3.2 Producción

#### Producción Informada

La Producción en el catastro frutícola hace referencia al total de toneladas producidas en la temporada agrícola equivalente a un año, es decir, por cada catastro frutícola realizado se extraen los datos recopilados de la suma de todos los huertos censado el año anterior.

La producción del palto y de la mayoría de las especies frutales, depende en gran medida del manejo del riego. En el palto, el manejo del agua no sólo se traduce en kilogramos exportables, sino también en el estado sanitario de la planta y la longevidad del huerto. Las estrategias de riego son variadas y su ejecución depende principalmente de las características de cada caso (Gil P., 2006).

Evolución de la producción informada de paltas, según los datos obtenidos de los catastros frutícolas realizados en la V región de Valparaíso, ver gráfico 70.

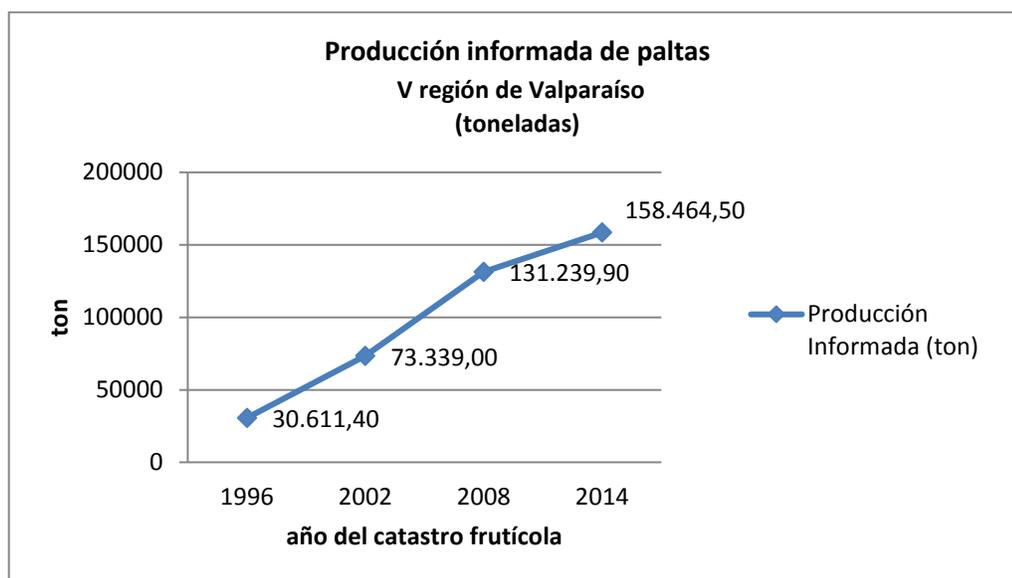


Gráfico 70: Producción informada de paltas en la V región de Valparaíso

Fuente: elaboración propia.

En forma paulatina, **se ha ido incrementado más de cuatro veces la producción inicial de paltas**. Para el catastro frutícola del año 1996, esta producción corresponde a 30.611 (ton) y para el año 2014 el equivalente a 158.465 (ton).

## Destino de la producción informada

La producción informada está destinada principalmente a la exportación, el mercado interno, la agroindustria y los desechos, ver tabla 20.

Año	Producción informada (ton)	Exportación (%)	Exportación (ton)	Mercado Interno (%)	Mercado Interno (ton)
1996	30.611,4	40,5	12.397,6	59,4	18.183,2
2002	73.339,0	57,9	42.463,3	42,0	30.802,4
2008	13.1239,9	61,0	80.056,3	38,8	50.921,1
2014	158.464,5	52,7	83.510,8	47,1	74.636,8

Año	Agroindustria (%)	Agroindustria (ton)	Desecho (%)	Desecho (ton)
1996	0,1	30,6	0,0	0,0
2002	0,0	0,0	0,1	73,3
2008	0,1	131,2	0,0	0,0
2014	0,2	316,9	0,0	0,0

Tabla 180: Destino de la producción informada en la V región de Valparaíso  
Fuente: elaboración propia.

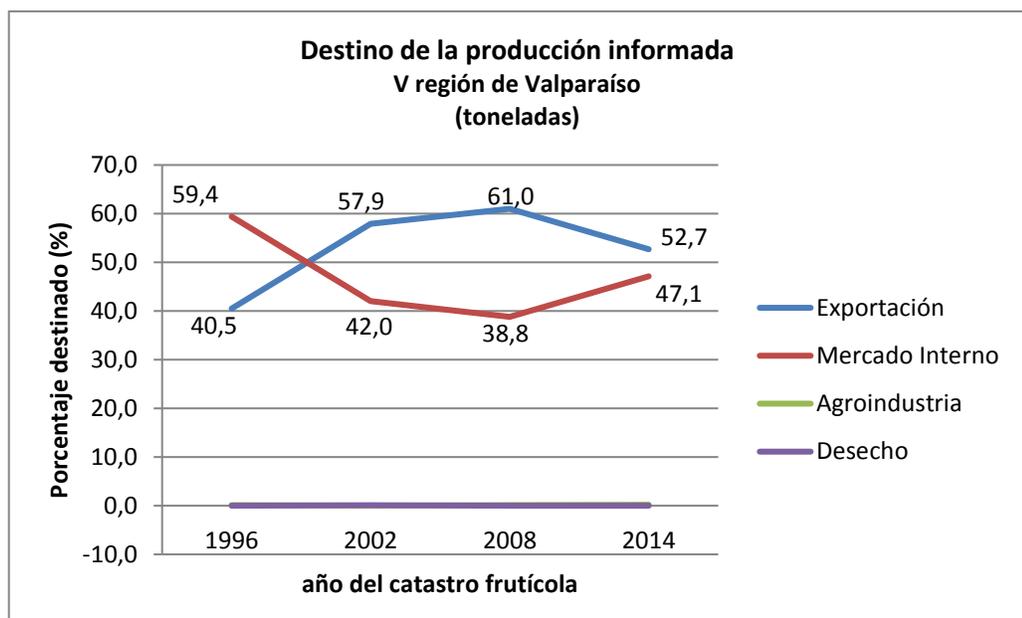


Gráfico 71: Destino de la producción informada  
Fuente: elaboración propia.

En ambas formas de representación, tabla 20 y gráfico 71, se puede apreciar que los **destinos principales de la producción informada de paltas son la exportación y el mercado interno.**

En lo que respecta a la **exportación, ésta tiene un alza significativa hasta los registros del año 2008**, donde las cifras arrojan que **el 61% de la producción fue destinada fuera del país. Para los registros del año 2014, el porcentaje que se exporta tiene una baja de un 8%**, es decir, de la producción informada, se exporta el 53%. Si bien es cierto, la cantidad de toneladas es superior al catastro anterior, esta baja se produce en el porcentaje que se exporta con respecto a lo que se produce.

La dinámica de los datos relacionados con **la producción destinada al mercado interno es totalmente opuesta a lo sucedido con la exportación**, es decir, **hasta los registros del año 2008, las cifras arrojan que solo el 39% de la producción queda para el consumo nacional**. Para los **registros del año 2014 este porcentaje subió un 8%**, es decir, de la producción informada queda para el mercado interno el 47%.

La producción destinada a la **agroindustria y los desechos** en cada uno de los catastros frutícolas llevados a cabo se puede apreciar que **los valores de los registros son despreciables, es decir, no son representativas ni tienen injerencia económica a nivel regional, nacional e internacional**.

De acuerdo con la experiencia en producción de paltas en huertos de producción intensiva, los principales manejos para la obtención de altos rendimientos en la variedad Hass son:

- Altas densidades de plantación.
- Poda al menos una vez por temporada.
- Uso de reguladores de crecimiento para favorecer cuaja e inducción.
- Polinización mediante uso de cultivares polinizantes y abejas.
- Fertilización de acuerdo con el análisis foliar, producción y limitantes del suelo.
- Control fitosanitario para el manejo de las principales plagas y enfermedades del palto.
- Riego.

Existe un consenso por parte de asesores y productores, de que **el factor de producción más importante en el palto para la obtención de rendimientos y calidades competitivas es el manejo del agua**. Por lo mismo, es el riego el manejo más importante de controlar y ejecutar para un óptimo resultado (Gil P., 2010).

Además, las plantaciones de esta especie frutícola están establecidas en suelos de texturas finas, de baja macroporosidad, que junto a un mal manejo de riego generan problemas de asfixia radicular, situación responsable en gran medida de los bajos niveles de producción (Lemus G., 2010).

### 4.3.3 Productividad

#### Productividad Promedio

A nivel mundial, los rendimientos promedio de los huertos de palto (*Persea americana Mill.*) son bajos en comparación con otras frutas de pulpa. Esto se debe en gran parte a que para producir frutos de semilla grande y ricos en aceite se requiere de un alto costo en fotosintatos (Wolstenholme et al., 1986).

En Chile, hay huertos que mantienen producciones estables de alrededor de 25 ton/ha, sin embargo, el rendimiento promedio de los huertos adultos está alrededor de las 9 ton/ha, debido principalmente a problemas de asfixia radicular, ya que el palto es muy sensible a la falta de aire en el suelo y la mayoría de las plantaciones en el país se han realizado en terrenos con baja capacidad de aire (Nagera F., 2006).

Otros factores que inciden en la baja productividad del palto son los añerismo, salinidad, fertilidad, emboscamiento, entre otros, pero sin duda el mal manejo del riego, asociado a suelos limitantes (condiciones ambientales desfavorables), es el factor que más condiciona la productividad de este cultivo (Lemus G., 2010).

Evolución de la productividad promedio de paltas, según los datos obtenidos de los catastros frutícolas realizados en la V región de Valparaíso, ver gráfico 72.

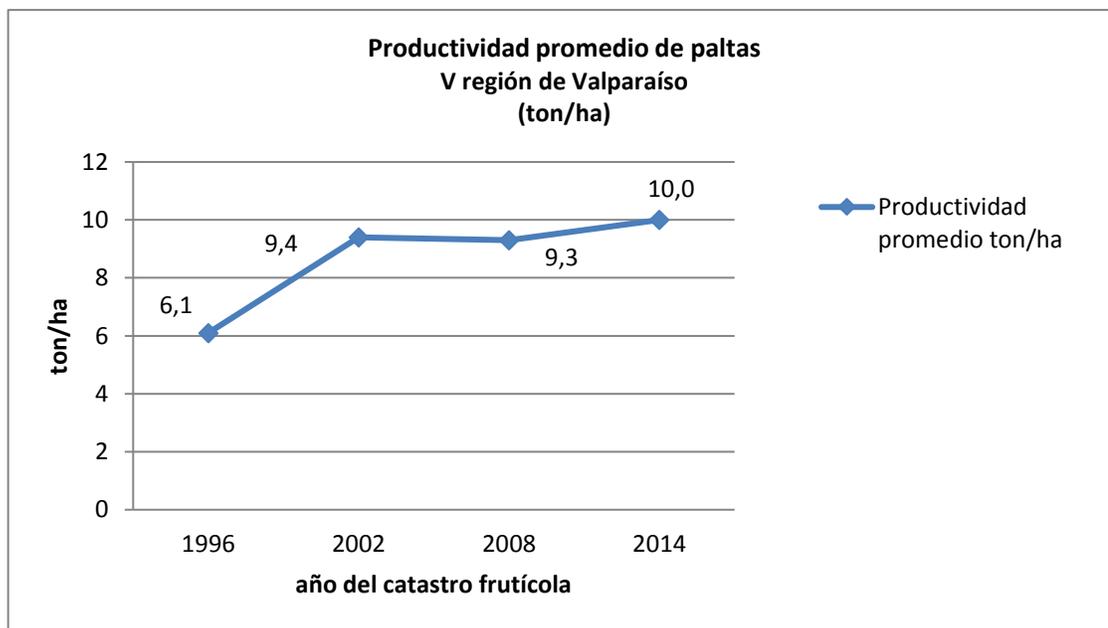


Gráfico 72: Productividad promedio de paltas en la V región de Valparaíso

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que, **en términos generales, la productividad promedio ha ido aumentando desde el catastro frutícola llevado a cabo en el año 1996 hasta el realizado en el año 2014** con una productividad correspondiente a 6,1 (ton/ha) y 10,0 (ton/ha) respectivamente.

**La excepción se produce entre los catastros efectuados entre el año 2002 y el año 2008** donde la productividad es de un 9,4 (ton/ha) y 9,3 (ton/ha) respectivamente, lo que indica que existe una leve baja en un período de seis años, la que después se recupera y aumenta al siguiente catastro frutícola como recién se indica.

La productividad en los huertos de palto es baja considerando el volumen de los árboles, y la cantidad de flores que se producen. Esto se encuentra condicionado principalmente por una alta competencia de los eventos fenológicos del palto, acentuada por el estrés hídrico en muchos casos y además por problemas climáticos que se presentan en Chile, como, por ejemplo, la alternancia de temperaturas altas en el día y bajas en la noche, que impiden una buena cuaja comparado con otros países. Una posible solución para aumentar la eficiencia productiva del palto es favorecer el mejor aprovechamiento del volumen productivo de los árboles, obteniendo producciones tanto en la periferia como en las caras interiores de los árboles. Teóricamente, esto sería posible con un sistema de copa o multieje, lo que se traduce en realizar una reestructuración en la poda de los árboles (*Lemus G., 2010*).

La creciente competitividad del sector frutícola y, principalmente, el factor económico, han motivado la búsqueda de nuevos métodos para inducir precocidad y además lograr, a lo largo de toda la vida de los huertos frutales, altos niveles de producción. La respuesta a esta demanda está dada por un incremento en la densidad de plantación, de modo de lograr una superficie foliar por unidad de superficie cultivada, obteniendo así un mayor nivel de fotosintatos que se traduce en un aumento de la cosecha (*Lemus G., 2010*).

No está comprobado que una alta densidad implique un aumento en el rendimiento, pero ciertas experiencias llevadas a cabo han arrojado resultados interesantes. Existe un convencimiento de que una de las ventajas de la alta densidad es la productividad y, lo más importante, alta productividad con buen calibre de fruta. Como son árboles que siempre se están podando, siempre tienen ramas nuevas y por lo tanto sus producciones son de buen calibre. Además, el pequeño tamaño del árbol permite seleccionar paltas de buen calibre a cosecha. Otro beneficio es que se utiliza menos agua y menos fertilizantes (*Gardiazabal F., 2017*).

Evolución de la densidad promedio de las plantaciones de paltos, según los datos obtenidos de los catastros frutícolas realizados en la V región de Valparaíso, ver gráfico 73.

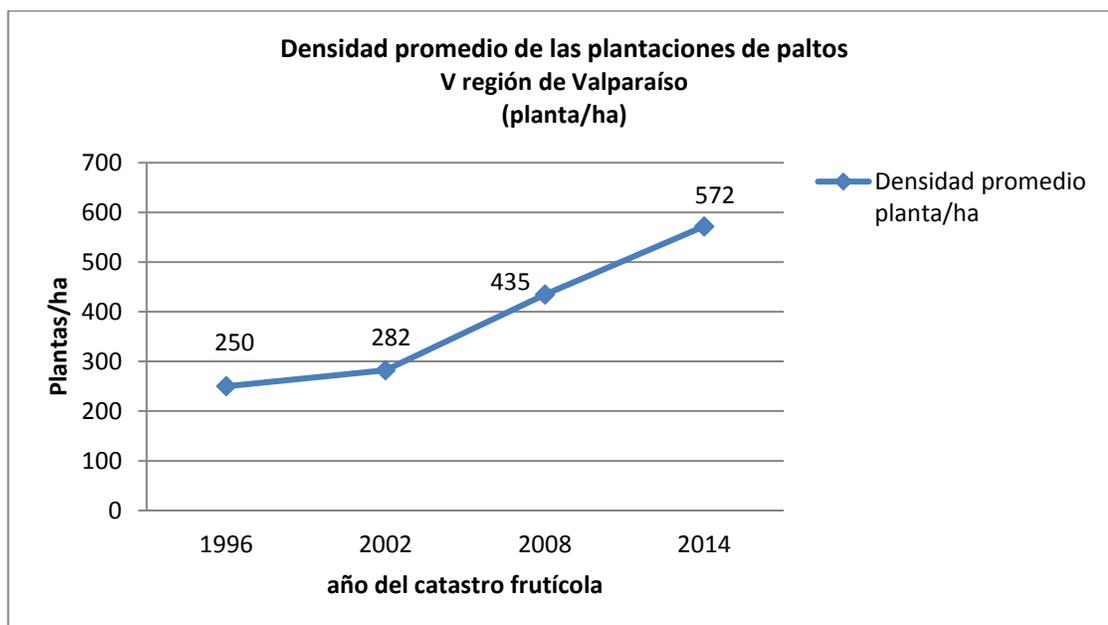


Gráfico 73: Densidad promedio de las plantaciones de paltos en la V región de Valparaíso  
Fuente: elaboración propia.

**La densidad promedio ha ido aumentando en forma paulatina en más del doble según los registros iniciales del catastro frutícola del año 1996 donde había una densidad promedio de 250 (plantas/ha), llegando al año 2014 con una densidad promedio de 572 (plantas/ha).**

Una adecuada conducción de las plantas ha puesto en evidencia el predominio de los principios fisiológicos sobre los estéticos, en busca de un rápido equilibrio vegetativo/productivo, una precoz entrada en producción y elevados rendimientos por unidad de superficie, sin perjudicar los estándares de calidad del producto. Además, la posibilidad de mecanizar algunas operaciones culturales, la facilidad de adoptar tecnologías de riego localizado y la necesidad de hacer más eficientes las labores fitosanitarias, han convencido a los fruticultores de la conveniencia de adoptar en sus huertos mayores densidades de plantación. Al aumentar la densidad de plantación es necesario recurrir a la poda o al manejo con reguladores de crecimiento. Mediante estas herramientas, se pueden mantener árboles pequeños, más fáciles de manejar y controlar la producción (Lemus G., 2010).

### 4.3.4 Manejo del Riego

El palto al ser un árbol perenne consume agua durante todo el año. En el Valle del Aconcagua, zona central de Chile, que presenta un clima mediterráneo, en los meses de junio, julio y agosto parte de la demanda hídrica es cubierta por las lluvias; produciéndose aproximadamente el 80% de la demanda hídrica entre octubre y marzo. En climas mediterráneos como California, Chile e Israel, las necesidades de riego en invierno son bajas, excepto en condiciones de sequía, por lo cual, las necesidades de riego en este período deben ser estimadas a través de un balance entre la evapotranspiración y la lluvia (*Asociación Gremial de Riego y Drenaje, 2011*).

Un factor muy importante por considerar antes de establecer un huerto de palto es el recurso hídrico con el que se cuenta. Es importante considerar los requerimientos hídricos de la especie en plena producción, los que fluctúan entre 8.000 a 10.000 m<sup>3</sup> por hectárea en la temporada, sin embargo, dado que el cultivo se ha expandido a la zona norte o más cercana a la cordillera, estos requerimientos pueden llegar incluso a cerca de 18.000 m<sup>3</sup> por hectárea al año. En el Valle del Aconcagua el consumo de agua anual de paltos adultos regados por microaspersión es de aproximadamente 9.000 m<sup>3</sup>/ha/año (*Ferreira E., 2007*).

Es necesario ser muy precisos en la aplicación del riego para evitar déficit o exceso de humedad. Es importante, entonces, conocer con exactitud cuándo y cómo hacerlo. Para programar el riego se deben considerar los aspectos fenológicos y fisiológicos básicos, y considerar que las plantas no responden de manera similar al déficit o exceso hídrico, algunas son más sensibles. Para desarrollar un programa de riego es necesario analizar el suelo de manera integral, observar la posible interacción entre la aireación y el contenido de humedad en el suelo (*Fedefruta, 2009*).

El cambio tecnológico hacia el uso de riego tecnificado, principalmente presurizado, se debe a las ventajas que estos sistemas tienen por sobre los tradicionales. De todos los beneficios el más importante es el aumento en la eficiencia de riego que implica entregar el agua con un sistema presurizado. Un huerto de palto puede ser regado por sistema tradicional o tecnificado. Lo anterior, va a depender de la disponibilidad hídrica, inversión predial, mano de obra, etc. Sin embargo, desde hace un tiempo, huertos que tradicionalmente se regaban por tendido, surco o taza, han cambiado a sistema tecnificado, principalmente riego presurizado por microaspersión o goteo (*Gil P., 2010*).

## Períodos críticos del palto

El período más crítico, para el **desarrollo del palto es en primavera e inicio de verano**, época en que se desarrolla el sistema radicular, crece la parte vegetativa, se producen los mayores requerimientos de zinc, boro y calcio y se define el número de células en el fruto, del cual depende el calibre potencial a obtener (Ferreyra R. et al., 2006).

El manejo del riego debe ser muy controlado en los períodos críticos, el primero de ellos corresponde a la **floración y al inicio del crecimiento de la fruta**, un manejo del agua adecuado durante la floración es fundamental para la cuaja (Whiley et al., 1988).

Riegos continuos durante primavera pueden reducir la aireación del suelo, posibilitando la muerte de las raíces, las cuales tiene un crecimiento importante durante este período; la fase de **crecimiento rápido de la fruta** es el segundo período crítico para el riego, durante este tiempo el manejo adecuado reduce la caída de fruta e incrementa el tamaño final del fruto (Lemus G., 2010).

El tamaño de la fruta se puede ver afectado con el manejo del riego; cualquier estrés, por exceso o déficit hídrico, puede afectar el tamaño de la fruta recomendado (Lahav y Kalmar et al., 1983).

El intervalo entre riegos se debe acortar en verano, cuando el crecimiento de la fruta es rápido, para asegurar el máximo tamaño de fruta, considerando que el crecimiento de la fruta en otoño es más lento y no hay ventaja en acortar los intervalos de riego. En resumen, **el período más crítico para el desarrollo del palto es la primavera**. El exceso de agua durante este período, en suelos de baja aireación, afecta el desarrollo radical, lo cual produce muerte de raíces (asfixia), afecta la cuaja, reduce el tamaño de los frutos y aumenta los frutos con desórdenes internos, como el pardeamiento de pulpa y el bronceado vascular (Gil P. et al., 2009).

Recomendaciones y desafíos para el manejo del agua de riego (CNR, 2010):

1. Capacitación de los operadores de equipos de riego.
2. Desarrollo de técnicas relacionadas con el riego deficitario controlado, para enfrentar en mejor forma períodos con restricción hídrica.
3. Uso de programas de riego con buena información base puede aproximarse en 70% u 80% a los requerimientos reales del cultivo.
4. Ajuste de los programas de riego y fertilización con utilización de sensores.
5. Considerar la variabilidad espacial de los suelos en los diseños de los equipos y en el manejo del agua de riego.

## Tecnificación del Riego

El riego tecnificado en plantaciones nuevas de paltos puede consistir en sistema por goteo o bien comenzar con microaspersor o microjet cercano a la zona de las raíces, lo que dependerá de las condiciones de suelo y también del régimen de riego que se aplicará posteriormente. Cualquiera sea el método de riego, luego de la plantación deberá realizarse un riego que aporte al menos 50 l/árbol, con el fin de eliminar bolsones de aire y permita asentarse adecuadamente la planta (Lemus G., 2010).

La aplicación de cantidades de agua concordantes con los requerimientos de las plantas y la eficiencia de la aplicación del sistema de riego que se utilice permite ahorrar agua y energía, controlar las pérdidas de nutrientes por lixiviación y aumentar los rendimientos y calidad de la producción (Ferreyra E., 2007).

Se estima que la eficiencia del riego por **tendido** en frutales es menor al 50%; en cambio el sistema de riego por **microaspersión** tiene una eficiencia de un 80-85%, mientras que por **goteo** alcanza entre 90- 95% de eficiencia; por lo anterior la adopción del riego presurizado representa un avance en el sistema productivo agrícola, ya que permite ahorrar agua y aumentar la superficie plantada; también permite entregar agua en cantidades muy cercanas al requerimiento de las plantas y aplicar fertilizantes en forma localizada mediante el sistema de riego (Gil P., 2010).

De los catastros frutícolas llevados a cabo en la V región de Valparaíso se puede conocer el método de riego empleado a través de los años en las plantaciones de paltos de la cuenca del río Aconcagua, donde se destacan los siguientes:

1. Microaspersión.
1. Goteo.
2. Surco.
3. Tendido.
4. Aspersión.

Superficies regadas (ha) según método de riego en la cuenca del río Aconcagua, ver tabla 21.

Año	Aspersión	(%)	Goteo	(%)	Microaspersión	(%)	surco	(%)
1996	239,81	4,9	240,98	4,9	1.816,12	37,2	1.829,65	37,5
2002	7,50	0,1	1.702,76	18,9	5.733,96	63,5	1.078,56	11,9
2008	22,24	0,2	5.133,52	40,4	6.273,90	49,4	780,76	6,1
2014	1.366,40	11,5	3.373,29	28,3	6.235,37	52,3	357,69	3,0
Año	Tendido	(%)	Otros*	(%)	Total (ha)	(%)		
1996	652,79	13,4	103,86	2,1	4.883,21	100		
2002	471,98	5,2	36,96	0,4	9.031,72	100		
2008	494,06	3,9	3,49	0,0	12.707,97	100		
2014	585,86	4,9	1,72	0,0	11.920,33	100		

Tabla 21: Superficie regada (ha) según método de riego.

Fuente: elaboración propia.

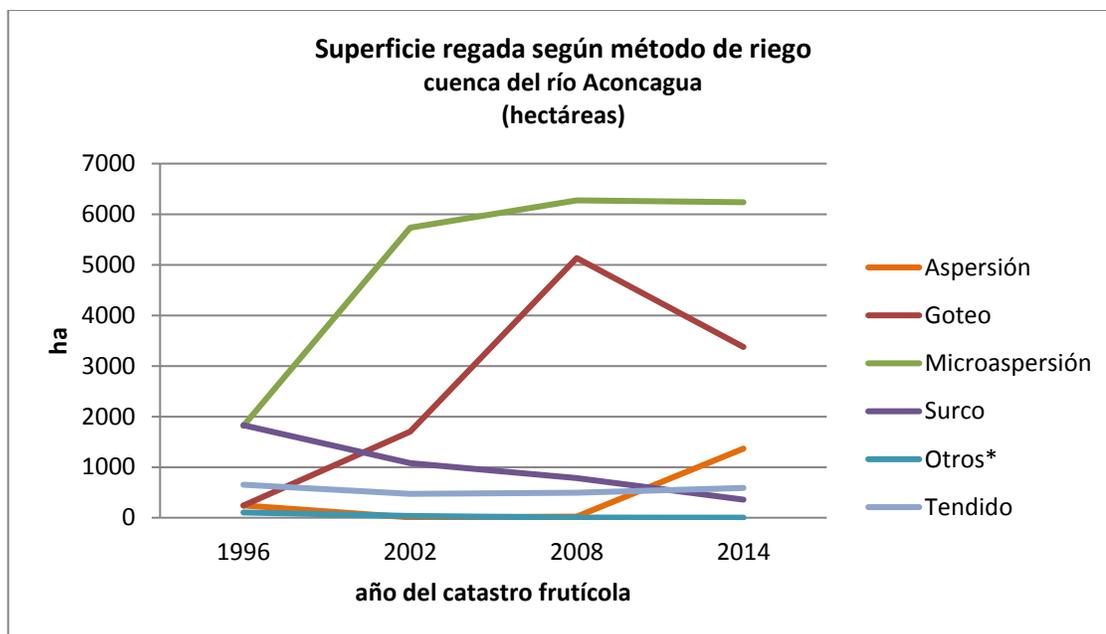


Gráfico 74: Superficie regada según método de riego en la cuenca del río Aconcagua

Fuente: elaboración propia.

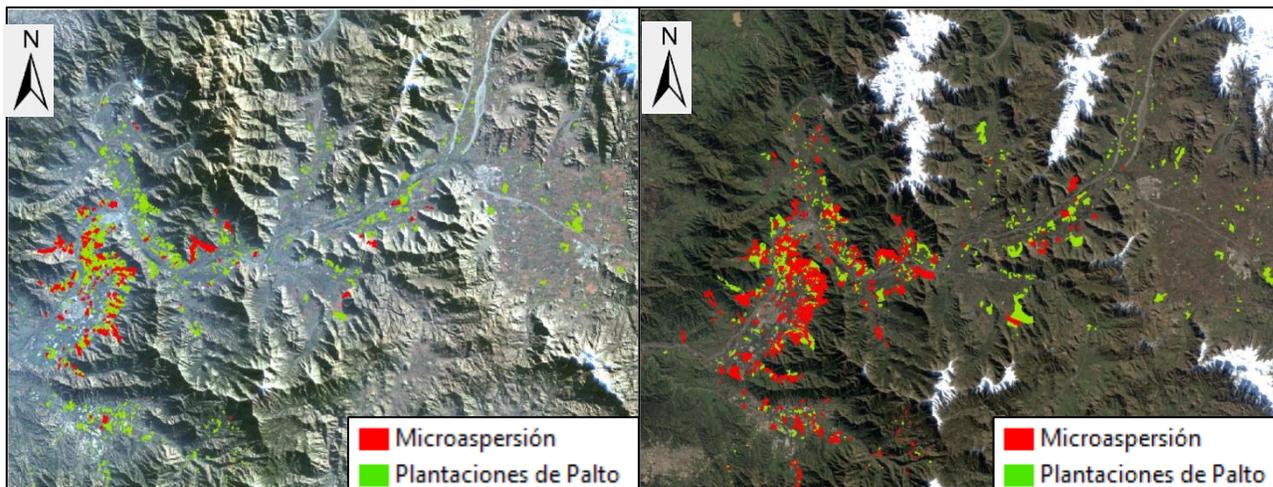
*\*Los otros métodos de riego hacen referencia a Bordes, Cintas, Curvas de Nivel, Tazas. En cada uno de los catastros frutícolas llevados a cabo, se puede apreciar que **los valores de los registros son despreciables, es decir, no son representativos ni tienen injerencia en la superficie regada (ha) al interior de la cuenca.***

El sistema de riego más utilizado es el de microaspersión, ver gráfico 74. Esta preferencia se podría explicar ya que este sistema sirve para evitar el daño que provocan las heladas en los paltos debido a que los microaspersores son dispositivos hidráulicos que se ubican en la parte alta del árbol, almacenando un flujo continuo de agua al interior de un diafragma, una vez que éste se llena, el volumen acumulado se expulsa de forma instantánea convirtiendo un bajo caudal continuo en uno alto e intermitente. Aquí, el patrón de mojado se genera por una boquilla o difusor instalado en la salida superior del pulsador. Estos aparatos han resultado efectivos para el control y mitigación de heladas en las paltas. Aunque la cantidad de agua necesaria para hacer la labor de forma efectiva dependerá de las condiciones de cada huerto y de la disponibilidad hídrica que éste tenga. Eso sí, la aspersión exige cantidades muy altas de este recurso, por lo que es un método costoso y de gran demanda eléctrica (*Diario El Mercurio, 2012*).

**El método de riego ampliamente utilizado es el de microaspersión**, para el catastro frutícola del año 1996 tenía un uso equivalente al del surco registrando un 37% de la superficie regada (ha), pero a través de los años este método es el más utilizado, alcanzando cifras equivalentes al 64% (año 2002), 49% (año 2008) y finalmente un 52% (año 2014) de la superficie regada (ha).

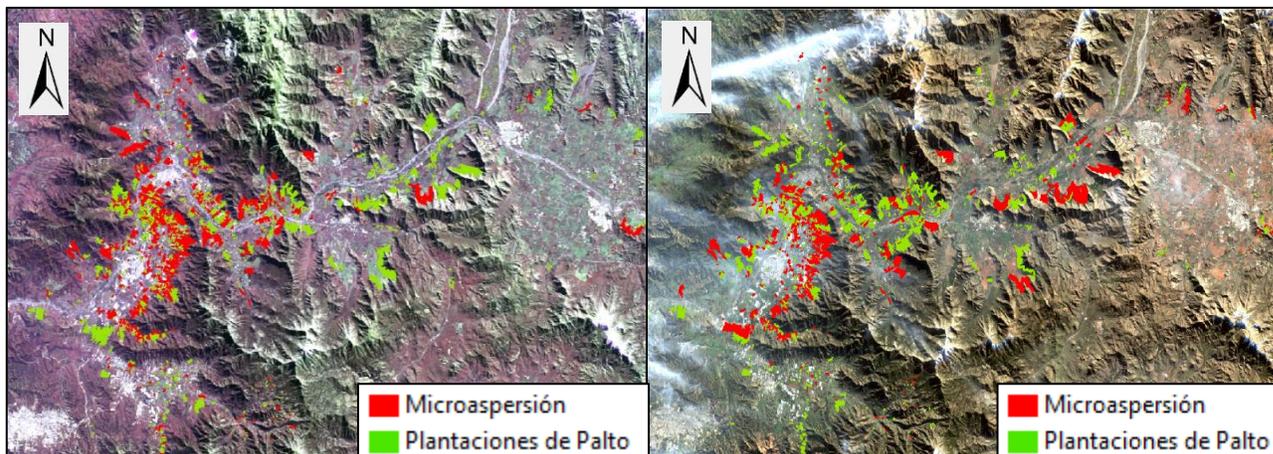
**catastro frutícola del año 1996**  
**1.816,12 ha regadas por microaspersión**

**catastro frutícola del año 2002**  
**5.733,96 ha regadas por microaspersión**



**catastro frutícola del año 2008**  
**6.273,90 ha regadas por microaspersión**

**catastro frutícola del año 2014**  
**6.235,37 ha regadas por microaspersión**

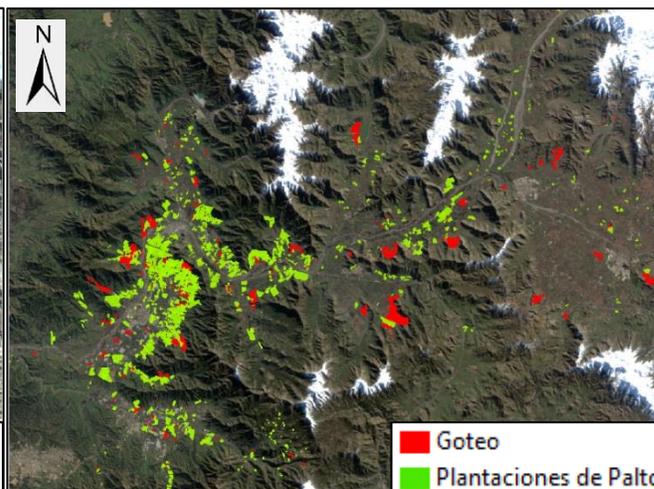
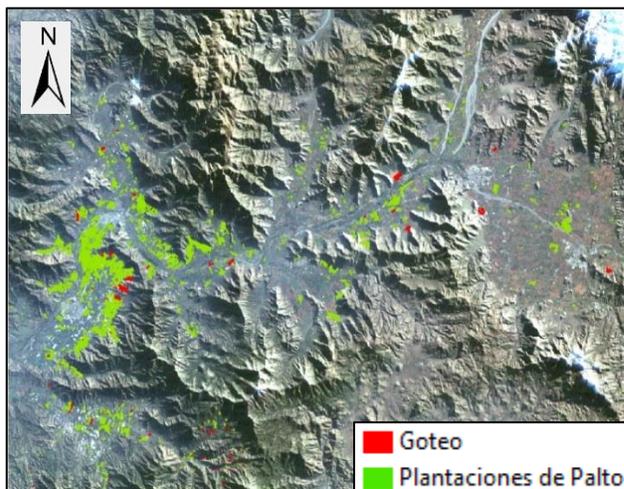


**Figura 33: Evolución del método de riego microaspersión en la cuenca del río Aconcagua**  
 Fuente: elaboración propia.

**El método de riego por goteo presenta un comportamiento muy dinámico a través de los años.** Para el catastro frutícola del año 1996, el 5% aproximadamente de la superficie regada (ha) empleaba este método, luego tiene un impulso, subiendo un 19% (año 2002) llegando a un 40% (año 2008), pero finalmente cae registrando un 28% (año 2014) de la superficie regada (ha).

**catastro frutícola del año 1996**  
**240,98 ha regadas por goteo**

**catastro frutícola del año 2002**  
**1.702,76 ha regadas por goteo**



**catastro frutícola del año 2008**  
**5.133,52 ha regadas por goteo**

**catastro frutícola del año 2014**  
**3.373,29 ha regadas por goteo**

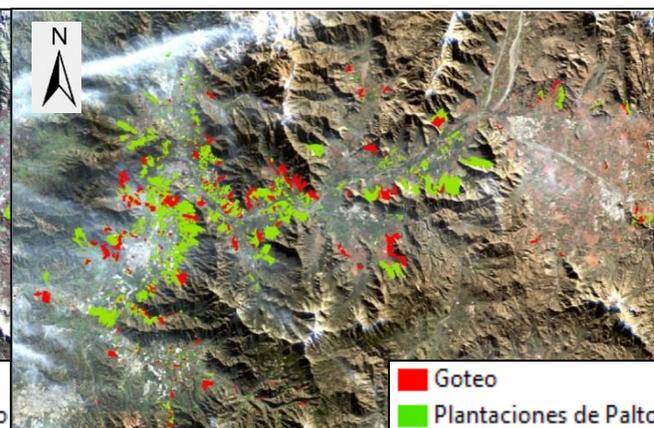
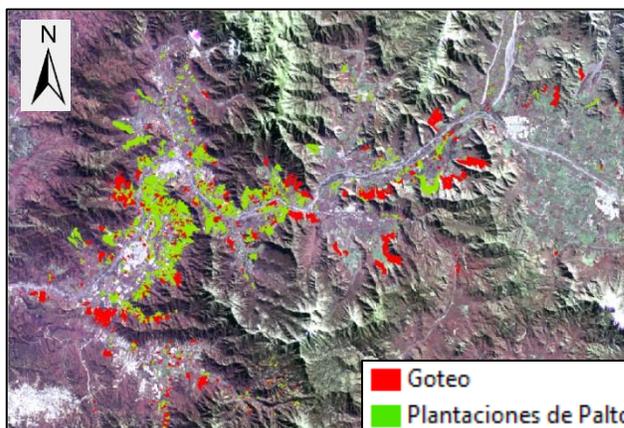
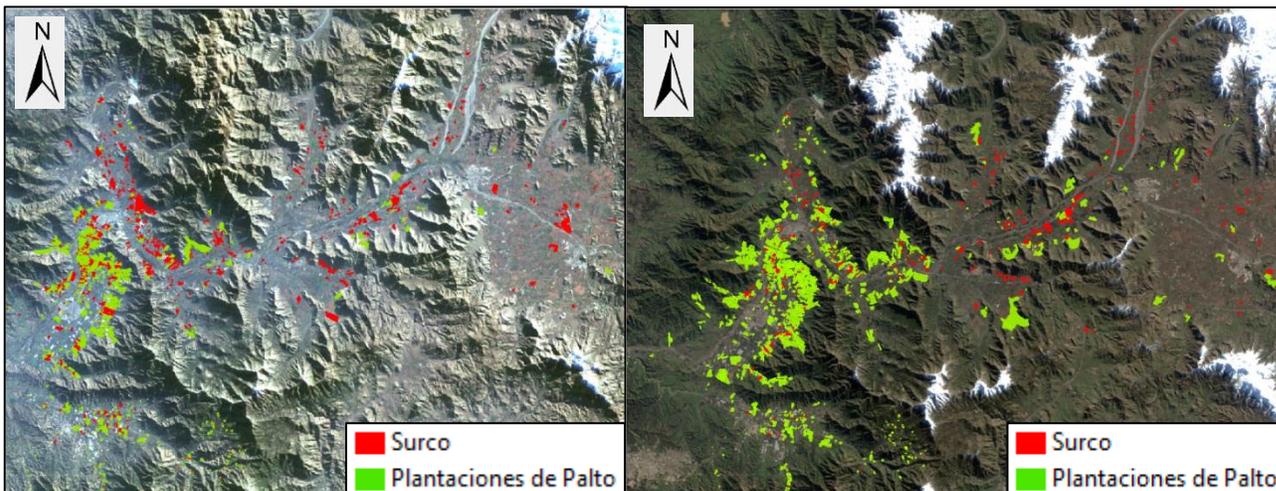


Figura 34: Evolución del método de riego goteo en la cuenca del río Aconcagua  
 Fuente: elaboración propia.

**El método de riego por surco presenta una baja significativa a través de los años.** Para el catastro frutícola del año 1996, fue un método muy utilizado registrando un 37% de la superficie regada (ha). Luego, se aprecia una disminución considerable con cifras equivalentes a un 12% (año 2002), 6% (año 2008) y finalmente registra un 3% (año 2014) de la superficie regada (ha).

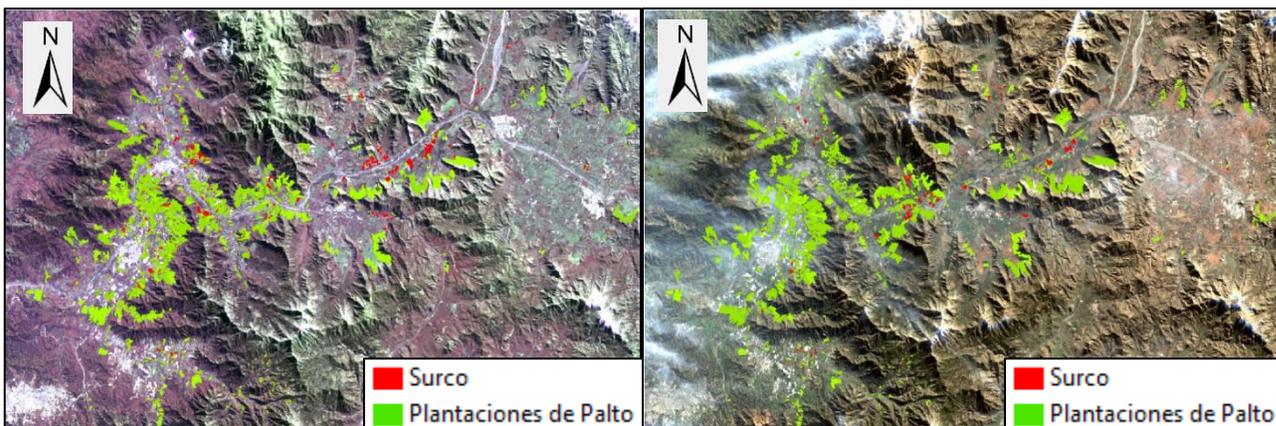
**catastro frutícola del año 1996**  
**1.829,65 ha regadas por surco**

**catastro frutícola del año 2002**  
**1.078,56 ha regadas por surco**



**catastro frutícola del año 2008**  
**780,76 ha regadas por surco**

**catastro frutícola del año 2014**  
**357,69 ha regadas por surco**

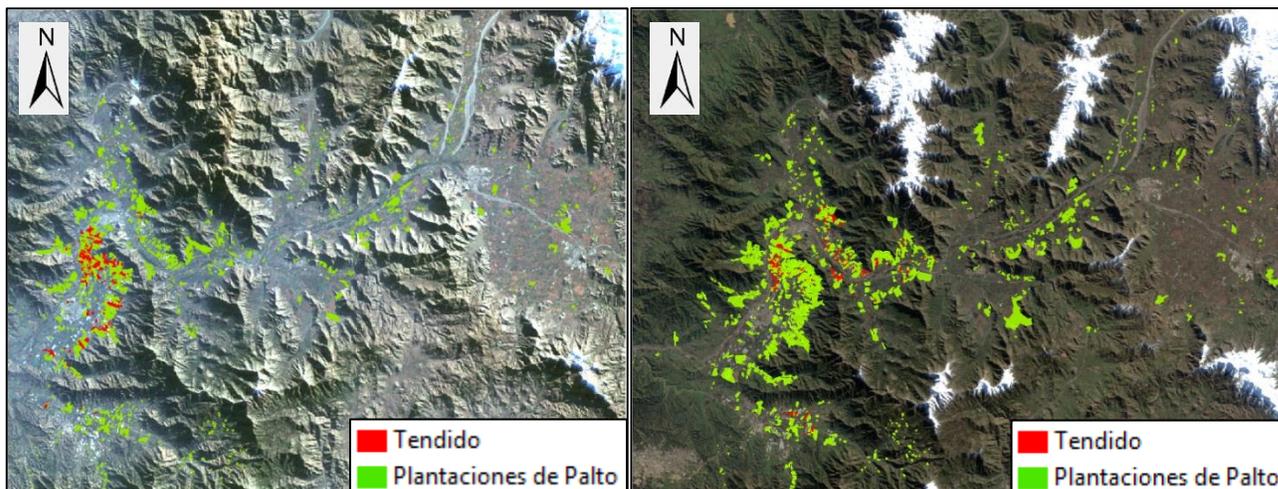


**Figura 35: Evolución del método de riego surco en la cuenca del río Aconcagua**  
 Fuente: Fuente: elaboración propia.

**El método de riego por tendido se mantiene constante a través de los años.** Para el catastro frutícola del año 1996, este método se utilizaba en el 13% de la superficie regada (ha), luego cae el porcentaje total destinado al riego por este método, pero se mantiene la cantidad de superficie regada (ha) 5% (año 2002), 4% (año 2008) y 5% (año 2014), es decir, se mantiene la cantidad de hectáreas regadas por este método, independientemente que el total de hectáreas a nivel de cuenca hayan aumentado con el pasar del tiempo.

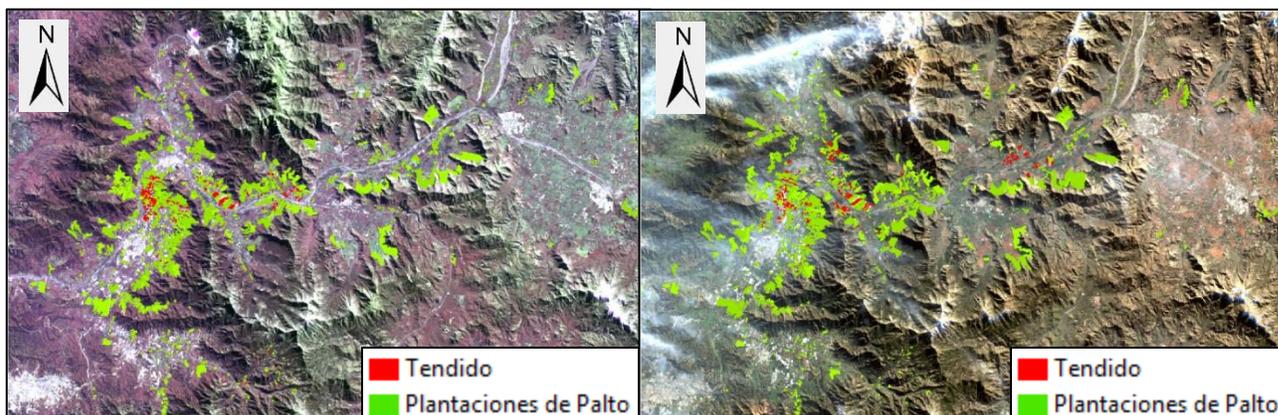
**catastro frutícola del año 1996**  
**652,79 ha regadas por tendido**

**catastro frutícola del año 2002**  
**471,98 ha regadas por tendido**



**catastro frutícola del año 2008**  
**494,06 ha regadas por tendido**

**catastro frutícola del año 2014**  
**585,86 ha regadas por tendido**

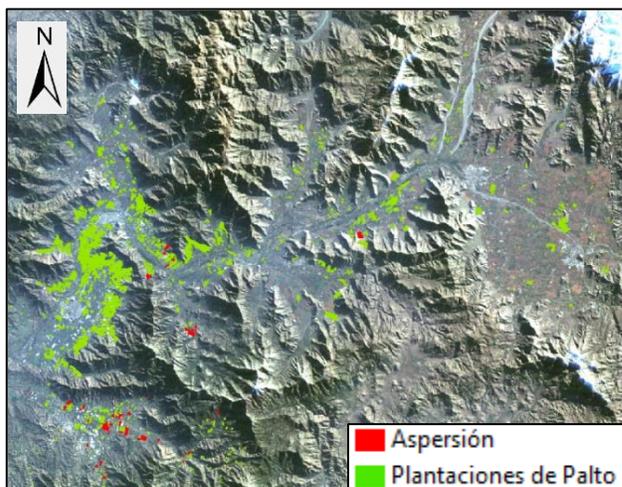


**Figura 36: Evolución del método de riego tendido en la cuenca del río Aconcagua**

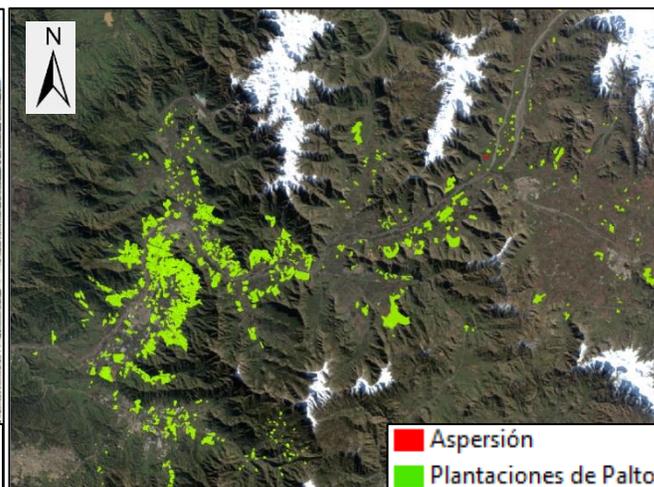
Fuente: Fuente: elaboración propia.

*El método de riego por aspersión presenta un alza en el último catastro frutícola del año 2014* donde se utiliza en el 12% de la superficie regada (ha). Para los catastros frutícolas anteriores estas cifras eran muy bajas, siendo sus registros equivalentes al 5% (año 1996), un 0,1% (año 2002) y 0,2% (2008) en la superficie regada (ha).

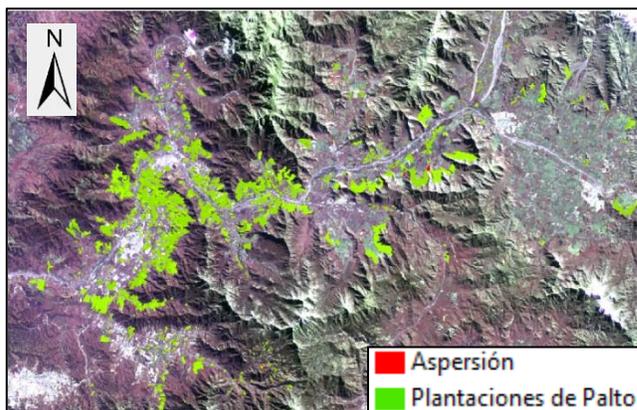
**catastro frutícola del año 1996**  
**239,81 ha regadas por Aspersión**



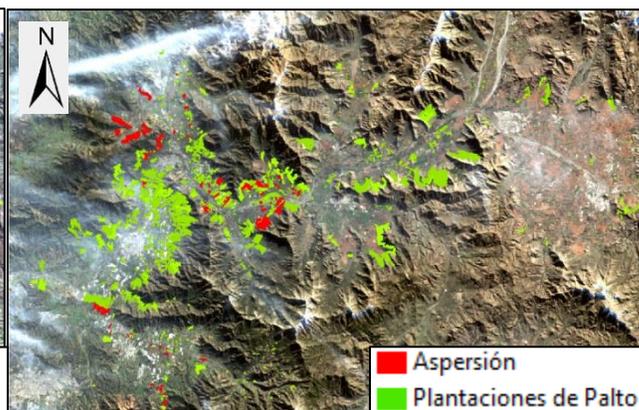
**catastro frutícola del año 2002**  
**7,5 ha regadas por Aspersión**



**catastro frutícola del año 2008**  
**22,24 ha regadas por Aspersión**



**catastro frutícola del año 2014**  
**1.366,4 ha regadas por Aspersión**



**Figura 37: Evolución del método de riego aspersión en la cuenca del río Aconcagua**  
 Fuente: Fuente: elaboración propia.

## 4.4 Discusión

El sistema productivo del palto está relacionado directamente con el tipo de riego que se tenga de acuerdo con la disponibilidad y gestión del agua.

El tipo de riego debe estar acorde a factores claves en el adecuado desarrollo de esta especie frutal, tales como la topografía, el tipo de suelo y las características climáticas donde se encuentran las plantaciones de paltos.

La producción de paltas tanto en la V región de Valparaíso como en la cuenca del río Aconcagua tiene una gran importancia económica. Por lo tanto, adaptar este tipo de plantaciones a la geografía local es de suma importancia, para ello, se recurre entre otras cosas a tecnificar el riego, conocer la fenología de esta especie frutícola y saber los períodos críticos que afectan la calidad del producto. Además, es necesario actuar a tiempo para preservar tanto los árboles como sus frutos controlando enfermedades y/o plagas, podando, utilizando nutrientes, etc.

El catastro frutícola efectuado cada seis años entrega un panorama histórico de cómo ha ido evolucionando la producción, de qué manera se ha ido cambiando la tecnificación del riego y cuál es el destino de esta especie frutícola.

***De los resultados obtenidos y analizados se puede observar que entre el catastro frutícola del año 2008 y el 2014 hay un quiebre en todas las variables estudiadas***, donde se puede desprender lo siguiente:

- Disminuye la cantidad de superficie plantada (hectáreas catastradas).
- Aumenta la Producción Informada (toneladas).
- Disminuye la Producción destinada a la Exportación (toneladas).
- Aumenta la Producción destinada al Mercado Interno (toneladas).
- Aumenta la Productividad (toneladas/hectáreas).
- Aumenta la Densidad (plantas/hectáreas).
- Disminuye la superficie regada (ha) con sistemas de goteo y surco, aumentando el sistema de Aspersión y se mantiene liderando el sistema de Microaspersión.

Estos registros se han ido relacionando con las condiciones medioambientales propios del entorno que afectan directamente la productividad del palto, pero hay otros factores que inciden indirectamente en la productividad y que en el capítulo siguiente se analizarán, tales como ciclos de sequía, precio y situación económica del país en ese período, crecimiento urbano, entre otros.

Por lo tanto y teniendo en cuenta lo recién mencionado, no cabe duda de que estos cambios tienen relación tanto con las variables vistas en el primer capítulo como las que se verán en el próximo.

# CAPÍTULO 5. Dinámica agroeconómica de la cuenca del río Aconcagua

## 5.1 Introducción

En los capítulos anteriores se analizaron las variables hidrometeorológicas y las relacionadas con el sistema productivo del palto; en este capítulo se analizarán las variables complementarias presentes no tan solo a nivel de cuenca si no que a nivel regional, nacional y mundial que ayuden a entender de mejor forma el comportamiento que ha tenido el sistema productivo de esta especie frutícola a través de los años.

La dinámica agroeconómica que ha tenido la cuenca del río Aconcagua ha sido influenciada a nivel local por el progreso que Chile viene forjando hace varias décadas en cuanto a tratados internacionales, inversiones en minería, expansión urbana, gestión agrícola, entre otros avances que han derivado de alguna u otra manera en los sistemas productivos del palto. Pero existen otros factores que no dependen de la gestión regional o nacional, si no que ocurren a nivel mundial como es la sequía o una crisis económica internacional y que de igual forma inciden en este tipo de cultivos.

Es de suma importancia conocer las variables externas que afectan a las plantaciones de paltos, y en general, las que afectan a la agricultura para realizar medidas certeras y gestionar soluciones a largo plazo, ya que este recurso en términos generales mueve la economía de un país, generando empleos, promoviendo inversiones, etc.

La economía chilena en general y el sector agrícola en particular han mantenido un proceso constante de modernización y progreso desde la década de los 80', lo que se ha ido materializando en una exitosa diversificación de la actividad agrícola, así como en la inserción y posicionamiento de sus productos en los mercados internacionales. El escenario global particularmente es difícil y competitivo, lo que obliga a modernizarse para hacer frente a mercados internos y externos cada vez más exigentes, sin dejar de lado el respeto por el trabajador, el cuidado del medio ambiente y las preferencias por ciertas bondades de los productos alimentarios, requisitos exigidos en los principales mercados mundiales, tanto por consumidores directos como por industrias procesadoras (ODEPA, 2012).

## 5.2 Ciclos de sequía

Uno de los puntos más relevantes en la productividad del palto es la gestión empleada sobre el recurso hídrico, es decir, la planificación que existe en torno al riego según la disponibilidad de agua que se tiene, para así poder obtener frutos de alta calidad nutritiva y buen calibre.

Pero qué ocurre cuando la disponibilidad hídrica es escasa, lo más probable es que se esté en frente de un fenómeno denominado **sequía**, donde la teoría indica que por falta de lluvia existe un suministro insuficiente de agua para las plantas, animales y los seres humanos (*IFRC, 2016*), por lo tanto, se hace necesario abordar esta problemática en cualquier lugar del mundo donde esté presente este tipo de anomalía climatológica y/o sus consecuencias.

Chile no es la excepción, ya que ha debido enfrentar períodos de sequía en casi todas las regiones del país a través de los años y por ende las múltiples consecuencias que este evento acarrea, en especial las provocadas en la agricultura.

La disponibilidad de los recursos hídricos se ve afectada por múltiples variables, siendo una de las más relevantes para la agricultura la ocurrencia de sequías. Este escenario ha venido afectando a la zona del Aconcagua desde hace años y tiende a hacerse crónica en esta área del país (*Osorio A., 2013*).

En una situación de sequía los árboles de paltas pueden verse seriamente afectados, mostrando síntomas muy evidentes (marchitez de la hoja) o bien afectándose la producción y calibre. Además, de hacer un buen uso del agua, es recomendable realizar algunos manejos complementarios, tales como poda de rebaje, películas reflectantes en la madera y frutos, mallas sombreadoras y riego deficitario controlado (*Gil P., 2010*).

Los cultivos más afectados por la falta de agua son las paltas, tomates y uvas (*Bayer Crop Science, 2013*), ya que, en época de cuaja, no alcanza su techo productivo, teniendo como gran consecuencia en las zonas con limitación de agua talar las plantaciones de esta especie frutícola y reemplazarlas por otro tipo de cultivos.

Calendario que abarca un período de 91 años, desde el año 1924 hasta el año 2015, en donde se muestra en cada región de Chile la presencia de este fenómeno, ver figura 38.

Sequías en Chile		Regiones afectadas														
Año(s)	Nombre	AP	TA	AN	AT	CO	VS	RM	LI	ML	BI	AR	LR	LL	AI	MA
		1924	Sequía de 1924					✓	✓	✓	✓	✓				
1933	Sequía de 1933				✓	✓										
1946	Sequía de 1946				✓	✓										
1955	Sequía de 1955					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
1960-1962	Sequía de 1960-1962					✓										
1964	Sequía de 1964					✓	✓									
1967	Sequía de 1967			✓	✓	✓	✓	✓								
1968-1969	Gran sequía de 1968 <sup>n 1</sup>				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
1970-1971	Sequía de 1970-1971				✓	✓										
1979	Sequía de 1979										✓	✓	✓	✓		
1986	Sequía de 1986					✓										
1990-1991	Sequía de 1990-1991				✓	✓	✓									
1996	Sequía de 1996				✓	✓	✓	✓								
1998-1999	Sequía de 1998-1999				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
2007-2008	Sequía de 2007-2008				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
2010-2011	Sequía de 2010-2011				✓	✓	✓	✓	✓							
2012-2015 <sup>6 7</sup>	Sequía de 2012 <sup>8</sup> -2015					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				

Figura 38: Sequías en Chile

Fuente: Meza L., et al., 2010; Bertín X. et al., 2015

Todos los nombres de las regiones de Chile están abreviados según norma ISO 3166-2: CL

La V región de Valparaíso (señalada en el recuadro con las iniciales VS) ha tenido varios episodios de sequía a través del tiempo, pero **a partir del año 2007 hasta el año 2015 este fenómeno se ha mantenido constante**, es decir, durante aproximadamente ocho años seguidos, esta variable ha venido afectando el sistema productivo del palto.

### 5.3 Huella hídrica

Existe un indicador denominado huella hídrica, la cual define el volumen total de agua dulce usado para producir un producto, mide el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada a lo largo de la cadena de suministro (*Convenio Clima y Sector Agropecuario Colombiano, 2014*). Para el caso del palto, se hace necesario conocer cuántos litros de agua se requiere para producir un kilo de paltas (l/Kg).

"Agua Virtual" es un concepto que define el volumen de agua necesaria para elaborar un producto o para facilitar un servicio (*Allan J et al., 1993*). Posteriormente, se creó el término "huella hídrica" para obtener un indicador que relacionará el agua con el consumo, con tres componentes que la constituyen (*Hoekstra A. et al., 2002*).

- Huella azul (Ha): Es el volumen de **agua dulce extraída de un cuerpo de agua superficial o subterránea** y que es evaporada en el proceso productivo o incorporada en un producto. Para cuantificarla se hace necesario **instalar aforadores o contadores de caudal** que permitan cuantificar el agua proveniente de una fuente superficial o subterránea.
- Huella verde (Hv): Es el volumen de **agua de precipitación** que es evaporada en el proceso productivo o incorporada en un producto. Para cuantificarla se hace necesario contar con **información climática diaria** que permita hacer seguimiento a los niveles de precipitación, una vez que se cuenta con el valor de agua lluvia y mediante el uso de lisímetros se puede cuantificar el total del agua evapotranspirada.
- Huella gris (Hg): Es el volumen de **agua contaminada**, que puede ser cuantificada como el volumen de agua requerida para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua esté sobre los estándares aceptables. Para cuantificarla se hacen **monitoreos continuos a la calidad del agua** que ingresa y sale del sistema evaluando los principales contaminantes productos de la fertilización.

La Huella Hídrica



Figura 39: Huella hídrica  
Fuente: Osorio A., 2013.

Huella hídrica referencial del palto (l/Kg) en la cuenca del río Aconcagua, ver gráfico 75. Los datos fueron extraídos de estudios realizados por el INIA.

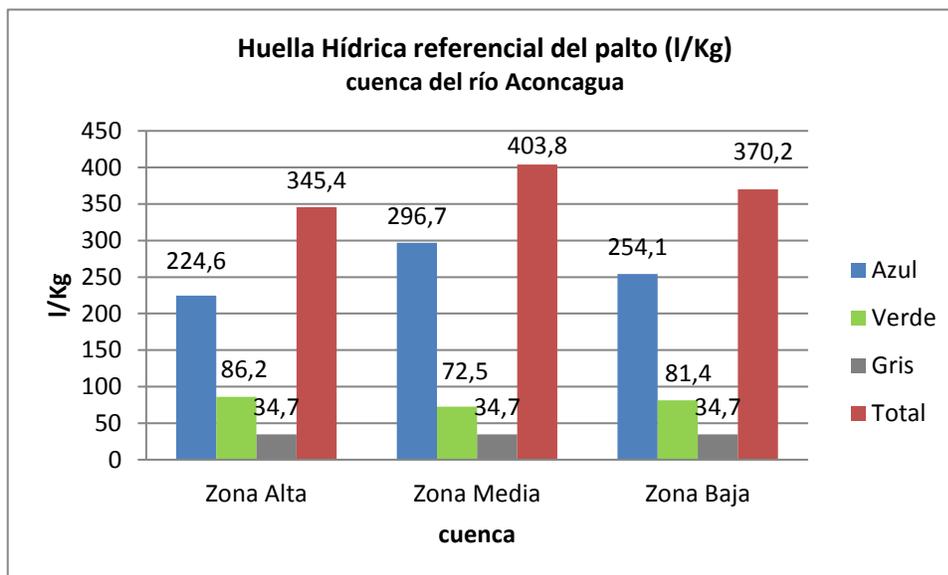


Gráfico 75: Huella hídrica referencial del palto (l/Kg) en la cuenca del río Aconcagua  
Fuente: elaboración propia.

**Para producir un kilo de paltas en la cuenca del río Aconcagua, se requiere en promedio 373 litros de agua,** para contar con esta cantidad de agua los pequeños y medianos agricultores han debido reducir la superficie plantada para poder salvaguardar este tipo de plantaciones. Hay dos maneras de disminuir la huella hídrica de un producto: reducir u optimizar el consumo de agua en el proceso de producción y/o maximizar los rendimientos del cultivo (CNR, 2010).

**La huella azul presenta los valores más altos, esto significa la alta dependencia al agua de riego como resultado de un déficit en la disponibilidad de agua lluvia.** La huella azul puede reducirse aumentando la productividad del agua (Hoekstra et al., 2009). Generalmente los agricultores se centran en aumentar la productividad de la tierra, tiene lógica en suelos pobres con abundante agua, pero en el caso inverso, en que el recurso limitante es el agua y no el suelo, se vuelve más importante maximizar la productividad del agua.

**La huella verde presenta valores bajos, menos de la mitad de lo arrojado en la huella azul, esto significa la baja disponibilidad de precipitación.** Dado que la lluvia no puede manejarse, para reducir la huella hídrica verde de un cultivo hay que aumentar el rendimiento de este, modificando prácticas de manejo (plantación, enfermedades y plagas, polinización, etc.).

**La huella gris presenta valores bajos, menos de la mitad de lo arrojado en la huella verde, esto significa que existe una baja contaminación por producción.** Es posible reducir bastante la huella gris aplicando menos químicos y utilizando mejores tecnologías que consideren el momento propicio para la aplicación de cada uno, de manera que una menor fracción de los contaminantes llegue a los cuerpos de agua por percolación o lixiviación.

Es importante tener en cuenta que algunos cultivos como el palto durante los primeros años prácticamente no producen frutos, por lo que no hay rendimiento, lo que implica que en esos años sus huellas hídricas serán mayores e irán disminuyendo a medida que el rendimiento aumente.

## 5.4 Mercado internacional

### 5.4.1 Acuerdos comerciales de Chile

En el marco de la globalización de la economía, Chile ha suscrito diversos tratados y acuerdos comerciales con el fin de incorporarse al creciente mercado internacional. Este proceso se denomina internacionalización de la economía. Nuestro país comenzó dicho proceso en la década de los 90' cuando firmó un TLC con Canadá y un ACE con el Mercosur en el año 1996, ver gráfico 76.

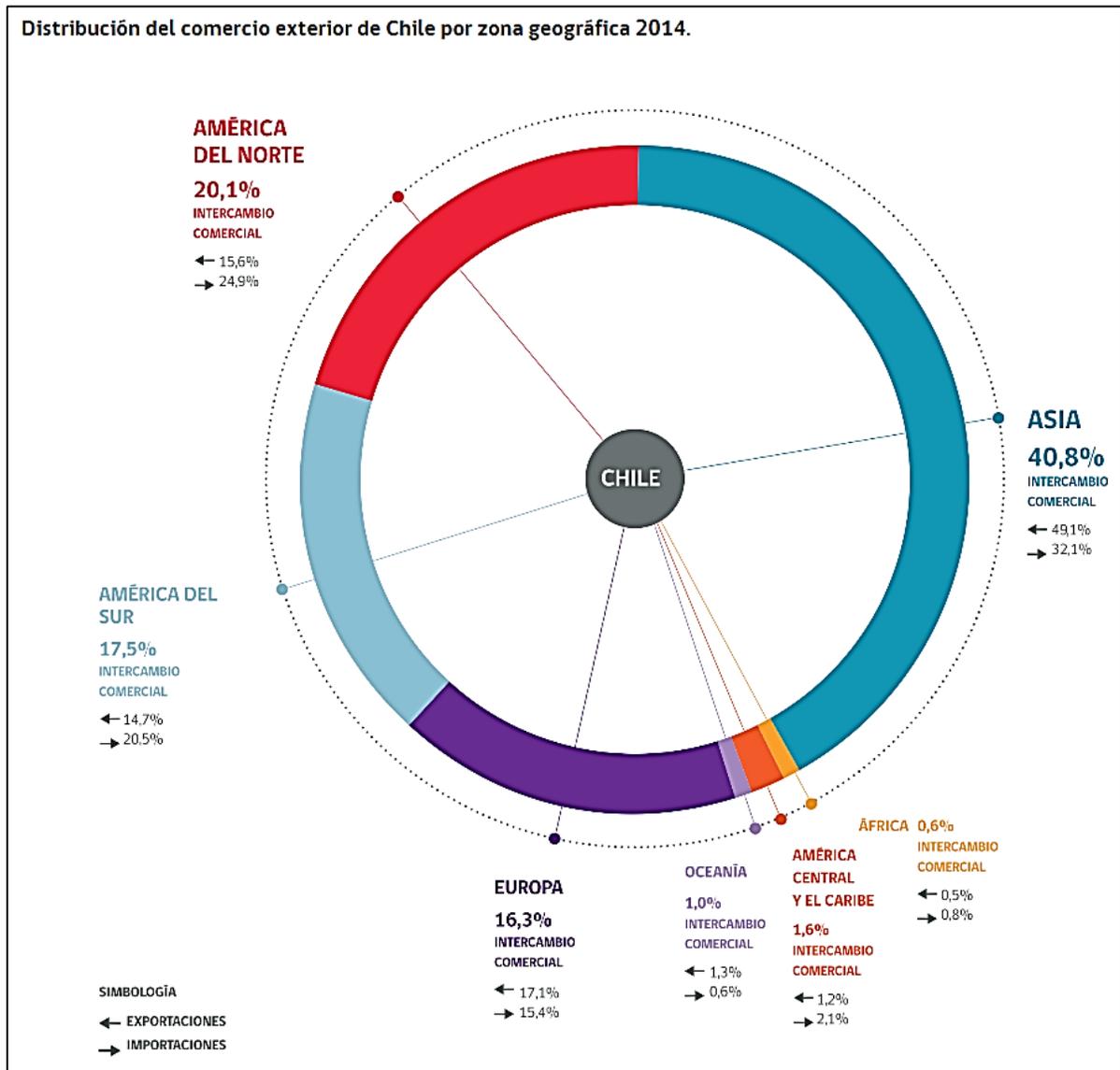


Gráfico 76: Distribución del comercio exterior de Chile por zona geográfica 2014.

Fuente: DIRECON, 2016.

Desde el año 1993 hasta el 2016, Chile ha firmado una serie de acuerdos con distintos organismos económicos internacionales, muchos de ellos potencias mundiales, lo que ha permitido un gran avance en la economía del país, tanto para importar como exportar una gran variedad de productos, dando apertura al desarrollo económico del país en diferentes áreas. En la actualidad, son 65 países con los que se tiene acuerdos bilaterales, lo que ha permitido beneficiar a millones de personas en cuanto a bienes y servicios adquiridos, ver tabla 22.

Parte signataria	Tipo de acuerdo	Vigencia Nacional
Australia	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2009 - marzo 06
Bolivia	Acuerdo de Complementación Económica (ACE)	1993 - julio 01
Canadá	Tratado de Libre Comercio (TLC)	1997 - julio 05
Centroamérica	Tratado de Libre Comercio (TLC) Costa Rica Tratado de Libre Comercio (TLC) El Salvador Tratado de Libre Comercio (TLC) Honduras Tratado de Libre Comercio (TLC) Guatemala	2002 - febrero 14 2002 - junio 03 2008 - julio 19 2010 - marzo 23
China	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2006 - octubre 03
Colombia	Acuerdo de Libre Comercio (ALC)	2009 - mayo 08
Corea del Sur	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2004 - abril 01
Cuba	Acuerdo de Complementación Económica (ACE)	2008 - agosto 28
Ecuador	Acuerdo de Complementación Económica (ACE)	2010 - febrero 16
EFTA (1)	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2004 - diciembre 01
Estados Unidos	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2004 - enero 01
Hong Kong SAR*	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2014 - noviembre 29
India	Acuerdo de Alcance Parcial (AAP)	2007 - agosto 17
Japón	Acuerdo de Asociación Económica Estratégica (AAE)	2007 - septiembre 03
Malasia	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2012 - abril 18
Mercosur (2)	Acuerdo de Complementación Económica (ACE)	1996 - octubre 01
México	Tratado de Libre Comercio (TLC)	1999 - agosto 01
P4 (3)	Acuerdo de Asociación Económica (AAE)	2006 - noviembre 08
Panamá	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2008 - marzo 07
Perú	Acuerdo de Libre Comercio (ALC)	2009 - marzo 01
Tailandia	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2015 - noviembre 05
Turquía	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2011 - marzo 01
Unión Europea (4)	Acuerdo de Asociación (AAE)	2003 - febrero 01
Venezuela	Acuerdo de Complementación Económica (ACE)	1993 - julio 01
Vietnam	Tratado de Libre Comercio (TLC)	2014 - febrero 04
Alianza del Pacífico (6)	Protocolo Comercial	2016 - mayo 01

\*Special Administrative Region

(1) EFTA: Islandia, Liechtenstein, Noruega y Suiza.
(2) Mercosur: Integrado por Argentina, Paraguay, Venezuela, Brasil y Uruguay. Chile participa como país asociado.
(3) P4: Chile, Nueva Zelanda, Singapur y Brunei Darussalam.
(4) Unión Europea: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumania, Suecia.
(6) Alianza del Pacífico: Chile, Colombia, México y Perú.

**Tabla 192: Acuerdos comerciales de Chile**

Fuente: elaboración propia.

Existen diferentes tipos de acuerdo (*Educarchile, 2012*):

- **Acuerdo de Complementación Económica (ACE):** Denominación que usan los países latinoamericanos en los acuerdos bilaterales que contraen entre sí para abrir recíprocamente sus mercados de bienes, los que se inscriben en el marco jurídico de la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI). Apuntan a una apertura de mercados mayor a la de los Acuerdos de Alcance Parcial, pero menor que los Tratados de Libre Comercio. En este tipo de acuerdos se negocian todos los productos de ambos países.
- **Acuerdo de alcance parcial (AAP):** Es un acuerdo comercial básico, ya que sólo incluye materias arancelarias, pero sólo para un grupo de bienes. Es decir, se liberan o rebajan los aranceles de algunos de los productos del comercio entre los países que lo negocian. Normalmente, se le concibe como una primera etapa en un proceso de apertura mayor a largo plazo.
- **Acuerdo de Asociación Económica (AAE):** Este tipo de acuerdos es tan completo como los TLC, sin embargo, también incluye materias del ámbito político y de cooperación como es el caso del Acuerdo de Asociación que existe entre Chile y la Unión Europea.
- **Tratado de libre comercio (TLC):** Acuerdo comercial regional o bilateral que busca ampliar el mercado de bienes y servicios entre los países participantes. Básicamente, consiste en la eliminación o rebaja sustancial de los aranceles para los bienes entre las partes, y acuerdos en materia de servicios. Este acuerdo se rige por las reglas de la Organización Mundial de Comercio (OMC) o por mutuo acuerdo entre los países participantes.
- **Acuerdo de libre comercio (ALC):** Acuerdo comercial regional o bilateral que busca ampliar el mercado de bienes y servicios entre los países participantes.
- **Protocolo Comercial:** Recoge los temas que tradicionalmente se incluyen en los Acuerdos de Libre Comercio que los cuatro países tienen entre ellos, complementa, mejora, actualiza y profundiza lo que ya estaba contenido en dichos acuerdos, más aún, armoniza sus disposiciones y establece estándares comunes, particularmente en las disciplinas comerciales (*DIRECON, 2016*).

## 5.4.2 Crecimiento económico de Chile

Chile, entre los años **1990 y 1997** tuvo un desarrollo económico positivo muy particular, la tasa de crecimiento del PIB crecía de forma inédita superando el 6% anual, liderado por progresivas tasas de inversión y manteniendo significativos aumentos reales en los salarios y del empleo. La Crisis Asiática, entre los años **1997 y 1999**, interrumpió el período de mayor auge económico en la historia de Chile y no logra recuperarse hasta el año 2003. Entre los años **2003 y 2008** los mercados internacionales experimentaron un alza significativa en los precios de las materias primas y en el volumen del comercio mundial, lo que implicó un fuerte impacto externo positivo en economías intensivas en la producción de esos recursos. Otra crisis económica se enfrenta a nivel mundial entre los años **2008 y 2009** en EEUU, la que en Chile repercute en la caída de la producción, el empleo y la formación de capital. Entre los años **2009 y 2010** existe una recuperación de la actividad económica lo que implica un aumento de la formación de capital, particularmente de las importaciones de equipos y maquinarias, compensando las caídas registradas durante la recesión. En general, todas las importaciones se elevaron notablemente (*Ffrench-Davis R.et al.,2015*). Cabe señalar, que, tras el **terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010**, hubo un gran impulso para diversos ámbitos productivos del país (inversión pública y construcción), recuperando incluso la tasa de crecimiento la cual superó el 5%, sin embargo, el crecimiento económico se ha ido desacelerando entre los años **2011 y 2015** debido a la caída de los precios del cobre lo que ha repercutido negativamente sobre la inversión privada y las exportaciones (*Mundial B., 2017*).

Descripción de las dos crisis mundiales que afectaron al crecimiento económico de Chile:

- **1997 - 1999 Crisis Asiática:** Se desató en julio de 1997, a partir de la fluctuación del baht tailandés (moneda oficial de Tailandia), la cual resultó en una brusca devaluación de la moneda tailandesa, que se manifestó en una fuerte fuga de capitales y una caída vertiginosa de su bolsa de valores, la que rápidamente se extendió a otros países asiáticos (*Navarro C., 1998*). En 1997 más de un tercio de las exportaciones chilenas tenían como destino el mercado asiático, por lo que la economía del país comenzó a enfrentarse a una brusca desaceleración la que en el año 1999 tuvo su máximo descenso, ver gráfico 77.
- **2008 - 2009 crisis de EEUU:** Comienza a mediados del año 2007 en el mercado de las Hipotecas en los Estados Unidos con un crédito llamado Subprime, que consistía en hacer préstamos a gente que normalmente no podría acceder a una hipoteca para una casa por existir mayor riesgo de impago. Las tasas de interés se elevaron y muchos de los nuevos propietarios no podían pagarlas o refinanciarlas, los problemas se agravaron con la bancarrota de diversas entidades financieras relacionadas con el mercado de las hipotecas inmobiliarias, entre ellas el Lehman Brothers a mediados del año 2008, siendo el cuarto banco estadounidense de inversión más grande de ese país, provocando que los mercados financieros bajaran drásticamente y que consecuentemente colapsara una de las mayores aseguradoras del mundo (AIG) (*Cafebabel, 2008*). En Chile, se produjo una caída en la demanda de exportaciones cayendo fuertemente el precio del cobre y otros productos exportados, llevando a la economía chilena a tener el peor desempeño desde lo ocurrido en la crisis asiática, alcanzando esta vez su máximo descenso en el año 2009, ver gráfico 77.

Crecimiento económico que ha tenido Chile desde el año 1990 hasta el 2015, de acuerdo con la tasa de crecimiento anual porcentual del PIB:

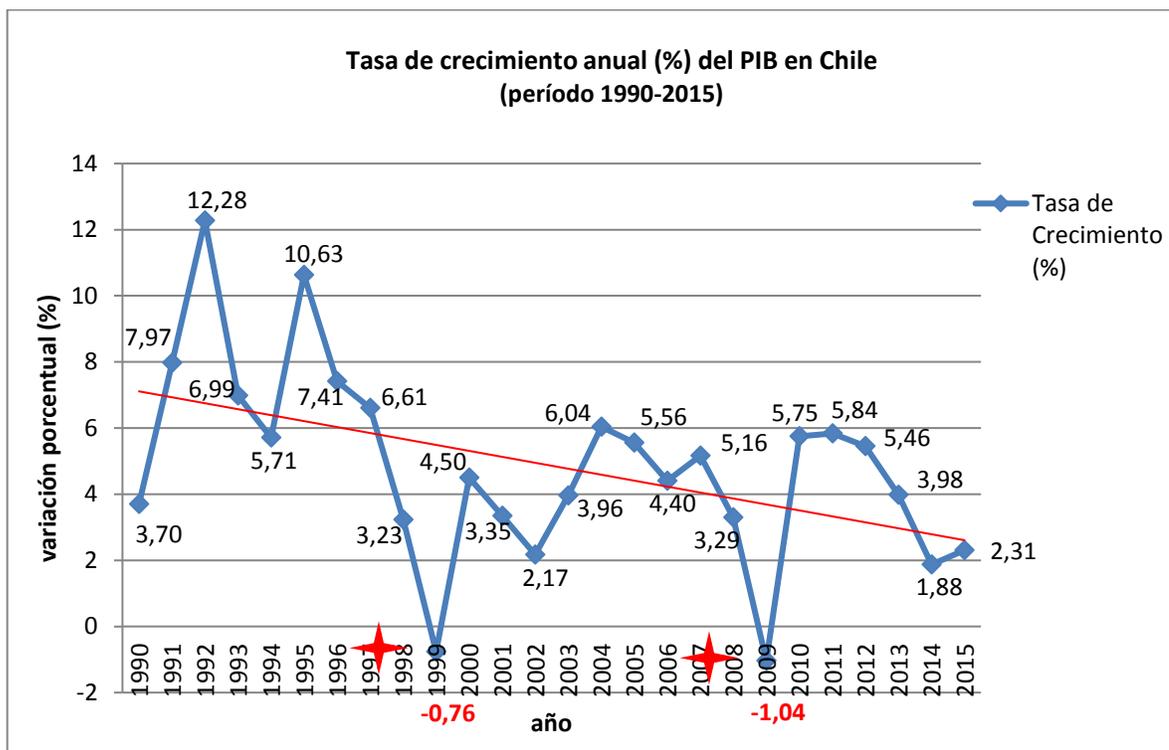


Gráfico 77: Tasa de crecimiento anual (%) del PIB en Chile  
Fuente: elaboración propia.

Los datos fueron extraídos de las cuentas nacionales del Banco Mundial y archivos de datos sobre cuentas nacionales de la Organización para la Cooperación del Desarrollo Económico (OCDE). La línea roja indica la desaceleración económica en Chile, la cual se extiende desde 1990, ver gráfico 77. Hay que entender por desaceleración económica como una coyuntura en la que un país produce más bienes y servicios que el año anterior, pero menos bienes y servicios adicionales de los que se producían en años anteriores, entonces el país crece, pero a tasas menores que en el pasado (Godoy M., 2015). Esto se ve reflejado en el último período a partir del año 2011 (ya pasadas las crisis económicas mundiales) hasta el año 2015.

### 5.4.3 Exportación de palta

Casi la mitad de la producción de paltas en la V región de Valparaíso se exporta (*apartado capítulo 4, Destino de la Producción*).

A nivel nacional entre los años 1995 y 2001, los países de Argentina y EEUU eran los principales mercados internacionales de destino de esta especie frutícola, entre los años 2007 y 2013 se destaca nuevamente EEUU, se mantiene Argentina, pero se manifiesta una apertura importante hacia el Mercado Europeo, sobresaliendo Francia, España, Holanda y Reino Unido, también marcan presencia otros países de Europa, Asia y Sudamérica, pero en menor medida (*ODEPA, 2017*). Este cambio en el destino y volumen de esta especie frutícola hacia Europa se puede atribuir a los AAE firmados en el año 2003, ver tabla 22.

Para el año 2012, del total de la producción de paltas que Chile exporta, el 80% aproximadamente es enviado a EEUU, destino distante pensando que en general la palta tiene una vida de postcosecha media (30 a 50 días), determinada por algunas características de la fruta, como la alta tasa respiratoria, alta tasa de producción de etileno y susceptible a temperaturas inferiores a 4 °C o 5 °C, entre otras. Con el objetivo de llegar a mercados distantes, en la industria se utilizan una serie de tecnologías que permiten aumentar la vida de postcosecha del producto, incluyendo atmósfera controlada, modificada e inhibidores de etileno, entre otros (*Ferreyra R et al., 2012*).

Volumen (toneladas) y valores (M USD) que ha tenido la palta al ser exportada, los registros están de acuerdo con las fechas cercanas a la temporada agrícola censada en los catastros frutícolas, ver gráfico 78.

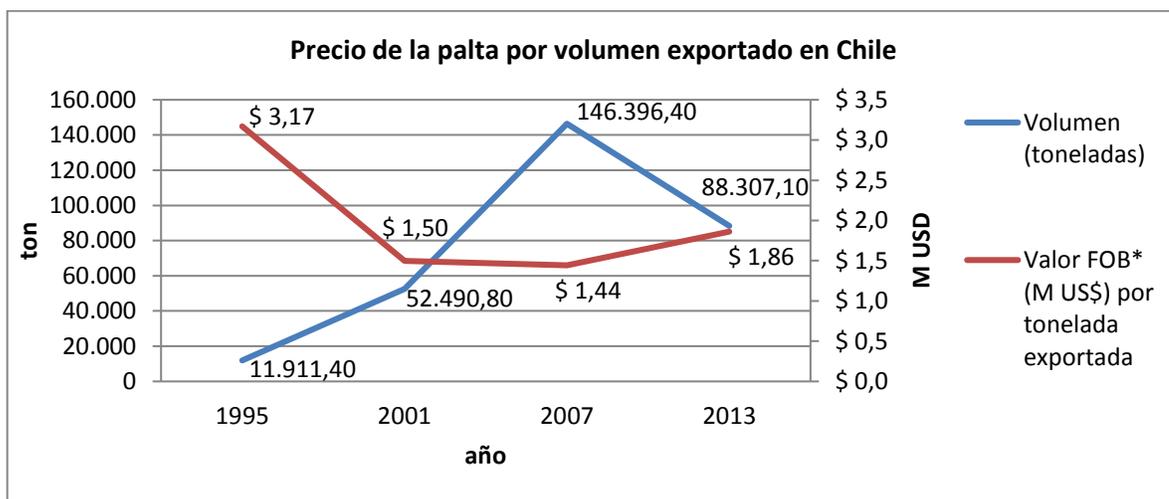


Gráfico 78: Precio de la palta por volumen exportado en Chile

Fuente: elaboración propia.

\*Valor de una mercancía de exportación cuando está embarcada en la nave, antes de salir hacia su destino.

El **volumen de paltas exportadas aumenta considerablemente desde el año 1995 al 2007**, pasando de 11.911 toneladas a 146.396 toneladas, pero a partir de ese año se produce una abrupta caída, **disminuyendo para el año 2013 aproximadamente en un 40 % la cantidad de esta especie frutícola destinada al mercado internacional**, pasando de 146.396 toneladas a 88.307 toneladas.

Con respecto a los precios, se puede observar que **en el año 1995 las toneladas de palta se vendían a un precio muy elevado con respecto los siguientes años evaluados**, para el año 2001 el valor disminuye aproximadamente en un 53% pasando de 3,17 USD a 1,50 USD y en un 4% para el año 2007, pasando de 1,50 USD a 1,44 USD, **para el año 2013 el precio de la palta exportada aumenta moderadamente en un 29%**, pasando de 1,44 USD a 1,86 USD.

Se puede observar que **en el año 2007 es donde se exporta la mayor cantidad de paltas y en el que el precio es el más económico en este período de 18 años evaluados**, ya que la tendencia en los años anteriores había sido totalmente opuesta, es decir, la cantidad de paltas exportada fue menor y los precios alcanzados fueron mayores a lo registrado en este año.

## 5.5 Mercado interno

Al igual que en lo ocurrido con en el mercado internacional, casi la mitad de la producción de paltas se queda para consumo interno, (*apartado 4.3.2, Producción*).

La producción de paltas proveniente de la cuenca del río Aconcagua hasta lo registrado en el año 2013 solo era destinada a los mercados presentes en Santiago (XIII región Metropolitana de Santiago), pero a partir de ese año se expande a las macroferias de Talca (VII región del Maule) (*ODEPA, 2017*).

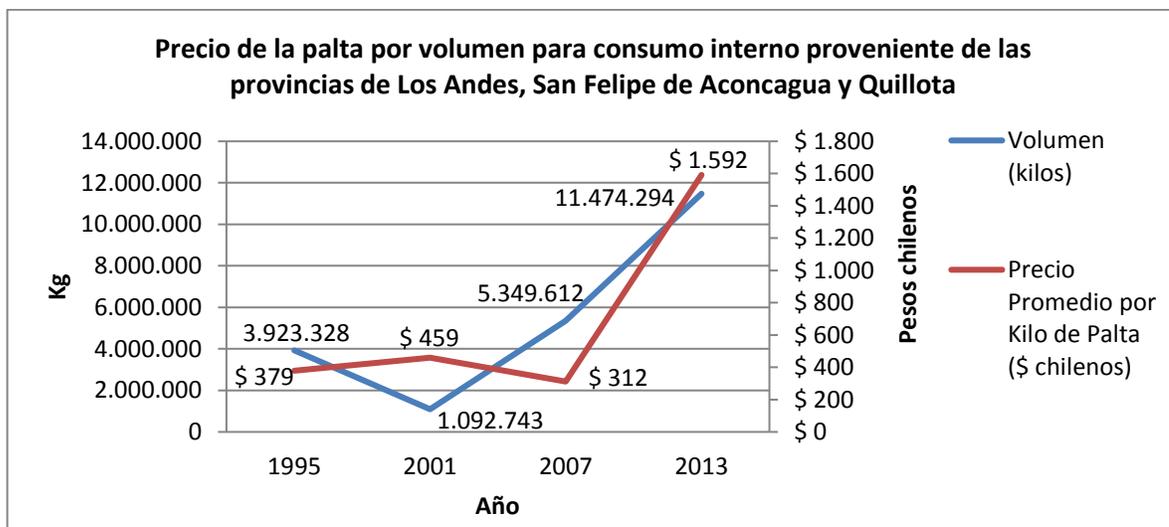


Gráfico 79: Precio de la palta por volumen para consumo interno proveniente de las provincias de Los Andes, San Felipe de Aconcagua y Quillota

Fuente: elaboración propia.

**El volumen de paltas destinadas al mercado nacional disminuye en un 72% entre el año 1995 y el año 2001, pero a partir de ese año se produce un destacado aumento, elevando las cifras para el año 2013 casi en 10 veces la cantidad de esta especie frutícola destinada al consumo interno.**

Con respecto a los precios, se puede observar que **entre el año 1995 y el año 2007 no hubo grandes variaciones en los valores por el kilo de palta vendido a los mercados mayoristas**, del año 1995 al 2001 subió aproximadamente un 20% y del año 2001 al 2007 bajó un 32%. Sin embargo, **para el año 2013 el precio de la palta vendida internamente aumenta considerablemente en más de cuatro veces su valor.**

**En el año 2007, tanto el volumen de paltas como el precio de éstas han tenido un crecimiento paulatino**, ya que, en los años anteriores, el comportamiento de ambas variables era diametralmente opuesto entre ellas.

## 5.6 Asentamientos urbanos

### 5.6.1 Centros poblados

Características de los centros poblados en la V región de Valparaíso (MOP, 2012):

- La estructura entre el año 2001 y el 2010 se encontraba consolidada, lo que provocó que el proceso de urbanización haya consumido un número importante de hectáreas, tanto en expansión como en densificación. La transformación de hectáreas agrícolas en áreas urbanas fue un proceso que reemplazó praderas, matorrales, terrenos de uso agrícola, plantaciones y áreas desprovistas de vegetación.
- Un número importante de los asentamientos urbanos de la región, se localizan en el borde costero (12 ciudades), las más relevantes corresponden a Valparaíso, Viña del Mar y Concón, que concentran la mayor densidad de población.
- Las conurbaciones se caracterizan por su alta dinámica poblacional, concentración de servicios y diversidad de actividades económicas. Esta es justamente una de las características que han estado adquiriendo ciertos ejes urbanos conurbados y en proceso de conurbaciones como: Eje Quillota-La Calera-La Cruz; Los Andes-Calle Larga-Santa María-San Felipe-Putendo denominado el “Gran Aconcagua”.
- Estos crecimientos se han estado consolidando tanto por expansión como por densificación, sin tener una clara planificación al respecto, particularmente en ciertas zonas urbanas conurbadas.

### 5.6.2 Censos

Considerando los años de las temporadas agrícolas en donde se llevó a cabo cada uno de los catastros frutícolas, se recurre a los censos llevados a cabo en Chile en los años 1992, 2002 y 2012, extrayéndose registros de la cantidad de viviendas construidas para evaluar cómo los asentamientos urbanos se han ido expandiendo en la cuenca del río Aconcagua.

Evolución de los asentamientos urbanos en las provincias de la cuenca del río Aconcagua, de acuerdo con los últimos tres censos realizados en Chile, ver gráfico 80.

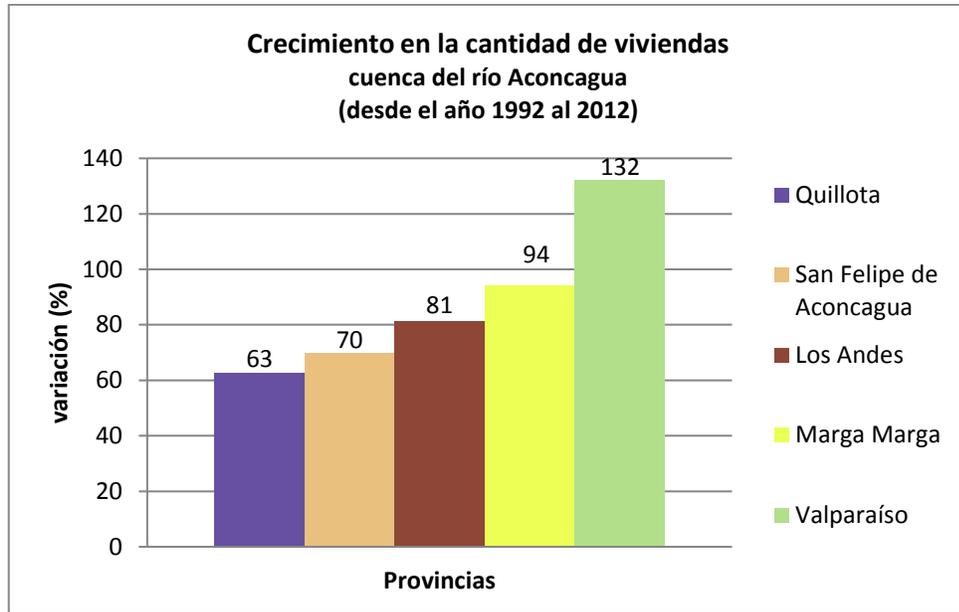


Gráfico 80: Crecimiento en la cantidad de viviendas de la cuenca del río Aconcagua

Fuente: elaboración propia.

Al interior de cada una de las provincias de la cuenca del río Aconcagua existe un crecimiento de los asentamientos urbanos desde el año 1992 al 2012, presentando las provincias de Quillota y San Felipe de Aconcagua el menor crecimiento, con un 63% y un 70% respectivamente.

Distribución de asentamientos urbanos y predios agrícolas en torno al río Aconcagua para el año 2015, ver figura 40.

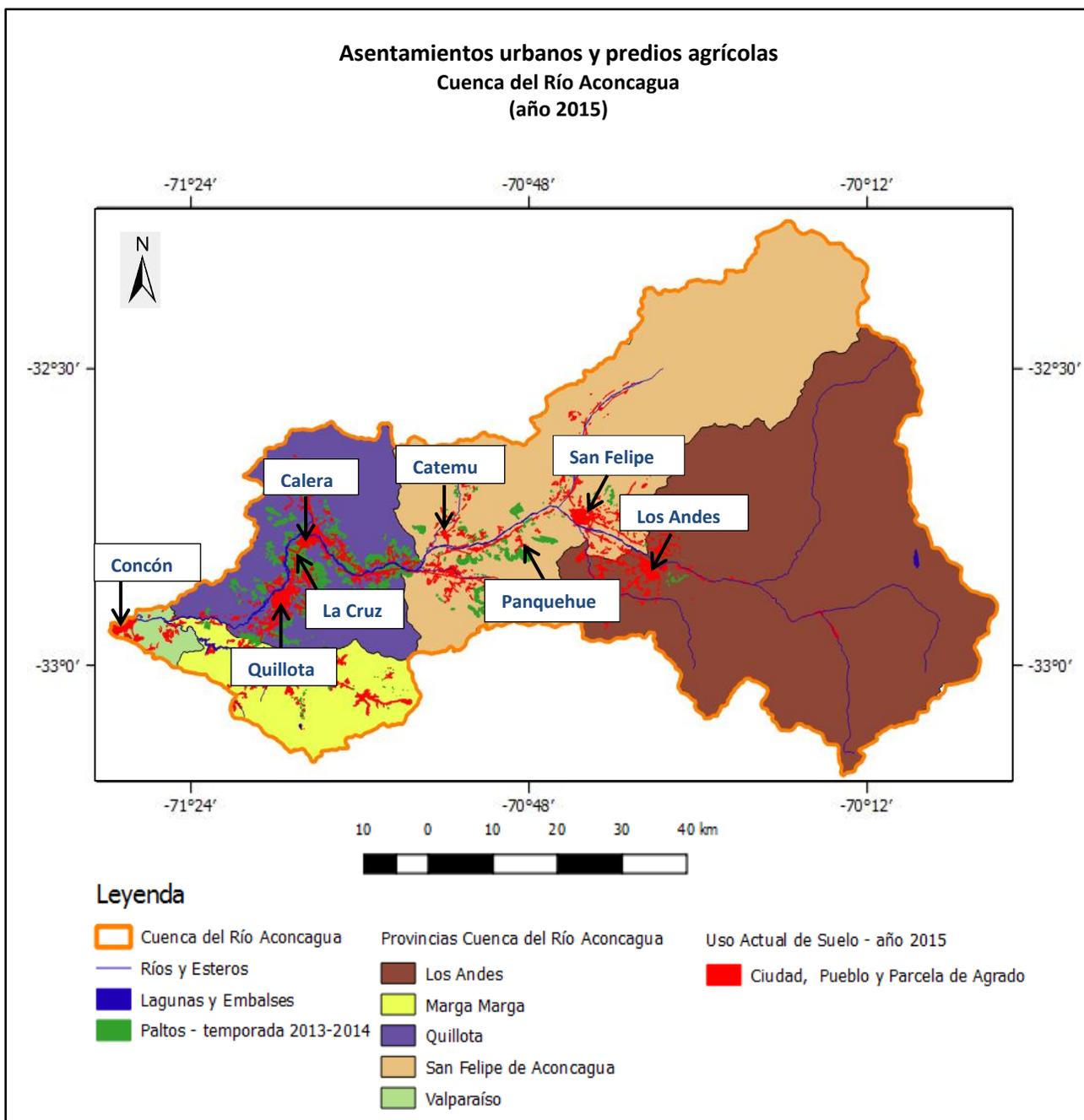


Figura 40: Asentamientos urbanos y predios agrícolas localizados en la cuenca del río Aconcagua (año 2015)  
 Fuente elaboración propia.

Localización de los asentamientos urbanos en torno al río Aconcagua (*Moraga N., 2012*):

- Los Andes: ordena el crecimiento de la ciudad al norte del curso fluvial.
- San Felipe: se emplaza entre el río Aconcagua, Putaendo y el Estero Quilpué, permitiendo su crecimiento hacia el oriente.
- Panquehue: hacia el interior se dispersa el uso de suelo en propiedades agrícolas.
- Catemu: núcleo urbano vinculado con el río cercano a la fundición de cobre de Chagres que también cuenta con un trazado de carácter residencial.
- Calera: la ciudad no sigue los ejes hacia el río, extendiendo su crecimiento hacia el poniente.
- La Cruz: los asentamientos se producen paralelo al río, comunicándose con Quillota y Calera.
- Quillota: La población se ha asentado de forma irregular paralela al río en continuo riesgo de inundación.
- Concón: el crecimiento urbano se realiza hacia los cerros y la costa. La Refinería de Petróleo de Concón impide el crecimiento urbano en el eje del río.

En las provincias de Quillota y San Felipe de Aconcagua se emplazan la mayor cantidad de predios destinados a las plantaciones de paltos. Los Andes, Marga Marga y Valparaíso han crecido en más de un 80%, pero la primera casi no presenta predios con plantaciones de paltos al ser muy cordillerana y las dos últimas, son provincias más urbanas.

## 5.7 Asentamientos mineros

Chile, es la capital minera de América Latina y en gran medida es responsable del repunte de la inversión, logrando que esta región se convierta en el principal objetivo minero a nivel mundial. La industria minera en Chile es uno de los pilares de la economía del país, donde sólo las exportaciones de cobre aportan más de un tercio de los ingresos del Estado, constituyendo el 45% del volumen de las exportaciones. La minería en Chile se encuentra principalmente concentrada en el Norte Grande abarcando la mayor parte del Desierto de Atacama. Además del cobre, se producen otros productos mineros tales como oro, plata, molibdeno, hierro y carbón (*EcoSecurities et al., 2010*).

La actividad minera en la cuenca del río Aconcagua se manifiesta mediante la existencia de la gran, mediana y pequeña minería, concentrándose principalmente en las provincias de Los Andes, San Felipe de Aconcagua y Quillota, siendo sus principales impactos la contaminación de los recursos hídricos, aire y suelo durante las etapas de explotación, transporte y refinación. A su vez, cuenta con una fundición minera de importancia nacional emplazada en la comuna de Catemu, donde los principales impactos que genera esta industria están asociados a las emisiones atmosféricas, particularmente la emisión de dióxido de azufre y material particulado (*GORE Valparaíso, 2012*).

La calidad natural del agua del río Aconcagua y sus tributarios se caracteriza por encontrarse cobre, manganeso y fierro en todos sus cursos de agua, de orígenes mixtos dado por las actividades mineras y por las lixiviaciones de aguas subterráneas y superficiales sobre las franjas metalogénicas que atraviesan la cuenca longitudinalmente de sur a norte. Los ríos con calidad natural más desmejorada son los ríos Blanco y el Aconcagua en su parte baja. En el río Blanco, se debería a las actividades mineras de la Minera Andina de Codelco, las cuales provocan efectos irreversibles en algunos casos. Por otra parte, el río Aconcagua en su desembocadura, es el resumidero de la calidad de todos los tributarios y cauce principal (*MOP-DGA et al., 2004*).

La minería metálica más importante de la cuenca del río Aconcagua corresponde a la explotación de cobre ubicada en las provincias de Los Andes, San Felipe de Aconcagua y Quillota, la cual se lleva a cabo en las instalaciones de Mina río Blanco y Mina Sur Sur de la empresa **Corporación Nacional del Cobre (CODELCO)**; Fundición de Chagres, Mina Rajo El Soldado y Tranques 1, 2, 3 de la empresa **Anglo American Sur S.A.** Con respecto a la minería no metálica, corresponde a la explotación de caliza ubicada en la provincia de Quillota donde destacan las instalaciones de la Mina Cantera 71 y Mina Navío de las empresas **Cemento Melón S.A. y Mina Navío** respectivamente (*MOP-DGA et al., 2004*), ver figura 41.

Principales asentamientos mineros presentes en la cuenca de río Aconcagua, ubicadas en las provincias de Los Andes, San Felipe de Aconcagua y Quillota, ver figura 41.

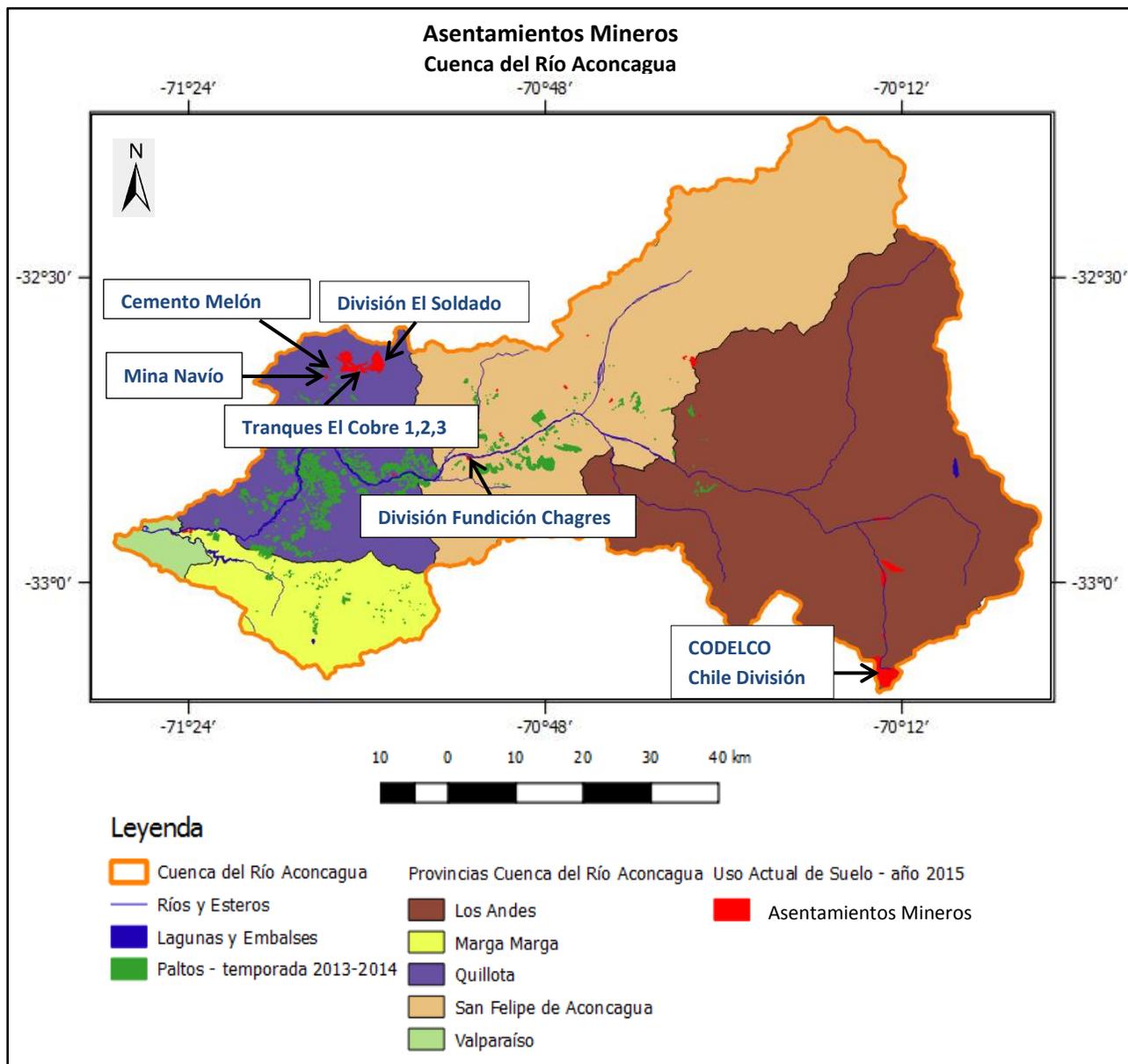


Figura 41: Asentamientos Mineros localizados en la cuenca del río Aconcagua.  
Fuente elaboración propia.

Existe una importante extracción de agua para llevar a cabo las distintas labores que se llevan a cabo en torno a la Gran Minería, ésta proviene de distintas fuentes, siendo el agua superficial la que aporta un mayor volumen total de agua informado como extracción en el período anual respectivo.

Fuentes de extracción de agua ( $m^3/s$ ) para la minería en la cuenca del río Aconcagua, ver gráfico 81.

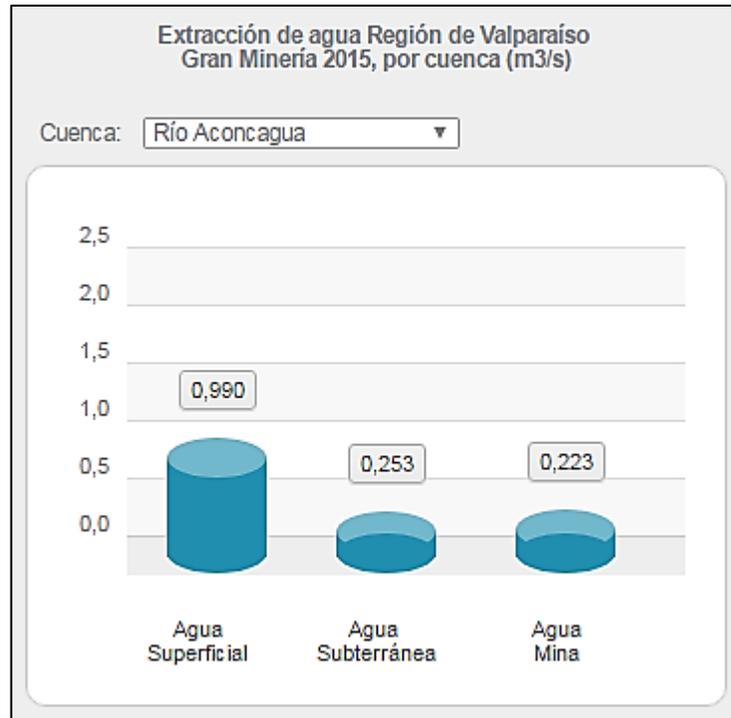


Gráfico 81: Extracción de agua para la minería en la cuenca del río Aconcagua  
Fuente: Consejo Minero, 2015.

Definiciones de fuentes de suministro:

- Agua Superficial: agua proveniente de cauces superficiales, como ríos y esteros.
- Agua Subterránea: agua proveniente de acuíferos conformado por rellenos aluviales, rocas fracturadas, etc.
- Agua Mina: agua hallada en una labor minera (art. 56 Código de Aguas y art. 110 Código de Minería) como rajo, túnel, pique, etc., y que es necesario extraer para permitir el avance de la explotación minera.

## 5.8 Discusión

Existen factores que inciden en los volúmenes de producción de palta, tanto a nivel local como global, como por ejemplo los ciclos de sequía regional y las crisis económicas que afectan la dinámica de las exportaciones.

La V región de Valparaíso, como consecuencia de un período prolongado de sequías, aproximadamente 10 años, ha experimentado transformaciones en el tipo de cultivos y prácticas productivas, como así también cambios de usos del suelo hacia urbanizaciones.

La conservación y gestión del recurso hídrico resulta estratégica para cualquier actividad humana ya sea urbana, minera o agrícola.

Todas las variables analizadas en esta tesis tienen en común que se originan o repercuten en la actividad agrícola las que permitirán conocer y entender la variación en el tiempo que ha tenido el sistema productivo del palto, en función de la gestión y disponibilidad de agua, en el siguiente y último capítulo se llevarán a cabo las correlaciones de la mayoría las variables estudiadas.

## CAPÍTULO 6 - Análisis de resultados

### 6.1 Análisis general

La actividad agrícola al igual que otras actividades urbanas, mineras e industriales permiten el progreso de la cuenca del río Aconcagua, pero todas ellas son usuarias del agua que provee este río, el cual, ha visto mermado su caudal desde hace algunos años.

Factores propios de la cultura regional han repercutido en el río Aconcagua, impactando la calidad del agua y su óptima distribución, pero existen factores externos presentes a nivel global que se han ido desarrollando a través de los años, como son la demanda alimenticia, crisis económica, sequía, densidad de la población, entre otros, los cuales han repercutido en la agricultura de una manera específica y determinante. En el caso de la producción de la palta, esta repercusión se ha visto reflejada en la disminución de la superficie plantada con esta especie frutícola, optando por la densidad (más árboles por hectárea plantada), además se ha recurrido a zonas de laderas de cerro para evitar heladas, enfermedades, plagas, etc., la que han significado una gran inversión en el manejo adecuado del riego (*Santos L. et al., 2010.*).

Todas estas decisiones han trascendido tanto en el productor como en el consumidor, ya que este mercado ha ido creciendo paulatinamente a nivel nacional e internacional, llegando a distintas partes del mundo con productos de buen calibre y gran calidad nutritiva.

En este capítulo se relacionarán las variables más influyentes que explican la evolución del palto.

## 6.2 Correspondencia entre temperatura y precipitación (lluvia y nieve)

La temperatura es una variable meteorológica que cumple un rol fundamental dentro de una cuenca, ya que es influyente en el comportamiento de las precipitaciones y por ende en la superficie de nieve caída. Para los siguientes tres gráficos resultantes, se considera como ejemplo las estaciones meteorológicas de Vilcuya y Los Aromos, ubicadas en la cuenca alta y baja respectivamente.

Desde un enfoque descriptivo, puede afirmarse que:

1. Las temperaturas máximas promedio en el período considerado son más elevadas en la cuenca alta (Vilcuya) que en la cuenca baja (Los Aromos) en primavera, verano y otoño (de septiembre a mayo), y levemente más bajas en invierno (de junio a agosto), gráfico 82.

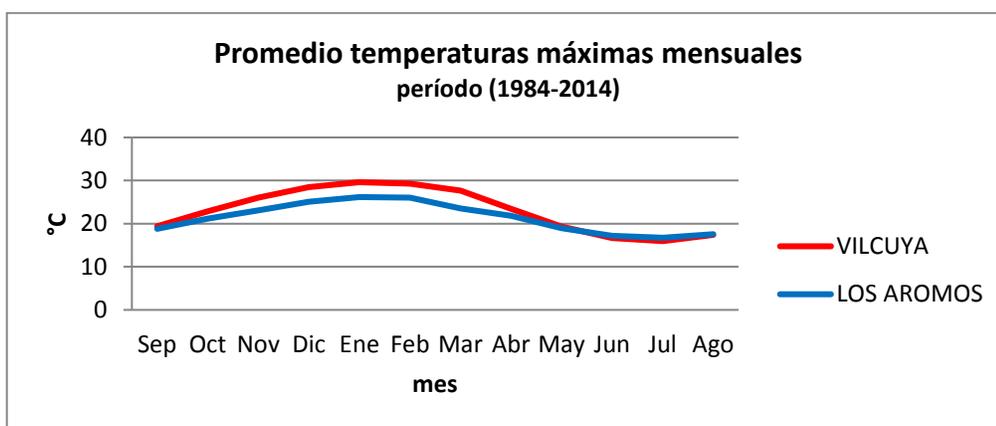


Gráfico 82: Promedio temperaturas máximas mensuales en la cuenca del río Aconcagua

Fuente: elaboración propia.

2. Las temperaturas mínimas promedio en el período considerado son más bajas en la cuenca alta (Vilcuya) que en la cuenca baja (Los Aromos) en otoño, invierno y primavera (de marzo a noviembre), y más altas en verano (de diciembre a febrero), ver gráfico 83.

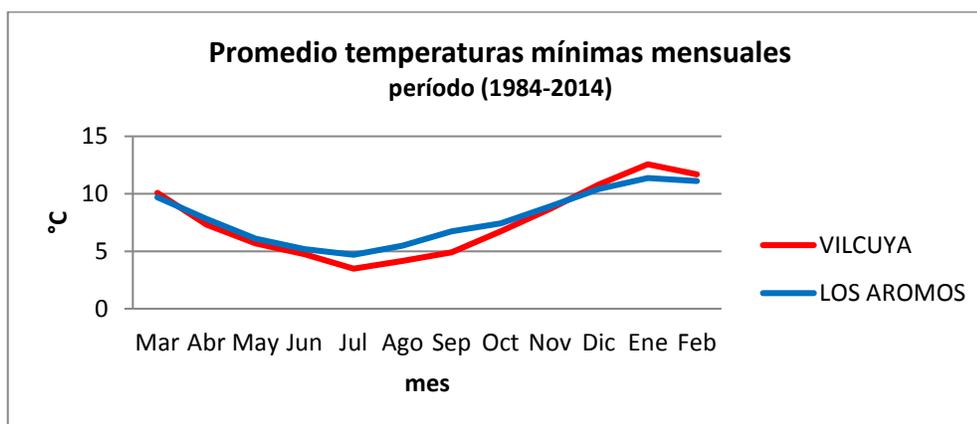


Gráfico 83: Promedio temperaturas mínimas mensuales en la cuenca del río Aconcagua

Fuente: elaboración propia.

3. En el período observado y para las estaciones meteorológica de Vilcuuya y Los Aromos, se aprecia que el promedio de temperaturas máximas y mínimas presenta un patrón muy similar en todos los meses del año, registrándose las temperaturas mínimas durante julio (invierno) y en enero (verano) las temperaturas máximas, ver gráfico 84.

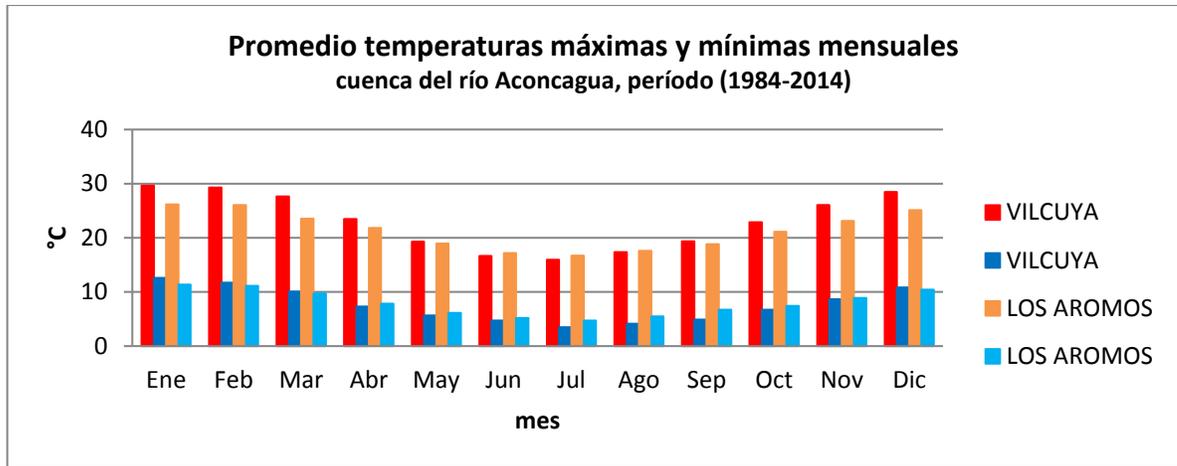


Gráfico 84: Promedio temperaturas máximas y mínimas mensuales en la cuenca del río Aconcagua  
Fuente: elaboración propia.

4. En el período observado y para las estaciones meteorológicas de Vilcuuya y Los Aromos, se aprecia que el promedio de temperatura máxima en enero aumentó paulatinamente en la cuenca, siendo este hecho más notorio en la cuenca baja (Los Aromos); una posible explicación es que en el valle y las zonas cordilleranas están más protegidas del calentamiento del agua marina en el caso de la presencia del Fenómeno del Niño, que aumenta la temperatura del aire (DMC, 2015), ver gráfico 85.

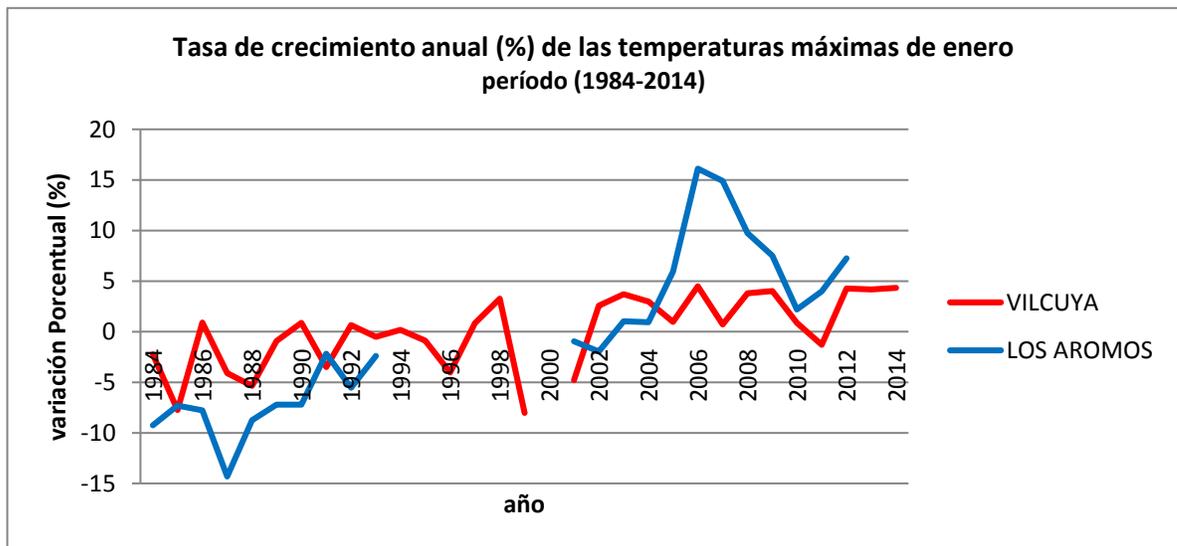


Gráfico 85: Tasa de crecimiento anual porcentual de las temperaturas máximas de enero en la cuenca de río Aconcagua  
Fuente: elaboración propia.

5. En el período observado y para la estación de Vilcuya, se aprecia que la temperatura máxima promedio por año, presenta un comportamiento inversamente proporcional a la superficie promedio de nieve caída, sugiriendo que, a menor temperatura máxima, se tiene mayor superficie de nieve caída, y viceversa, ver gráfico 86.

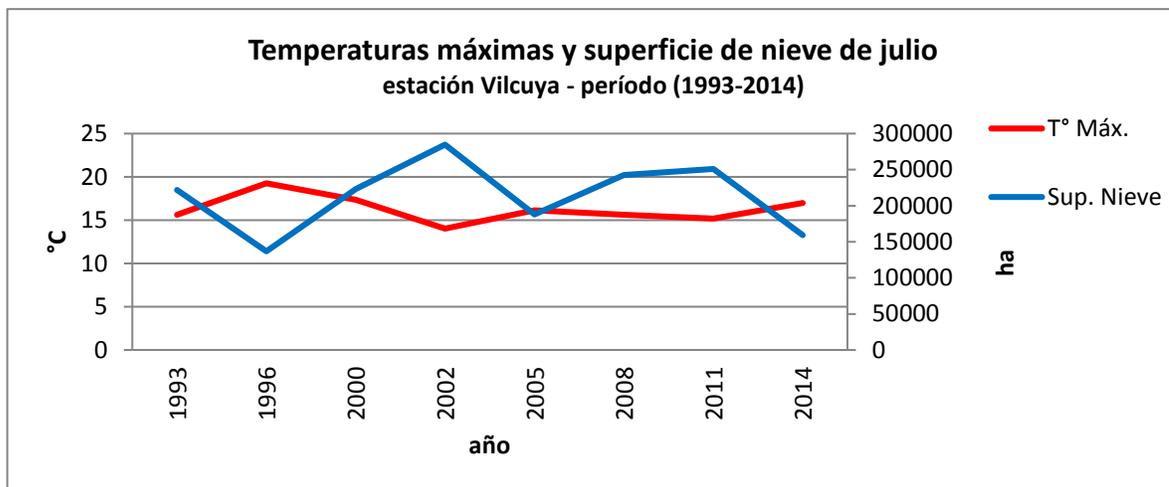


Gráfico 86: Temperaturas máximas y superficie de nieve de julio en la estación Vilcuya  
Fuente: elaboración propia,

6. En el período observado y para la estación de Vilcuya, se aprecia que la temperatura máxima promedio por año, presenta un comportamiento inversamente proporcional a la precipitación promedio caída, sugiriendo que, a menor temperatura máxima, se tiene mayor precipitación caída, y viceversa, ver gráfico 87.

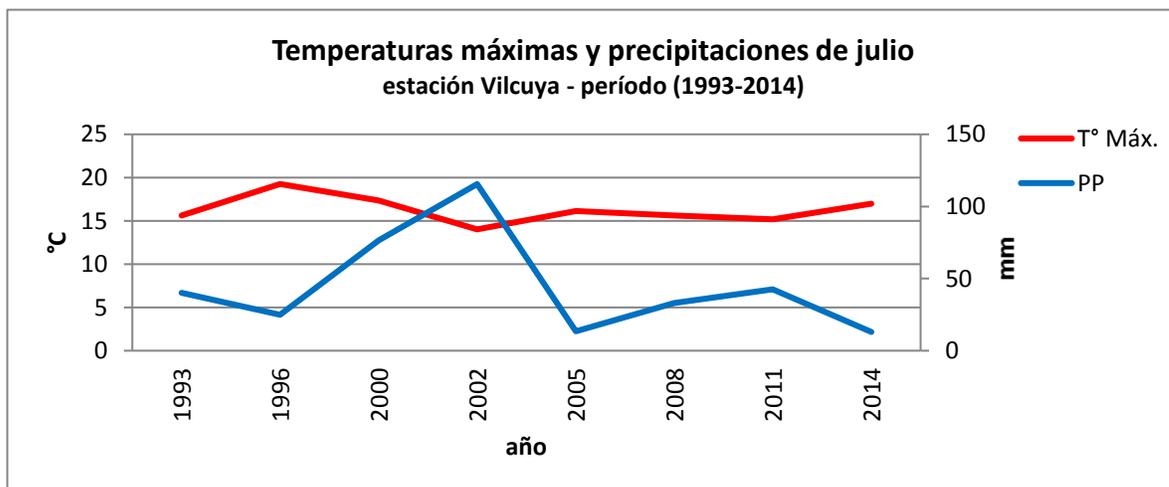


Gráfico 87: Temperaturas máximas y precipitaciones de julio en la estación Vilcuya  
Fuente: elaboración propia.

7. En el período observado y para la estación de Vilcuya, se aprecia que las precipitaciones promedio por año, presenta un comportamiento directamente proporcional a la superficie promedio de nieve caída, sugiriendo que, a menor temperatura máxima, se tiene menor superficie de nieve caída, y viceversa, ver gráfico 88.

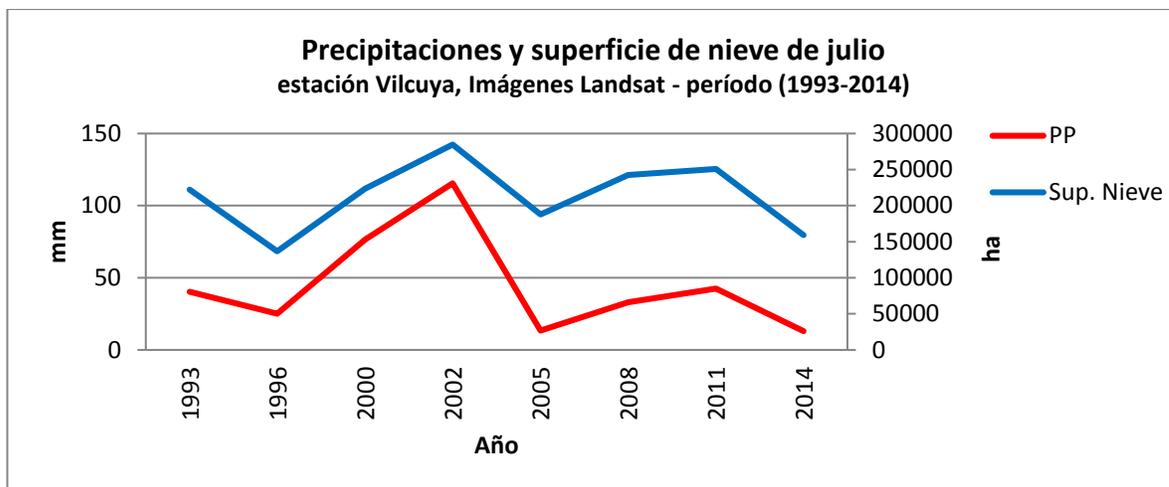


Gráfico 88: Precipitaciones y superficie de nieve de julio en la estación Vilcuya  
Fuente: elaboración propia.

## 6.3 Correspondencia entre precipitación (lluvia) y caudal

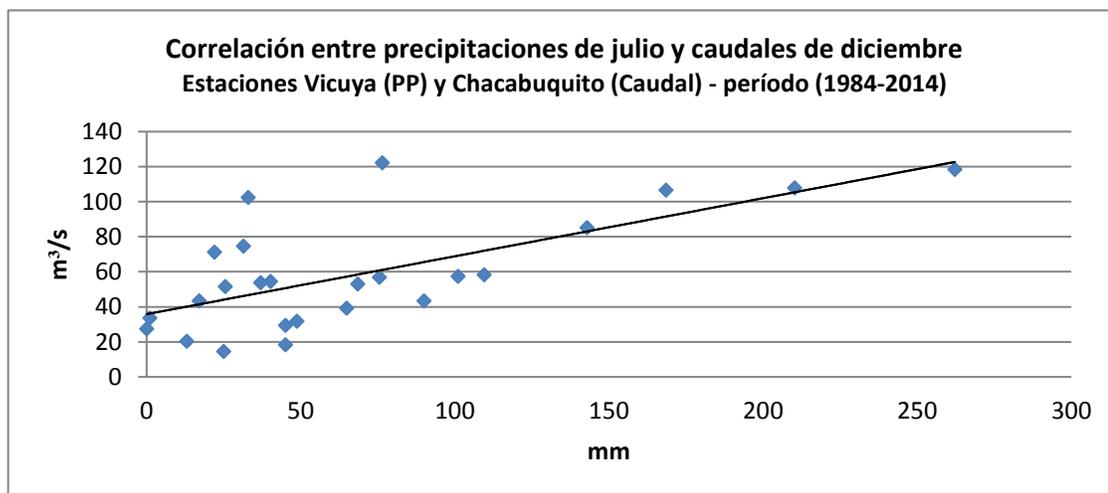
Las precipitaciones son provocadas por un cambio de temperatura o de presión y constituyen la principal entrada de agua dentro del ciclo hidrológico de una cuenca, siendo la lluvia la variable más influyente en el caudal registrado.

En el presente análisis, se relacionarán datos de caudal y precipitación mediante estaciones localizadas en diferentes zonas de la cuenca para observar la disponibilidad de agua en el trayecto del río Aconcagua, cuyas aguas riegan zonas de la cuenca alta, media y baja.

Se trabajará bajo el concepto de una correlación simple, donde la variable dependiente corresponde a datos de caudal en verano y la variable independiente corresponde a la precipitación (lluvia) caída en el invierno previo. Al obtener el coeficiente de correlación se podrá conocer el grado de relación existente entre estas dos variables y en qué medida se relacionan, para ello, se utilizará el Coeficiente de Correlación de Pearson. Para el análisis se extraen los años sin datos y los datos atípicos.

1. En la cuenca alta se correlacionaron los datos de precipitación de invierno (mes de julio) de la estación meteorológica Vicuña y los datos de caudal de verano (mes de diciembre) de la estación fluviométrica Chacabuco, ambas ubicadas en una zona cordillerana.

El valor del coeficiente de correlación es igual a 0,68 lo que indica que existe una correlación positiva moderada entre las dos variables utilizadas, ver gráfico 89.



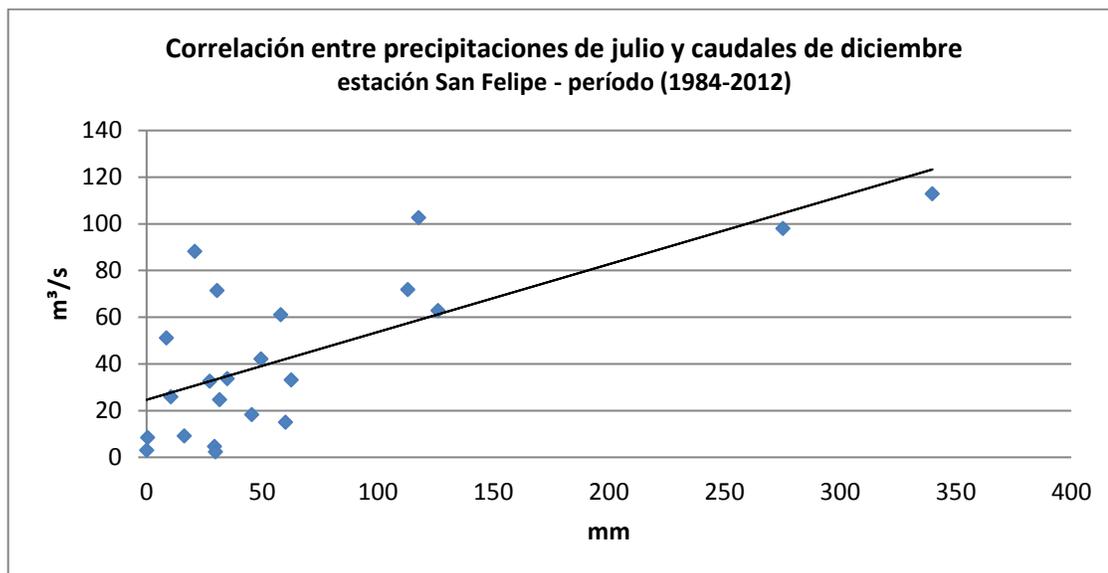
**Coeficiente de Correlación de Pearson** 0,68

Gráfico 89: Correlación entre precipitaciones de julio (Vicuña) y caudales de diciembre (PP) (Chacabuco)

Fuente: elaboración propia.

2. Se correlacionaron los datos de precipitación de invierno (mes de julio) y caudal de verano (mes de diciembre) de las estaciones meteorológicas y fluviométricas de San Felipe, cuyas aguas riegan zonas de la cuenca media.

El valor del coeficiente de correlación es igual a 0,72 lo que indica que existe una correlación positiva alta entre las dos variables utilizadas, ver gráfico 90.

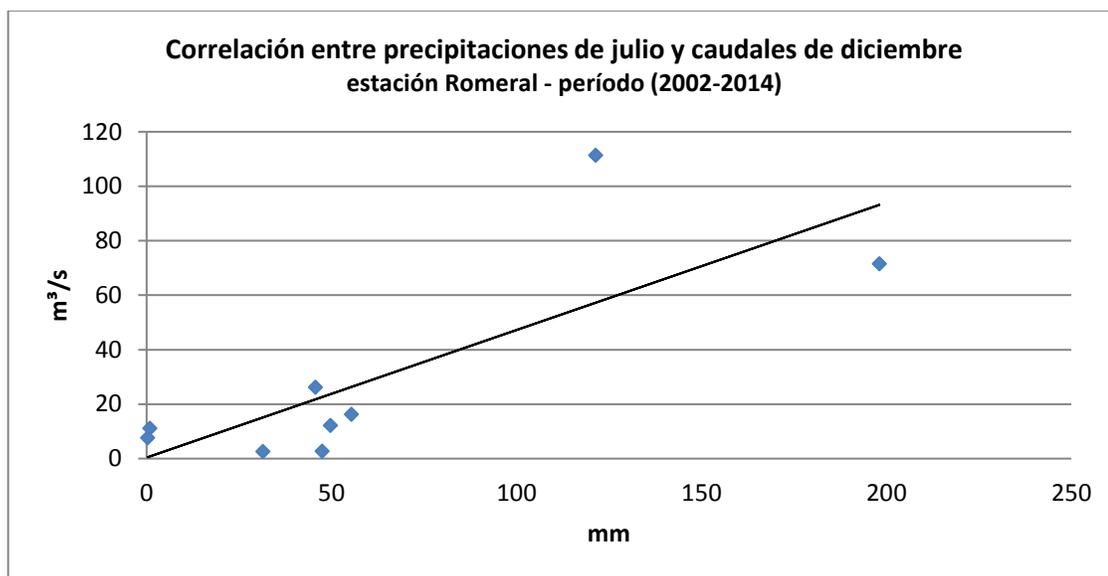


**Coeficiente de Correlación de Pearson** 0,72

Gráfico 90: Correlación entre precipitaciones de julio y caudales de diciembre estación San Felipe  
Fuente: elaboración propia.

3. Se correlacionaron los datos de precipitación de invierno (mes de julio) y caudal de verano (mes de diciembre) de las estaciones meteorológicas y fluviométricas de Romeral, cuyas aguas riegan zonas de la cuenca baja.

El valor del coeficiente de correlación es igual a 0,78 lo que indica que existe una correlación positiva alta entre las dos variables utilizadas, ver gráfico 91.



**Coeficiente de Correlación de Pearson** 0,78

Gráfico 91: Correlación entre precipitaciones de julio y caudales de diciembre estación Romeral

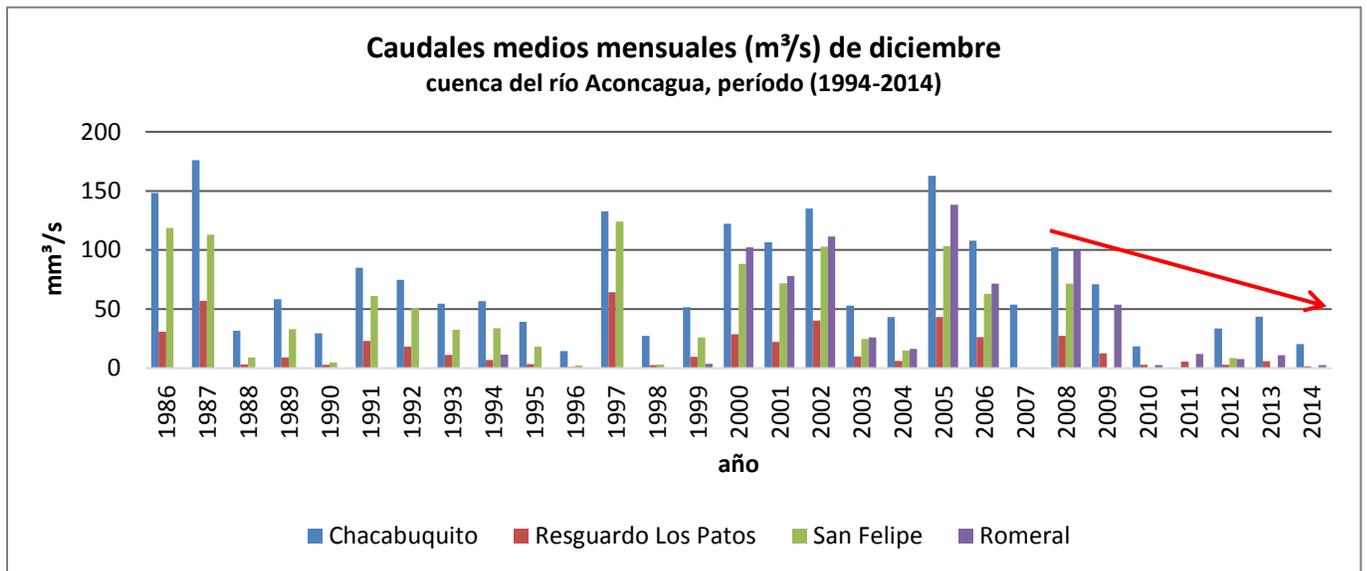
Fuente: elaboración propia.

## 6.4 Correspondencia entre caudal promedio, sistema productivo del palto, mercado nacional e internacional

En esta sección se realizará una asociación de distintas variables mediante gráficos a nivel descriptivo, asimismo lo que se puede afirmar de estas relaciones. Para ello, se utilizarán los datos de caudal registrados en los últimos 28 años de cuatro estaciones fluviométricas de la cuenca del río Aconcagua, además de los datos registrados en los cuatro catastros frutícolas estudiados, los que contemplan un período de 18 años y representan valores anuales promedio.

Desde un enfoque descriptivo, puede afirmarse que:

1. El caudal presenta un comportamiento cíclico, observando que en el último período hay una disminución continua de éste a partir del año 2008, ver gráfico 92.



**Gráfico 92: Caudales medios mensuales ( $m^3/s$ ) de diciembre en la cuenca de río Aconcagua**

Fuente: elaboración propia.

2. La superficie plantada en la cuenca del río Aconcagua presenta una disminución a partir del año 2008, hecho que también se puede apreciar en los registros de caudal de las estaciones Chacabuquito, Romeral y Resguardo Los Patos (para San Felipe hay datos solo hasta el año 2012), ver gráfico 93.

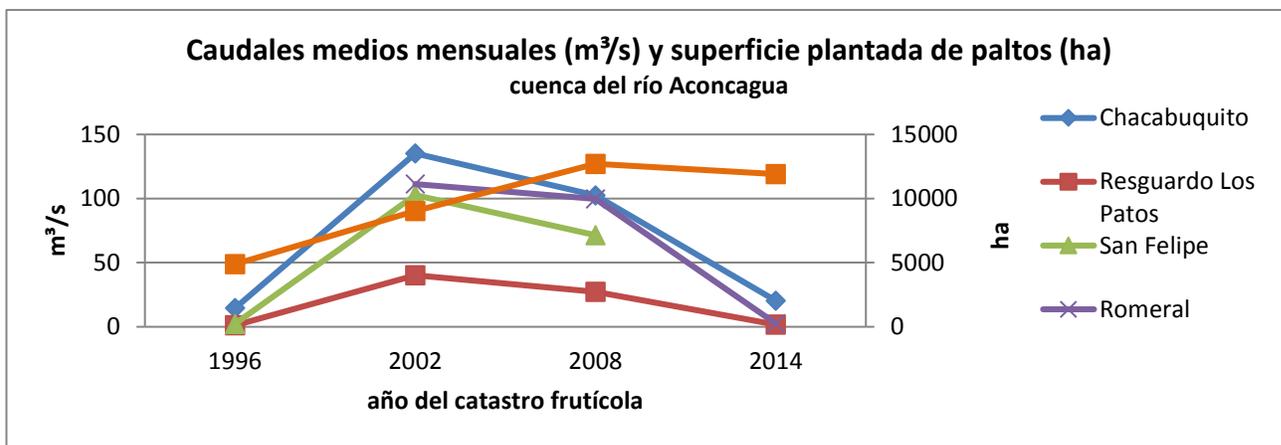


Gráfico 93: Caudales medios mensuales (m³/s) y superficie plantada de paltos (ha) en la cuenca del río Aconcagua  
Fuente: elaboración propia.

3. Los valores anuales promedio para un período de 18 años presentan un aumento paulatino tanto en la producción de palta como en la densidad promedio de las plantaciones por hectárea, ver gráfico 94.

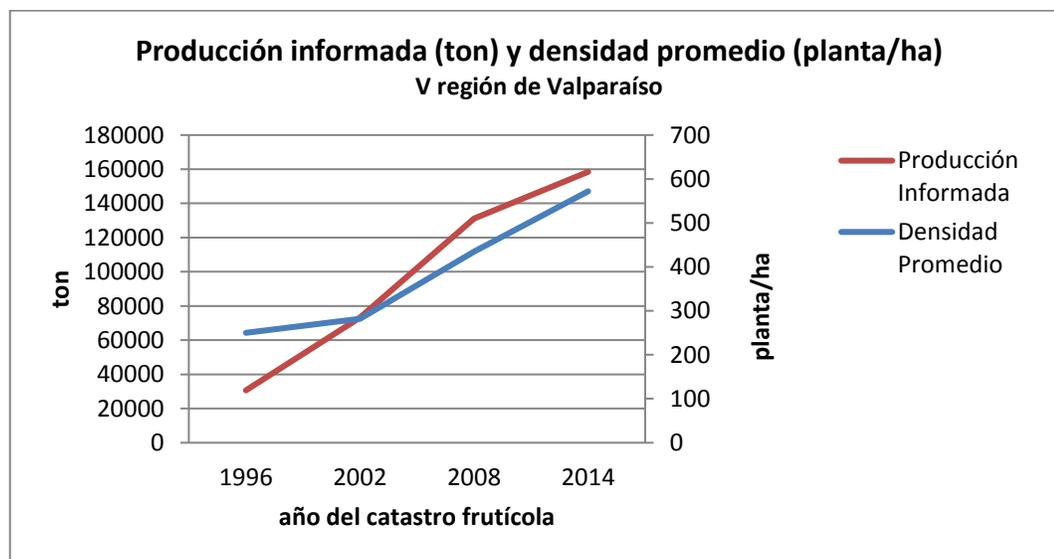


Gráfico 94: Producción informada (ton) y densidad promedio (planta/ha) en la V región de Valparaíso  
Fuente: elaboración propia.

4. A partir del año 2008 se puede observar que la superficie plantada de paltos presenta una disminución en sus registros y que la productividad promedio muestra un aumento, ver gráfico 95.

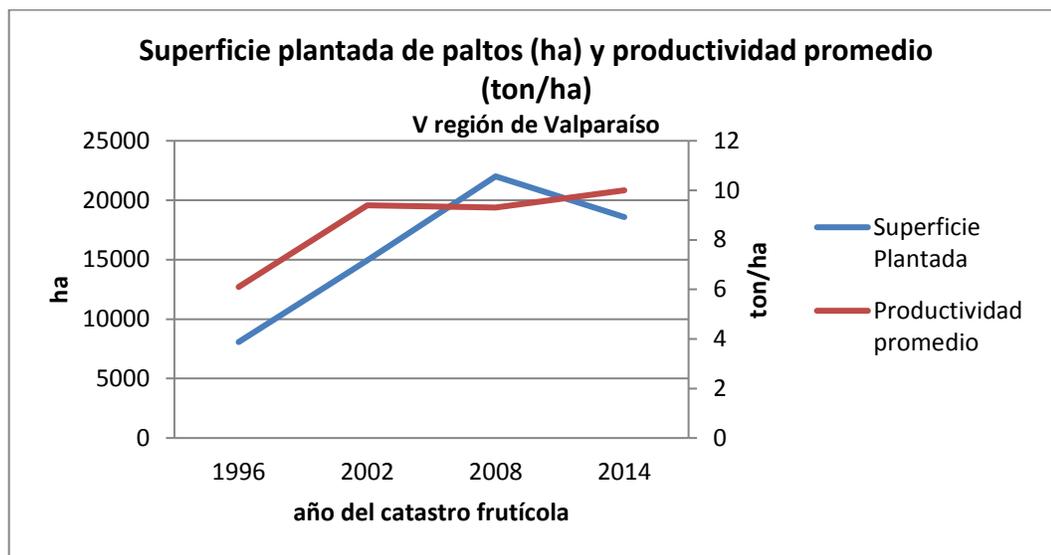


Gráfico 95: Superficie plantada de paltos (ha) y productividad promedio (ton/ha) en la V región de Valparaíso  
Fuente: elaboración propia.

5. A partir del año 2008 se puede observar que tres de los métodos de riego estudiados presentaron un cambio, la microaspersión tuvo una leve baja en la superficie regada, no así el goteo cuya baja se aprecia más drástica (0,6% y 34% respectivamente), en cambio el método por aspersión aumentó considerablemente (60 veces) la superficie regada para el año 2014. La superficie plantada también se observa disminuida a partir de ese año, ver gráfico 96.

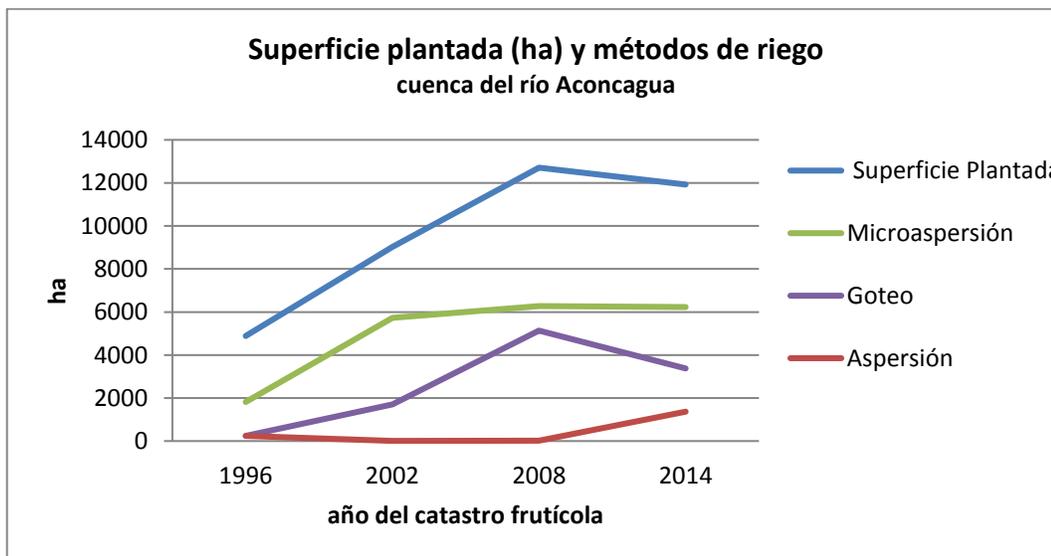


Gráfico 96: Superficie plantada (ha) y métodos de riego en la cuenca del río Aconcagua  
Fuente: elaboración propia.

6. En la V región de Valparaíso, para el año de la temporada agrícola (aproximadamente un año antes de realizar el catastro frutícola) el volumen de paltas destinadas al mercado internacional presenta una baja en el año 2007, mientras lo destinado al mercado interno presenta un alza significativa a partir de ese año en la cuenca del río Aconcagua, ver gráfico 97, y en ambos hay un incremento importante en el precio de esta especie frutícola, ver gráfico 98.

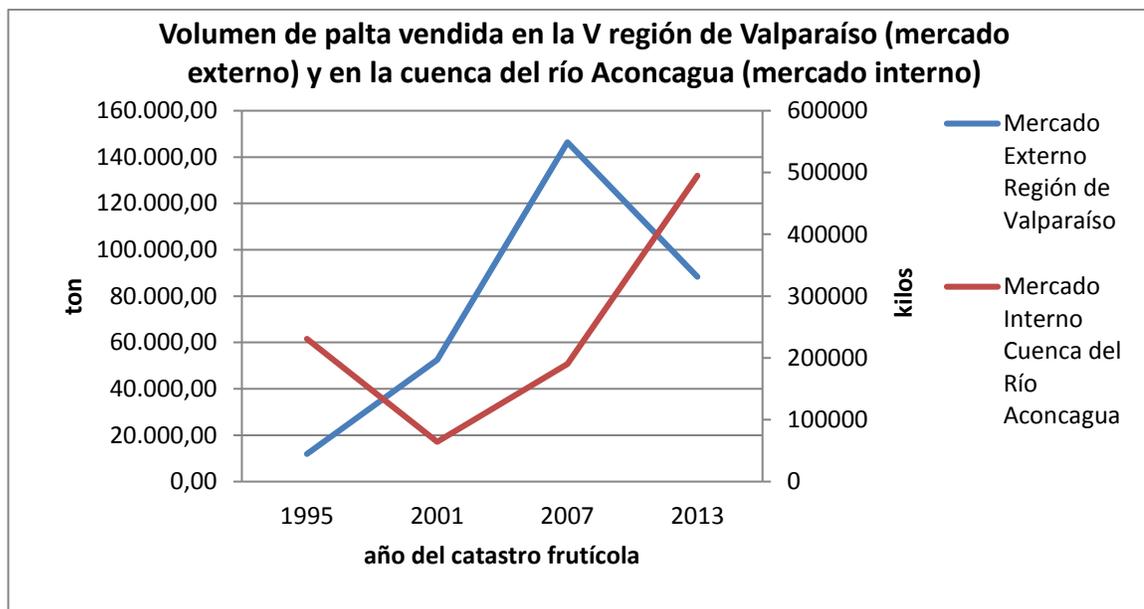


Gráfico 97: Volumen de palta vendida en la V región de Valparaíso (mercado externo) y en la cuenca del río Aconcagua (mercado interno).

Fuente: elaboración propia.

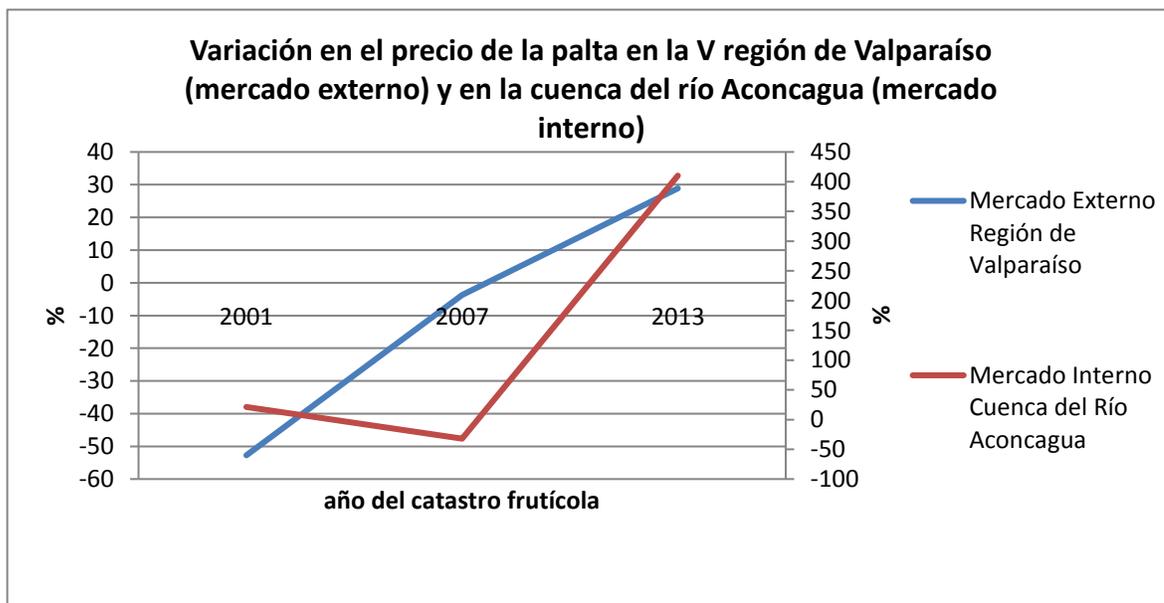


Gráfico 98: Variación en el precio de la palta en la V región de Valparaíso (mercado externo) y en la cuenca del río Aconcagua (mercado interno).

Fuente: elaboración propia.

## 6.5 Factores Críticos

### 6.5.1 Plantaciones en laderas

Las modernas técnicas de riego han hecho factible producir en laderas. El palto en Chile se puede cultivar en los cerros sin causar mayores inconvenientes, debido a que esta especie no tiene plagas o enfermedades que obliguen a hacer controles permanentes. La ventaja de estos lugares es que prácticamente no hay heladas, ya que el aire frío se desplaza rápidamente hacia los sectores bajos, tal como lo hace el agua. La mayor dificultad está dada por el suelo y la cosecha. Es difícil determinar la máxima pendiente a ser usada para las plantaciones de paltos, como así mismo, es muy difícil decidir la altura máxima (cota) del riego. En general, no se recomienda poner paltos en pendientes que superen el 100% y una cota de riego que va entre los 300 y 350 m de altura con respecto a la fuente de agua, en este caso hay que considerar que el costo de subir cada metro adicional es lineal. Existen actualmente plantaciones que exceden a estas recomendaciones, pero las dificultades vienen después, cuando hay que cosechar y al momento de pagar la energía eléctrica (*Gardiazabal F., 2004*).

El crecimiento de la superficie plantada de paltos en Chile se ha realizado principalmente en laderas de cerro, donde generalmente se presentan condiciones heterogéneas de textura y profundidad efectiva (30 cm a 1,5 m). El material parental de los cerros de la zona central es de origen granítico y basáltico, originando suelos con texturas arcillosas. Algunas de las principales características de los suelos en cerro son que corresponden a suelos de clase VI (preferentemente pastos), presentando humedad y anegamiento, baja profundidad efectiva, alta susceptibilidad a erosión, y pendientes con 30 a 45%, aunque se ha observado un aumento de huertos establecidos en pendientes de más de 45%. Es importante considerar estas características en lo referente al diseño de sistemas de riego y principalmente en el manejo de éste (*Gil P., 2006*).

Una de las zonas donde se ha intensificado el uso del suelo es la cuenca del río Aconcagua, donde se están utilizando laderas que antes estaban cubiertas con vegetación nativa. El manejo adoptado en las plantaciones de laderas podría traer pérdida del recurso suelo, ya que, al producirse eventos de precipitación, el agua arrastra sedimentos que, al ser depositados, afectan a las plantaciones de los valles, a los canales de regadío y a los cursos fluviales. Algunos de los motivos que han provocado la utilización de laderas por parte de numerosos productores han sido el alto costo de la tierra en zonas bajas, la falta de tierras de aptitud agrícola en el valle, el manejo de la humedad en el suelo entre otros. Las controversias también se han provocado en el plano legal, fundamentalmente por vacíos en la normativa vigente. También se han planteado restricciones de tipo ambiental por parte de técnicos y ambientalistas, principalmente por los efectos sobre la flora y la fauna (*Castro R. et al., 2008*).

De acuerdo con la pendiente (%) existente en la cuenca del río Aconcagua, se puede realizar una clasificación de las superficies y asociarlas con los predios de plantaciones de paltos de cada uno de los catastros frutícolas, y así ver la evolución que ha tenido este tipo de cultivos, ver figuras 42, 43, 44 y 45.

**Pendientes de 0 a 5 %**

Las pendientes que se encuentran dentro de este rango presentan una superficie plana, casi plana, ligeramente inclinada, suavemente inclinada y ligeramente ondulada. Sin limitaciones en aptitud agrícola.

**Pendientes de 5 a 8%**

Las pendientes que se encuentran dentro de este rango presentan una superficie moderadamente inclinada y suavemente ondulada. Existen terrenos sin limitaciones en aptitud agrícola y algunos predios con ligeras limitaciones en aptitud agrícola.

**Pendientes de 8 a 15%**

Las pendientes que se encuentran dentro de este rango presentan una superficie fuertemente inclinada y moderadamente ondulada. Existen terrenos con ligeras limitaciones en aptitud agrícola y algunos predios con moderadas limitaciones en aptitud agrícola.

**Pendientes de 15 a 30%**

Las pendientes que se encuentran dentro de este rango presentan una superficie moderadamente escarpada y fuertemente ondulada. Existen terrenos con moderadas limitaciones en aptitud agrícola y algunos predios con severas limitaciones en aptitud agrícola.

**Pendientes de 30 a 50%**

Las pendientes que se encuentran dentro de este rango presentan una superficie escarpada y de cerros.

**Pendientes de 50 y más %**

Las pendientes que se encuentran dentro de este rango presentan una superficie muy escarpada y de montañas.

A continuación, se representa espacialmente la pendiente (%) en la cual se encuentran emplazadas las plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según datos obtenidos de los catastros frutícolas. Se utiliza imágenes satelitales Landsat de base apiladas en composición Color Real (RGB = B3 B2 B1).

Representación de la Pendiente (%) de las plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua, según catastro frutícola del año 1996 utilizando el Modelo digital de elevación el Aster GDem.

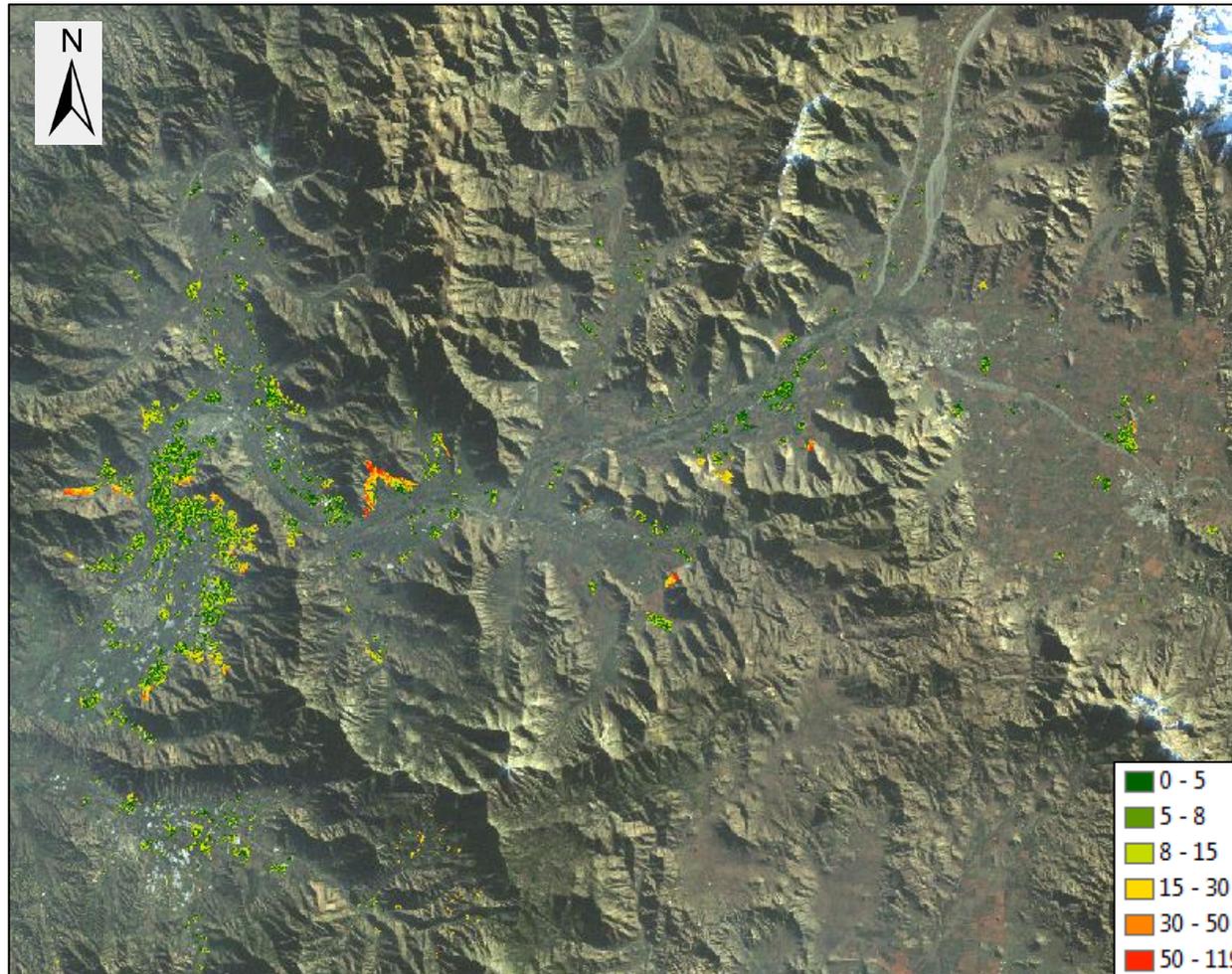


Figura 42: Pendientes de las Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 1996  
Imagen Landsat julio 02 de 1996  
Fuente: elaboración propia.

Representación de la Pendiente (%) de las plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua, según catastro frutícola del año 2002 utilizando el Modelo digital de elevación el Aster GDem.

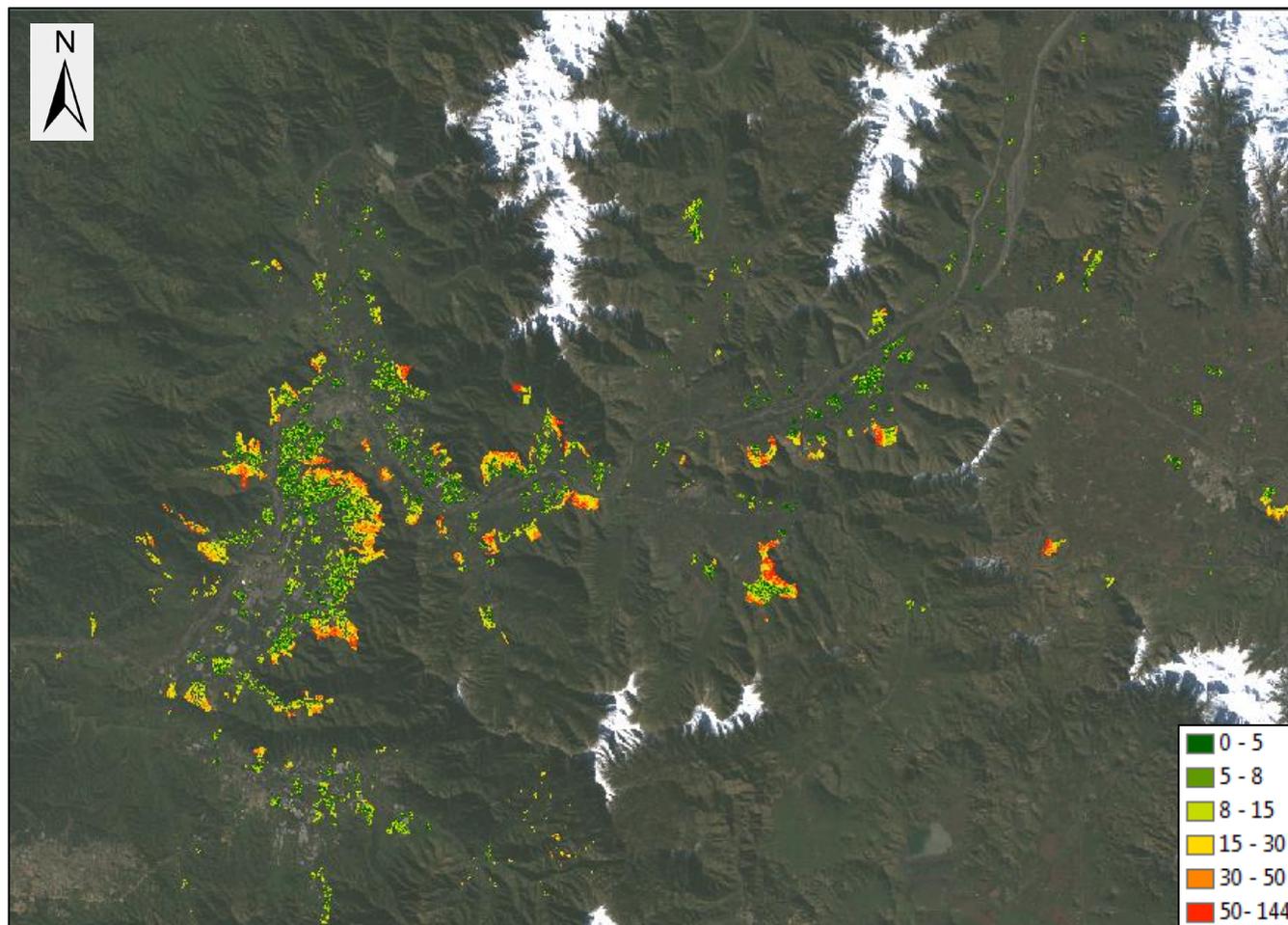


Figura 43: Pendientes de las Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2002  
Imagen Landsat julio 27 de 2002  
Fuente: elaboración propia.

Representación de la Pendiente (%) de las plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua, según catastro frutícola del año 2008 utilizando el Modelo digital de elevación el Aster GDem.

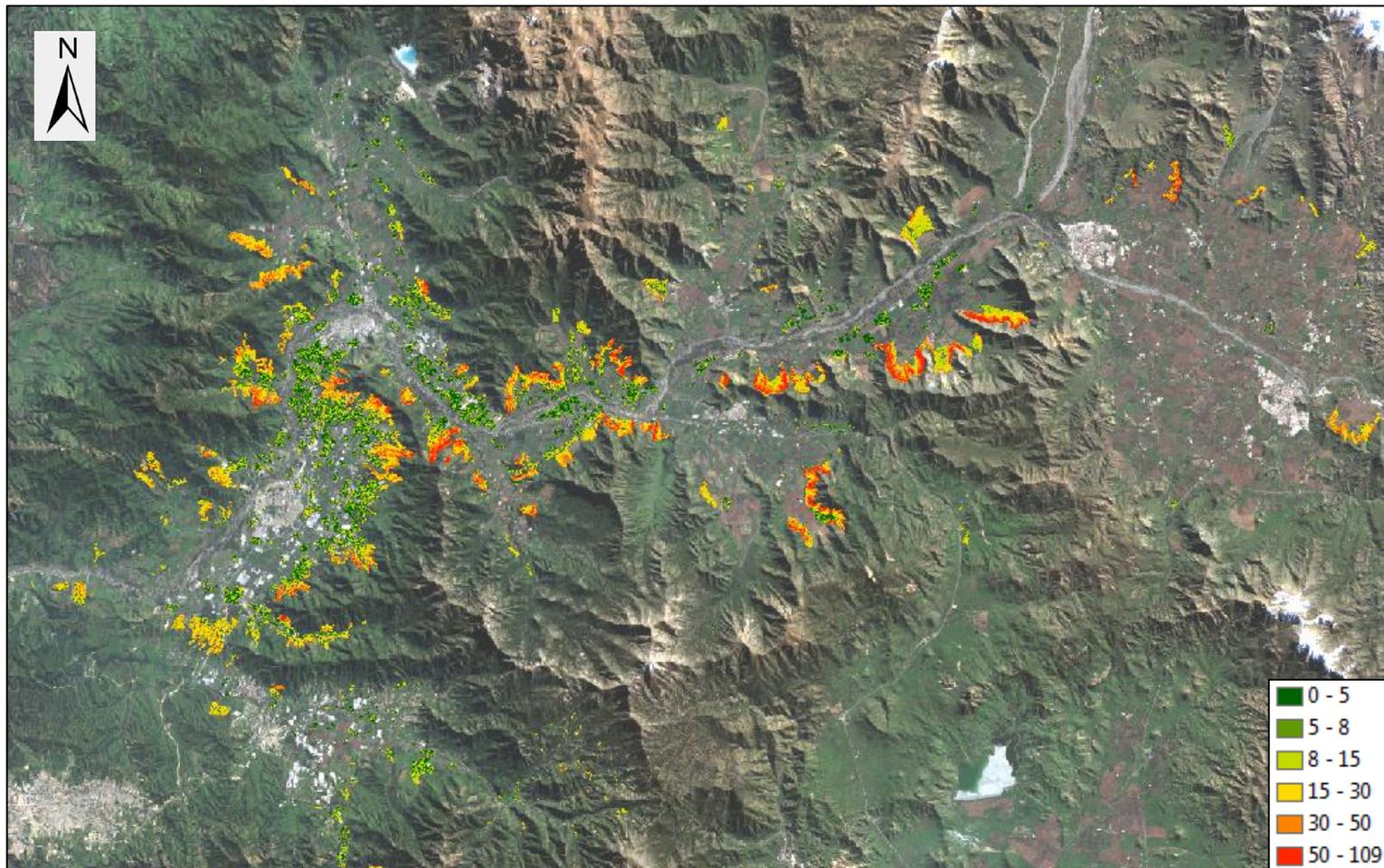


Figura 44: Pendientes de las Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2008  
Imagen Landsat agosto 12 de 2008  
Fuente: elaboración propia.

Representación de la Pendiente (%) de las plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua, según catastro frutícola del año 2014 utilizando el Modelo digital de elevación el Aster GDem.

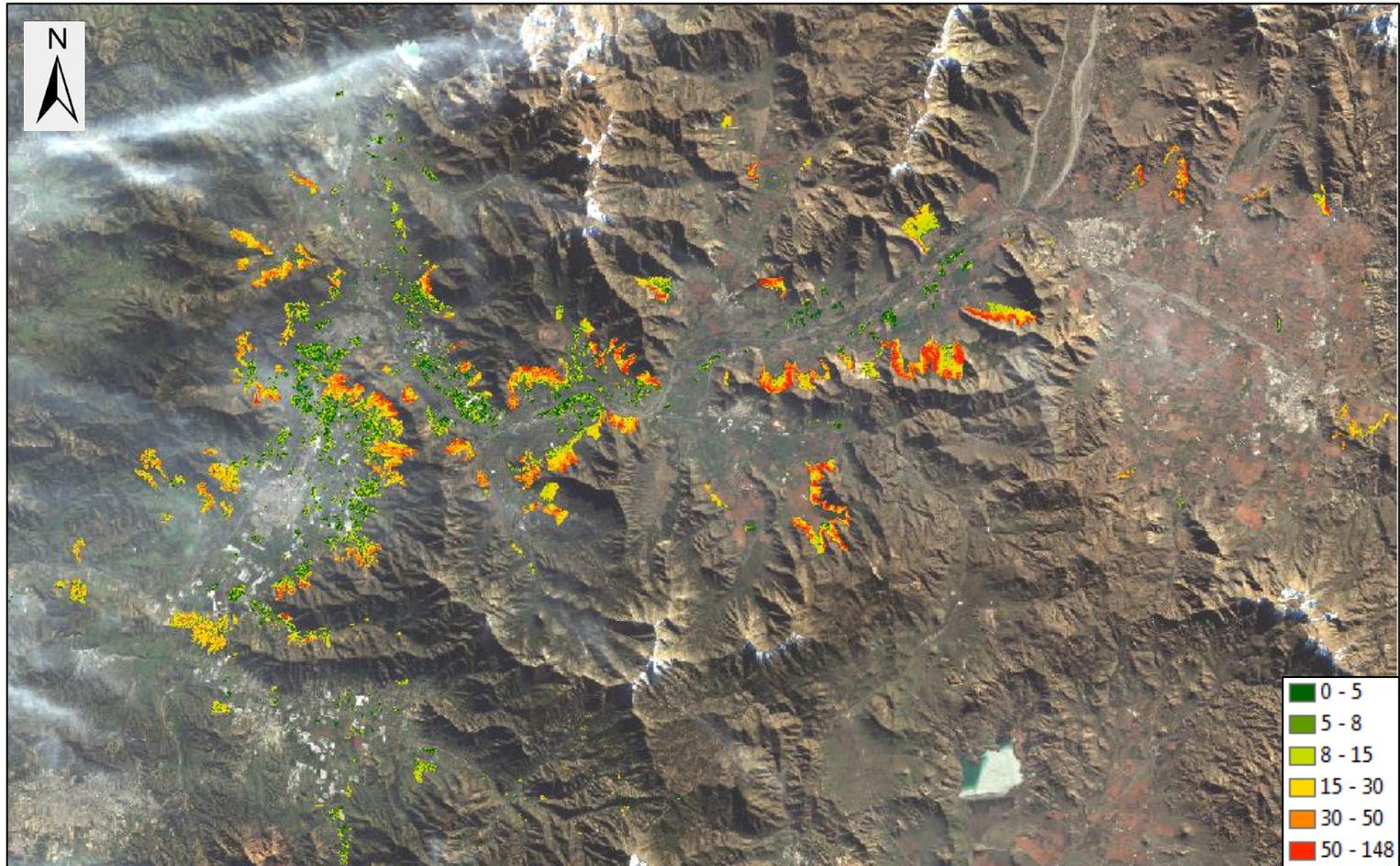


Figura 45: Pendientes de las Plantaciones de paltos en la cuenca del río Aconcagua según catastro frutícola del año 2014  
Imagen Landsat julio 12 de 2014  
Fuente: elaboración propia.

## 6.5.2 Adaptación del palto en condiciones de riego

CIREN realizó un estudio que data del año 1990 y que se utiliza aún en la actualidad, es una recopilación sobre los requerimientos de clima y suelos de una gran cantidad de especies cultivadas basado en técnicas de modelación conducentes a determinar la adaptabilidad de las especies frutales en las zonas agrícolas (MODAGRO). Este modelo establece la adaptación de 61 especies (variedades frutales y cultivos), entre ellas el palto. Esta clasificación se realiza por comparación de los requerimientos climáticos de cada una de las especies con las condiciones de agroclimáticas de áreas homogéneas.

La información básica proviene de series de datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación, entre otras, que son registradas por estaciones meteorológicas. El estudio contiene un criterio de zonificación que privilegia la homogeneidad de condiciones térmicas por sobre las condiciones hídricas, debido a que, para los fines de evaluación de adaptación de cultivos, se trabajó bajo el supuesto de que las deficiencias hídricas pueden ser suplidas mediante riego.

El resultado es una puntuación de adaptación en condiciones de riego y otro para condiciones de secano. Esta puntuación varía entre 0 y 1:

- |    |             |                        |
|----|-------------|------------------------|
| 1. | 0,96 a 1,00 | SIN LIMITACIONES       |
| 2. | 0,76 a 0,95 | LIMITACIONES LEVES     |
| 3. | 0,46 a 0,75 | LIMITACIONES MODERADAS |
| 4. | 0,21 a 0,45 | LIMITACIONES SEVERAS   |
| 5. | 0,00 a 0,20 | EXCLUIDO               |

El valor 0 se asigna cuando la variable de clima o suelo está más allá de los límites de tolerancia del cultivo, y el 1 si la variable se encuentra en el rango óptimo de la especie.

Conocer el tipo de suelo y las condiciones climáticas donde está emplazada la cuenca del río Aconcagua ayuda a gestionar la planificación de la agricultura local, pudiendo optar por distintos tipos de plantaciones, sistemas de riego u otras herramientas que faciliten la adaptación de una determinada especie frutícola al entorno, previniendo así riesgos frente a las diversas emergencias agrícolas.

Adaptación de las plantaciones de palta Hass en condiciones de riego en la cuenca del río Aconcagua según el MODAGRO y los catastros frutícolas, ver figura 46.

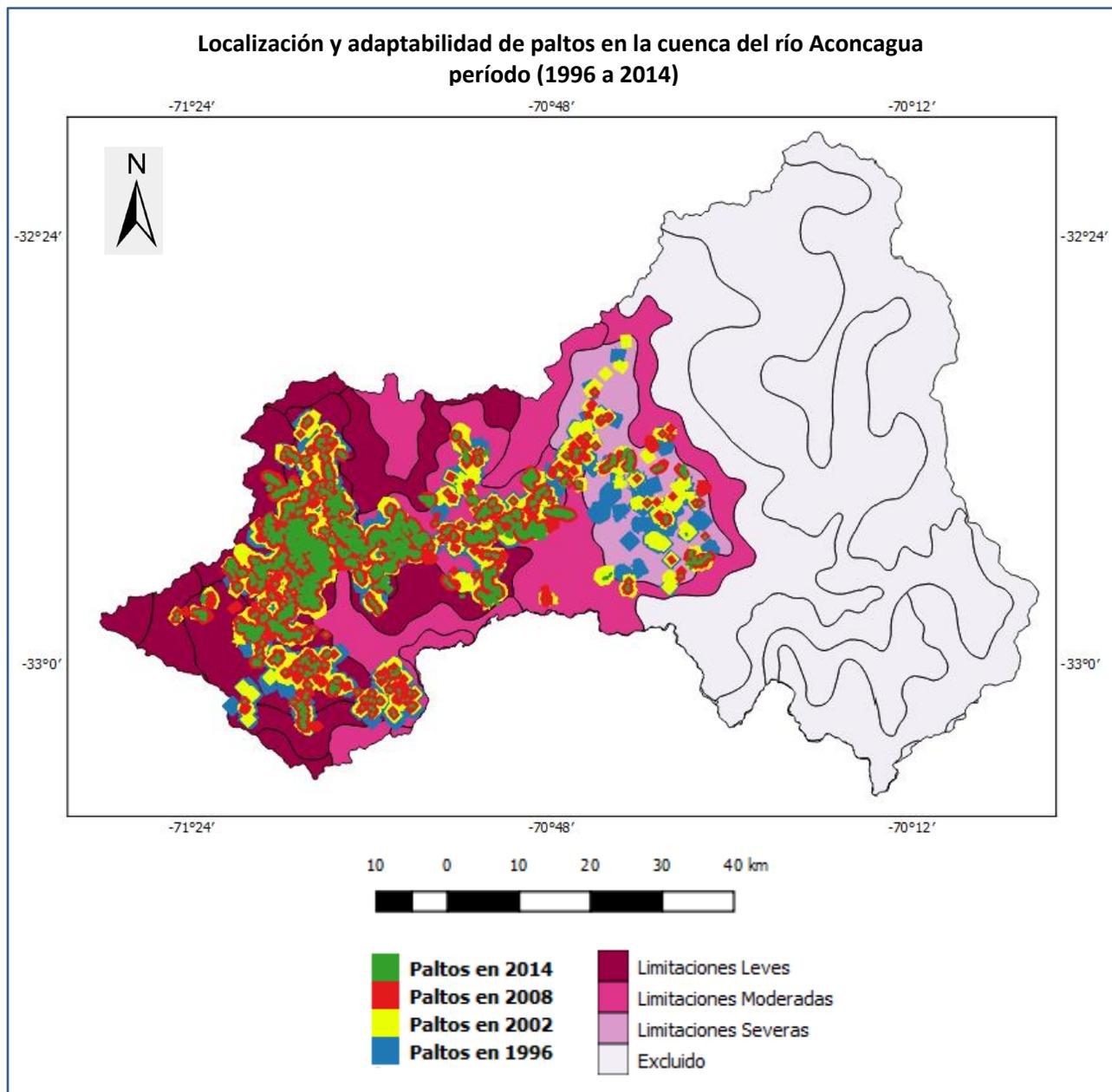


Figura 46: Adaptación de las plantaciones de palta Hass en condiciones de riego en la cuenca del río Aconcagua según el MODAGRO.

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta esta puntuación, los catastros frutícolas y considerando la adaptación del palto sólo en condiciones de riego se puede señalar que a través de los años se han ido desplazando los cultivos desde sectores con limitaciones severas (1996) a zonas con limitaciones moderadas y leves (2002 al 2014).

## 6.6 Discusiones y Conclusiones

El presente estudio constituye una revisión de la influencia de la variabilidad climática sobre la productividad de la palta en la V Región de Chile, mediante el uso de sensores remotos, estaciones fluviométricas, meteorológicas, censos agrícolas, entre otros, analizando la capacidad de adaptación de los productores mediante la adopción de nuevas tecnologías en el riego.

Con las herramientas de análisis empleadas no fue posible verificar la hipótesis planteada que hace referencia a que “existe una disminución del recurso hídrico en la cuenca del río Aconcagua, el cual, es el principal factor que ha provocado un impacto negativo en el sistema productivo del palto”, sin embargo, desde un enfoque descriptivo los datos sugieren que la cuenca del río Aconcagua está atravesando por una escasez hídrica desde aproximadamente el año 2007, pero es un episodio que se ha repetido con anterioridad (*apartado 5.2, Ciclos de Sequía*). Para ello fue relevante observar la dinámica temporal de otras variables involucradas con la disponibilidad de agua en la cuenca (caudal, precipitaciones lluvia-nieve y temperaturas) identificando que es un acontecimiento cíclico y descartando que es un hecho aislado.

Los resultados sugieren que el impacto negativo provocado por la disminución del recurso hídrico sobre el sistema productivo del palto se ha visto reflejado en los costos asociados, ya que el productor debe **invertir para hacer más eficiente el riego tecnificando** los métodos que utiliza, relocalizando las plantaciones en laderas para evitar la pérdida del fruto por las heladas y optando por la densidad en las plantaciones en vez de tener una mayor cantidad de superficie plantada. Estos costos, se han transmitido al consumidor, encareciendo el precio de esta especie frutícola en el mercado, sin embargo, estas medidas han permitido que la producción se mantenga estable y sea la necesaria para exportar y abastecer al mercado nacional, ya que la V región de Valparaíso sigue liderando a nivel nacional la producción de este tipo de frutas, ver gráfico 2.

Un estudio realizado en las cuencas de Limarí (IV Región de Coquimbo), Maipo (XIII Región Metropolitana) y Maule (VII Región del Maule) coincide con lo recién planteado, concluye que tomando en cuenta las características estructurales del uso de agua entre diferentes consumidores de agua de tipo consuntivos, se puede reconocer que el sector que tiene mayor margen para ajustarse es el agrícola, ya que presenta los menores niveles de eficiencia, en este sentido, el principal mecanismo de ajuste correspondería a un **aumento en la eficiencia de riego** del sector agrícola. Además, señala que resulta interesante destacar que en todos los casos analizados el principal afectado en este tema es el medio ambiente. En algunos casos el efecto corresponde a problemas históricos. Por ejemplo, el reconocimiento tardío de este tema en muchas de las cuencas del centro norte del país. Hacia el futuro se espera que esta situación empeore. Mejoras en las eficiencias de consumo o transferencias de derechos hacia consumos más intensivos en el tiempo (ej. desde el sector agrícola al urbano) implican una reducción en el caudal presente en el río. Por otra parte, es posible prever que las demandas medioambientales asociadas a la mantención de caudales en el río puedan ir evolucionando en el tiempo (*Vicuña S., 2012*).

Los análisis de los datos han dejado en evidencia que la gestión del agua en el riego (plantar, mantener y cosechar) es fundamental, debido a que su **optimización ha permitido enfrentar la escasez hídrica** y ofrecer al mercado un producto de alta calidad nutricional, aumentando la productividad y distribuyendo a nacional e internacional, aún en período de sequía, donde el caudal ha ido disminuyendo al igual que la superficie plantada y la producción. Sin embargo, esto no es sostenible en el tiempo si no se trabaja en soluciones integrales que contemplen infraestructura hídrica, cuidado del medio ambiente, regulaciones a nivel local, entre otras gestiones que aborden temas agrícolas. Una herramienta útil en la administración sustentable del agua en la agricultura es la huella hídrica, ya que permite preparar estrategias de adaptación que lleven a la racionalización de este vital elemento, el estudio sobre huella hídrica de productos agrícolas y pecuarios pretende entregar una serie de **estrategias que permitan realizar una buena gestión del recurso**, siendo un indicador manejable para los principales productos del área, tanto a nivel regional como nacional (Osorio A., 2013).

Por lo tanto, no solo se deben tomar medidas relacionadas con el recurso hídrico para mantener la estabilidad económica que entrega la producción de paltas, si no que existe un conjunto de factores que hay que contemplar ya que impactan directamente al sistema productivo como son los abarcados en esta tesis (crisis económicas mundiales, acuerdos comerciales internacionales, asentamientos urbanos y mineros, demanda en el mercado por este tipo de frutas, huella hídrica, entre otros).

La información sintetizada de la gran cantidad de datos brutos permite tener una visión global de la mayor cantidad de variables que inciden en esta problemática para tomar mejores decisiones y resolverla. En base a esto, se puede indicar lo siguiente:

- Las plantaciones de paltos han ido migrando a laderas zonas que coinciden además con tener limitaciones moderadas y leves para la adaptación de este cultivo, por lo tanto, hay que conocer las normativas vigentes y considerar el impacto medioambiental asociado (eliminación de vegetación nativa y degradación de suelo);
- La escasez hídrica se ha reflejado en una sequía que ya supera los 10 años, por lo tanto, se debe gestionar un adecuado manejo de riego ya que no es un hecho aislado;
- Los acuerdos comerciales de Chile y el alto consumo interno han permitido hacer de esta especie frutícola un negocio rentable que se destaca económicamente a nivel regional y nacional;
- En la cuenca del río Aconcagua, para el año 2013 un kilo de paltas necesita en promedio 373 litros de agua, siendo su principal fuente el agua de riego, la cual se ve afectada directamente por el déficit en la disponibilidad de agua lluvia.

Al haber analizado las variables que afectan directa o indirectamente el sistema productivo del palto, se tiene una visión panorámica del comportamiento de esta especie frutícola a través de los años, pudiendo concluir que la gestión que se utilice frente a la disponibilidad del agua es una herramienta vital que permite seguir produciendo y comercializando este producto.

Efectuado el procesamiento de imágenes satelitales Landsat se obtuvo datos de **cobertura superficial de nieve caída en invierno y se correlacionó con las variables de temperatura y precipitaciones para la misma temporada, ambas determinantes en la estimación de caudal de verano**. Este resultado se pudo obtener gracias a que las bandas de dichas imágenes son de gran utilidad para discriminar nieve, ya que ésta presenta una respuesta espectral muy elevada en ciertas longitudes de onda y este tipo de sensores es óptimo para detectarla (López C. et al., 2007). Además, la adquisición es gratuita y la data permite obtener datos desde hace tres décadas aproximadamente.

Estudios acerca de la oferta de agua en Chile indican que varía significativamente tanto en términos espaciales como temporales, en la zona central del país, existe un régimen de precipitaciones altamente concentrado en los meses de otoño e invierno evidenciando un efecto orográfico que, debido a los gradientes de elevación asociados a la Cordillera de los Andes, resulta en un incremento significativo en los montos de precipitación y ofrece la posibilidad de **acumular agua durante la época de lluvias en forma de nieve, para que posteriormente quede disponible para consumo durante los meses de primavera y verano**. La agricultura se ve ampliamente beneficiada por estas condiciones naturales ya que las mayores necesidades de agua en este sector se dan justamente en esos meses cálidos pero secos (Vicuña S., 2012).

**Los registros de precipitaciones (lluvia-nieve) y temperaturas de invierno no presentaron fluctuaciones significativas al interior de la cuenca**, con lo que se puede inferir que la reserva de agua almacenada en invierno no se vio afectada. Sin embargo, la sequía ha estado presente en el área de estudio desde el año 2007, dato que coincide con la disminución en los registros de caudales medios mensuales en verano desde el año 2008. Varios posibles factores pueden estar influyendo entre la reserva de agua en invierno y lo disponible en verano, como por ejemplo **el aumento de las temperaturas en verano al interior de la cuenca**, el crecimiento de los asentamientos urbanos hacia las plantaciones de paltos, la densidad de las plantaciones y su localización en laderas.

Una publicación hace directa relación con lo recién observado, ya que señala que la escasez de agua es la mayor amenaza que nos trae el cambio climático, por sobre el aumento de la variabilidad, de ciertos eventos extremos como lluvias intensas, vientos y granizo. El volumen total de agua de escorrentía de las cuencas no estaría tan amenazado, por cuanto el caudal es más bien regulado por las precipitaciones de cordillera. **Lo que estaría amenazada es la estacionalidad del agua que escurre por los ríos, pues al subir la temperatura, subiría la línea de las nieves, lo que haría que más precipitación lo hiciera en forma líquida y menos como nieve, aumentando la escorrentía invernal, cuando la agricultura no requiere agua**. Esto induciría una desregulación hidrológica que aumentaría la escorrentía invernal a la vez que crearía mayor riesgo de crecidas que pueden aumentar los riesgos de zonas pobladas. Los sistemas de regulación hidrológica con que cuentan algunas regiones pueden atenuar el déficit de años secos con el agua almacenada en años más lluviosos. No obstante, eso, la capacidad de regulación es limitada, quedando fuertemente disminuida durante los ciclos de sequía que pueden durar varios años. Además, indica que el aumento desmedido de la demanda por la agricultura, la minería y la generación de energía, junto al deterioro de la calidad de las aguas por contaminación, está haciendo de este recurso un elemento crónicamente deficitario de Santiago al norte. Contribuyen a esta situación, el despoblamiento vegetal que han sufrido las laderas de los cerros y las quebradas, lo que ha acelerado el escurrimiento y reducido la recarga de las napas, y el aumento de la evaporación debida al calentamiento global. Todo esto está intensificando la aridez de la zona central, proceso que es parte de un fenómeno más global, llamado “desertificación” (Santibáñez F., 2015).

Uno de los factores que no está contemplado en este estudio es el volumen de nieve caída, ya que se utilizaron imágenes satelitales Landsat priorizando su data para analizarlas, ya que existen productos de imágenes ópticas para la obtención del manto de nieve y su equivalente en agua, pero disponibles a partir del año 2000 para imágenes MODIS Terra y 2002 para imágenes MODIS Aqua (NASA, 2014). Se sugiere por tanto realizar estudios con imágenes de radar de apertura sintética (SAR), ya que la gran ventaja con respecto a las imágenes ópticas es que sólo los satélites que trabajan en el rango de las microondas son capaces de obtener datos de la superficie independientemente de las condiciones climáticas y de iluminación solar (Solorza et al., 2016).

Otra sugerencia sería analizar la evapotranspiración, ya que la programación del riego localizado se realiza a partir del cálculo de la demanda bruta de agua del cultivo, la cual corresponde al agua que éste evapotranspira más una cantidad adicional producto de la ineficiencia del sistema (Gil P. et al., 2009).

Otro aspecto por considerar desde el punto de vista de la fragilidad y deterioro ambiental, debido al alto grado de intervención, es que la región no ha estado ajena a externalidades negativas derivadas del desarrollo de las actividades humanas. En este sentido, es necesario procurar que actividades tan relevantes, como el turismo, la minería, la agricultura, la industria agroalimentaria, la industria energética y otras puedan coexistir y desarrollarse sin que ello signifique un deterioro ambiental progresivo e irreversible. Es importante poner atención a la sustentabilidad en el uso de los recursos naturales, como sustento de necesidades básicas y complementarias. Dentro de esta línea, es necesario poner especial atención a los procesos de desertificación, erosión, pérdida de suelo productivo, así como a la disponibilidad de acuíferos, los que afectan por ejemplo al Valle del Aconcagua y al secano costero, ya que la no consideración de estas variables puede afectar tanto la sustentabilidad de la actividad agrícola como también la disminución y pérdida de los recursos naturales (*GORE Valparaíso, 2012*).

Finalmente, sería importante conformar para este tipo de estudios un equipo multidisciplinario que con pudiera abordar otras variables influyentes en la gestión del recurso hídrico en una cuenca hidrográfica enfocado a la plantación de especies frutales como el palto.

La gestión sobre el recurso hídrico es de vital importancia en el sistema productivo del palto. Conocer las variables presentes en la cuenca del río Aconcagua y su dinámica histórica permitirá planificar medidas eficientes y perdurables en el tiempo.

## Bibliografía

- Abreu, J. L. (2012). Hipótesis, Método & Diseño de Investigación (Hypothesis, Method & Research Design). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(2), 187-197.
- Allan, J. A. (2003). Virtual water-the water, food, and trade nexus. Useful concept or misleading metaphor? *Water international*, 28(1), 106-113.
- Anguiano-Contreras, J., V.M. Coria-Avalos., J.A. Ruiz-Corral., G. Chávez-León. y J.J. Alcántar-Rocillo. (2003). Caracterización edáfica y climática del área productora de Aguacate (*Persea americana* cv. "hass") en Michoacán, México. *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate) 2003*. pp. 323- 328.
- Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Asociación Gremial de Riego y Drenaje. (2011). Disponibilidad hídrica prioridad país. *Revista Riego y Drenaje*, 4.
- Bayer Crop Science. (2013). Agronoticias: Sequía complica la producción de paltos, tomates y uvas en la región de Valparaíso. Bayer Chile.
- BCCh. (2015). Cuentas Nacionales de Chile 2008-2015: Producto Interno Bruto por región, anual, a precios corrientes, 2011-2014. Banco Central de Chile.
- BCN. (2010). Información Territorial: Mapas vectoriales, Red hidrográfica. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- BCN. (2016). Chile Nuestro País: Relieve Región de Valparaíso. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Bello, M., & Pino, M. (2000). Medición de presión y caudal. Punta Arenas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura de Chile.
- Bertin X.; Palomera F., Roldán S. (2015). Seis puntos del país entran en categoría de extrema sequedad por bajas precipitaciones. *Diario La Tercera*.
- Borgel, R. (1983). Colección: Geografía de Chile, Tomo 2. Instituto Geográfico Militar, Chile.
- Brown, E., & Saldivia, J. E. (2000). Informe nacional sobre la gestión del agua en Chile. CD-ROM de la Biblioteca Virtual de Recursos Hídricos en América Latina y el Caribe, GWP-SAMTAC y CEPAL. Santiago, Chile. 85p.
- Cabrera Lira, R. I. (2009). Evaluación del riesgo de eventos ENOS en el sector agropecuario de la zona centro-sur de Chile (V-IX reg.).
- Cadic E. (2016). What is a Trend Line in Math? Definition, Equation & Analysis. (Chapter 1/Lesson 12). Study.com
- CAFEBABEL. (2008). La crisis económica de 2008 explicada. *Revista Cafebabel*, Comisión Europea.

- Castro, R. (2008). Evaluación ambiental de plantaciones de paltos en laderas. Cuenca del Río Petorca. Región de Valparaíso. Chile.
- Cea, C., Cristóbal, J., & Pons, X. (2006). Mejoras en la determinación de la cubierta nival mediante imágenes Landsat y Modis. *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*, 65-78.
- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113(5), 893-903.
- Chilean Eagles College. (2016). Fenómenos de La Niña y El Niño en Chile.
- CIREN. (1990). Modelo de Diagnóstico Agroecológico: Resultados de Clima Regiones V-VIII, Tomo 2. Centro de Información de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura, Chile.
- CIREN. (1996). Catastro frutícola nacional V Región. Actualización 1996. (Pub. CIREN N°113). Centro de Información de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura, Chile.
- CIREN. (2002). Catastro frutícola Región de Valparaíso, principales resultados. (Pub. CIREN S/N). Centro de Información de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura, Chile.
- CIREN. (2008). Catastro frutícola Región de Valparaíso, principales resultados. (Pub. CIREN S/N). Centro de Información de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura, Chile.
- CIREN. (2014). Catastro frutícola Región de Valparaíso, principales resultados. (Pub. CIREN S/N). Centro de Información de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura, Chile.
- CNID. (2016). Ciencia e Innovación para los Desafíos del Agua en Chile: Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos. Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo.
- CNR. (2010). Especial Bicentenario: Dos siglos de riego en Chile. *Revista Chile. Riego* Comisión Nacional de Riego, 43.
- CNR. (2015). Plan de Riego cuenca del río Aconcagua. Comisión Nacional de Riego. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- CONAMA. (2008). Biodiversidad de Chile: Patrimonio y Desafíos, 2da Edición actualizada. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Chile.
- Consejo Minero. (2015). Uso del Agua en la Minería. Asociación de Empresas Productoras de Cobre, Oro, Plata y Molibdeno, Chile.
- Convenio Clima y Sector Agropecuario Colombiano. (2014). Clima y Sector Agropecuario Colombiano, Adaptación para la Sostenibilidad Productiva: ¿Qué es la Huella Hídrica? Colombia.
- MOP-DGA, CADE-IDEPE. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad: Cuenca del río Aconcagua, Actividades Económicas. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas., Chile. Cade Idepe Ingeniería y Desarrollo de Proyectos, Ltda.

MOP-DGA, CADE-IDEPE. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad: Cuenca del río Aconcagua, Suelos. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas., Chile. Cade Idepe Ingeniería y Desarrollo de Proyectos, Ltda.

MOP-DGA, CADE-IDEPE. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad: Cuenca del río Aconcagua, Usos del Agua. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas., Chile. Cade Idepe Ingeniería y Desarrollo de Proyectos, Ltda.

MOP-DGA, CADE-IDEPE. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad: Cuenca del río Aconcagua, Calidad Natural y factores Incidentes. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas., Chile. Cade Idepe Ingeniería y Desarrollo de Proyectos, Ltda.

MOP-DGA, CADE-IDEPE. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad: Cuenca del río Aconcagua, Sistemas Humanos. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas., Chile. Cade Idepe Ingeniería y Desarrollo de Proyectos, Ltda.

DGA. (2004). Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la cuenca del río Aconcagua (S.D.T. N.º 165). Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

DGA. (2007). Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras: Zona II. regiones V A XII y región Metropolitana (S.I.T. N.º 123). Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

DGA. (2016). Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea: Reportes Fluviométricos, Caudales Medios Mensuales. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

DGA. (2016). Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea: Reportes Meteorológicos, Precipitaciones Mensuales. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

DGA. (2016). Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea: Reportes Meteorológicos, Temperaturas Medias Mensuales. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

Diario El Mercurio. (2012). La microaspersión sirve para controlar las heladas en los paltos. Revista Campo.

DIRECON. (2016). Acuerdos Comerciales Vigentes. Dirección General de Relaciones Económicas. Ministerio de Relaciones Exteriores, Chile.

DIRECON. (2016). Distribución del comercio exterior de Chile por zona geográfica 2014. Dirección General de Relaciones Económicas. Ministerio de Relaciones Exteriores, Chile.

DIRECON. (2016). Protocolo Adicional al Acuerdo Marco de la Alianza Pacífico. Dirección General de Relaciones Económicas. Ministerio de Relaciones Exteriores, Chile.

DIRPLAN. (2007). Infraestructura para la competitividad, Chile 2007-2012: Agricultura. Dirección de Planeamiento. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

DMC. (2015). Fenómeno El Niño - La Niña. Dirección Meteorológica de Chile. Dirección General de Aeronáutica Civil, Chile.

Donoso, J., Bastías, R., Lemus, G., & Silva, R. (2006). Comportamiento Fenológico del palto (*Persea americana* Mill.) En tres localidades de la VI región, Temporada 2004-2005. Informativo INIA, 7.

EcoSecurities Consulting - Centro de Cambio Global. (2010). Relación entre Agua, Energía y Cambio Climático: Estudio de alto nivel sobre el impacto económico del cambio climático en la industria minera de Argentina, Chile, Colombia y Perú. EcoSecurities Consulting. Centro de Cambio Global, Universidad Católica de Chile.

Educarchile. (2012). Tratados y Acuerdos Comerciales de Chile. Fundación Chile. Ministerio de Agricultura, Chile.

ESA. (2009). ¿Qué es la teledetección? European Space Agency. Eduspace. Earth Online.

ESA. (2015). Landsat TM/ETM. European Space Agency. Eduspace. Earth Online.

Escobar, F., & Aceituno, P. (1998). Influencia del fenómeno ENSO sobre la precipitación nival en el sector andino de Chile central durante el invierno. *Bull Inst Fr Etudes Andines*, 27(3), 753-759.

FAO - AQUASTAT. (2015). Recursos hídricos renovables totales por habitante. FAO Global Information System on Water and Agriculture.

FAO. (2014). Anuario Estadístico de la FAO. La Alimentación y la Agricultura en América Latina y El Caribe.

FAO. (2014). FAostat: Export of crops, Retrieved 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FEDEFruta. (2009). Asfixia Radicular: Evidencia y mitigación en paltos. *Revista Federación de Productores de Frutas de Chile*, 124.

Ferreira, E. (2007). Manejo del Riego y Suelo en Palto, Caracterización de los suelos de la V región cultivados con palto. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura Chile.

Ferreira, E. (2007). Manejo del Riego y Suelo en Palto, Manejo del Riego en Palto. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura Chile.

Ferreira, E. (2007). Manejo del Riego y Suelo en Palto, Programación del Riego. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura Chile.

Ferreira, R., Defilippi, B., Sellés, G., & Arpaia, M. L. (2012). Factores que afectan la postcosecha de la palta. Factores de pre-cosecha que afectan la post-cosecha de palta 'Hass', Clima, suelo y manejo, *Boletín INIA*, 248, 1-102.

Ferreira, R., G. Sellés., P. Gil., P. Maldonado., G. Cabezas. y V. Rodríguez. (2001). Diagnóstico de la situación de plantaciones frutales en cerro. 30 p. Documento Interno, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Ferreira, R., Sellés, G., Maldonado, P., Celedón, J., Barreras, C., & Gil, P. (2006). La asfixia radicular y el manejo del riego en palto. Seminario Inter. Manejo del Riego y Suelo en el Cultivo del palto. *INIA-CORFO*, 27, 1-20.

Ffrench-Davis, R., & Heresi, R. (2015). La economía chilena frente a la crisis financiera: respuestas contracíclicas y desafíos pendientes. JL León (ed.,) *Crisis global, respuestas nacionales. La recesión en América Latina y Asia Pacífico*, Observatorio América Latina Asia Pacífico, Montevideo.

FONDART. (2014). Chile Revelado: Travesías y Ecosistemas. Fondo Nacional de Desarrollo de Artes, Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, Chile.

Gardiazabal, F. (2004). Riego y nutrición en paltos. 2do Seminario Internacional de Paltos. 29 septiembre-1 octubre. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile.

- Gardiazabal, F. (2017). Claves del cultivo moderno y eficiente del palto: Alta densidad y uso de reguladores de crecimiento. Redagricola.com
- Gil, P. (2006). Situación hídrica de las plantaciones de paltos en Chile. Seminario Internacional Manejo del Riego y Suelo en el Cultivo del Palto, 27.
- Gil, P. (2010). Consideraciones para el manejo de riego y mitigación de estrés en situación de restricción hídrica. Complemento Revista Horticulture International (AgriFoodGateway).
- Gil, P., Sellés, G., Ferreyra, R. & Barrera, C. (2009). Manual de Riego para paltos y Cítricos. INIA–CORFO.
- Godoy M. (2015). Economía y Desigualdad: La Desaceleración Económica de Chile. Economía para todos.
- GORE. (2012). Estrategia Regional de Desarrollo Región de Valparaíso 2020 (p. 197). Gobierno Regional. Región de Valparaíso, Chile.
- GORE. (2015). Evaluación Ambiental Estratégica – Plan Regional de Ordenamiento Territorial: Diagnóstico Ambiental Estratégico, Contexto Silvoagropecuario. Gobierno Regional región de Valparaíso, Chile.
- GORE. (2015). Plan Regional de Gobierno (2014-2018). Gobierno Regional región de Valparaíso, Chile.
- Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2011). Normalized-difference snow index (NDSI). In Encyclopedia of snow, ice and glaciers (pp. 779-780). Springer Netherlands.
- Hall, D. K., Riggs, G. A., Salomonson, V. V., DiGirolamo, N. E., & Bayr, K. J. (2002). MODIS snow-cover products. Remote sensing of Environment, 83(1-2), 181-194.
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2002). Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of water research report series, 11, 166.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2009). Water footprint manual. State of the Art, 1-131.
- IFRC. (2016). Sequías: Definición y características. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.
- INE. (2007). Enfoque Estadístico: Adulto Mayor en Chile 2007. Instituto Nacional de Estadística, Chile.
- INE. (2012). Compendio Estadístico: Cuentas Nacionales y Balances. Instituto Nacional de Estadística, Chile.
- INE. (2012). Resultados Preliminares Censo de Población y Vivienda (2012). Instituto Nacional de Estadística, Chile.
- INE. (2014). Medio Ambiente: Informe Anual, Biodiversidad. Instituto Nacional de Estadística, Chile.
- INE. (2014). Medio Ambiente: Informe Anual, Climas. Instituto Nacional de Estadística, Chile.
- INE. (2014). Medio Ambiente: Informe Anual, Geomorfología. Instituto Nacional de Estadística, Chile.
- INE. (2014). Proyecciones de Población. Instituto Nacional de Estadística, Chile.
- INE. (2015). Compendio Estadístico, Región de Valparaíso. Instituto Nacional de Estadística, Chile.

INRENA-UCPSI. (2005). Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional: Manual de Hidrometría. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Unidad de Coordinación Proyecto Subsectorial de Irrigación. Ministerio de Agricultura y Riego, Perú.

Irish, R. R. (2000, August). Landsat 7 automatic cloud cover assessment. In Algorithms for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VI (Vol. 4049, pp. 348-356). International Society for Optics and Photonics.

Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Cristóbal, J., Sòria, G., Ninyerola, M., Pons, X., ... & Julien, Y. (2010). Obtención de la temperatura de la superficie terrestre a partir de la serie histórica LANDSAT. Revista de Teledetección, 33, 53-63.

Lahav, E., & Kalmar, D. (1983). Determination of the irrigation regimen for an avocado plantation in spring and autumn. Australian journal of agricultural research, 34(6), 717-724.

Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C., & DE, J. C. (2010). El cultivo del palto, 3ra Edición. Antecedentes generales y botánica del palto. Boletín INIA, 129.

Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C., & DE, J. C. (2010). El cultivo del palto, 3ra Edición. Manejo del Riego. Boletín INIA, 129.

Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C., & DE, J. C. (2010). El cultivo del palto, 3ra Edición. Manejo del Cultivo. Boletín INIA, 129.

Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C., & DE, J. C. (2010). El cultivo del palto, 3ra Edición. Conducción y Poda. Boletín INIA, 129.

López, E. B. (1999). Frutos del campo michoacano. El Colegio de Michoacán AC.

López, E., & Bermúdez, P. (2007). Las plagas del palto en Chile: aspectos relevantes de su biología comportamiento y manejo. Ediciones Universidad de Valparaíso.

Martínez, C., Fernández, A., & Romero, P. R. (2012). Caudales y variabilidad climática en una cuenca de latitudes medias en Sudamérica: río Aconcagua, Chile Central (33°S). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, (58), 227-248.

Meza, L., Corso, S., Soza, S., Hammarskjöld, A. D., de Estudios, O., & Agrarias-ODEPA, P. (2010). Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2015). Política Nacional para los Recursos Hídricos, Disponibilidad de agua en Chile. Gobierno de Chile.

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2015). Política Nacional para los Recursos Hídricos, Disponibilidad y extracción del recurso por regiones. Gobierno de Chile.

MMA. (2016). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (2017-2022). Ministerio del Medio Ambiente, Chile.

MOP. (2010). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (2012-2025), Distribución de los usos consuntivos del agua. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

- MOP. (2012). Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 región de Valparaíso: Vegetación, Flora y Fauna. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- MOP. (2012). Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 región de Valparaíso: Hidrografía. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- MOP. (2012). Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 región de Valparaíso: Situación de los Recursos Hídricos respecto de la Disponibilidad. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- MOP. (2012). Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 región de Valparaíso: Situación Empresarial. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- MOP. (2012). Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 región de Valparaíso: Calidad de las aguas. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- MOP. (2012). Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 región de Valparaíso: Clima. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- MOP. (2012). Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 región de Valparaíso: Principales Centros Poblados. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- Moraga, N. (2012). Caja Hidráulica del río Aconcagua para la zona de Actividad logística en Quillota: Conformación de un nuevo frente pacífico para el continente. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Escuela de Arquitectura y Diseño. Valparaíso, Chile.
- Mundial, B. - OCDE. (2015). Crecimiento del PIB (% anual) en Chile. Banco Mundial. Organisation for Economic Cooperation and Development.
- Mundial, B. (2017). Chile Panorama General. Banco Mundial.
- Nagera, F. (2006). Caracterización de suelos alcalinos cultivados con paltos (*Persea americana* Mill) en la V región de Chile y aplicación de ácido sulfúrico como corrector de pH. 41 p Tesis, Universidad de Chile, Facultad de ciencias Agronómicas, Escuela de Agronomía, Santiago, Chile.
- NASA. (2014). Panorama de los productos de nieve de la NASA. National Aeronautics and Space Administration.
- Navarro, C. (1998). La crisis financiera asiática y su impacto en el comercio silvoagropecuario. Temporada Agrícola n 11, ODEPA, 1-24.
- ODEPA (2017). Exportaciones de Aguacates (paltas) frescos o refrigerados (total). Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura, Chile.
- ODEPA (2017). Precios de palta en los mercados mayoristas. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura, Chile.
- ODEPA. (2012). Panorama de la Agricultura chilena, Edición 2012. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura, Chile.
- ODEPA. (2012). Panorama de la Agricultura chilena. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura, Chile.

- ODEPA. (2014). Evolución de la superficie plantada Región de Valparaíso, hectáreas catastradas. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura, Chile.
- ODEPA. (2017). Boletín Frutas frescas. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura, Chile.
- OECD. (2010). Water Resources in Agriculture: Outlook and Policy Issues. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Ordoñez, J. (2011). Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestión integral del recurso hídrico, Precipitación.
- Ordoñez, J. (2011). Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestión integral del recurso hídrico, Temperatura.
- Osorio, A. (2013). Determinación de la Huella del agua y Estrategias de Manejo de Recursos Hídricos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA): La Serena, Chile.
- Pachauri, R. K., & Reisinger, A. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Riggs, G. A., Hall, D. K., & Salomonson, V. V. (2003). MODIS snow products user guide for collection 4 data products. MODIS Snow/Ice Global Mapping Project Website.
- Rojo Fabres, M. A. (2007). Plan de Negocio para una Pequeña Empresa Productora de Paltas. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
- Servicio Nacional de Aduanas. (2016). Acuerdos de Complementación Económica. Chile
- Santibáñez, F. (2015). Los recursos hídricos de las américas en los nuevos escenarios climáticos: la visión desde el proyecto VACEA. La incertidumbre de los recursos hídricos y sus riesgos frente al cambio climático: herramientas para los tomadores de decisiones de los sectores público y privado. Satiago: CEPAL, 2015. LC/L.4030. p. 23-33.
- Santos, L., De Juan, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua (CREA), Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Albacete España, 87-224.
- Scaramuzza, P., & Barsi, J. (2005). Landsat 7 scan line corrector-off gap-filled product development. In Proceeding of Pecora (Vol. 16, pp. 23-27).
- SECPLAC. (2012). Plan de Desarrollo Comunal Rapa Nui (2012-2016). Secretaría de Planificación Comunal. Municipalidad de Isla de Pascua, Chile.
- SECPLAC. (2015). Actualización Plan de Desarrollo Comunal Juan Fernández (2015-2020). Secretaría de Planificación Comunal. Municipalidad de Juan Fernández, Chile.
- SERNAGEOMIN. (2012). Atlas de Faenas Mineras, Regiones de Valparaíso, del Libertador General Bernardo O'Higgins y Metropolitana de Santiago (Versión Actualizada). Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas y Estadísticas de Faenas Mineras de Chile No 9: 177 p. Santiago.
- SERNATUR. (2014). Plan de Acción región de Valparaíso Sector Turismo (2014-2018). Servicio Nacional de Turismo. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Chile.

- Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P., & Portmann, F. T. (2010). Groundwater use for irrigation—a global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(10), 1863-1880.
- Solorza, R. (2011). Snow cover monitoring using sar and optical satellite images in the north patagonian andes of argentina. EURAC (Institute for Applied Remote Sensing)
- Solorza, R., Cogliati, M., Salcedo, A. P., & Notarnicola, C. (2016). Estimación del área cubierta de nieve con datos SAR en banda L en un sector cordillerano de la Patagonia Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(3), 421-429.
- Steduto, P., Hoogeveen, J., Winpenny, J., & Burke, J. (2012). Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security, The water 'crisis'. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- Steduto, P., Hoogeveen, J., Winpenny, J., & Burke, J. (2012). Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security, Existing water scarcity definitions. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- Steduto, P., Hoogeveen, J., Winpenny, J., & Burke, J. (2012). Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security, Indicators of water scarcity. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- University of Maryland (2004). Landsat Technical Guide: Global Land Cover Facility. Institute for Advanced Computer Studies. Department of Geography.
- Vicuña, S. (2012). Los nuevos desafíos para la gestión de los recursos hídricos en Chile en el marco del cambio global.
- Villar, M. (2016). Composición Nutricional y Componentes Bioactivos de Cuatro Variedades de Paltas (*Persea americana*) Comerciales chilenas. Comparación de componentes bioactivos, cosechas 2011-20112. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile.
- Whiley, A. W., Chapman, K. R., & Saranah, J. B. (1988). Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* cv. Fuerte) during flowering. *Australian Journal of Agricultural Research*, 39(3), 457-467.
- Wolstenholme, B. (1986). Energy costs of fruiting as a yield limiting factor. *Acta Horticulturae* 175: 121-126.
- Zúñiga, R., Muñoz, E., & Arumí, J. L. (2012). Estudio de los procesos hidrológicos de la cuenca del Río Diguillín. *Obras y proyectos*, (11), 69-78.