



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
FACULTAD DE AGRONOMÍA E INGENIERÍA FORESTAL
DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AGRARIA

Informe Final

Seguridad Hídrica y Alimentaria en América Latina y España: El Caso de Chile

Guillermo Donoso

Elisa Blanco

William Foster

Gabriela Franco

Javier Lira

Santiago, diciembre de 2012

TABLA DE CONTENIDOS

1.	RESUMEN EJECUTIVO.....	1
2.	Contexto Nacional	13
2.1.	Sector Agropecuario-silvícola	24
2.1.1.	Sector Agrícola.....	28
2.1.2	Sector Forestal.....	32
2.1.3	Sector Ganadero.....	35
2.2.	Sector Minero	38
2.3.	Sector Industrial.....	40
2.4.	Sector Electricidad, Gas y Agua	42
3.	Situación del Recurso Hídrico en Chile.....	44
3.1	Inventario del Recurso Hídrico.....	44
3.1.1	Aguas Superficiales	44
3.1.2	Aguas Subterráneas	48
3.1.3	Sistemas de Información de los Recursos Hídricos.....	51
3.2	Usos del Agua	53
3.2.1	Usos Consuntivos del Agua	53
3.2.1.1	Sector Agrícola, Forestal y Pecuario.....	55
3.2.1.2	Sector Industrial.....	62
3.2.1.3	Sector Minería del Cobre.....	63
3.2.1.4	Sector Agua Sanitaria y Saneamiento	64
3.2.1.5	Estimación de Balance Hídrico de los Usos Consuntivos	66
3.2.2	Usos No-Consuntivos del Agua.....	69
3.3	Calidad De Aguas: Contaminación Difusa Agrícola	73
3.3.1	Calidad de las Aguas	73
3.3.2	Evolución reciente.....	76
3.3.3	Sistemas de Información de Calidad del Recurso	77
3.3.4	Asegurar la Calidad de las Aguas	78
3.4	Estructuras y Obras Hidráulicas.....	80
4.	Situación Institucional del agua en Chile	83
4.1	Mapa Institucional del Agua.....	83
4.2	Desafíos de la Institucionalidad	87
4.2.1	Desafíos interinstitucionales.....	90
4.2.2	Limitaciones propias de cada Institución	98
5.	Situación Jurídica de las Aguas en Chile.....	100

5.1	Naturaleza Jurídica de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA)....	100
5.1.1	Definición de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA)	101
5.1.2	DAA Consuetudinarios	102
5.1.3	DAA Subterráneos	104
5.2	Elementos Claves del Código de Aguas de 1981	105
5.2.1	Asignación de nuevos derechos de aprovechamiento.....	105
5.2.2	Patente de no-uso.....	106
5.2.3	Obligación de establecer caudales mínimos ecológicos.....	108
5.2.4	Regulación sobre las transferencias de los DAA.....	110
5.2.5	Gestión del Recurso Hídrico a través de las Organizaciones de Usuarios.....	110
5.2.6	La resolución de conflicto.....	113
5.2.7	Aguas Subterráneas	115
5.2.8	Recursos Transfronterizos	116
6.	Mercado de Derechos de Aprovechamiento de Aguas	117
6.1	Problemas no relacionados con el Sistema de Asignación	124
6.1.1	Usos consuetudinarios y derechos antiguos de aguas que no están inscritos en los Registros de Aguas de los CBR	124
6.1.2	Artículos transitorios que establecen los procedimientos de regularización que han dado origen a parte importante de los actuales asuntos y conflictos que actualmente deben conocer la DGA y los tribunales.....	124
6.1.3	Mejorar la protección de los requerimientos hídricos para los ecosistemas y servicios asociados	124
6.1.4	Flujos de retorno y efectos en la corriente y a terceros.	125
6.1.5	Constitución, ejercicio y transferencia de los DAA - control de los efectos sobre terceros y medio ambiente.	126
6.1.6	Necesidad de Sistema de Resolución de Conflictos.....	126
6.2	Problemas Dependientes del Sistema de Asignación	126
6.2.1	Información de Mercado.....	126
6.2.2	Costos de transacción.....	127
6.2.3	Equidad y exclusión	127
6.2.4	Asegurar el uso óptimo de las aguas sin poner en peligro la sostenibilidad de los ríos y acuíferos – sobre-otorgamiento vinculado al concepto de uso previsible.....	127
6.2.5	Uso efectivo de los derechos de aguas.....	128
7.	Huella Hídrica de Chile	129
7.1	Cálculo de la huella hídrica.....	129
7.1.1	Metodología estimación huella hídrica agrícola.....	129
7.1.2	Metodología estimación huella hídrica forestal	132
7.1.3	Metodología estimación huella hídrica ganadería	132

7.1.4	Metodología estimación huella hídrica minería	133
7.1.5	Metodología estimación huella hídrica industrial.....	133
7.1.6	Metodología estimación huella hídrica agua potable.....	133
7.1.7	Metodología estimación huella hídrica energía	133
7.1.8	Datos	135
7.2	Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de Chile.....	136
7.3	Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Energía	141
7.4	Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Industria.....	142
7.5	Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Minería.....	142
7.6	Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Agua potable	143
7.7	Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Sector Silvoagropecuario	143
7.7.1	Agrícola.....	145
7.7.2	Ganadero y forestal.....	147
7.7.3	Productividad Aparente del Agua para el Sector Silvoagropecuaria	148
7.8	Comparación Usos de agua con huella hídrica azul en Chile	150
8.	Reforma de políticas económicas y agrarias y la seguridad alimentaria en Chile ...	152
8.1	Breve historia sobre el desarrollo de importantes políticas alimentarias y agrícolas en Chile	154
8.1.1	Mercados controlados desde 1950 a 1973.....	154
8.1.2	Reforma Agraria.....	156
8.1.3	El cambio hacia la liberalización de los mercados.....	160
8.2	El desempeño de los indicadores de agricultura y seguridad alimentaria	161
8.2.1	Uso actual de la tierra y la productividad	161
8.2.2	Indicadores actuales de la seguridad alimentaria	163
8.2.3	Reducción de la pobreza en Chile.....	167
8.3	Impacto de la reciente volatilidad en los precios internacionales de productos básicos.....	170
8.4	Desafíos futuros en seguridad alimentaria	173
9.	REFERENCIAS.....	175
A.	Anexo: Huella Hídrica de los Productos Agrícolas	183
A.1.	Huella Hídrica Uva de Mesa (Vitis vinífera spp.)	183
A.1.1.	Huella Hídrica Región de Atacama.....	183
A.1.2.	Huella Hídrica Región de Coquimbo	184
A.1.3.	Huella Hídrica Región de Valparaíso.....	186
A.1.4.	Huella Hídrica Región Metropolitana (RM)	187

A.1.5. Huella Hídrica Región de O'Higgins	189
A.1.6. Huella Hídrica Región del Maule	190
A.1.7. Huella Hídrica Región Biobío	191
A.2. Duraznero (<i>Prunus Persica</i>)	196
A.2.1 Huella Hídrica Región de Atacama.....	197
A.2.2 Huella Hídrica Región de Coquimbo.....	198
A.2.3 Huella Hídrica Región de Valparaíso.....	200
A.2.4 Huella Hídrica Región Metropolitana	202
A.2.5 Huella Hídrica Región de O'Higgins	204
A.2.6 Huella Hídrica Región del Maule	206
A.3. Olivo (<i>Olea europaea</i>)	212
A.3.1 Huella Hídrica Región de Atacama.....	212
A.3.2 Huella Hídrica de la Región de Coquimbo.....	214
A.3.3 Huella hídrica en la Región de Valparaíso.....	215
A.3.4 Huella hídrica Región Metropolitana.....	216
A.3.5 Huella hídrica Región de O'Higgins.....	217
A.3.6 Huella hídrica en la Región del Maule	218
A.3.7 Huella hídrica en la Región del Biobío	219
A.4. Palta (<i>Persea Americana</i>).....	224
A.4.1 Huella hídrica en la Región de Atacama.....	225
A.4.2 Huella hídrica en la Región de Coquimbo	226
A.4.3 Huella hídrica en la Región de Valparaíso.....	228
A.4.4 Huella hídrica en la Región Metropolitana	229
A.4.5 Huella hídrica en la Región de O'Higgins	231
A.4.6 Huella hídrica en la Región del Maule	232
A.4.7 Huella hídrica en la Región del Biobío.....	234
A.5. Huella Hídrica Almendra (<i>Prunus Amygdalus</i>).....	239
A.5.1 Huella hídrica Región de Coquimbo	240
A.5.2 Huella hídrica Región Valparaíso	241
A.5.3 Huella hídrica Región Metropolitana.....	242
A.5.4 Huella hídrica Región O'Higgins.....	244
A.6. Berries (Arándano y Frambuesa).....	247
A.6.1 Huella hídrica Región O'Higgins.....	248
A.6.2 Huella hídrica Región del Maule	249
A.6.3 Huella hídrica Región del Biobío	251
A.6.4 Huella hídrica Región Araucanía	252

A.6.5 Huella hídrica Región de los Ríos	254
A.6.6 Huella hídrica Región los Lagos	255
A.7. Huella hídrica Cerezo (<i>Prunus Avium</i>)	258
A.7.1 Huella hídrica Región Valparaíso	258
A.7.2 Huella hídrica Región Metropolitana.....	260
A.7.3 Huella hídrica Región de O'Higgins	261
A.7.4 Huella hídrica Región del Maule	262
A.7.5 Huella hídrica Región del Biobío	264
A.8. Huella hídrica Ciruelo (<i>Prunus domestica</i>).....	267
A.8.1 Huella hídrica Región Valparaíso	268
A.8.2 Huella hídrica Región Metropolitana.....	269
A.8.3 Huella hídrica Región O'Higgins.....	271
A.8.4 Huella hídrica Región del Maule	272
A.9. Huella hídrica Cítricos.....	275
A.9.1 Huella hídrica Región de Atacama	276
A.9.2 Huella hídrica Región Coquimbo	277
A.9.3 Huella hídrica Región de Valparaíso	279
A.9.4 Huella hídrica Región Metropolitana.....	280
A.9.5 Huella hídrica Región de O'Higgins.....	282
A.10. Huella hídrica Kiwi (<i>Actinidia deliciosa</i>)	285
A.10.1 Huella hídrica Región de Valparaíso	285
A.10.2 Huella hídrica Región Metropolitana.....	287
A.10.3 Huella hídrica Región O'Higgins.....	288
A.10.4 Huella hídrica Región del Maule	290
A.10.5 Huella hídrica Región Biobío	291
A.11. Huella hídrica Manzano (<i>Malus domestica</i>).....	294
A.11.1 Huella hídrica Región Metropolitana.....	294
A.11.2 Huella hídrica Región O'Higgins.....	296
A.11.3 Huella hídrica Región Maule.....	297
A.11.4 Huella hídrica Región del Biobío	299
A.11.5 Huella hídrica Región de la Araucanía	300
A.11.6 Huella hídrica Región de los Lagos	302
A.12 Huella hídrica Nogal (<i>Junglans regia</i>)	305
A.12.1 Huella hídrica Región de Coquimbo	305
A.12.2 Huella hídrica Región de Valparaíso	307
A.12.3 Huella hídrica Región Metropolitana.....	308

A.12.4 Huella hídrica Región de O'Higgins	310
A.12. Huella hídrica Peral (<i>Pyrus communis</i>)	313
A.13.1 Huella hídrica Región de Coquimbo	313
A.13.2 Huella hídrica Región de Valparaíso	315
A.13.3 Huella hídrica Región Metropolitana.....	316
A.13.4 Huella hídrica Región de O'Higgins	318
A.13.5 Huella hídrica Región del Maule	319
A.14 Huella Hídrica Maíz (<i>Zea mays</i> spp.)	322
A.14.1 Huella hídrica Región Coquimbo.....	323
A.14.2 Huella hídrica Región de Valparaíso.....	324
A.14.3 Huella hídrica Región Metropolitana.....	326
A.14.4 Huella hídrica Región O'Higgins.....	328
A.14.5 Huella hídrica Región del Maule	330
A.14.6 Huella hídrica región del Biobío	331
A.15 Avena (<i>Avena</i> sp)	337
A.15.1 Huella hídrica en la Región de Coquimbo.....	338
A.15.2 Huella hídrica en la Región de Valparaíso.....	339
A.15.3 Huella hídrica región Metropolitana.....	341
A.15.4 Huella hídrica en la Región de O'Higgins	342
A.15.5 Huella hídrica en la Región del Maule	344
A.15.6 Huella hídrica en la Región del Biobío.....	345
A.16 Trigo (<i>Triticum</i> spp).....	350
A.16.1 Huella hídrica en la Región de Coquimbo.....	351
A.16.2 Huella hídrica en la Región de Valparaíso.....	353
A.16.3 Huella hídrica en la Región Metropolitana	354
A.16.4 Huella hídrica en la Región de O'Higgins	356
A.16.5 Huella hídrica en la Región del Maule	359
A.16.6 Huella hídrica en la Región del Biobío.....	360
A.17 Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	366
A.17.1 Huella hídrica en la Región de Coquimbo.....	367
A.17.2 Huella hídrica en la Región de Valparaíso.....	368
A.17.3 Huella hídrica en la Región Metropolitana.....	370
A.17.4 Huella hídrica en la Región de O'Higgins	372
A.17.5 Huella hídrica en la Región del Maule	374
A.17.6 Huella hídrica en la Región del Biobío.....	376
A.18 Huella hídrica Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	383

A.18.1 Huella hídrica Región de Atacama	383
A.18.2 Huella hídrica Región de Coquimbo	385
A.18.3 Huella hídrica Región de Valparaíso	386
A.18.4 Huella hídrica Región Metropolitana.....	388
A.18.5 Huella hídrica Región de O'Higgins	389
A.18.6 Huella hídrica Región del Maule	391
A.18.7 Huella hídrica Región del Biobío	392
A.18.8 Huella hídrica Región de la Araucanía	394
A.18.9 Huella hídrica Región de los Ríos	395
A.18.10 Huella hídrica Región de Aysén	397
A.18.11 Huella hídrica Región de Magallanes	398
A.19 Huella hídrica Uva vinífera (Vitis vinífera).....	401
A.19.1 Huella hídrica Región de Coquimbo.	401
A.19.2 Huella hídrica Región Valparaíso	402
A.19.3 Huella hídrica Región Metropolitana.....	404
A.19.4 Huella hídrica Región de O'Higgins	405
A.19.5 Huella hídrica Región del Maule	406
A.19.6 Huella hídrica Región del Biobío	408
A.20 Huella hídrica Forestal	411
A.20.1 Huella hídrica Región de Valparaíso	411
A.20.2 Huella hídrica Región de O'Higgins	412
A.20.3 Huella hídrica Región del Maule	413
A.20.4 Huella hídrica Región del Biobío	414
A.20.5 Huella hídrica Región de la Araucanía	415
A.20.6 Huella hídrica Región de los Ríos	416
A.20.7 Huella hídrica Región de los Lagos	417
A.20.8 Huella hídrica Región de Aysén	418
B. Anexo Tablas Informe Botín	421

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua para los distintos sectores económicos de Chile.....	6
Tabla 1-2: Gastos mensuales de los hogares en alimentos y bebidas por quintil de ingreso (%).	10
Tabla 2-1: Países con acuerdos, tipos de acuerdos de Chile con el Mundo, año de vigencia de los acuerdos, el porcentaje de las exportaciones e importaciones sin arancel y tipo de restricción en el arancel establecido.....	21
Tabla 2-2: Balanza comercial Silvoagropecuaria por zona económica (miles de dólares) 26	
Tabla 2-3: Principales países de destino de las exportaciones Silvoagropecuarias (miles de dólares FOB).	27
Tabla 2-4: Principales países de origen de las importaciones de productos Silvoagropecuarios (miles de dolares CIF).....	28
Tabla 2-5: Superficie destinada a diferentes cultivos a nivel nacional desde el 2003 al 2011.	31
Tabla 2-6: Superficie destinada a diferentes Frutales a nivel nacional desde el 2003 al 2011.	31
Tabla 2-7: Superficie destinada a Vides a nivel nacional desde el 2003 al 2011.....	32
Tabla 2-8: Superficie destinada a plantaciones forestales a nivel nacional desde el 2003 al 2011.	35
Tabla 3-1: <i>Incremento en extracciones consuntivas por sector entre 1990 y 2006</i>	55
Tabla 3-2: Evolución de la superficie de riego, 1997-2007, por tipo de riego	59
Tabla 3-3: Productividad Agrícola ($\$/m^3$) en cuencas del Norte de Chile, Sector Pacifico Seco	60
Tabla 3-4: <i>Capacidad de Almacenamiento hídrico de Embalses en Chile</i>	70
Tabla 3-5: <i>Planes Maestros de Manejo de Cauces llevados a cabo</i>	82
Tabla 4-1: Asignación de funciones entre los ministerios y entidades públicas.	88
Tabla 4-2: Asignación de funciones entre ministerios y agencias públicas. Diseño e implementación de políticas del agua.	89
Tabla 4-3: Mecanismos existentes y ausentes en Chile, para coordinar las acciones entre ministerios y entidades públicas	90

Tabla 4-4: Asignación de funciones y responsabilidades en la regulación del agua (creación y aplicación de normas) entre autoridades locales y regionales.	94
Tabla 4-5: Asignación de funciones entre ministerios y entidades públicas para los estándares de calidad y su regulación.	95
Tabla 4-6: Mapa institucional de los estándares de calidad y regulación.	96
Tabla 5-1: Caudales de agua (l/s) de DAA regularizados y no-regularizados.....	103
Tabla 5-2: Caudal ecológico (m ³ /s) establecido en las distintas regiones del país.	109
Tabla 5-3: Caracterización de las diferentes OUA	112
Tabla 6-1: Número de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneos otorgados en cada región de Chile.....	117
Tabla 6-2: Cantidad de derechos de aprovechamiento de agua superficial y subterráneos concedidos desde el 2003 al 2011.....	119
Tabla 6-3: Caudal concedido de los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas (l/s), para usos consuntivos y no consuntivos, desde el 2003 al 2011. ...	119
Tabla 6-4: Precio promedio simple del m ³ /seg (US\$).....	122
Tabla 6-5: Precio ponderado del m ³ /seg (US\$).....	123
Tabla 7-1: Porcentaje del PIB, fuerza laboral y consumo de agua de los sectores económicos de Chile.....	137
Tabla 7-2: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua para los distintos sectores económicos de Chile.....	140
Tabla 7-3: HH Azul, verde, gris, total y productividad aparente del agua de los distintos rubros estudiados del sector agrícola, forestal y ganadero.	144
Tabla 7-4: HH Azul, verde, gris, total de los distintos rubros estudiados del sector agrícola, forestal y ganadero.	144
Tabla 7-5: Productividad aparente del agua de los distintos rubros del sector Silvoagropecuario.	149
Tabla 7-6: Huella hídrica azul, verde, gris y total para los sectores económicos más importantes de Chile.	151
Tabla 7-7: Productividad aparente del agua azul (US\$/m ³).....	151
Tabla 7-8: Productividad aparente del agua azul de los rubros del sector silvoagropecuario (US\$/m ³).....	152

Tabla 8-1: Gastos mensuales de los hogares en alimentos y bebidas por quintil de ingreso (%).	164
Tabla 8-2: Estado nutricional de niños chilenos menores de 6 años, 2006 y 2009.	165
Tabla 8-3: Porcentaje de población adulta con sobrepeso y obesa para argentina, chile, méxico y estados unidos, 2010.	166
Tabla B-1: Superficie del país, número de habitantes y renta per cápita.	421
Tabla B-2: Número de trabajadores en cada actividad económica del país.	422
Tabla B-3: Valor económico de los distintos sectores, medido en Producto Interno Bruto anual de las diferentes actividades económicas a precios constantes del año 2007 en Millones de pesos del año 2003 y Producto Interno Bruto anual por actividad económica a precios constantes del 2007 valorados en dólares del año 2007 .	423
Tabla B-4: Estimación de recursos hídricos agua verde y azul (MMm ³ /año)	425
Tabla B-5: Estimación de usos convencionales y valores económicos relacionados.	426
Tabla B-6: Fuentes de datos.	426
Tabla B-7: Información sobre cálculos y resultados del sector agrícola	427
Tabla B-8: Información sobre cálculos y resultados del sector ganadero	427
Tabla B-9: Información sobre cálculos y resultados del abastecimiento y saneamiento urbano y rural.	428
Tabla B-10: Resultados del sector minero desarrollado a partir del dato de la huella hídrica del cobre medido para la División el Teniente de Codelco (VI Región).	429
Tabla B-11: Resultados del sector minero desarrollado a partir del caudal consumido por la minería para las distintas regiones.	430
Tabla B-13: Información sobre cálculos y resultados del sector energético por fuente de energía	432

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Evolución del uso de la tierra (hectáreas) en la agricultura chilena	1
Figura 1-2: Rendimientos promedios por hectárea, cultivos principales, quintales, años censales 1955, 1965, 1976, 1997 y 2007.....	2
Figura 1-3: Consumo de agua de los distintos sectores económicos (uso consuntivo).	4
Figura 1-4: Consumo de agua de los distintos sectores económicos con usos consuntivos, sin considerar sector Agropecuario.....	5
Figura 1-5: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de los distintos sectores económicos.	6
Figura 1-6: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de los sectores económicos con usos consuntivos del agua.	7
Figura 1-7: Huella hídrica azul, verde, gris y total del sector agrícola en Chile.....	8
Figura 1-8: Huella hídrica azul, verde, gris y total per cápita del sector agrícola en Chile ..	9
Figura 2-1: Población de Chile.....	13
Figura 2-2: Precipitaciones medias anuales de Chile (mm/año).....	14
Figura 2-3: Disponibilidad Media de Agua por Persona por Año en Chile (m ³ /persona/año)	16
Figura 2-4: Capacidad de Almacenamiento en los embalses para riego construidos por el Estado (millones de m ³)	17
Figura 2-5: Capacidad de almacenamiento en los embalses exclusivamente de riego, en las distintas regiones de Chile (millones de m ³).	17
Figura 2-6: Tasa de Crecimiento del PIB Real de Chile (%).....	19
Figura 2-7: PIB/Cápita Corregido por Paridad de Poder Adquisitivo	19
Figura 2-8: Balanza Comercial.....	24
Figura 2-9: PIB del sector Silvoagropecuario (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009.	25
Figura 2-10: Exportaciones, importaciones y balance comercial del sector silvoagropecuario.....	26
Figura 2-11: PIB del sector agrícola (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009..	29
Figura 2-12: Exportaciones del sector agrícola en los últimos 10 años (2001-2011).....	29

Figura 2-13: Importaciones del sector agrícola en los últimos 10 años (2001-2011).	30
Figura 2-14: Balance Comercial del sector agrícola en los últimos 10 años (2001-2011). 30	
Figura 2-15: PIB del sector silvícola (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009.. 32	
Figura 2-16: Exportaciones del sector forestal en los últimos 10 años (2001-2011)..... 33	
Figura 2-17: Importaciones del sector forestal en los últimos 10 años (2001- 2011)..	34
Figura 2-18: Balance comercial del sector forestal en los últimos 10 años (2001-2011).. . 34	
Figura 2-19: PIB del sector ganadero (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009.	36
Figura 2-20: Exportaciones del sector pecuario en los últimos 10 años (2001-2011)..... 36	
Figura 2-21: Importaciones del sector pecuario en los últimos 10 años (2001-2011)..... 37	
Figura 2-22: Balance comercial del sector pecuario en los últimos 10 años (2001-2011). 38	
Figura 2-23: PIB del sector minero y de la minería del cobre (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009.	39
Figura 2-24: Exportaciones sector minero.....	39
Figura 2-25: PIB del sector Industrial (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2010.40	
Figura 2-26: Exportaciones del sector Industrial del 2004 al 2011.	41
Figura 2-27: Importaciones del sector Industrial del 2004 al 2011.....	41
Figura 2-28: Balance comercial de sector Industrial del 2004 al 2011.....	42
Figura 2-29: PIB del sector electricidad, gas y agua (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2010.....	43
Figura 3-1: Hidrogramas mensuales promedio típicos de algunos ríos chilenos	44
Figura 3-2: Equilibrio hídrico a lo largo de tres regiones: norte, centro y sur de Chile	46
Figura 3-3: Disponibilidad per cápita regional de aguas superficiales	47
Figura 3-4: Usos Consuntivos del Agua por Sector Económico	54
Figura 3-5: Superficie de riego (has.) y caudal (m ³ /s) utilizado por región.....	56
Figura 3-6: Evolución de la Potencia Hidroeléctrica Instalada (1909-2009).....	72
Figura 4-1: Institucionalidad pública del recurso hídrico en Chile	87

Figura 5-1: Patente por no uso de usos consuntivos (US\$), para distintas regiones del país y según el número de años de no uso del recurso hídrico.....	107
Figura 5-2: Patente por no uso de usos no consuntivos (US\$), para distintas regiones del país y según el número de años de no uso, considerando una diferencia entre el nivel de extracción del agua y el nivel de restitución del agua de 10 metros.	108
Figura 6-1: Derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneos otorgados en las distintas regiones de Chile.....	118
Figura 7-1: Consumo de agua de los distintos sectores económicos (uso consuntivo)..	138
Figura 7-2: Consumo de agua de los distintos sectores económicos con usos consuntivos, sin considerar sector Agropecuario.....	139
Figura 7-3: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de los distintos sectores económicos.	140
Figura 7-4: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de los sectores económicos con usos consuntivos del agua.	141
Figura 8-1: Evolución del uso de la tierra (hectáreas) en la agricultura chilena.....	162
Figura 8-2: Rendimientos promedios por hectárea, cultivos principales, quintales, años censales 1955, 1965, 1976, 1997 y 2007.....	163
Figura 8-3: Malnutrición en menores de 5 años, 2000-2010.	166
Figura 8-4: Evolución de la Pobreza en Chile/ urbana y rural.....	168
Figura 8-5: Evolución del número de pobres en América Latina y el Caribe (millones de personas), 1980-2011.....	169
Figura A-A-1: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región de Atacama.	183
Figura A-2: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la Uva en la región de Atacama.	184
Figura A-A-3: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región de Coquimbo	185
Figura A-A-4: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la Uva en la región de Coquimbo.	185
Figura A-A-5: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región de Valparaíso	186
Figura A-A-6: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la Uva en la región de Valparaíso.	187

Figura A-A-7: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región Metropolitana.....	188
Figura A-A-8: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la Uva en la región Metropolitana.....	188
Figura A-A-9: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	189
Figura A-A-10: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la Uva en la región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	190
Figura A-A-11: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región del Maule.....	190
Figura A-A-12: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la Uva en la región del Maule.	191
Figura A-A-13: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región del Biobío	191
Figura A-A-14: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la Uva en la región del Biobío	192
Figura A-A-15: Superficie de la Uva de mesa en las regiones con producción de Chile.	193
Figura A-A-16: Rendimiento de la Uva de mesa en las regiones con producción de Chile	193
Figura A-A-17: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde.	194
Figura A-A-18: Huella hídrica total, azul, verde y gris de la Uva de mesa, para cada región de Chile	195
Figura A-A-19: Comparación entre la huella hídrica de la Uva de Mesa en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).	196
Figura A-A-20: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región de Atacama	197
Figura A-A-21: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del durazno en la región de Atacama.	198
Figura A-A-22: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región de Coquimbo.	199
Figura A-A-23: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del durazno en la región de Coquimbo.	199

Figura A-A-24: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región de Valparaíso.....	201
Figura A-A-25: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del durazno en la región de Valparaíso.	201
Figura A-A-26: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región Metropolitana.....	203
Figura A-A-27: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del durazno en la región Metropolitana.....	203
Figura A-A-28: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región de O'Higgins.	204
Figura A-A-29: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del durazno en la región O'Higgins.....	205
Figura A-A-30: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región del Maule.....	206
Figura A-A-31: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del durazno en la región del Maule.....	207
Figura A-A-32: Superficie de Durazno en las regiones con producción de Chile.....	208
Figura A-A-33: Rendimiento del Durazno en las regiones con producción de Chile.....	209
Figura A-A-34: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde	210
Figura A-A-35: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Durazno, para cada región de Chile.	211
Figura A-A-36: Comparación entre la huella hídrica del Durazno en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).	212
Figura A-A-37: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región de Atacama.	213
Figura A-A-38: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Olivo en la región de Atacama.	213
Figura A-A-39: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región de Coquimbo	214
Figura A-A-40: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Olivo en la región de Coquimbo.	214

Figura A-A-41: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región de Valparaíso	215
Figura A-A-42: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Olivo en la región de Valparaíso	216
Figura A-A-43: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región Metropolitana.....	216
Figura A-A-44: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Olivo en la región Metropolitana.....	217
Figura A-A-45: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región de O'Higgins.....	217
Figura A-A-46: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Olivo en la región de O'Higgins.....	218
Figura A-A-47: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región del Maule.....	218
Figura A-A-48: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Olivo en la región del Maule.	219
Figura A-A-49: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región del Biobío	219
Figura A-A-50: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Olivo en la región del Biobío.	220
Figura A-A-51: Superficie de Olivo en las regiones con producción de Chile.	221
Figura A-A-52: Rendimiento del Olivo en las regiones con producción de Chile.	221
Figura A-A-53: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde	222
Figura A-A-54: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Olivo, para cada región de Chile.	223
Figura A-A-55: Comparación entre la huella hídrica del Olivo en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).	224
Figura A-A-56: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región de Atacama.	225
Figura A-A-57: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Palto en la región de Atacama.	226

Figura A-A-58: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región de Coquimbo	227
Figura A-A-59: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Palto en la región de Coquimbo.	227
Figura A-A-60: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región de Valparaíso.	228
Figura A-A-61: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Palto en la región de Valparaíso.	229
Figura A-A-62: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región Metropolitana.	230
Figura A-A-63: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Palto en la región Metropolitana.	230
Figura A-A-64: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región de O'Higgins.	231
Figura A-A-65: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Palto en la región de O'Higgins.	232
Figura A-A-66: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región del Maule.	233
Figura A-A-67: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Palto en la región del Maule.	233
Figura A-A-68: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región del Biobío.	234
Figura A-A-69: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Palto en la región del Biobío	235
Figura A-A-70: Superficie de Palto en las regiones con producción de Chile.	236
Figura A-A-71: Rendimiento del Palto en las regiones con producción de Chile.	236
Figura A-A-72: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde.	237
Figura A-A-73: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Palto, para cada región de Chile.	238
Figura A-A-74: Comparación entre la huella hídrica del Palto en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).	239

Figura A-A-75: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Almendro en la Región de Coquimbo	240
Figura A-A-76: Huella hídrica azul, verde y gris del Almendro en la Región de Coquimbo.	241
Figura A-A-77: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Almendro en la Región de Valparaíso.....	241
Figura A-A-78: Huella hídrica azul, verde y gris del Almendro en la Región de Valparaíso.	242
Figura A-A-79: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Almendro en la Región Metropolitana.....	243
Figura A-A-80: Huella hídrica azul, verde y gris del Almendro en la Región Metropolitana.	243
Figura A-A-81: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Almendro en la Región de O'Higgins	244
Figura A-A-82: Huella hídrica azul, verde y gris del Almendro en la Región de O'Higgins	245
Figura A-A-83: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Almendro, para cada región de Chile.	246
Figura A-A-84: Comparación entre la huella hídrica del Almendro en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	247
Figura A-A-85: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región de O'Higgins	248
Figura A-A-86: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región de O'Higgins.	249
Figura A-A-87: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región del Maule.	250
Figura A-A-88: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región del Maule..	250
Figura A-A-89: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región del Biobío.....	251
Figura A-A-90: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región del Biobío.	252
Figura A-A-91: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región de la Araucanía.....	253

Figura A-A-92: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región de la Araucanía.	253
Figura A-A-93: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región de los Ríos.	254
Figura A-A-94: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región de los Ríos.	255
Figura A-A-95: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región de los Lagos.	256
Figura A-A-96: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región de los Lagos.	256
Figura A-A-97: Huella hídrica total, azul, verde y gris de Berries, para cada región de Chile.	257
Figura A-A-98: Comparación entre la huella hídrica de los Berries en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).	258
Figura A-A-99: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región de Valparaíso.	259
Figura A-A-100: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región de Valparaíso.	259
Figura A-A-101: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región Metropolitana.	260
Figura A-A-102: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región Metropolitana.	261
Figura A-A-103: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región de O'Higgins.	261
Figura A-A-104: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región de O'Higgins.	262
Figura A-A-105: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región del Maule.	263
Figura A-A-106: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región del Maule	263
Figura A-A-107: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región del Biobío.	264
Figura A-A-108: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región del Biobío.	265

Figura A-A-109: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Cerezo, para cada región de Chile.	266
Figura A-A-110: Comparación entre la huella hídrica del Cerezo en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).	267
Figura A-A-111: Huella hídrica azul, verde y gris del Ciruelo en la Región de Valparaíso	269
Figura A-A-112: . Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Ciruelo en la Región Metropolitana.	270
Figura A-A-113: Huella hídrica azul, verde y gris del Ciruelo en la Región Metropolitana	270
Figura A-A-114: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Ciruelo en la Región de O'Higgins.	271
Figura A-A-115: Huella hídrica azul, verde y gris del Ciruelo en la Región de O'Higgins.	272
Figura A-A-116: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Ciruelo en la Región de Maule.	273
Figura A-A-117: Huella hídrica azul, verde y gris del Ciruelo en la Región del Maule	273
Figura A-A-118: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Ciruelo, para cada región de Chile.	274
Figura A-A-119: Comparación entre la huella hídrica del Ciruelo en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).	275
Figura A-A-120: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región de Atacama	276
Figura A-A-121: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región de Coquimbo.	278
Figura A-A-122: Huella hídrica azul, verde y gris de los Cítricos en la Región de Coquimbo.	278
Figura A-A-123: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región de Valparaíso	279
Figura A-A-124: Huella hídrica azul, verde y gris de los Cítricos en la Región de Valparaíso.	280
Figura A-A-125: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región Metropolitana.	281

Figura A-A-126: Huella hídrica azul, verde y gris de los Cítricos en la Región Metropolitana	281
Figura A-A-127: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región de O'Higgins.....	282
Figura A-A-128: Huella hídrica azul, verde y gris de los Cítricos en la Región de O'Higgins.	283
Figura A-A-129: Huella hídrica total, azul, verde y gris de los Cítricos, para cada región de Chile.	284
Figura A-A-130: Comparación entre la huella hídrica de los Cítricos en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	285
Figura A-A-131: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región de Valparaíso.	286
Figura A-A-132: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región de Valparaíso... ..	286
Figura A-A-133: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región Metropolitana.	287
Figura A-A-134: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región Metropolitana	288
Figura A-A-135: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región O'Higgins	289
Figura A-A-136: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región de O'Higgins	289
Figura A-A-137: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región del Maule.....	290
Figura A-A-138: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región del Maule.	291
Figura A-A-139: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región de Valparaíso	292
Figura A-A-140: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región del Biobío..... ..	292
Figura A-A-141: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Kiwi, para cada región de Chile.	293
Figura A-A-142: Comparación entre la huella hídrica del Kiwi en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	294
Figura A-A-143: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región Metropolitana.....	295

Figura A-A-144: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región Metropolitana	295
Figura A-A-145: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región de O'Higgins.....	296
Figura A-A-146: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región de O'Higgins	297
Figura A-A-147: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región del Maule.....	298
Figura A-A-148: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región del Biobío	299
Figura A-A-149: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región del Biobío.	300
Figura A-A-150: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región de la Araucanía	301
Figura A-A-151: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región de la Araucanía	301
Figura A-A-152: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región de los Lagos	302
Figura A-A-153: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región de los Lagos	303
Figura A-A-154: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Manzano, para cada región de Chile	304
Figura A-A-155: Comparación entre la huella hídrica del Manzano en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	305
Figura A-A-156: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Nogal en la Región de Coquimbo	306
Figura A-A-157: Huella hídrica azul, verde y gris del Nogal en la Región de Coquimbo.	306
Figura A-A-158: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Nogal en la Región de Valparaíso	307
Figura A-A-159: Huella hídrica azul, verde y gris del Nogal en la Región de Valparaíso	308
Figura A-A-160: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Nogal en la Región Metropolitana.....	309
Figura A-A-161: Huella hídrica azul, verde y gris del Nogal en la Región Metropolitana	309

Figura A-A-162: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Nogal en la Región de O'Higgins	310
Figura A-A-163: Huella hídrica azul, verde y gris del Nogal en la Región de O'Higgins .	311
Figura A-A-164: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Nogal, para cada región de Chile	312
Figura A-A-165: Comparación entre la huella hídrica del Nogal en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	313
Figura A-A-166: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región de Coquimbo	314
Figura A-A-167: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región de Coquimbo..	314
Figura A-A-168: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región de Valparaíso.	315
Figura A-A-169: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región de Valparaíso.	316
Figura A-A-170: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región Metropolitana	317
Figura A-A-171: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región Metropolitana .	317
Figura A-A-172: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región de O'Higgins	318
Figura A-A-173: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región de O'Higgins ..	319
Figura A-A-174: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región del Maule.....	320
Figura A-A-175: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región del Maule	320
Figura A-A-176: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Peral, para cada región de Chile	321
Figura A-A-177: Comparación entre la huella hídrica del Peral en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	322
Figura A-A-178: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del maíz en la región de Coquimbo	323
Figura A-A-179: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del maíz en la región de Coquimbo	324
Figura A-A-180: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del maíz en la región de Valparaíso.	325

Figura A-A-181: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Maíz en la región de Valparaíso	325
Figura A-A-182: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Maíz en la región Metropolitana	327
Figura A-A-183: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Maíz en la región Metropolitana	327
Figura A-A-184: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Maíz en la región de O'Higgins	328
Figura A-A-185: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Maíz en la región de O'Higgins	329
Figura A-A-186: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Maíz en la región del Maule	330
Figura A-A-187: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Maíz en la región del Maule	330
Figura A-A-188: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Maíz en la región del Biobío	331
Figura A-A-189: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton del Maíz en la región del Biobío	332
Figura A-A-190: Superficie del Maíz en las regiones con producción de Chile	333
Figura A-A-191: Rendimiento del Maíz en las regiones con producción de Chile	334
Figura A-A-192: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde	335
Figura A-A-193: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Maíz, para cada región de Chile	336
Figura A-A-194: Comparación entre la huella hídrica de Maíz en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	337
Figura A-A-195: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región de Coquimbo	338
Figura A-A-196: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Avena en la región de Coquimbo	339
Figura A-A-197: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región de Valparaíso	340

Figura A-A-198: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Avena en la región de Valparaíso	340
Figura A-A-199: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región Metropolitana	341
Figura A-A-200: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Avena en la región Metropolitana	342
Figura A-A-201: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región de O'Higgins	343
Figura A-A-202: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de avena en la región O'Higgins	343
Figura A-A-203: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región del Maule	344
Figura A-A-204: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Avena en la región del Maule	344
Figura A-A-205: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región del Biobío	345
Figura A-A-206: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Avena en la región del Maule	346
Figura A-A-207: Superficie de la Avena en las regiones con producción de Chile	347
Figura A-A-208: Rendimiento de la Avena en las regiones con producción de Chile	347
Figura A-A-209: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde	348
Figura A-A-210: Huella hídrica total, azul, verde y gris de la Avena, para cada región de Chile	349
Figura A-A-211: Comparación entre la huella hídrica de la Avena en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	350
Figura A-A-212: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región de Coquimbo	351
Figura A-A-213: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Trigo en la región de Coquimbo	352
Figura A-A-214: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región de Valparaíso	353

Figura A-A-215: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Trigo en la región de Valparaíso	354
Figura A-A-216: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región Metropolitana	355
Figura A-A-217: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Trigo en la región Metropolitana	355
Figura A-A-218: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región de O'Higgins	357
Figura A-A-219: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Trigo en la región de O'Higgins	358
Figura A-A-220: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región del Maule	359
Figura A-A-221: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Trigo en la región del Maule	360
Figura A-A-222: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región de Biobío.	361
Figura A-A-223: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de Trigo en la región del Biobío	361
Figura A-A-224: Superficie del Trigo en las regiones con producción de Chile	363
Figura A-A-225: Rendimiento del Trigo en las regiones con producción de Chile	363
Figura A-A-226: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde	364
Figura A-A-227: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Trigo, para cada región de Chile	365
Figura A-A-228: Comparación entre la huella hídrica de la Trigo en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	366
Figura A-A-229: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Papa en la región de Coquimbo	367
Figura A-A-230: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la papa en la región de Coquimbo	368
Figura A-A-231: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región de Valparaíso	369

Figura A-A-232: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la papa en la región de Valparaíso	369
Figura A-A-233: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región Metropolitana	370
Figura A-A-234: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la papa en la región Metropolitana	371
Figura A-A-235: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región de O'Higgins	372
Figura A-A-236: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la papa en la región de O'Higgins	373
Figura A-A-237: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región del Maule	375
Figura A-A-238: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la papa en la región del Maule	375
Figura A-A-239: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región del Biobío	377
Figura A-A-240: Huella hídrica azul, verde y gris en m ³ /ton de la papa en la región del Biobío	377
Figura A-A-241: Superficie de la Papa en las regiones con producción de Chile	379
Figura A-A-242: Rendimiento de la Papa en las regiones con producción de Chile	380
Figura A-A-243: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde	381
Figura A-A-244: Huella hídrica total, azul, verde y gris de la Papa, para cada región de Chile	382
Figura A-A-245: Comparación entre la huella hídrica de la Papa en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	383
Figura A-A-246: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Atacama	384
Figura A-A-247: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Atacama	384
Figura A-A-248: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Coquimbo	385
Figura A-A-249: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Coquimbo	386

Figura A-A-250: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Valparaíso	387
Figura A-A-251: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Valparaíso	387
Figura A-A-252: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región Metropolitana.....	388
Figura A-A-253: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región Metropolitana	389
Figura A-A-254: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de O'Higgins.....	390
Figura A-A-255: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de O'Higgins	390
Figura A-A-256: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región del Maule.....	391
Figura A-A-257: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región del Maule... ..	392
Figura A-A-258: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región del Biobío.....	393
Figura A-A-259: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región del Biobío	393
Figura A-A-260: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de la Araucanía.....	394
Figura A-A-261: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de la Araucanía	395
Figura A-A-262: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de los Ríos.....	396
Figura A-A-263: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de los Ríos	396
Figura A-A-264: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Aysén.....	397
Figura A-A-265: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Aysén	398
Figura A-A-266: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Magallanes	399
Figura A-A-267: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Magallanes	399

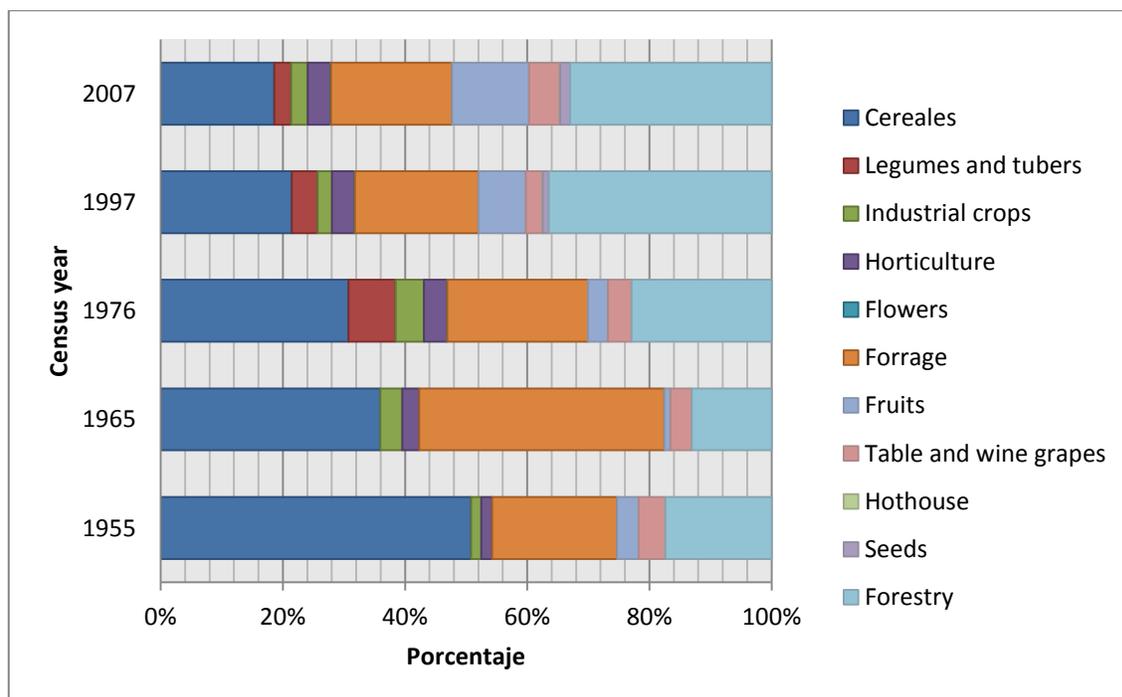
Figura AA-268: Huella hídrica total, azul, verde y gris de La Alfalfa, para cada región de Chile	400
Figura A-A-269: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región de Coquimbo	401
Figura A-A-270: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región de Coquimbo	402
Figura A-A-271: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región de Valparaíso	403
Figura A-A-272: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región de Valparaíso	403
Figura A-A-273: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región de Metropolitana.....	404
Figura A-A-274: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región Metropolitana.....	405
Figura A-A-275: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región de O'Higgins.....	405
Figura A-A-276: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región de O'Higgins.....	406
Figura A-A-277: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región del Maule.....	407
Figura A-A-278: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región del Maule	407
Figura A-A-279: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región del Biobío	408
Figura A-A-280: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región del Biobío	409
Figura A-A-281: Huella hídrica azul, verde, gris y total de la Uva vinífera para cada región de Chile	410
Figura A-A-282: Comparación entre la huella hídrica de la Uva vinífera en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)	411
Figura A-A-283: Huella hídrica total del Eucaliptus y Pino en la Región de Valparaíso, para 10 años de producción.....	412

Figura A-A-284: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de O'Higgins, para el 2007.....	413
Figura A-A-285: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región del Maule, para 10 años de producción.	414
Figura A-A-286: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región del Biobío, para 10 años de producción	415
Figura A-A-287: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de la Araucanía, para 10 años de producción.....	416
Figura A-A-288: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de los Ríos, para el 2007	417
Figura A-A-289: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de los Ríos, para 10 años de producción.....	418
Figura A-A-290: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de Aysén, para 10 años de producción	419
Figura A-A-291: Huella hídrica promedio del sector forestal para cada región estudiada	420

1. RESUMEN EJECUTIVO

La geografía de Chile provee al país con una gran variedad de condiciones climáticas y un gran número de ríos cortos que corren desde la Cordillera de los Andes hasta el Océano Pacífico. La precipitación anual presenta un amplio rango desde un mínimo cercano a cero en la zona norte del país hasta aproximadamente 2.000 mm en el sur.

Desde 1955 ha habido una reducción en la cantidad de tierra dedicada a los cereales, pero un aumento significativo de tierras dedicadas a la silvicultura y las frutas (Figura 1-1). La producción de frutas creció en la zona central del país, mientras que los cereales tradicionales tendieron a concentrarse en el sur. Los productos lácteos y la carne, los cuales dependen de los pastos de secano, se mantuvieron principalmente en el sur. Durante el período de la Reforma Agraria, 1965-1973, hubo poco cambio significativo en el uso de las tierras. Los cambios más grandes en la producción se produjeron después de las reformas estructurales de la década de 1970.



Fuente: Elaboración propia en base a Censos Agropecuarios y Datos ODEPA

Figura 1-1: Evolución del uso de la tierra (hectáreas) en la agricultura chilena

No sólo la composición de la producción ha cambiado a lo largo de las últimas décadas, también la productividad de la tierra ha aumentado de manera significativa. Durante las dos décadas de 1955-1976, los rendimientos por hectárea de los principales cultivos, como la Figura 1-2 demuestra, no cambió considerablemente. Pero en las dos décadas posteriores a 1976, los rendimientos de los principales cultivos aumentaron

significativamente. Por ejemplo, entre 1976 y 1997, el trigo duplicó sus rendimientos y el maíz los triplicó. En el censo de 2007, se encuentran los rendimientos más altos. Algo similar ocurrió en el caso del ganado, especialmente los productos lácteos, donde la producción de leche por vaca ha crecido hasta el punto en que Chile ha pasado de ser un importador a un exportador neto de productos lácteos. Las producciones de aves de corral y de carne de cerdo se han industrializado y mostrado un crecimiento muy rápido.

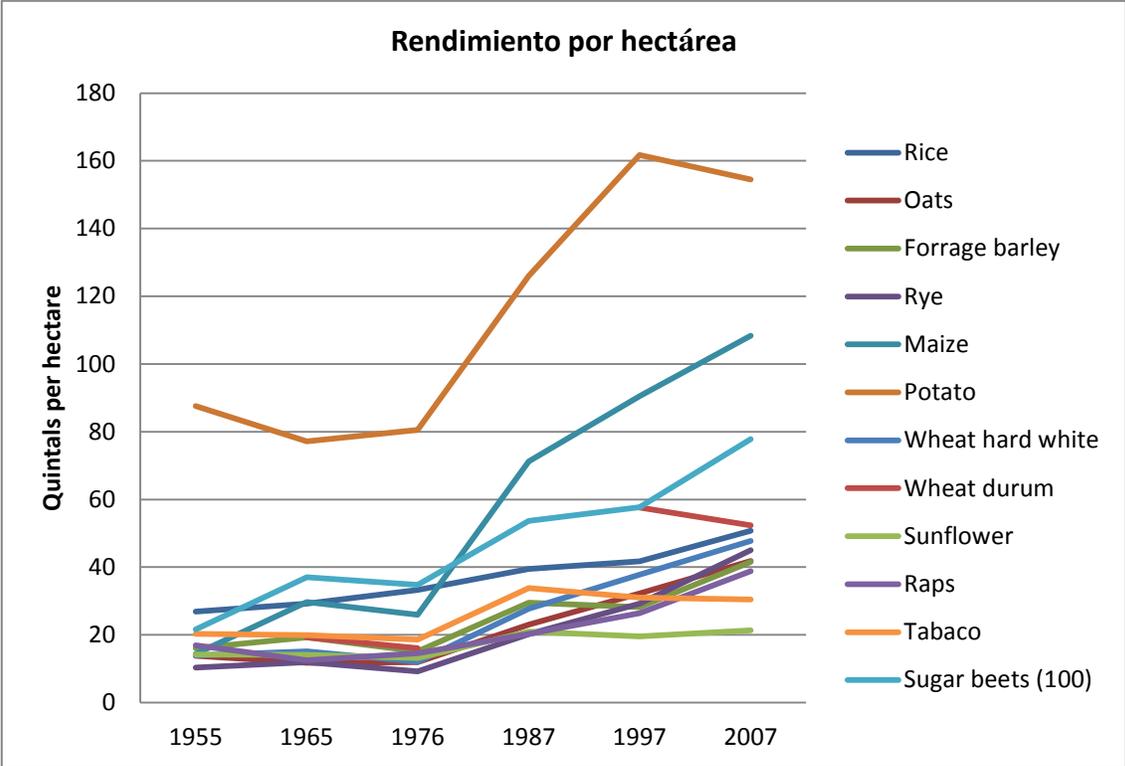


Figura 1-2: Rendimientos promedios por hectárea, cultivos principales, quintales, años censales 1955, 1965, 1976, 1997 y 2007

Este logro en el incremento de los rendimientos obtenido en las últimas décadas, ha permitido a Chile mejorar el factor producción y disponibilidad de alimentos, fundamental en la seguridad alimentaria.

En el contexto mundial, Chile en su conjunto puede considerarse un país privilegiado en materia de recursos hídricos. La "escorrentía media total", es decir, el volumen de agua procedente de las precipitaciones, que escurre por los cauces superficiales y se manifiesta en los escurrimientos y embalses subterráneos, equivale a una media de 53.000m³/persona/año.

Sin embargo, cuando se analiza regionalmente la disponibilidad hídrica por persona se percibe una realidad muy distinta. Es así como se observa que desde Santiago al norte

prevalecen las condiciones áridas; la media de disponibilidad de agua está por debajo de los 800m³/persona/año, mientras al sur de Santiago supera los 10.000m³/persona/año

Respecto a los recursos subterráneos de Chile, se estima que la recarga media anual de los acuíferos desde la Región Metropolitana al norte es de aproximadamente 55m³/s, mientras que la recarga sería alrededor de 160 m³/s entre las regiones del Maule y Los Lagos¹. Además, los datos disponibles indican que la utilización efectiva de las aguas subterráneas alcanza, en promedio, 88m³/s. Por lo anterior, en la mayoría de las regiones del norte del país, se presenta un uso no sustentable de las aguas subterráneas.

La estimación de extracción total de agua en Chile es de 4.710 m³/s, de los cuales el 89% corresponde a los usos no consuntivos (generación hidroeléctrica) y 11% a usos consuntivos (actividades productivas que no tienen la obligación de devolver las aguas). De los usos consuntivos del agua, las extracciones de agua para el riego de la agricultura representan el 77,8% del total, siendo el principal usuario consuntivo del agua. Le sigue en importancia las extracciones consuntivas para la industria (9%), minería (7%) y el sector sanitario y saneamiento (6%).

Es importante destacar que todos los usos consuntivos de agua han aumentado en un 13% entre 1990 y 2010, por lo que se ha incrementado la escasez relativa del recurso, particularmente en las cuencas del norte del país. El sector industrial es el que presenta el mayor crecimiento, aumentando en un 79%, seguido del sector sanitario con un 48% y la minería con un 46%.

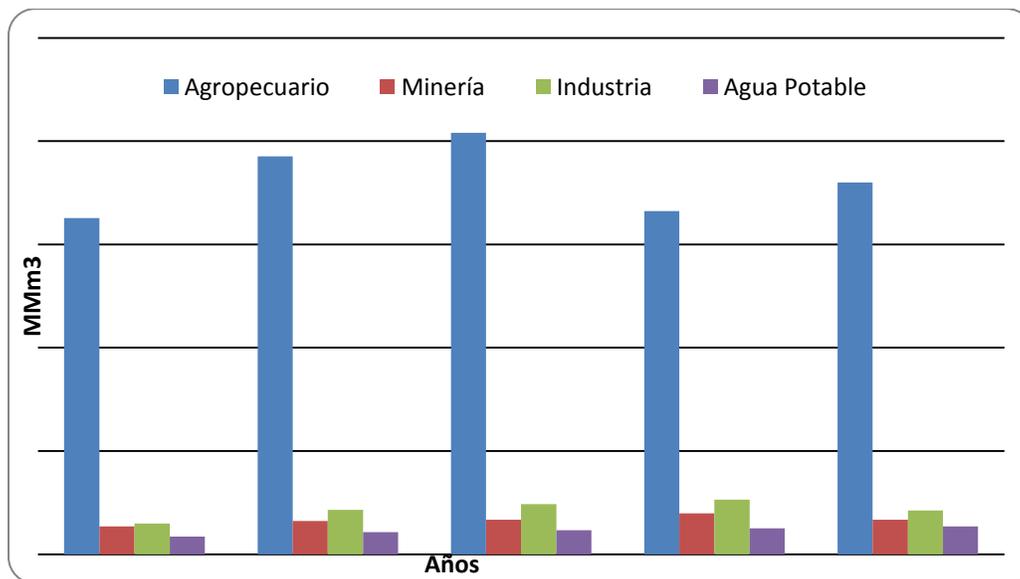
A través del balance hídrico se identifica que a lo largo del país, existen zonas en las cuales las disponibilidades hídricas son abundantes, por lo que se podría aseverar que, en promedio, el país cuenta con mayores disponibilidades de recursos hídricos que los utilizados. No obstante, al revisar la situación regional, la imagen cambia, ya que de la Región Metropolitana hacia el norte, hay una presión importante sobre los recursos hídricos, en donde las demandas de agua superan el caudal disponible, generando una situación de sequía hidrológica permanente. Esto último se explica principalmente por el uso de los caudales de retorno y en algunos casos, por la sobre-explotación de los acuíferos. No obstante, la relación extracción/disponibilidad de agua se presenta favorable entre las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins y la Araucanía, y de la región de Los Lagos al sur, la disponibilidad de agua supera ampliamente el uso.

Estas sequías hidrológicas en Chile aumentarán al considerar las proyecciones de cambio climático. Estas proyecciones indican una señal robusta que la temperatura aumentará en todo el territorio nacional aproximadamente unos 2° C. Las proyecciones de pluviometría, en cambio, son mixtas, ya que en el extremo norte se proyectan aumentos en las precipitaciones pero para la gran mayoría del territorio se esperan disminuciones en las lluvias.

¹ Es importante destacar que no se cuenta con información ni modelos de los acuíferos al sur de la Región Metropolitana.

En un escenario de simulación de las condiciones hidrológicas proyectadas para el periodo futuro 2070-2100, se concluye que la cobertura de demanda de agua para todos los usos consuntivos disminuye ostensiblemente debido a un cambio relevante en la disponibilidad de agua superficial asociada a estos escenarios. Es importante en este sentido incorporar estrategias de adaptación a nivel nacional para prepararse frente a los impactos del Cambio Climático especialmente en sectores altamente sensibles a los cambios climáticos como es el sector agrícola.

En la Figura 1-3 se puede apreciar la relevancia del sector Agropecuario en el consumo hídrico de Chile, sobrepasando en gran medida a los demás sectores con usos consuntivos en el consumo de agua, durante todos los periodos estudiado, sin embargo se debe destacar que en el 2006 existe un menor consumo de agua, debido a que el 2006 fue un año particularmente lluvioso.



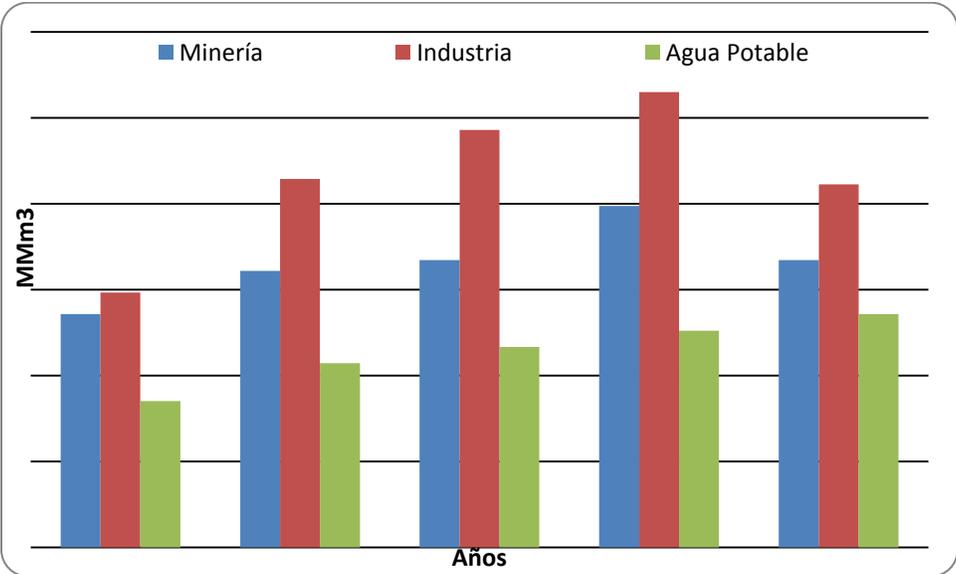
Fuente: Elaboración Propia

Figura 1-3: Consumo de agua de los distintos sectores económicos (uso consuntivo).

Es importante destacar que sin considerar el consumo de agua por el sector Agropecuario el sector Industrial encabeza el consumo de agua de los usos consuntivos en todos los años estudiados. Lo sigue el sector Minero y por último el sector Agua potable (Figura 1-4).

El sector Industrial tiene un consumo de agua superior entre un 20 a 31% del consumo de agua del sector Minero, salvo en 1990 donde el trecho entre Minería e Industrial es solo de 126 MMm³/año, equivalente a un 9% de diferencia entre sus consumos de agua. Por otro lado, el Agua potable posee un crecimiento promedio de consumo de agua de

91,4MMm³/año, único sector con uso consuntivo de agua que ha presentado para todo los años estudiados un crecimiento en el consumo de agua.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 1-4: Consumo de agua de los distintos sectores económicos con usos consuntivos, sin considerar sector Agropecuario

En la Tabla 1-1, se aprecian las huellas hídricas obtenidas para los sectores económicos más importantes de Chile y sus valores de productividad aparente del agua asociadas. De esta Tabla y de la Figura 1-5, se desprende que la Energía sobrepasa en gran medida los usos consuntivos del agua de Chile, con un valor de huella hídrica de 126.057,15 MMm³/año; a su vez, representa el menor valor de productividad aparente del agua, lo cual indica el bajo valor económico del agua de uso energético.

Tabla 1-1: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua para los distintos sectores económicos de Chile.

Sector	Huella Hídrica (MMm ³ /año)	Productividad Aparente del Agua (US\$/m ³)
Silvoagropecuario	16.734,04	0,27
Minero	1.979,7	4,43
Industrial	2.644,2	7,38
Agua potable	1.265,67	2,39
Energía	126.057,15	0,02

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración Propia

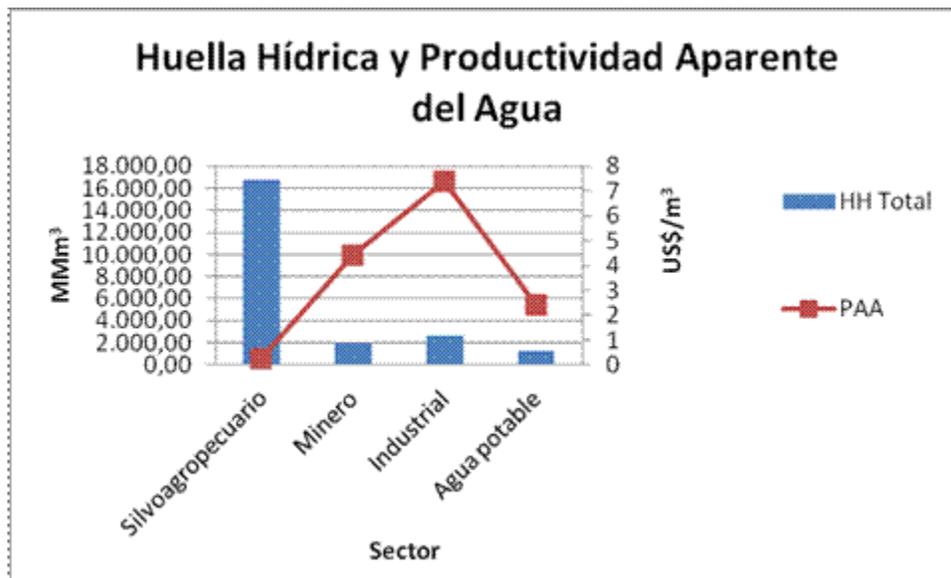
Figura 1-5: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de los distintos sectores económicos.

Como se aprecia en la Figura 1-5, en Chile ocurre que los sectores económicos con mayor uso de agua son aquellos que presentan una menor productividad aparente del recurso hídrico y viceversa, exceptuando el caso de la Industria, en que si bien no posee una Huella hídrica despreciable, el valor del agua para este caso es muy superior al resto de los sectores.

Dejando a un lado los usos no consuntivos del agua, representados por la Energía, se puede apreciar en la Figura 1-6, que el sector Silvoagropecuario representa el mayor valor de Huella hídrica de los usos consuntivos con un valor de 16.734MMm³/año, siendo 633% mayor al valor de huella hídrica del sector Industrial, que corresponde al siguiente valor más alto de huella hídrica en Chile. Si bien el sector Minero, Industrial y Agua potable poseen Huellas Hídricas relativamente similares, la productividad aparente de cada sector varía considerablemente.

El sector Industrial posee una Huella Hídrica de 2.644,2MMm³/año, correspondiente al 11,7% de la Huella Hídrica de los usos consuntivos estudiados. Su productividad aparente del agua es de US\$7,38/m³, determinada principalmente por el alto valor económico del sector Industrial, representando más del doble del valor económico del agua del sector Minero.

La Minería posee una Huella Hídrica de 1.979,7 MMm³/año, igual al 8,8% de la Huella Hídrica de los usos consuntivos del agua, y con una productividad aparente del agua de US\$4,43/m³, determinado también por el alto valor económico del agua de la Minería de US\$8.769,03 millones.

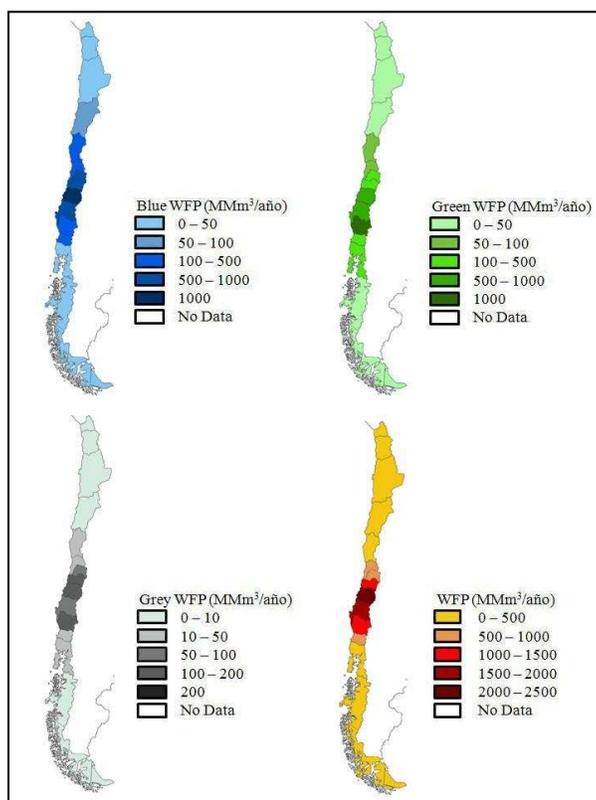


Fuente: Elaboración Propia

Figura 1-6: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de los sectores económicos con usos consuntivos del agua.

Por último la Huella Hídrica del sector Agua potable equivale a 1.265.67Mm³/año, valor que corresponde al 5,6% de la Huella Hídrica de los usos consuntivos, con un valor de productividad aparente de US\$2,39/m³.

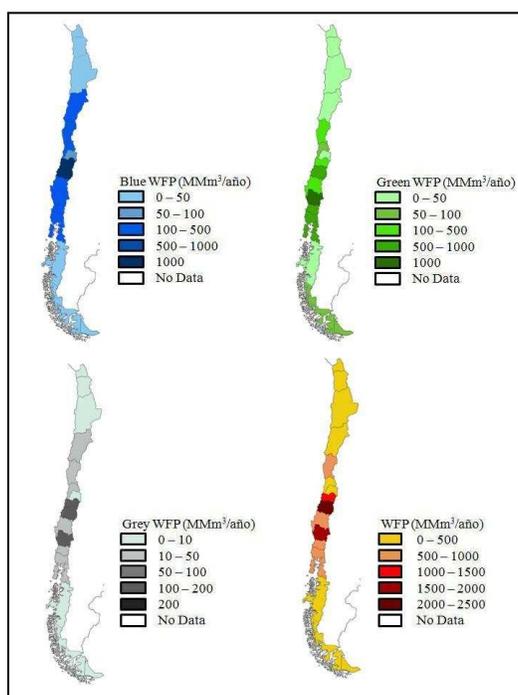
La huella hídrica del sector agrícola se concentra en las regiones de O'Higgins hasta la Araucanía. En estas regiones el volumen de agua utilizada es de 6.676,74 millones de m³/año, que corresponde al 70,2% del volumen de agua utilizada en el sector agrícola a nivel nacional. En la Figura 1-7, se aprecia que los valores de 500 a 2.500 MMm³/año de huellas hídricas silvoagropecuarias total se concentran en las regiones de Valparaíso hasta los Ríos. En relación a la huella hídrica azul se presenta el rango mayor, sobre los 1.000MMm³/año en la Región del Maule, con 1.533,85MMm³/año. En la Región Metropolitana, O'Higgins y Biobío se dan valores entre los 500 a 1.000MMm³/año, disminuyendo hacia los extremos del país. El mayor rango de huella hídrica verde se produce en la Región de la Araucanía, que representa el 30,5% de la huella hídrica verde, con un valor de 1.073,7MMm³/año, a su vez la Región del Maule y Biobío poseen valores mayores de huella hídrica verde, con 610,4MMm³/año y 636,4MMm³/año respectivamente, disminuyendo nuevamente hacia los extremos del país.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 1-7: Huella hídrica azul, verde, gris y total del sector agrícola en Chile

La huella hídrica del sector agrícola per cápita a nivel nacional es de 572,8m³/habitante al año, del cual la huella hídrica azul representa 310,2m³/habitante al año, la huella hídrica verde de 212,2m³/habitante al año y la huella hídrica gris de 45,1m³/habitante al año (Figura 1-8).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 1-8: Huella hídrica azul, verde, gris y total per cápita del sector agrícola en Chile

La Región del Maule presenta la mayor huella hídrica per cápita en el sector agrícola de 2.389,3m³/habitante al año; seguida por la Región de la Araucanía con 1.540,8m³/habitante al año. Otra región destacada por el alto nivel de huella hídrica per cápita en el sector agrícola es la región de O'Higgins con 1.370,4m³/habitante al año.

Respecto a la huella hídrica azul per cápita, la Región del Maule presenta el mayor valor con 1.566,8m³/habitante/año, seguida por la Región de O'Higgins con 1.020,2m³/habitante/año, sobrepasando en un 405% y 229% el valor de huella hídrica azul per cápita de Chile. La Región de Atacama y el Biobío también sobrepasan la huella hídrica azul per cápita de Chile del sector agrícola. En relación a la huella hídrica verde per cápita, la Región del Biobío presenta el mayor valor, equivalente a 1.139,8m³/habitante/año, el cual es más de cuatro veces mayor a la huella hídrica verde per cápita de Chile del sector agrícola. Se debe considerar que la Región del Maule, Biobío y los Ríos en conjunto con los Lagos también presentan huellas hídricas verde per cápita superiores a la huella hídrica verde per cápita de Chile en el sector agrícola. Por último la huella hídrica per cápita gris del sector agrícola en la Región de O'Higgins, Maule, Biobío y Araucanía es mayor a la huella hídrica per cápita de Chile del sector agrícola. La Región del Maule posee una huella hídrica gris per cápita de 199,1m³/habitante/año, que es 341% mayor a la huella hídrica gris per cápita, a su vez, la Región de O'Higgins posee una huella hídrica gris per cápita de 184,5m³/habitante/año que sobrepasa en un 309% la huella hídrica gris per cápita de Chile del sector agrícola.

Las medidas o indicadores de la seguridad alimentaria en Chile han mejorado constantemente desde hace décadas. En cuanto a los indicadores agregados, Chile ha experimentado un continuo incremento en el consumo per cápita de calorías, proteínas y grasas. Las últimas estadísticas de la FAO indican que durante el período entre 2006 y 2008, el promedio de consumo per cápita de energía era considerado alto, 2.960 cal/día. Los efectos esperados del desarrollo económico y el crecimiento de los ingresos son evidentes en los resultados de las encuestas que detallan el gasto de los hogares en Santiago, los que están disponibles desde 1978.

La Tabla 1-2 muestra, en todos los niveles de ingresos, la constante disminución de los gastos de los hogares destinados a la alimentación.

Tabla 1-2: Gastos mensuales de los hogares en alimentos y bebidas por quintil de ingreso (%).

Gastos en alimentos	Totalidad de hogares	Primer quintil, los más pobres	Segundo quintil	Tercer quintil	Cuarto quintil	Quinto quintil, los más ricos
1978	41.9	59.4	56.1	53.2	47.7	32.1
1988	32.9	53	49.4	45.9	39.7	23.2
1997	26.8	43.6	39.5	35.6	29.6	18.3
2007	22.5	36.4	31.8	28.6	23.1	14.7

Fuente: Encuesta sobre gastos en los hogares de Santiago por INE.

En 1978, cuando el PIB per cápita de Chile era de aproximadamente US \$1.900², el porcentaje promedio de gastos de los hogares en alimentos era del 42%, y los promedios de los tres primeros quintiles de ingreso (60% de los hogares) estaban por encima del 50%. En 1997, el PIB per cápita nacional había llegado a US \$ 8.591, o alrededor de 40% del promedio de los miembros de la OCDE en ese momento, y el gasto nacional promedio en alimentos había caído por debajo del 30% y la proporción media del quintil más pobre por debajo de 50%. Para el 2007, el año más reciente para el cual los datos de consumo de gastos están disponibles, el PIB per cápita alcanzó los US \$14.598, el promedio nacional de gasto en alimentos había disminuido alcanzando un 22,5% y los hogares del quintil más pobre destinaron un poco más de un tercio del total de gastos a la

² Estas cifras provienen de la base de datos de World Development Indicators. Las cifras de los ingresos nacionales per cápita son equivalentes en paridad con el poder adquisitivo expresado en dólares internacionales actuales.

alimentación, cuatro puntos porcentuales más que el promedio del quintil más rico tres décadas antes. Hoy, cinco años después, el chileno PIB nacional per cápita es de US \$17.311, la mitad del promedio de la OCDE, y muy probablemente la proporción del gasto total de los hogares en alimentos se ha reducido aún más.

Con estas mejoras en los ingresos y un mejor acceso a los alimentos en los hogares más pobres, el problema de la desnutrición se redujo considerablemente, y hoy en día la desnutrición (más allá de casos excepcionales y específicos) ya no es una preocupación política. Durante más de tres décadas, el Sistema Nacional de Salud Pública del país ha supervisado y asistido niños menores de seis años de edad, para que se pueda monitorear con cierto detalle el estado nutricional cada vez mejorado de los niños. En 1975, casi el 12 por ciento de todos los nacimientos eran de niños con bajo peso, y en 1996 esta proporción se había reducido al 5 por ciento y desde entonces, se ha mantenido estable (aunque con un ligero aumento en 2008) y por debajo del promedio de la OCDE³. La malnutrición de los niños menores de seis años se redujo desde cerca de un 16% (aproximadamente 70% de todos los niños fueron monitorizados) en 1975 a 5% veinte años más tarde. Para el 2009, las tasas de desnutrición fueron menos de la mitad del 1% en todos los quintiles de ingreso. En el quintil más bajo de ingresos, un 3,4% de los niños fueron clasificados como en riesgo de desnutrición, 0,5% como desnutridos, pero el 11,2 % de los niños menores de seis años se consideró con sobrepeso. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) citada por la FAO, en promedio desde el 2000 al 2010, Chile es el país de América Latina y el Caribe con el menor porcentaje de desnutrición en menores de 5 años, equivalente a un 2%, sin embargo presenta un 9,5% de sobrepeso en menores de 5 años, constituyendo el cuarto país con mayor sobrepeso en el rango de países estudiados.

Un estudio de la FAO, en el 2012, muestra la evolución de la inflación en América Latina y el Caribe debido a la repercusión de los precios internacionales sobre las economías de los países. Estas variaciones de los precios afectan directamente el poder adquisitivo de las familias así como el acceso a productos básicos, pudiendo influir en algún grado sobre la seguridad alimentaria de un país. La variación de los precios de alimentos muestra la misma tendencia que la inflación general, pero con caídas y aumentos más pronunciados.

Sólo recientemente, desde la década del 2000, los precios de los productos agrícolas no tropicales y minerales han mostrado una tendencia preocupante a revertir su descenso a largo plazo. La reciente volatilidad de los precios mundiales de productos agrícolas y alimentarios, después de llegar a su punto más alto desde el 2007 al 2008, ha creado una

³ La UNICEF, Estado de la infancia del mundo. Bajo peso al nacer se define como recién nacidos que pesan menos de 2.500 gramos. Las comparaciones internacionales se complican por la forma en la cual se cuentan a los recién nacidos. No solo la definición de "nacido vivo" varía según el país, pero debido a los avances médicos, existen más recién nacidos que sobreviven dentro y fuera del vientre materno para ser incluidos por las estadísticas. En el caso de los países ricos, (Chile esta entrando a este grupo), la interpretación de la comparación de pesos promedios al nacer entre países a través del tiempo es un reto. De hecho, para la mayoría de los miembros de la OCDE, la proporción de niños con bajo peso al nacer ha aumentado desde 1980, casi seguro un reflejo de los avances médicos y efectos de selección en lugar de un deterioro de la salud o estado nutricional de la madre.

preocupación por la seguridad alimentaria en términos generales y específicamente, con respecto a los países en desarrollo⁴. Existe un debate sobre el grado en que los recientes aumentos de precios son el resultado de fundamentos alterados de la oferta y la demanda, o son debido a devaluaciones monetarias competitivas lideradas por Estados Unidos o la Unión Europea, o ambos. Pero las causas subyacentes son menos importantes para la seguridad alimentaria que los impactos a corto plazo de estas alzas sobre el bienestar de los consumidores, especialmente los consumidores pobres, y las acciones de los países en desarrollo para enfrentar grandes facturas de importación de alimentos. La vulnerabilidad de un país ante las alzas de precios depende de los niveles de ingreso, su posición comercial neta, la disponibilidad de reservas de divisas y los ingresos netos provenientes de deudas extranjeras a corto plazo. Hay que distinguir entre la posición del comercio de alimentos de un país y la posición del comercio agrícola. Chile, por ejemplo, depende de las importaciones de alimentos, pero es un exportador neto de productos agrícolas, de productos que no son básicos.

En comparación con algunos países en desarrollo, en Chile la rápida transmisión de estos cambios de precios desde la frontera hasta el consumidor no estaba limitado por frenos de política o de integración del mercado débil; el país se caracteriza por bajos costos de transacción entre los mercados nacionales e internacionales. Pero mientras que Chile es un importador neto de productos alimenticios, dada su riqueza per cápita, no es un país vulnerable a subidas de precios. Por otra parte, en Chile y otras economías en crecimiento, como Brasil, las alzas de precios mundiales en dólares fueron compensados por la apreciación de la moneda local. Es altamente improbable que el país necesite de ayuda financiera o de otro tipo en el caso de un rápido incremento en su factura de importación de alimentos. Sin embargo, la apertura comercial de Chile plantea preguntas acerca de la vulnerabilidad a la volatilidad de precios de productos básicos en los hogares de los consumidores pobres.

⁴ Esta sección se basa en Valdés y Foster (2010).

2. Contexto Nacional

Chile tiene 4.200 km con un ancho medio de 180 km y presenta dos cordilleras montañosas que lo recorren a lo largo y que delimitan la planicie costera y el valle central. La superficie total del país es de 743.800 km², de los cuales el 21.2% es tierra de aptitud agrícola (157.687 km²) y 21.8% es de aptitud forestal (162,148 km²). La mayor parte de la superficie de aptitud agrícola contiene praderas naturales (42%), seguido de plantaciones forestales (22%) y cultivos anuales (11%). Por último, actualmente se estima que Chile cuenta con una superficie de 4.498.060 hectáreas equivalente a un 5.9% de la superficie total del país.

El país se divide administrativamente en 15 regiones y posee una población de aproximadamente 17 millones de personas. El 89% de la población de Chile es urbana, concentrada en la zona central del país en las regiones Metropolitana y de Valparaíso, con un 31% y 9% de la población, respectivamente (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La tasa de crecimiento poblacional de Chile ha presentado significativas disminuciones en las últimas décadas, pasando de una tasa de 2% a comienzo de los 90's a un 1% en 2009 (INE, 2011).

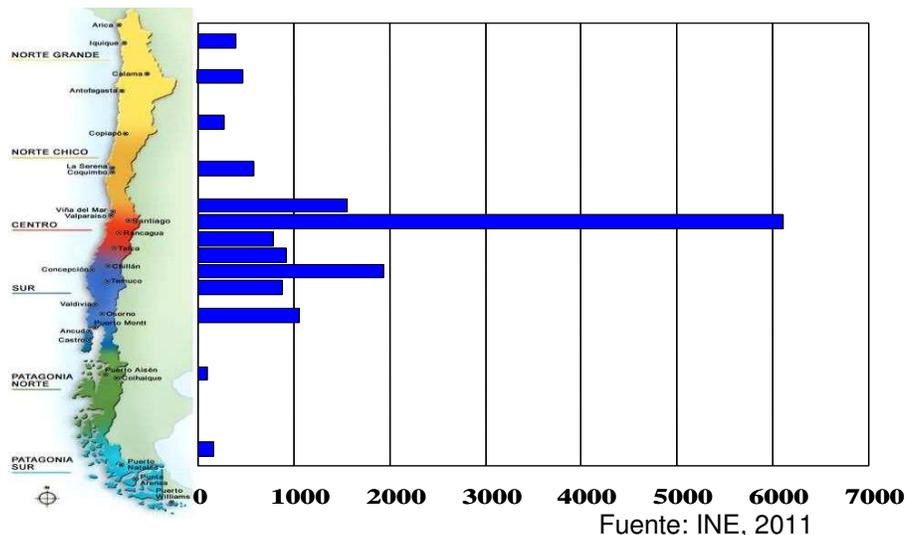


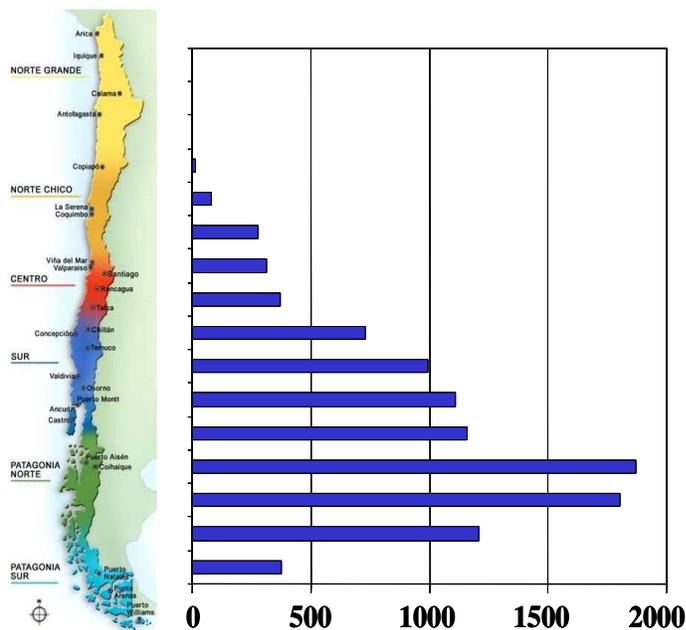
Figura 2-1: Población de Chile

La geografía de Chile provee al país con una gran variedad de condiciones climáticas y un gran número de ríos cortos que corren desde la Cordillera de los Andes hasta el Océano Pacífico. La precipitación anual presenta un amplio rango desde un mínimo cercano a cero en la zona norte del país hasta aproximadamente 2.000 mm en el sur (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

En la zona norte del país como se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, entre las latitudes 18 y 29°S, la suma anual de precipitación no supera los

20mm/año. A partir de esta latitud, la precipitación aumenta hacia el centro del país y en La Serena, Región de Coquimbo, las precipitaciones suelen llegar a los 100 mm/año. Luego, en el sector central de Chile, las precipitaciones presentan niveles cercanos a los 300mm/año. El nivel de pluviometría sigue incrementando hasta que a los 42°S llega a los 2.500mm anuales. Más al sur las precipitaciones disminuyen a niveles de 1000 mm/año y 500 mm/año en la región insular de Aysén y Magallanes, respectivamente (Banco Mundial, 2011; FCCyT, 2012).

En la zona norte las precipitaciones se dan en las zonas más altas del altiplano, alimentando principalmente acuíferos, corrientes efímeras y ríos exorreicos sumamente importantes desde el punto de vista económico, social y ambiental (FCCyT, 2012). En la zona centro existen precipitaciones invernales debido al movimiento del anticiclón del Pacífico y una fuerte acumulación de una cubierta de nieve dominante la cual abastece los principales ríos de las regiones. Más al sur, las precipitaciones no son estacionales, sino que se prolongan casi a lo largo de todo el año. Los ríos de esta zona debido a su flujo anual, son fundamentales en estos términos para Chile (FCCyT, 2012).



Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

Figura 2-2: Precipitaciones medias anuales de Chile (mm/año)

El Instituto de Ingenieros de Chile (2011) clasifica al país en tres sistemas hidrográficos según las precipitaciones:

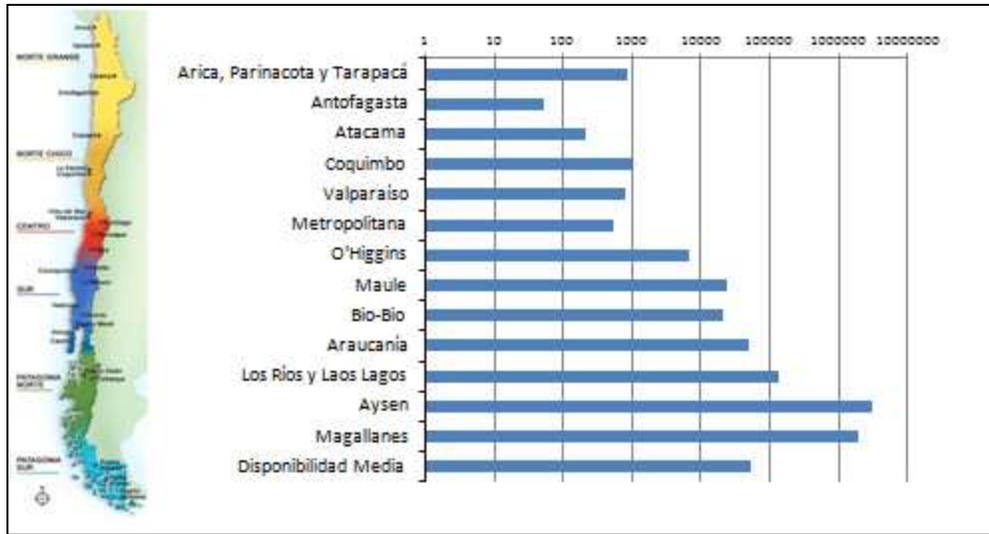
- **Sistema Hidrográfico Pacífico Seco** (Extremo Norte hasta Cuenca Limarí): Presenta escasas precipitaciones, pero con diferencias en su origen según su

ubicación geográfica. En el litoral predomina el efecto de la niebla espesa y baja, conocida como la camanchaca, que aporta agua por su alto contenido de humedad. Hacia el este, existe el desierto sin precipitaciones y cielos regularmente despejados. Hacia la cordillera, sobre los 3.000 msnm, se presenta el invierno altiplánico.

- **Sistema Hidrográfico Chile Central** (Cuenca Choapa por el norte a Bío-Bío por el sur): En esta zona las precipitaciones se concentran en los meses invernales, de mayo a agosto. La cantidad de agua caída anualmente aumenta progresivamente de norte a sur. Esta zona está afectada fuertemente por la variabilidad interanual.
- **Sistema Hidrográfico Pacífico Sur** (Cuenca Imperial hacia el sur): Este sistema presenta precipitaciones más bien continuas y abundantes todo el año, con un máximo entre mayo y julio. A medida que se avanza hacia el sur se observa una tendencia a la existencia de dos meses que presentan los niveles mínimos en las precipitaciones, octubre y febrero.

En el contexto mundial, Chile en su conjunto puede considerarse un país privilegiado en materia de recursos hídricos. La "escorrentía media total", es decir, el volumen de agua procedente de las precipitaciones, que escurre por los cauces superficiales y se manifiesta en los escurrimientos y embalses subterráneos, equivale a una media de 53.000m³/persona/año (Banco Mundial, 2011), valor mayor a la media mundial (6.600m³/persona/año) y muy superior al valor de 2.000m³/persona/año considerado internacionalmente como umbral para el desarrollo sostenible.

Sin embargo, cuando se analiza regionalmente la disponibilidad hídrica por persona se percibe una realidad muy distinta. Es así como en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que desde Santiago al norte prevalecen las condiciones áridas; la media de disponibilidad de agua está por debajo de los 800m³/persona/año, mientras al sur de Santiago supera los 10.000m³/persona/año.



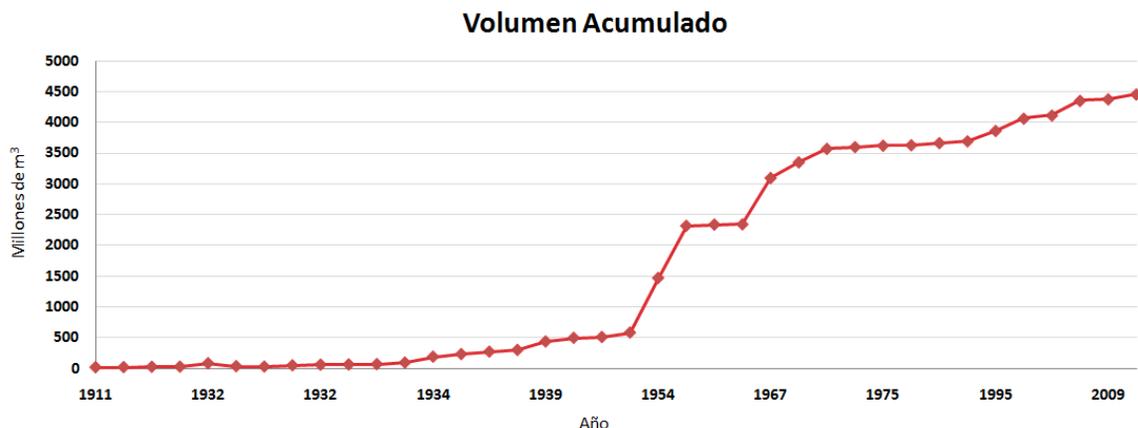
Fuente: Banco Mundial (2011)

Figura 2-3: Disponibilidad Media de Agua por Persona por Año en Chile (m³/persona/año)

En el norte de Chile, entre 17° y 26° latitud sur, los limitados recursos hídricos sustentan unas pocas ciudades costeras, una reducida superficie agrícola y grandes operaciones mineras. A su vez, en la zona centro norte, entre 26° y 33° latitud sur, se presenta una adecuada disponibilidad de agua en los valles que permiten una importante producción agrícola. Grandes embalses han sido construidos para apoyar la actividad agrícola exportadora de esta zona. Esto es particularmente evidente en la Cuenca del Limarí, Región de Coquimbo, que cuenta con tres embalses interconectados con una capacidad de almacenaje de 990 millones de m³. Chile Central, entre 33° y 39° latitud sur, contiene la capital del país, Santiago, y las principales ciudades y zonas industriales. La producción agrícola de esta zona incluye frutas, viñedos y viñas, cereales, forrajes y hortalizas. Los principales productos industriales en esta zona geográfica son alimentos procesados, celulosa y papel, productos químicos, plásticos y en base a petróleo. Además, la zona central de Chile posee la mayor capacidad de generación hidroeléctrica, concentrado en las Regiones del Maule y Bío-Bío. Finalmente, el sur de Chile, al sur de 39° latitud sur, es una zona geográfica húmeda, con una alta cobertura de bosques plantados y presenta una baja densidad poblacional. El riego es incipiente en esta zona que produce productos forestales, cereales, lácteos, cárnicos, papas y remolacha azucarera. Debido a su alta oferta de aguas dulces (lagos) y aguas saladas (estuarios) aptos para la acuicultura, esta zona concentra la producción de salmones. Cepal (2011) estimó que Chile tiene aproximadamente 493 concesiones marinas y 185 concesiones en ríos y lagos para la producción de salmones.

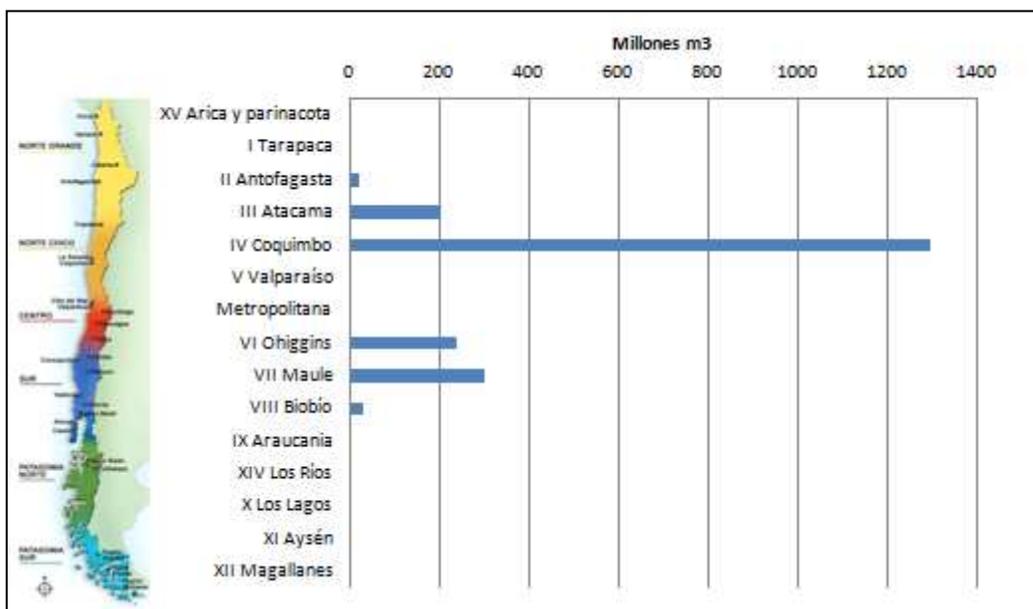
Adicionalmente, la fluctuación interanual de las precipitaciones, muestra una mayor variabilidad de las precipitaciones en las zonas áridas y semiáridas del norte del país (Regiones de Arica-Parinacota por el norte, hasta la Región de Coquimbo por el sur). Al sur de los 37° S, el régimen de precipitaciones se vuelve más homogéneo durante el año. Por lo anterior, sumado a una reducida capacidad de regulación hidrológica interanual

(¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), el régimen hidrológico de Chile es irregular. De acuerdo al régimen fluctuante de precipitaciones en las zonas áridas y semiáridas, así como un régimen más homogéneo de precipitaciones hacía la zona sur, podemos apreciar en la Figura 2-5, la capacidad de almacenamiento de los embalses en las distintas zonas de Chile, concentrando la acumulación de agua para riego en la región de Coquimbo.



Fuente: Banco Mundial (2011)

Figura 2-4: Capacidad de Almacenamiento en los embalses para riego construidos por el Estado (millones de m3)



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2012)

Figura 2-5: Capacidad de almacenamiento en los embalses exclusivamente de riego, en las distintas regiones de Chile (millones de m3).

Respecto a los recursos subterráneos de Chile, el diagnóstico de la situación hídrica de Chile realizado por el Banco Mundial (Banco Mundial, 2011), estimó que la recarga media anual de los acuíferos desde la Región Metropolitana al norte es de aproximadamente 55m³/s, mientras que la recarga sería alrededor de 160 m³/s entre las regiones del Maule y Los Lagos⁵. Salazar (2003) estimó que la utilización efectiva de las aguas subterráneas alcanza, en promedio, 88m³/s. Por lo anterior, en la mayoría de las regiones del norte del país, se presenta un uso no sustentable de las aguas subterráneas.

La estimación del Banco Mundial (Banco Mundial, 2011) de extracción total de agua en Chile es de 4.710 m³/s, de los cuales el 89% corresponde a los usos no consuntivos (generación hidroeléctrica) y 11% a usos consuntivos (actividades productivas que no tienen la obligación de devolver las aguas). De los usos consuntivos del agua, las extracciones de agua para el riego de la agricultura representan el 77,8% del total, siendo el principal usuario consuntivo del agua. Le sigue en importancia las extracciones consuntivas para la industria (9%), minería (7%) y el sector sanitario y saneamiento (6%).

Chile presenta una alta cobertura de agua potable. El año 2010 se suministró agua potable al 99.8% de la población urbana (SISS, 2011) y por lo menos al 72% de la población rural (SISS, 2011). A su vez, la cobertura de saneamiento (alcantarillado y plantas de tratamiento) aumentó significativamente desde 10% en 1990 a más del 80% en 2010 (Banco Mundial, 2011).

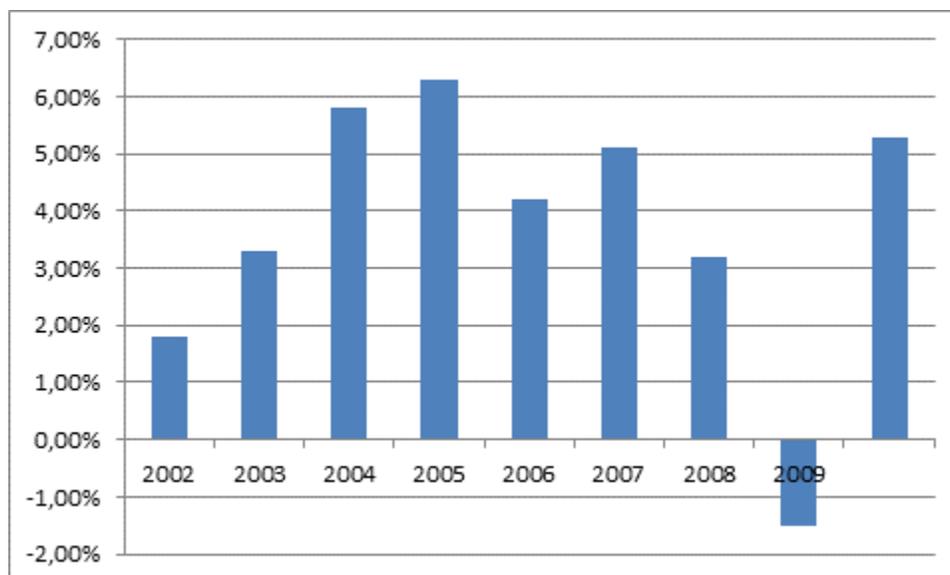
Es importante destacar que todos los usos consuntivos de agua han aumentado en un 13% entre 1990 y 2010, por lo que se ha incrementado la escasez relativa del recurso, particularmente en las cuencas del norte del país. El sector industrial es el que presenta el mayor crecimiento, aumentando en un 79%, seguido del sector sanitario con un 48% y la minería con un 46%.

Considerando la creciente importancia que tiene el recurso hídrico en el desarrollo del país y los desafíos que presenta su gestión, la Dirección General de Aguas (DGA), a mediados del 2011, acordó la elaboración de una nueva Política Nacional de Recursos Hídricos, con el fin de actualizar la Política pre-existente, del año 1999. Esta iniciativa se ha fundamentado en el reconocimiento de los grandes desafíos a los que el recurso hídrico se ha visto enfrentado en estos últimos años, como el aumento de la demanda de agua para diversas actividades productivas y para el abastecimiento de la población; la creciente presión sobre el medio ambiente; y la incertidumbre respecto de la disponibilidad futura del recurso hídrico. Estos desafíos deben ser resueltos para que el país logre una seguridad hídrica, alimentaria y ambiental.

En los últimos 30 años (1980-2010) el Producto Interno Bruto (PIB) real de Chile ha crecido a una tasa anual promedio de 6.2% (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), alcanzando un PIB

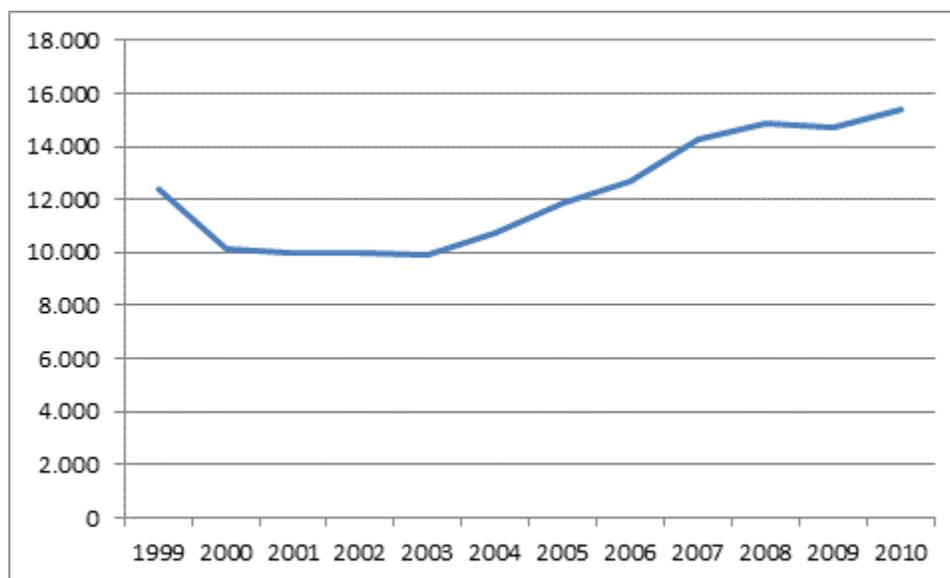
⁵ Es importante destacar que no se cuenta con información ni modelos de los acuíferos al sur de la Región Metropolitana.

per cápita corregido por paridad de poder adquisitivo de US\$ 15.331 en 2010 (Banco Central de Chile, 2011).



Fuente: Banco Central de Chile, 2011

Figura 2-6: Tasa de Crecimiento del PIB Real de Chile (%)



Fuente: Banco Central de Chile, 2011

Figura 2-7: PIB/Cápita Corregido por Paridad de Poder Adquisitivo

La economía chilena se concentra principalmente en exportaciones basada en recursos naturales no-renovables (minería) y renovables (agricultura, acuicultura, pesca y plantaciones forestales), los cuales dependen fuertemente del recurso hídrico (Banco Mundial, 2011). En 2005, los principales sectores económicos, en base a su participación relativa en el PIB, demandantes de agua fueron la industria manufacturera (17%), comercio, restaurantes y hoteles (10%), minería (8%), agropecuario y silvícola (4%) y electricidad, gas y agua (3%). A su vez, durante el 2005 la contribución a las exportaciones de bienes de estos sectores fueron: minería (57%), agropecuario, silvícola y pesquero (7%) e industriales (31%) (Banco Central, 2011).

El comercio internacional de Chile se ha abierto al mundo, gracias a los tratados de libre comercio y convenios que se han negociado en los últimos años, enfocados principalmente a la reducción arancelaria de los productos. Como se indica en la Tabla 1-2 se han realizado avances en el ámbito unilateral, multilateral y bilateral para lograr el nivel de globalización alcanzado actualmente.

Tabla 2-1: Países con acuerdos, tipos de acuerdos de Chile con el Mundo, año de vigencia de los acuerdos, el porcentaje de las exportaciones e importaciones sin arancel y tipo de restricción en el arancel establecido.

Contraparte	Tipo de acuerdo	Inicio de vigencia	Sin arancel 2011		Arancel
			Export.	Import.	
Países ALADI	Acuerdo de alcance parcial (A.A.P) Comercial	1983			No contemplan desgravación, sino preferencias arancelarias.
México	Tratado de libre comercio (T.L.C)	1999	99%	99%	Contempla excepciones permanentes.
Venezuela	Acuerdo de complementación económica (A.C.E)	1993	99%	100%	Contempla excepciones permanentes.
Bolivia	A.C.E	1993			No contemplan desgravación, se otorgan preferencias arancelarias.
Colombia	A.C.E Acuerdo de libre comercio (A.L.C)	1994 2009	98%	10%	Se desmantelaron las excepciones permanentes.
Ecuador	A.C.E	1995 2010	97%	99%	Contempla excepciones permanentes. Considera desgravación inmediata para productos negociados en el A.A.P
Mercosur (Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay)	A.C.E	1996	100%	99%	No contempla excepciones permanentes.
Canadá	T.L.C	1997	98%	64%	Contempla excepciones permanentes.
Perú	A.C.E A.L.C	1998 2009	95%	98%	No contempla excepciones permanentes.

Tabla 2.1: Continuación

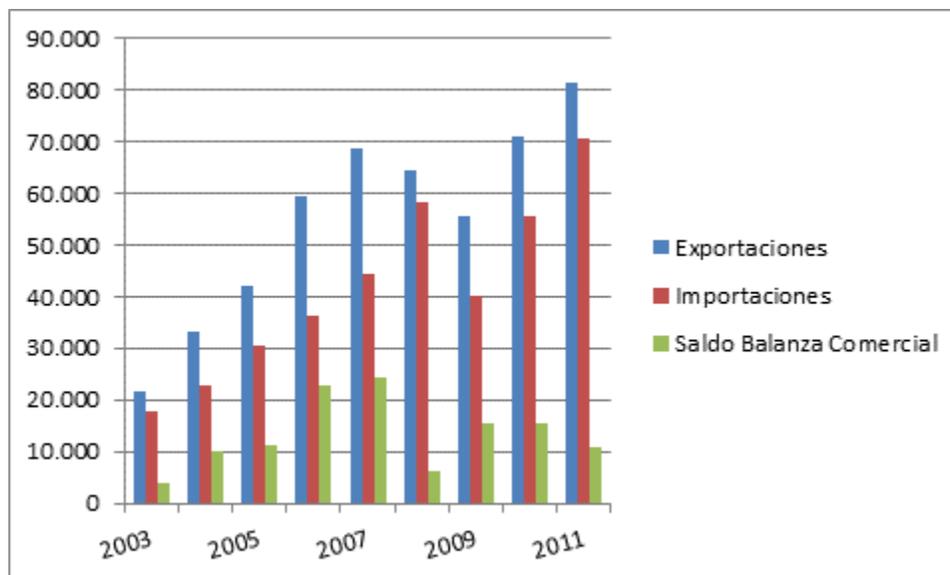
Centro América	T.L.C				
Costa Rica		2002	53%	73%	Incluyen negociaciones.
El Salvador		2002	98%	0%	
Honduras		2008	59%	99%	
Guatemala		2010	33%	1%	
Nicaragua		Pendiente			
					Fin de la negociación.
Cuba	A.A.P	2008			
Unión Europea	Acuerdo de asociación política, económica y de cooperación	2003	88%	88%	Contempla excepciones.
Corea del sur	T.L.C	2004	63%	97%	Contempla excepciones.
Estados Unidos	T.L.C	2004	85%	63%	No contempla excepciones.
AELC (EFTA)	T.L.C	2004			Solo liberación inmediata o preferencias arancelarias. Contempla excepciones.
Suiza			28%	5%	
Liechtenstein			0%		
Noruega			78%	0%	
Islandia			10%		
P4	Acuerdo de asociación económica (A.A.E)	2006			Liberación inmediata y desgravación arancelaria.
Nueva Zelanda			100%	75%	
Singapur			100%	100%	
Brunei					
Darussalam					
India	A.A.P	2007			Contempla excepciones.
Panamá	T.L.C	2008	34%	100%	Contempla excepciones.

Tabla 2.1: Continuación

R.P. China	T.L.C	2006	83%	74%	Contempla excepciones.
Japón	A.A.E	2007	60%	73%	Contempla excepciones.
Australia	T.L.C	2009	98%	99%	Contempla excepciones.
Turquía	T.L.C	2011			Contempla excepciones.
Malasia	T.L.C	2012			Contempla excepciones.
Vietnam	T.L.C	Negociación concluida			
Tailandia	T.L.C	Acuerdo en negociación			
Trans Pacific Partnership	A.A.E	Acuerdo en negociación			

Fuente: Elaboración Propia en base a Prochile (2011) y Odepa (2011)

Las exportaciones totales de Chile al 2011 alcanzan US \$81.411 millones mientras que las importaciones llegan a US \$70.619 millones de dólares, lo que arroja un balance comercial positivo de US \$10.792 millones de dólares (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Las exportaciones en el período 2003 – 2011 han aumentado un 276%, mientras que las importaciones aumentaron en 294% por lo que la balanza comercial aumenta en una menor tasa de 186%.



Banco Central de Chile (2011)

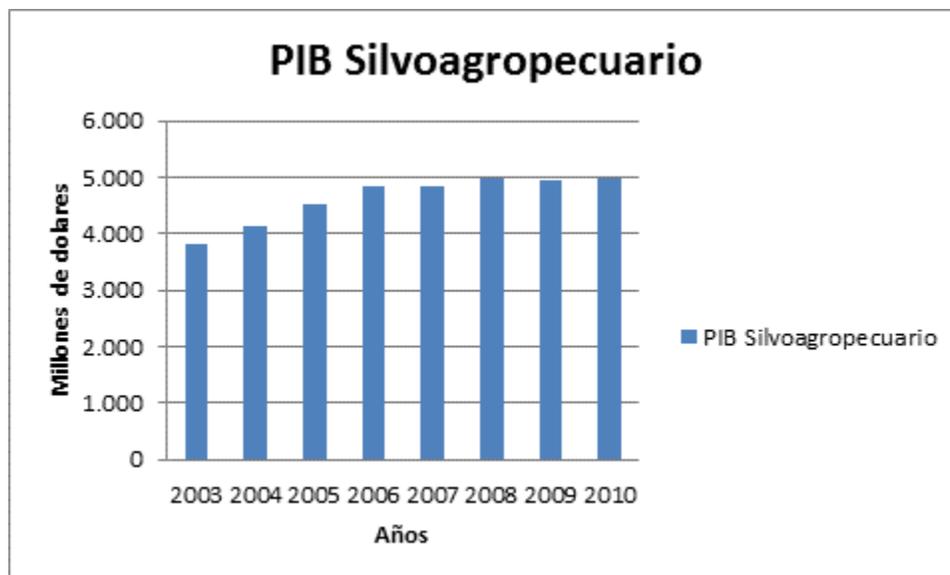
Figura 2-8: Balanza Comercial

A continuación se describe en mayor detalle los sectores económicos importantes de Chile.

2.1. Sector Agropecuario-silvícola

El sector Silvoagropecuario corresponde al 2,8% del PIB nacional, con un PIB de US \$6.123,9 millones medidos el 2011, encadenados al precio del año anterior (Banco Central, 2012). Este sector exporta productos como bienes primarios, que en su conjunto significaron el 22% del valor de las exportaciones de Chile el 2010 (Banco Central de Chile, 2011; ODEPA, 2011) y emplea alrededor del 9% de la fuerza laboral (Encuesta Agrícola, 2009).

El PIB del sector Silvoagropecuario ha crecido en los últimos años, como se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** sin embargo, la tasa de crecimiento a partir del 2006 no ha sido tan alta como en el período comprendido entre el 2003 y 2005, en los cuales los porcentajes de crecimiento del PIB fluctúan entre 6,62 a 8,27%. El crecimiento anual promedio del PIB agrícola entre 2003 y 2010 corresponde a \$US162,05 millones anuales (ODEPA, 2011).



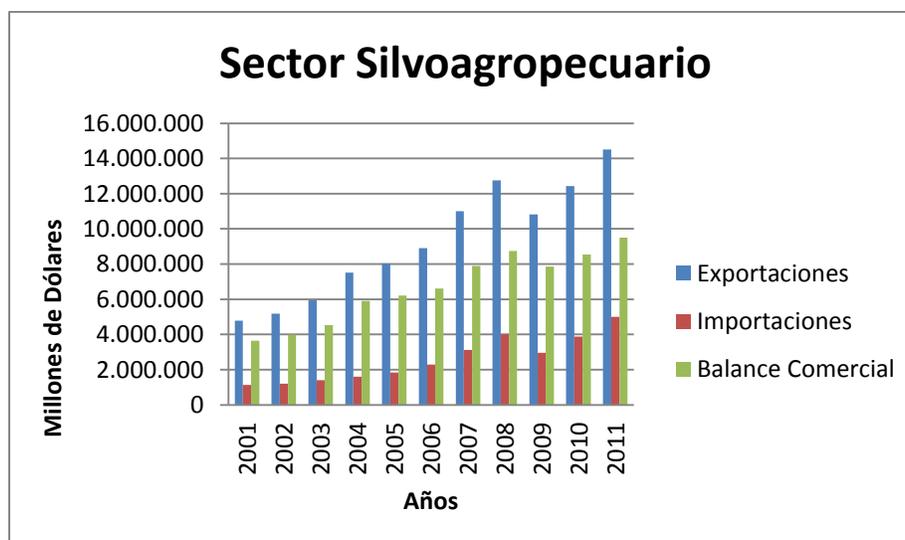
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-9: PIB del sector Silvoagropecuario (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009.

El sector Silvoagropecuario presenta una balanza comercial positiva y creciente durante la última década. Las exportaciones el año 2011 fueron de \$US14.507.186 millones, las importaciones en ese mismo año de \$US5.001.249 millones, arrojando un balance positivo de \$US9.505.937 millones, 38% mayor al valor del balance el año 2001 (Figura 2-10) (ODEPA, 2011).

En la Tabla 2-2 se presenta el valor de las importaciones y exportaciones realizadas a cada zona económica con acuerdos en el mundo, y se aprecia que los productos silvoagropecuarios se exportan en gran medida a los países de la Corporación económica de Asia – Pacífico (APEC), sin embargo el mayor valor de importaciones se asocia en el 2011 a los países de la Asociación latinoamericana de integración (ALADI).

ALADI y Mercosur presentan un balance comercial negativo, sin embargo en la APEC, la Unión Europea (UE) y Acuerdo norteamericano de libre comercio (Nafta), presentan un balance positivo en que los valores de exportación son mayores a los de importación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-10: Exportaciones, importaciones y balance comercial del sector silvoagropecuario.

Tabla 2-2: Balanza comercial Silvoagropecuaria por zona económica (miles de dólares)

Zona económica	2009	2010	2011	Var. 2011/2010
ALADI (1)				
Exportaciones	1.965.692	2.265.103	2.599.897	15%
Importaciones	2.118.076	2.688.297	3.297.911	23%
Balanza	-152.384	-423.194	-698.014	
APEC (2)				
Exportaciones	6.556.100	7.301.178	8.421.848	15%
Importaciones	505.423	785.742	1.116.808	42%
Balanza	6.050.677	6.515.436	7.305.040	12%
UE				
Exportaciones	2.525.178	2.997.478	3.347.761	12%
Importaciones	224.729	318.410	420.824	32%
Balanza	2.300.449	2.679.068	3.347.791	25%
MERCOSUR				
Exportaciones	404.939	563.444	616.379	9%
Importaciones	1.835.615	2.298.532	2.792.572	21%
Balanza	-1.430.676	-1.735.088	-2.176.193	
NAFTA				
Exportaciones	3.390.575	3.721.523	3.906.933	5%
Importaciones	373.945	581.817	807.481	39%
Balanza	3.016.630	3.139.706	3.099.452	-1%

(1) incluye países del Mercosur (Argentina, Brasil, Uruguay, Paraguay), (2) incluye países de Nafta (Canadá, EEUU, México).

Fuente: ODEPA (2012)

Los países principales a los que exporta productos silvoagropecuarios Chile se aprecia en la Tabla 2-3; de ella se aprecia que Estados Unidos, China y Japón son los países a los cuales se exporta mayor valor de productos silvoagropecuarios. Estos países estudiados corresponden al 86% de las exportaciones de Chile, equivalentes a US \$12.127.369 miles.

Tabla 2-3: Principales países de destino de las exportaciones Silvoagropecuarias (miles de dólares FOB).

Países	2009		2010		2011		Var. 2011/2010
	Valor	Part.	Valor	Part.	Valor	Part.	
Estados Unidos	2.589.505	24%	2.806.631	23%	2.865.513	20%	2%
China	1.023.642	9%	944.794	8%	1.375.067	10%	46%
Japón	688.036	6%	787.504	6%	1.025.489	7%	30%
Holanda	595.984	6%	741.791	6%	846.487	6%	14%
México	556.616	5%	641.122	5%	722.568	5%	13%
Corea del sur	443.359	4%	530.872	4%	613.298	4%	16%
Reino Unido	506.581	5%	550.665	4%	596.385	4%	8%
Italia	297.513	3%	438.677	4%	523.456	4%	19%
Alemania	293.749	3%	361.846	3%	409.148	3%	13%
Colombia	218.062	2%	299.001	2%	363.220	3%	21%
Brasil	238.876	2%	336.354	3%	357.779	3%	6%
Perú	245.242	2%	314.560	3%	355.806	3%	13%
Venezuela	395.534	4%	267.992	2%	340.671	2%	27%
Canadá	244.454	2%	273.769	2%	318.851	2%	16%
Taiwán	187.795	2%	253.026	2%	290.667	2%	15%
Francia	245.090	2%	224.422	2%	267.211	2%	19%
Rusia	152.395	1%	224.515	2%	237.173	2%	6%
Hong-Kong	141.862	1%	178.967	1%	215.335	2%	20%
España	187.694	2%	230.204	2%	212.098	1%	-8%
Argentina	123.982	1%	176.998	1%	191.146	1%	8%
Subtotal	9.375.972		10.583.711		12.127.369		15%
% del total	87%		86%		86%		
Total	10.813.744	100%	12.315.251	100%	14.170.829	100%	15%

Fuente: ODEPA (2012)

Por otro lado, los países de donde más se importan productos son Argentina, Estados Unidos, Paraguay y Brasil. Los 20 países indicados en la Tabla 2-4 corresponden al 94% del valor de las importaciones, equivalentes a US \$4.695.085 miles en el 2011.

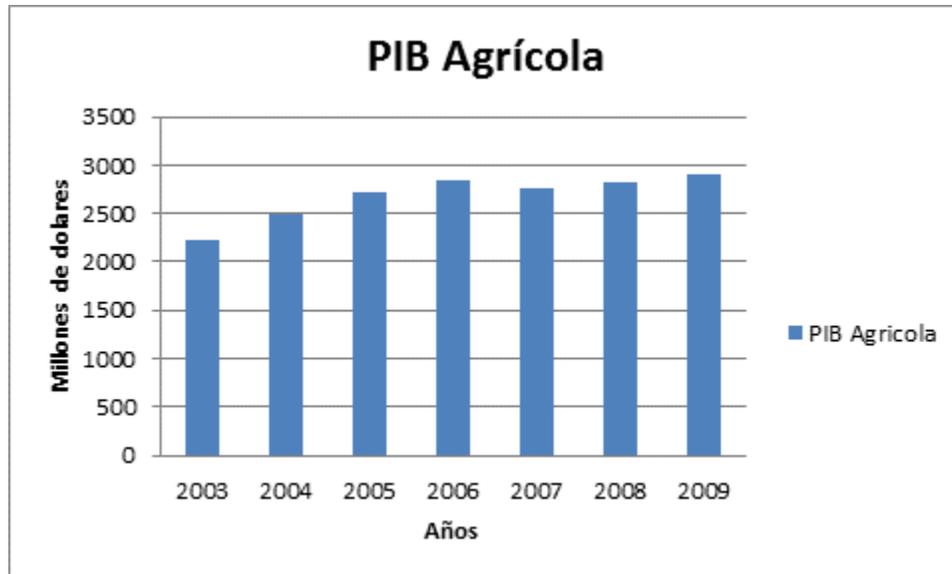
Tabla 2-4: Principales países de origen de las importaciones de productos Silvoagropecuarios (miles de dolares CIF)

Países	2009		2010		2011		Var. 2011/2010
	Valor	Part.	Valor	Part.	Valor	Part.	
Argentina	1.209.686	41%	1.278.247	33%	1.625.948	32%	27%
Estados Unidos	234.872	8%	449.703	12%	594.019	12%	32%
Paraguay	415.169	14%	602.013	15%	584.340	12%	-3%
Brasil	169.176	6%	342.176	9%	498.814	10%	46%
Colombia	72.586	2%	129.363	3%	175.864	4%	36%
Canadá	112.840	4%	92.515	2%	148.655	3%	61%
Guatemala	95.217	3%	77.701	2%	147.175	3%	89%
Ecuador	74.161	3%	89.941	2%	108.996	2%	21%
China	53.969	2%	84.485	2%	106.278	2%	26%
Australia	12.839	0%	24.336	1%	87.954	2%	261%
Uruguay	41.585	1%	76.095	2%	83.471	2%	10%
Bolivia	63.340	2%	70.280	2%	83.141	2%	18%
Francia	53.541	2%	60.530	2%	75.628	2%	25%
Alemania	35.880	1%	64.465	2%	68.016	1%	6%
México	26.234	1%	39.599	1%	64.807	1%	64%
Holanda	30.594	1%	39.243	1%	52.919	1%	35%
Perú	30.940	1%	41.777	1%	52.030	1%	25%
España	22.414	1%	34.273	1%	50.702	1%	48%
Bélgica	17.546	1%	27.914	1%	45.660	1%	64%
Reino Unido	22.747	1%	27.565	1%	40.668	1%	48%
Subtotal	2.795.332		3.652.223		4.695.085		29%
% del total	94%		94%		94%		
Total	2.962.090	100%	3.885.924	100%	5.005.399	100%	29%

Fuente: ODEPA (2012)

2.1.1. Sector Agrícola

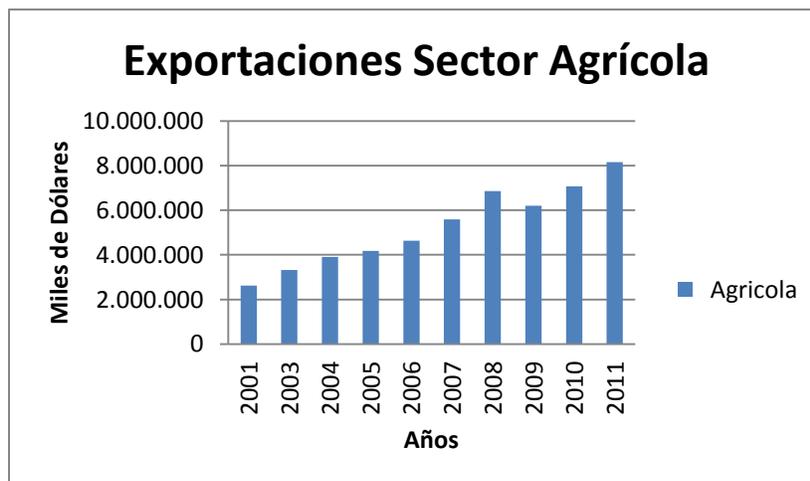
El PIB agrícola llegó el año 2009 a US \$2.909 millones. El crecimiento promedio anual del PIB agrícola ha sido de US \$97,16 millones, con un porcentaje de crecimiento del PIB para el 2009 de 2,7% en relación al año anterior. Como se aprecia en la Figura 2-11 para el sector agrícola, el PIB fue en aumento del año 2003 al 2006, sin embargo el 2007 se produjo una caída del valor del PIB agrícola de 2,65% en relación al 2006, repuntando los años posteriores (ODEPA, 2011).



Fuente: Elaboración propia

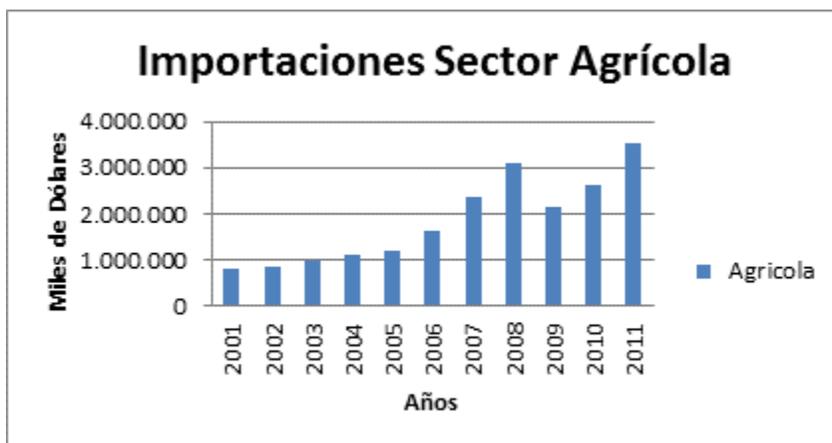
Figura 2-11: PIB del sector agrícola (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009

El sector agrícola ha aumentado sus niveles de exportación progresivamente en los últimos 10 años. La Figura 2-12 muestra que este sector ha pasado de US \$2.628.690 miles el año 2001 a US \$8.156.207 miles el año 2011, aumentando en un 310% las exportaciones en la actualidad y produciéndose la única caída en los valores de las exportaciones el año 2009. Las importaciones se reflejan en la Figura 2-13 donde el valor de las importación varía de \$US807.867 miles el año 2001 a \$US3.514.307 miles el año 2011, con una fuerte baja los años 2009 y 2010. Las importaciones en el sector agrícola aumentaron su valor en un 435% durante los últimos 10 años (ODEPA, 2011).



Fuente: Elaboración propia

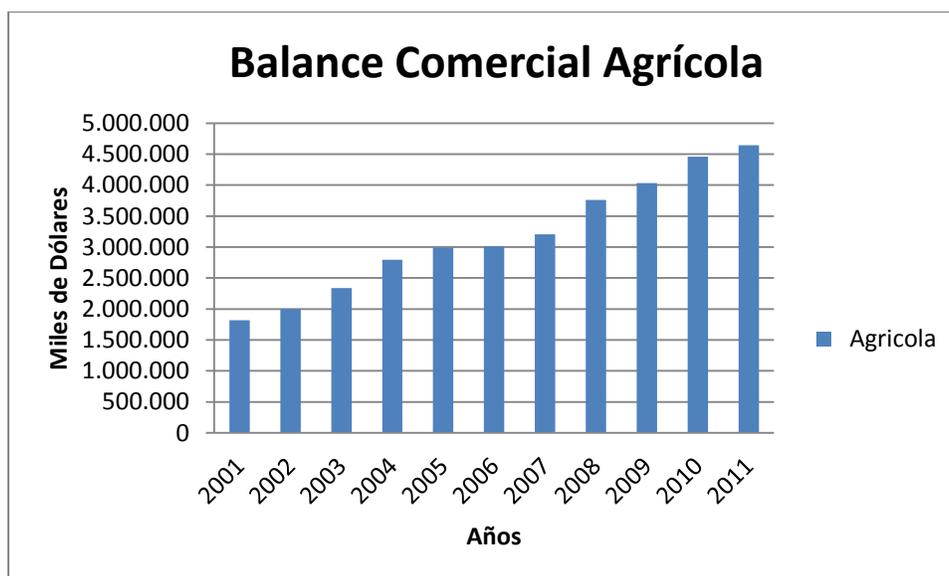
Figura 2-12: Exportaciones del sector agrícola en los últimos 10 años (2001-2011)



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-13: Importaciones del sector agrícola en los últimos 10 años (2001-2011).

El balance comercial del sector Agrícola expresado en la Figura 2-14, indica la relación exportación e importación, en donde los valores de exportación del país para los últimos 10 años estudiados sobrepasan en un 200 a 300% los valores de importaciones, indicando un superávit de las exportaciones del país, que para el 2011 alcanza US \$4.641.900 miles.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-14: Balance Comercial del sector agrícola en los últimos 10 años (2001-2011).

Las superficies de cultivos anuales que incluye especies como Trigo, Avena, Papa, Remolacha y Poroto han disminuido en un 20,6% del 2002 al 2011, siendo compensadas por los aumentos de superficie de cultivos como el Raps, Maíz y Triticale. Por otro lado, las frutas, los vinos y productos forestales también han visto incrementadas sus superficies debido a las ventajas para estos sectores de la apertura comercial.

Tabla 2-5: Superficie destinada a diferentes cultivos a nivel nacional desde el 2003 al 2011.

Cultivos	Año agrícola (hectáreas)								
	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12
Trigo	420.400	419.660	314.720	232.440	270.546	280.644	264.304	271.415	245.231
Maíz	119.320	134.280	123.560	126.236	134.706	128.277	122.547	119.819	139.268
Avena	122.580	76.680	90.190	82.471	97.936	101.101	75.873	105.643	100.936
Papa	59.560	55.620	63.200	54.900	55.976	45.097	50.771	53.653	41.534
Raps	6.060	12.130	13.520	2.988	17.250	25.135	10.983	18.568	32.750
Arroz	24.900	25.050	27.980	21.765	20.960	23.680	24.527	25.121	23.991
Lupino	19.150	25.300	28.490	20.915	15.250	10.283	29.887	23.257	21.467
Remolacha	29.430	31.410	27.670	11.496	14.850	12.870	16.264	20.236	19.495
Triticale	8.048	8.720	8.279	20.007	19.243	17.907	20.964	23.988	19.363
Cebada	11.630	21.530	29.060	18.540	20.623	18.513	16.854	20.184	14.806
Otros cultivos	46.424	41.891	46.128	56.792	31.156	50.936	41.116	37.298	30.364
Total	867.502	852.251	772.797	648.550	698.496	714.443	674.090	719.182	689.205

Fuente: Odepa (2012)

De la Tabla 2-5 se puede apreciar que el Trigo, Maíz y la Avena representan al 70,4% de la superficie total destinada a cultivos el año 2011.

Tabla 2-6: Superficie destinada a diferentes Frutales a nivel nacional desde el 2003 al 2011.

Frutales	Año calendario (hectáreas)								
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Paltos	23.800	24.000	26.731	26.744	26.759	33.837	33.531	34.057	36.388
Manzanos	35.410	36.095	34.820	35.247	34.972	34.963	35.075	35.029	35.030
Ciruelos	14.115	14.460	14.443	14.462	14.889	14.636	18.536	18.651	21.001
Nogal	8.900	9.230	9.616	9.734	10.067	11.135	12.549	15.451	16.254
Olivos	5.850	6.000	5.742	5.795	8.001	8.597	11.985	12.874	15.091
Duraznos	13.015	13.168	12.940	12.942	13.152	13.532	14.951	13.925	13.885
Cerezos	6.990	7.200	7.125	7.621	9.922	10.054	12.468	13.143	13.174
Kiwis	6.600	6.640	6.606	6.707	8.734	8.740	10.769	10.922	10.920
Almendros	6.100	6.200	5.820	5.822	5.827	6.192	6.924	7.617	8.545
Arándanos	1.280	1.320	1.360	3.820	5.664	5.953	6.779	7.876	8.460
Otros frutales	47.482	49.102	44.929	45.991	48.826	49.728	47.913	45.290	45.864
Total	169.542	173.415	170.132	174.885	186.814	197.366	211.480	214.836	224.611

Fuente: Odepa (2012)

En el sector frutal (Tabla 2-6) las superficies destinadas a cada frutal son más parejas. El Palto, Manzano, Ciruelo, Nogal, Olivos, Duraznos, Cerezos, Kiwi, Almendros, y Arándanos constituyen el 95,8% de la superficie de frutales. A su vez, vides viníferas y de mesa corresponden al 94,7% de la superficie de vides en Chile (Tabla 2-7).

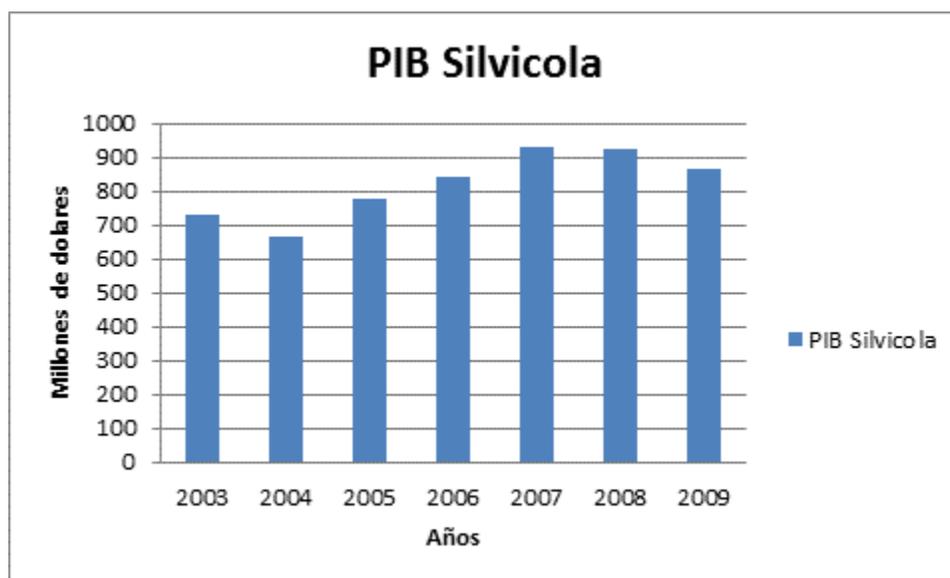
Tabla 2-7: Superficie destinada a Vides a nivel nacional desde el 2003 al 2011.

Vides	Diciembre de cada año (hectáreas)								
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Viníferas	110.097	112.056	114.448	116.796	117.558	119.848	121.924	122.641	122.901
De mesa	52.685	53.426	54.646	54.989	55.119	55.119	55.200	55.000	55.000
Pisqueras	9.853	9.883	10.002	10.063	9.982	9.982	10.001	9.990	10.000
Total	172.635	175.365	179.096	181.848	182.659	184.949	187.125	187.631	187.901

Fuente: Odepa (2012)

2.1.2 Sector Forestal

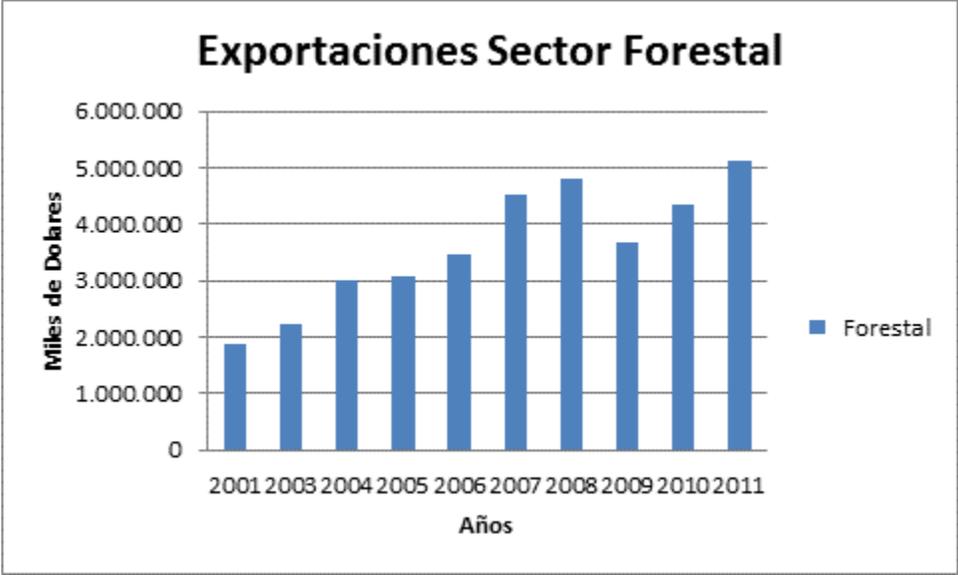
El PIB del sector forestal corresponde a US \$865,3 millones el año 2009. Con un crecimiento anual del PIB de US \$38,4 millones desde el 2003. Es importante considerar que en los últimos dos años estudiados el PIB del sector silvícola ha sido decreciente (Figura 2-15) (Banco Central, 2012).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-15: PIB del sector silvícola (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009.

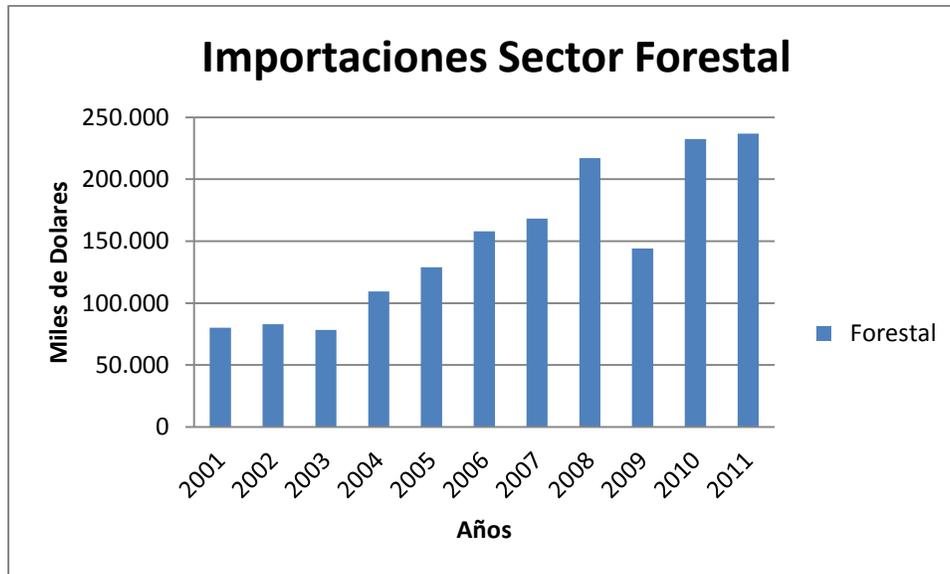
En relación al nivel de exportaciones del sector forestal, la Figura 2-16 muestra que el sector silvícola generó el 2011 US \$5.110.224 miles incrementando en un 270% el valor de las exportaciones en los últimos 10 años, con un crecimiento anual de US \$323.413 miles. Sin embargo se debe apreciar que tanto en el 2005 como en el 2009 se produjo una disminución de los niveles de exportación (ODEPA, 2011).



Fuente: Elaboración propia

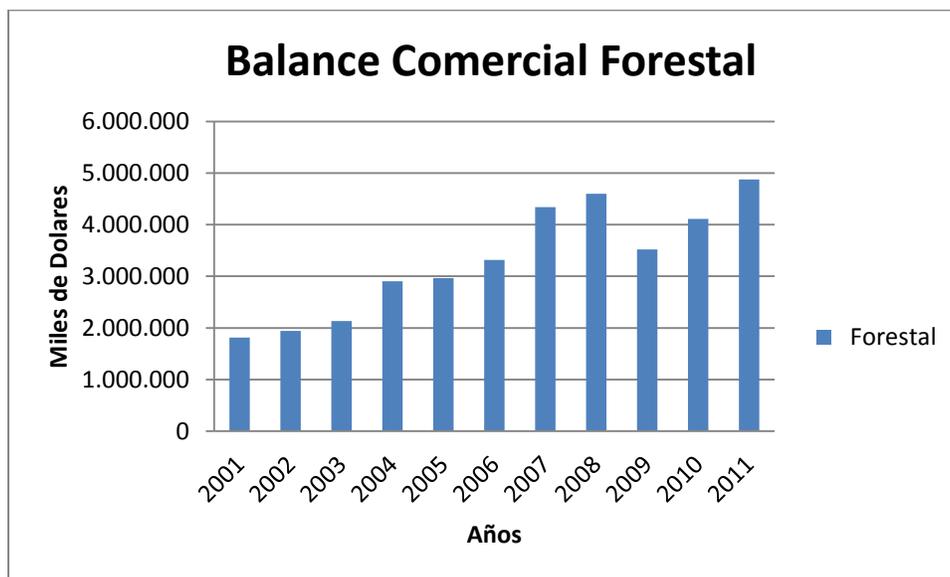
Figura 2-16: Exportaciones del sector forestal en los últimos 10 años (2001-2011)

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** representa las importaciones del sector silvícola, de la cual se desprende que salvo por una fuerte disminución el 2009, las importaciones en general han representado un incremento en su valor. Para el año 2011 el sector silvícola importó \$US236.729 miles, con una tasa de crecimiento de \$US16.653 miles en los últimos 10 años (ODEPA, 2011).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-17: Importaciones del sector forestal en los últimos 10 años (2001- 2011).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-18: Balance comercial del sector forestal en los últimos 10 años (2001-2011).

La Figura 2-18 presenta el balance comercial del sector silvícola, esta figura al igual que en el caso del sector agrícola nos indica que existe un superávit de exportaciones respecto al nivel de importaciones. El año 2011, el balance comercial arrojó el valor de las exportaciones del sector forestal sobrepasan en US \$4.873.495 miles (ODEPA, 2011).

La Tabla 2-8 indica que el Pino radiata y el Eucalipto corresponden en Chile al 92,4% de la superficie utilizada por plantaciones forestales en el año 2010.

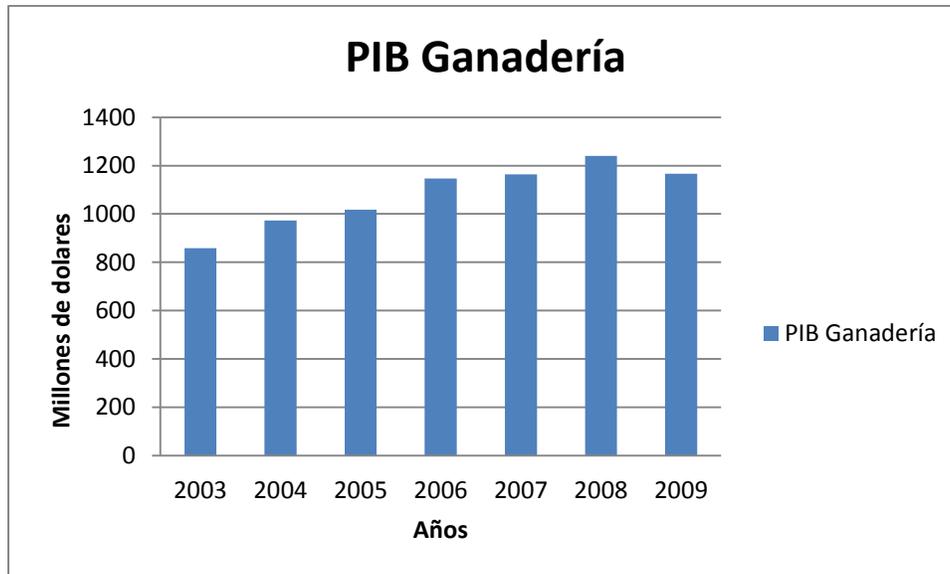
Tabla 2-8: Superficie destinada a plantaciones forestales a nivel nacional desde el 2003 al 2011.

Forestales (plantaciones)	Diciembre de cada año (hectáreas)								
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Pino radiata	1.446.414	1.408.430	1.424.569	1.438.383	1.461.212	1.457.224	1.460.692	1.625.508	n.d
Eucalipto	436.706	489.603	525.057	585.078	638.911	661.388	716.656	797.519	n.d
Atriplex (matorral)	57.615	58.501	58.512	61.781	58.851	59.093	59.590	66.314	n.d
Tamarugo									
Algarrobo	24.539	25.254	25.999	26.415	25.799	25.878	26.129	29.077	n.d
Pino oregón	15.627	16.459	16.769	17.054	16.075	16.676	16.933	18.844	n.d
Álamo	5.084	6.008	5.983	6.173	6.395	6.278	6.738	7.498	n.d
Otras especies	60.445	74.391	78.434	66.701	92.091	73.553	77.823	86.604	n.d
Total	2.046.430	2.078.647	2.135.323	2.201.585	2.299.334	2.300.090	2.354.787	2.620.486	n.d

Fuente: Odepa (2012)

2.1.3 Sector Ganadero

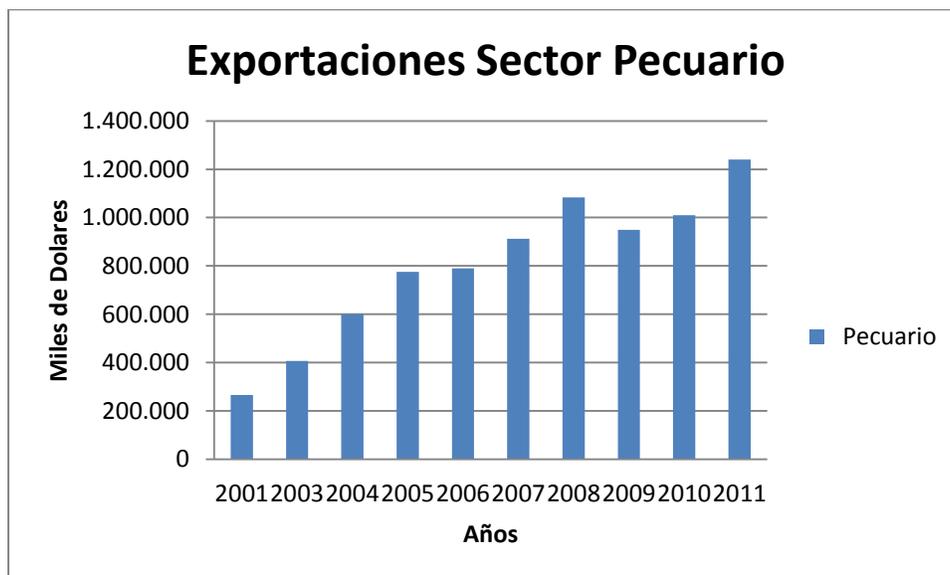
En el sector ganadero el PIB el año 2009 corresponde a US \$1.166,7 millones constituyendo un 23,6% del PIB Silvoagropecuario ese año. El crecimiento anual entre 2003 y 2009 fue de US \$57,2 millones, en este periodo solo del 2008 al 2009 el crecimiento decreció en un 5.9% (Figura 2-19) (Banco Central, 2012).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-19: PIB del sector ganadero (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009.

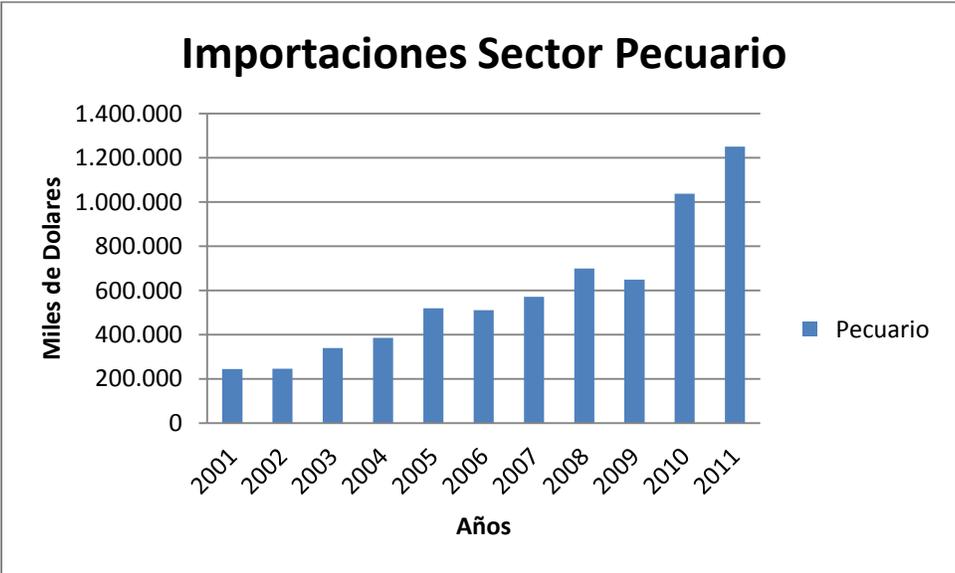
Las exportaciones en el sector pecuario alcanzaron el 2011 un valor de US \$1.240.755 miles. El crecimiento anual de las exportaciones de este sector ha sido en los últimos 10 años de US \$95.757 miles, aumentando en 467% el valor de las exportaciones desde el año 2001 como se aprecia en la Figura 2-20 (ODEPA, 2011).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-20: Exportaciones del sector pecuario en los últimos 10 años (2001-2011).

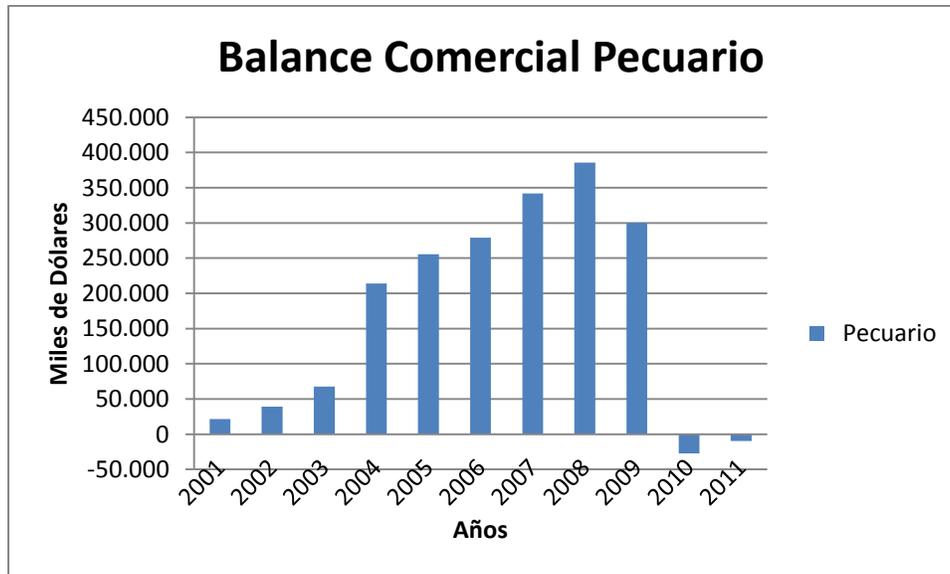
La Figura 2-21, muestra el valor de la importaciones de este sector, indicando que para el año 2011 las importaciones correspondían a US \$1.250.214 miles, aumentando 511% el valor del año 2001, con un crecimiento de US \$89.108 miles anuales (ODEPA, 2011).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-21: Importaciones del sector pecuario en los últimos 10 años (2001-2011).

De acuerdo a los valores de importación y exportación del sector pecuario, el balance comercial que se grafica en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, indica que durante los últimos años el balance ha sido negativo, correspondiendo a –US \$27.016 miles el 2010 y –US \$9.459 miles el 2011, lo cual indica que las exportaciones los últimos años han sido menores a las importaciones (ODEPA, 2011).

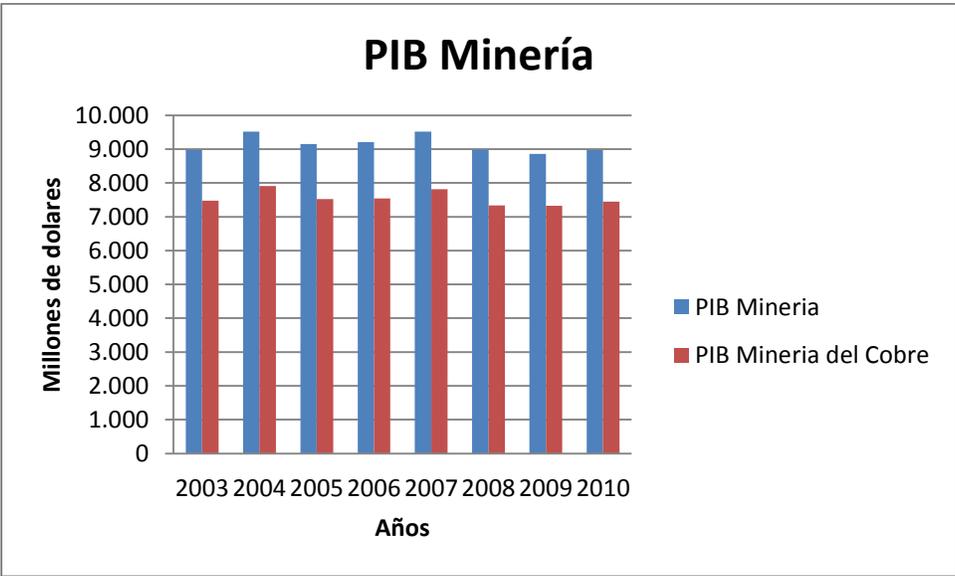


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-22: Balance comercial del sector pecuario en los últimos 10 años (2001-2011).

2.2. Sector Minero

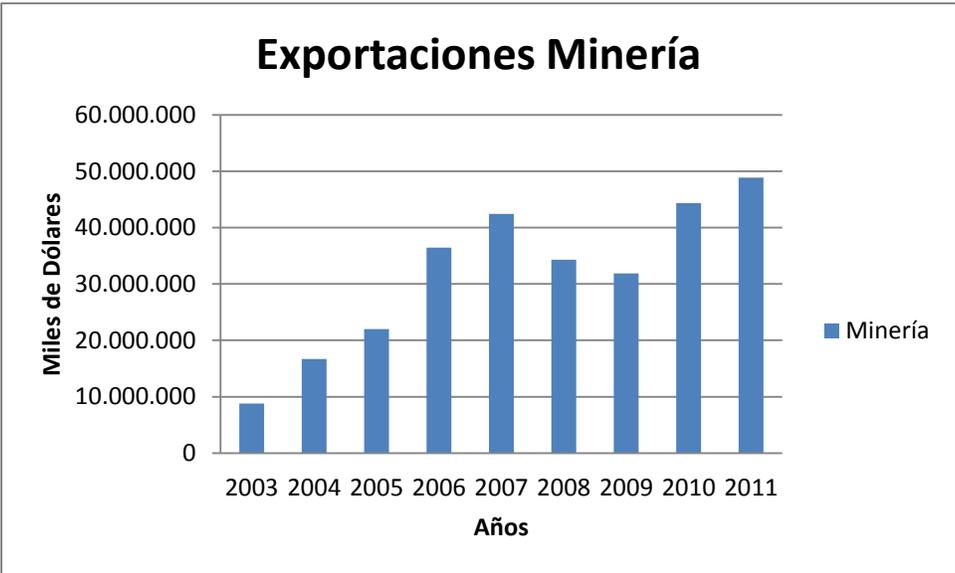
La minería es el sector económico que más contribuye al PIB nacional y a las exportaciones, y es un importante usuario de las aguas en las regiones áridas y semiáridas del país. El ingreso en Chile por conceptos de minería, equivale aproximadamente al 12% del PIB, con un valor de US \$26.014 millones el año 2011 (encadenado a millones de pesos del año anterior), del cual el 90% corresponde a minería del cobre (ODEPA, 2011). La Figura 2-23 muestra una tasa de decrecimiento del sector minero de US \$41,82 millones anuales y los PIB anuales del sector minero desde el año 2003.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-23: PIB del sector minero y de la minería del cobre (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2009.

Las exportaciones del sector minero alcanzaron el año 2011 \$US 48.865 millones, con una tasa de crecimiento anual de \$US 4 millones (Figura 2-24).

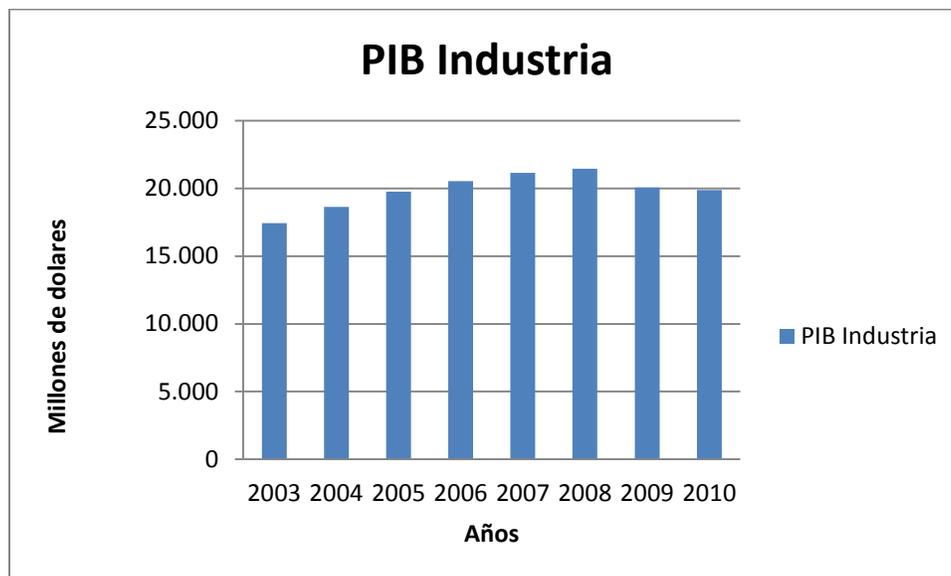


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-24: Exportaciones sector minero

2.3. Sector Industrial

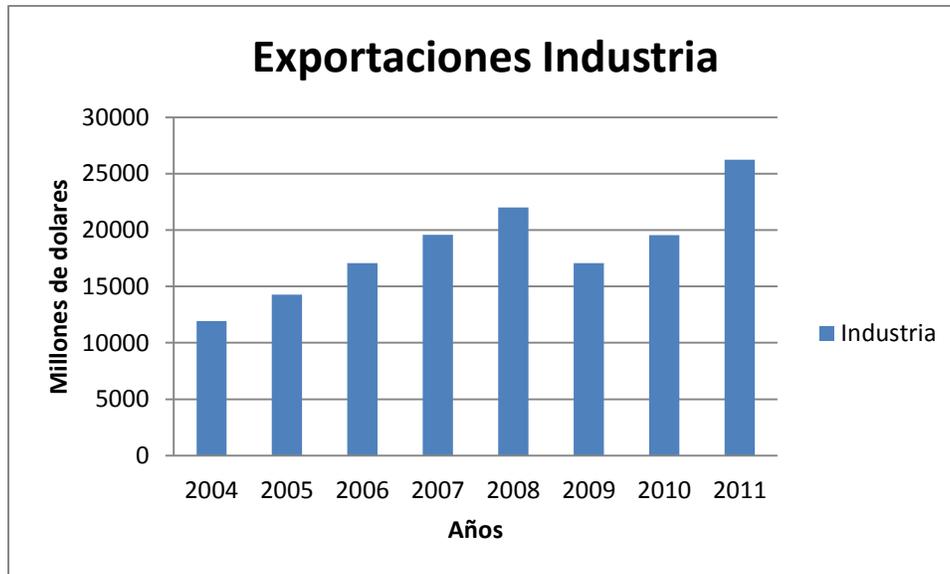
El sector industrial contribuye con el 10,6% del PIB nacional, equivalente a US \$23.001 millones el año 2011 (encadenado a millones de pesos del año anterior). De acuerdo a la Figura 2-25, el crecimiento anual ha sido negativa si se evalúa el periodo del 2003 al 2010 y corresponde a US \$358,07 millones anuales.



Fuente: Elaboración propia

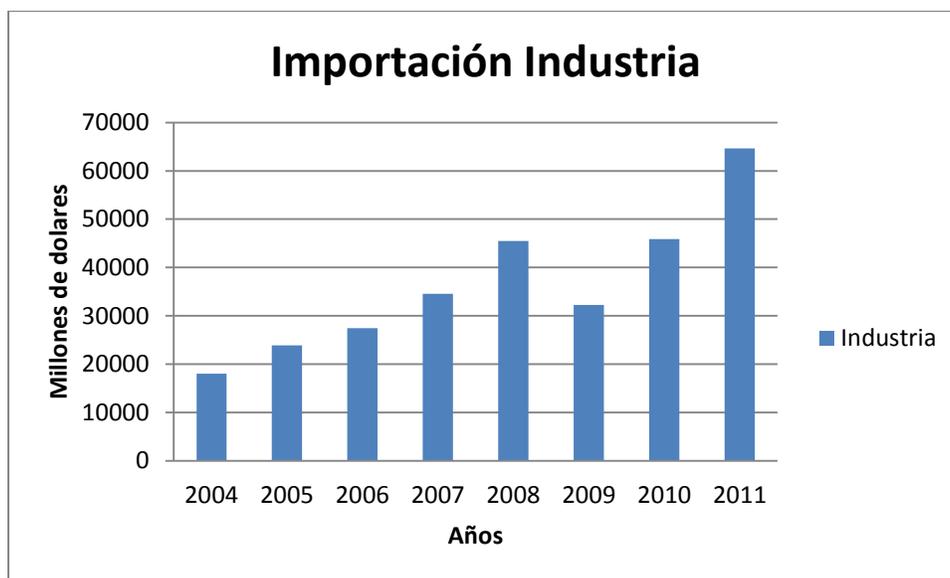
Figura 2-25: PIB del sector Industrial (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2010.

En relación a las exportaciones del sector industrial, el 2011 se exportaron US \$26.244 millones, con un crecimiento anual promedio de US \$1.536,5 millones desde el año 2004 al 2011 y se importaron US \$64.616 millones, lo cual ha significado un crecimiento promedio anual de \$US5492,9 millones para el mismo periodo estudiado (Figura 2-26 y Figura 2-27).



Fuente: Elaboración propia

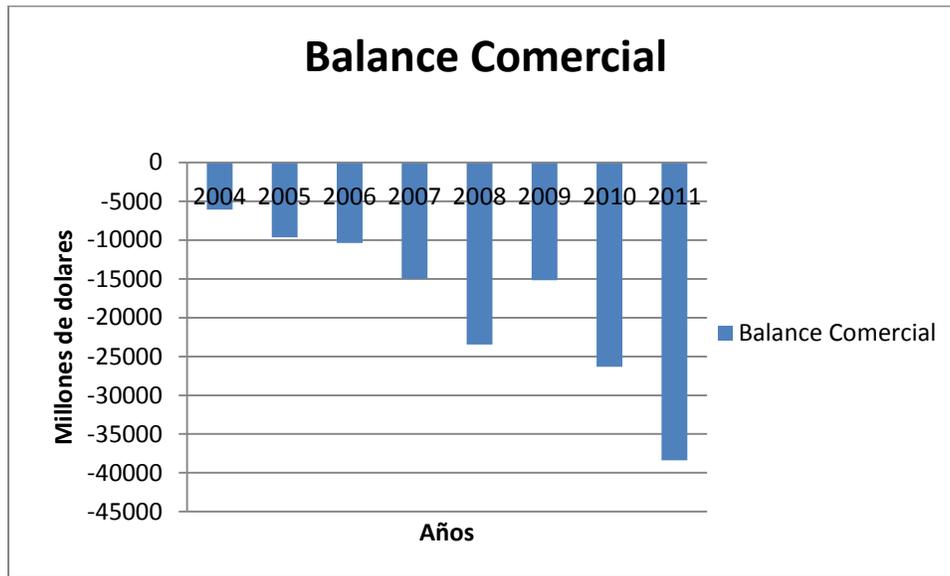
Figura 2-26: Exportaciones del sector Industrial del 2004 al 2011.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-27: Importaciones del sector Industrial del 2004 al 2011.

En el sector Industrial el balance comercial es negativo durante todos los años estudiados, esto quiere decir que el nivel de importaciones es mayor al nivel de exportaciones del país en este sector; de acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el crecimiento negativo anual es de US \$3.957,4 millones y para el año 2011 el balance comercial de la Industria corresponde a US \$38.372 millones.

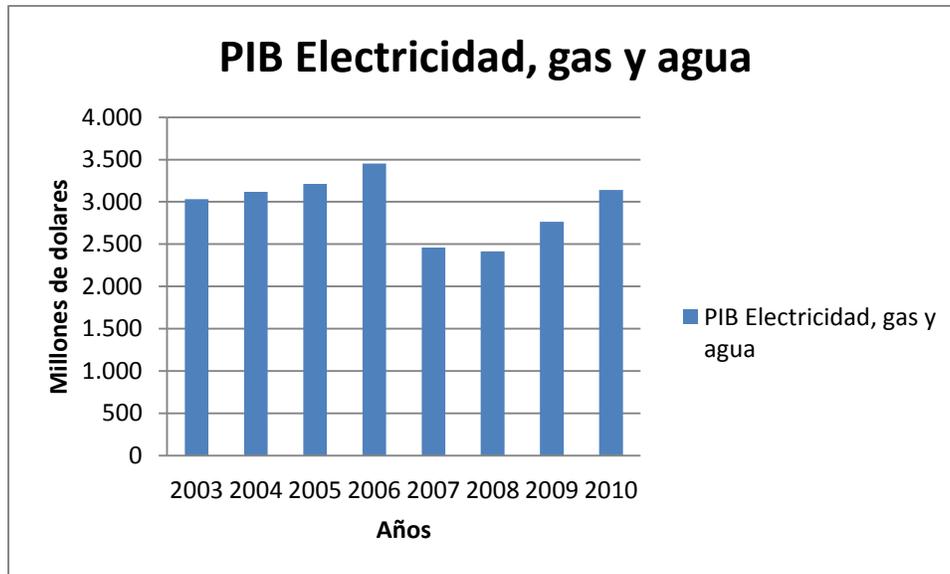


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-28: Balance comercial de sector Industrial del 2004 al 2011.

2.4. Sector Electricidad, Gas y Agua

Este sector representa el 3,4% del PIB nacional, correspondiente a US \$7.347,8 millones el año 2011 (encadenado a millones de pesos del año anterior). Es importante considerar que este sector ha presentado un decrecimiento del PIB durante el 2003 al 2010 como se aprecia en la Figura 2-29, con una tasa promedio anual negativa de US \$52,32 millones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-29: PIB del sector electricidad, gas y agua (millones de pesos de 2003) del año 2003 al 2010.

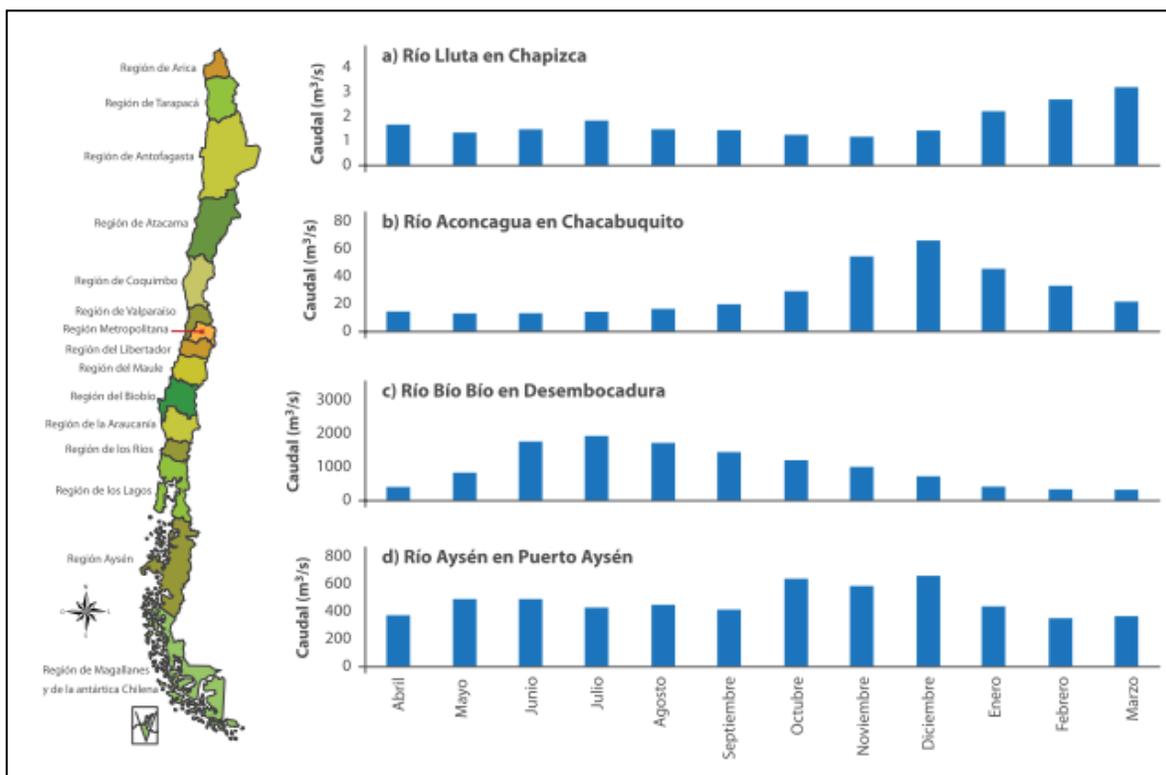
En los siguientes capítulos se detalla la situación hídrica de Chile, proporcionando una visión de la disponibilidad del agua en cuanto a calidad y cantidad, en relación con la demanda del recurso hídrico. Se describe la situación institucional y jurídica del recurso hídrico en Chile. Se abarca el mercado de derechos de aprovechamiento de agua que se ha constituido en Chile, la huella hídrica de los sectores económicos más relevantes del país, haciendo una aproximación hacia la huella hídrica azul y se indica una visión de la seguridad hídrica y alimentaria de nuestro país. El objetivo de este informe es entregar los antecedentes del recurso hídrico en Chile y la situación actual a través de la estimación de la huella hídrica para facilitar la implementación de una gestión adecuada de nuestros recursos y determinar aquellas zonas que presentan o presentarán en un breve plazo estrés hídrico producto de excesos de demanda.

3. Situación del Recurso Hídrico en Chile

3.1 Inventario del Recurso Hídrico

3.1.1 Aguas Superficiales

Los caudales de aguas superficiales en Chile presentan gran variabilidad temporal debido a influencia de diversos fenómenos. En el caso de la zona norte la presencia de la oscilación del Atlántico (NAO, SAO, NATL) afectan el flujo de humedad. La zona central se ve influenciada principalmente por ENZO y otros patrones del Océano Pacífico. Mientras que los ríos de la zona sur son mucho más estable en sus regímenes hídricos anuales, como se aprecia en la Figura 3-1, en la cual el río Aysén representa la zona sur, mostrando caudales relativamente similares a lo largo del año (FCCyT, 2012).



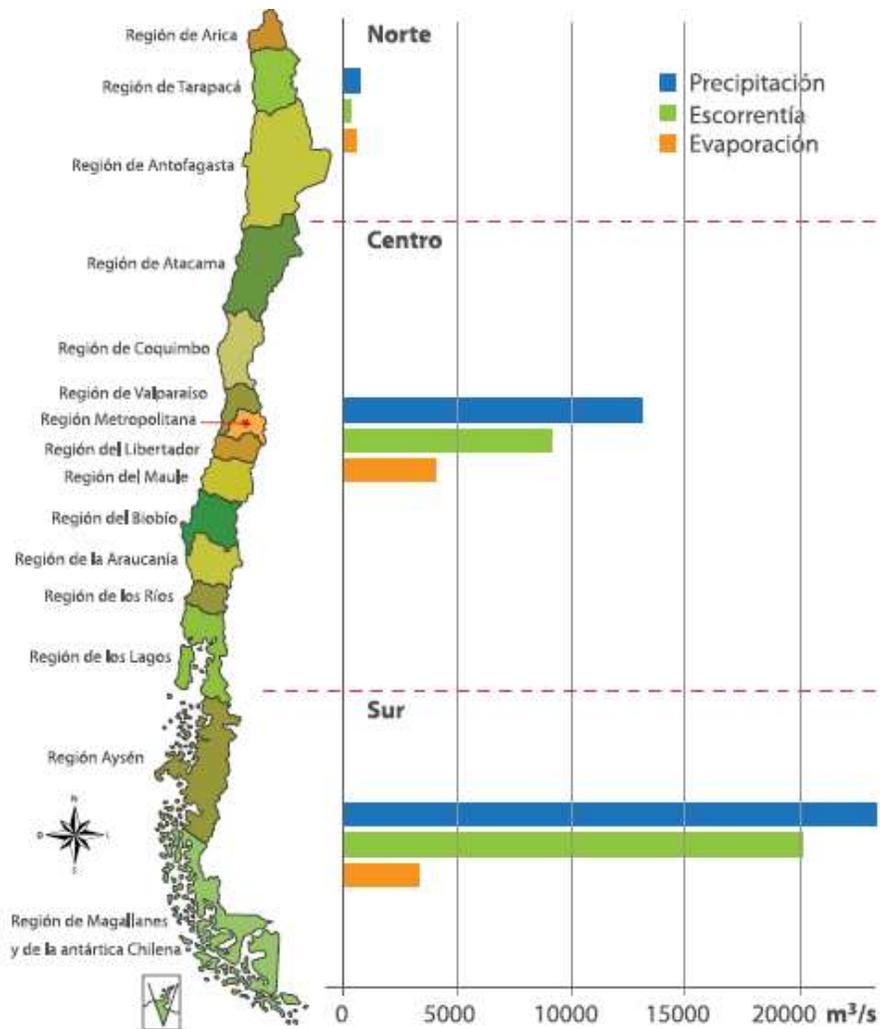
Fuente: FCCyT, 2012

Figura 3-1: Hidrogramas mensuales promedio típicos de algunos ríos chilenos

Por otra parte cabe señalar que los lagos, la cobertura nival y los glaciares constituyen una reserva hídrica importante en Chile, ya que en la zona del altiplano (a partir de 3.500m de altura) se desarrolla un régimen de lluvias estivales cuyo monto máximo es de unos 400mm al año, y que decrece hacia el sur por las cumbres hasta desaparecer

alrededor de los 28°S (Salazar, 2003). Los lagos se ubican en su mayoría en la zona sur del país entre las regiones de la Araucanía y de Magallanes, con una superficie del 1,5% del territorio nacional. Los lagos, junto con sus ríos son un invaluable activo medio ambiental y turístico. Existen alrededor de 375 lagos a lo largo del país y en general los recursos hídricos presentes en ellos contienen agua de buena calidad y son importantes reguladores de los flujos en las cuencas principales de dicha zona (Salazar, 2003). Los cuerpos de agua en el caso de la zona norte se originan a partir de aguas subterráneas que surgen a la superficie y se evaporan completamente en esta superficie pequeña, en general conocidas como lagunas saladas del Altiplano (de la Fuente y Niño, 2010). En el caso de la zona central los humedales costeros se forman por el viento y la vegetación emergida (FCCyT, 2012). Más al sur, los lagos están creados por el deshielo de glaciares, sin embargo se conoce muy poco de su dinámica y de los agentes que la determinan (FCCyT, 2012).

Chile presenta fuertes diferencias hídricas a lo largo del país, lo cual se agrava debido a las pérdidas de agua hacia la atmósfera por evapotranspiración y evaporación en la zona norte del país, a diferencia de la zona central donde la evaporación constituye solo un tercio de los recursos totales del sector ($4.000 \text{ m}^3/\text{s}$), quedando dos tercios disponibles para que fluyan hacia el océano. En la zona sur quedan disponibles más de $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua superficial para que fluyan hacia el mar (FCCyT, 2012). En la Figura 3-2 se presenta gráficamente este equilibrio hídrico a lo largo del país, la que se traduce en fuertes diferencias en la disponibilidad per cápita de aguas superficiales entre las regiones de Chile, como se evidencia en la Figura 3-3.

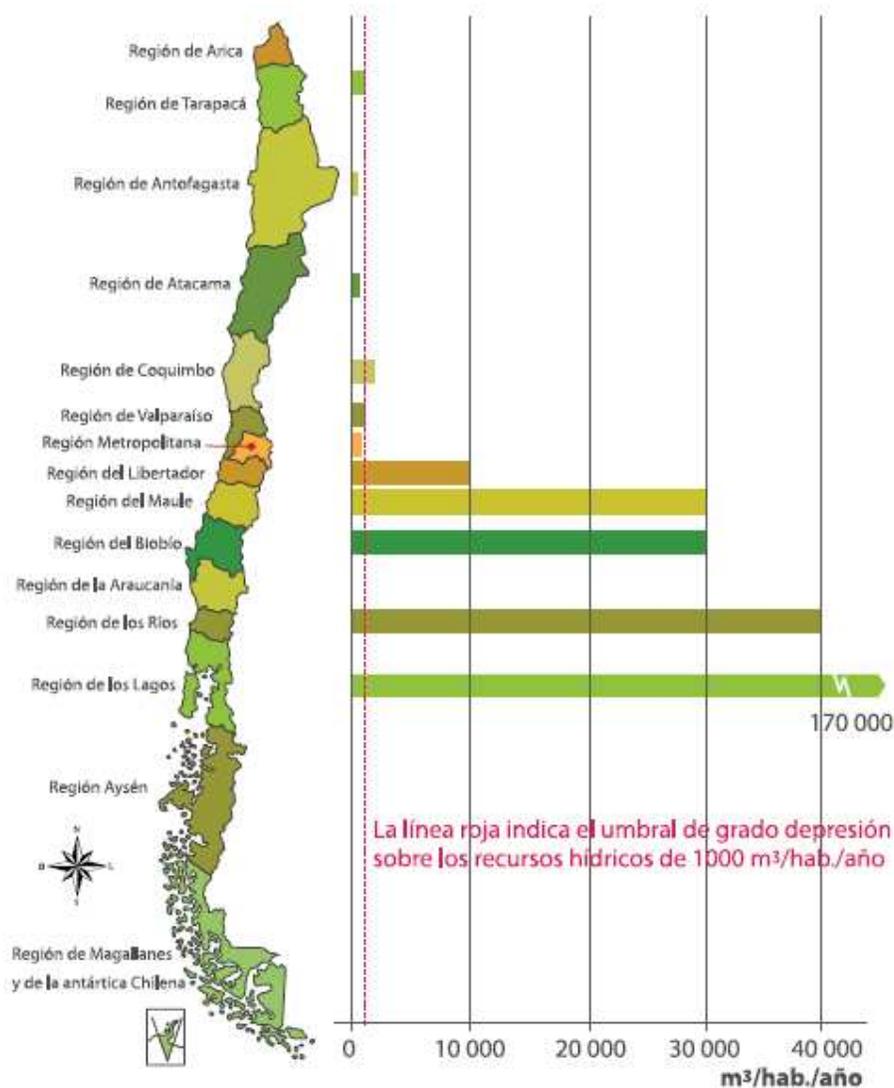


Fuente: FCCYT (2012)

Figura 3-2: Equilibrio hídrico a lo largo de tres regiones: norte, centro y sur de Chile

Al igual que las precipitaciones, la distribución espacial de los caudales disponibles sigue en líneas generales el mismo patrón en los tres sistemas hidrográficos:

- **Sistema Hidrológico Pacífico Seco:** En este sistema, los caudales presentan un máximo durante el período estival, cuando ocurren las precipitaciones del invierno altiplánico. Por ende, el régimen predominante de estas cuencas es pluvial; aunque también existen deshielos, durante la primavera y el verano.
- **Sistema Hidrológico Chile Central:** En esta zona existen grandes reservas nivales de agua, por lo que los caudales durante el período de deshielo, representan un gran porcentaje de la escorrentía anual. La mayoría de las cuencas presentan regímenes mixtos.



Fuente: FCCYT (2012)

Figura 3-3: Disponibilidad per cápita regional de aguas superficiales

- **Sistema Hidrológico Pacífico Sur:** Las condiciones de mayor pluviometría y menores temperaturas aumentan los valores de la relación caudal anual/precipitación anual a valores cercanos a 0,9. Los regímenes en el extremo norte de este sistema tienen más predominancia nival, ganando importancia las lluvias hacia el sur. Los numerosos lagos del sur representan una regulación natural en los ríos de la Región de Los Lagos, aminorando las crecidas de invierno y compensando las bajas de caudales de primavera-verano, generando un régimen muy regular.

Una disponibilidad por debajo de los 1.700 m³/hab/año se considera como situación de estrés hídrico (Indicador de Falkenmark, 1989), donde puede faltar el abastecimiento de agua para las diversas actividades con frecuencia, sobre todo en zonas con altas probabilidades de sufrir sequías, como es el caso de la zona norte de Chile. Más aún,

cuando este indicador de disponibilidad está por debajo de 1.000 m³/hab/año las consecuencias pueden ser más severas y comprometer la producción de alimentos, el desarrollo económico del país y la protección de sus ecosistemas. En estas circunstancias con frecuencia se carece temporalmente de agua en determinados lugares y es preciso tomar decisiones que involucren prioridades de uso entre las actividades agrícolas, industriales o el abasto a la población urbana y rural, a través de intervenciones de la autoridad. Al respecto, cabe destacar que gran parte de Chile se encuentra por debajo de los 1.000 m³/hab/año, incluyendo la zona de Norte Grande (entre los paralelos 18º y 25º S) y también la regiones de Valparaíso y Metropolitana.

Además, es importante señalar que en la seguridad hídrica para la protección de ecosistemas acuáticos es muy baja. Esto se debe a que la legislación de aguas hasta hace pocos años no consideraba los ecosistemas relacionados con los cauces. La protección ambiental se comenzó a considerar a partir de mediados de la década de los 90, cuando se promulgó la Ley de Bases del Medio Ambiente. Sin embargo no es hasta la reforma del año 2005 del Código de Aguas de 1981 que se establece la necesidad de establecer caudales mínimos ecológicos. No obstante este nuevo requisito, el Estado no ha generado políticas que permitan revertir situaciones de sobre-otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua, generados con anterioridad, que imposibilitan la existencia de caudales mínimos ecológicos.

3.1.2 Aguas Subterráneas

Los acuíferos de Chile corresponden básicamente a sedimentos cuaternarios, no consolidados, de origen fluvial, fluvio-glacial, aluvial, aluvional, laháricos y otros, que rellenan los valles delimitados por formaciones impermeables terciarias, mesozoicas y paleozoicas. Son acuíferos en general libres o semi-confinados de pequeño tamaño, con niveles estáticos poco profundos (menores que 50 metros), y de características granulométricas muy heterogéneas, aun cuando predominan acuíferos de productividad elevada (Instituto de Ingenieros de Chile, 2011).

El Instituto de Ingenieros de Chile (2011) identifica tres grandes sectores hidrogeológicos en Chile: altiplánico, andino vertiente pacífico y cuencas costeras.

- **Sector hidrogeológico altiplánico:** En este sector hidrogeológico existen dos tipos de acuíferos. Los primeros se han desarrollado en formaciones cuaternario-terciarios de rocas volcánicas de permeabilidad secundaria que permiten la infiltración del recurso en las cuencas superiores. En cambio, los segundos se ubican en sectores bajos y son acuíferos de sedimentos no consolidados de tipo fluvial, aluvial o lacustre.
- **Sector andino vertiente pacífico:** Este sector hidrogeológico se divide en cinco subsectores:
 - *Subsector Norte Grande:* Este subsector incluye acuíferos formados por rellenos cuaternarios adyacentes a los escasos cauces superficiales de la

zona. Son acuíferos poco favorables para su explotación, por su escasa recarga.

- *Subsector Valles Transversales*: En este sector los acuíferos están constituidos por rellenos cuaternarios fluviales adyacentes a los cauces de los ríos, con recargas provenientes de los recursos superficiales. En general, son acuíferos libres de elevada productividad.
- *Subsector Central-Sur*: Este subsector se ubica entre los 33° S y 42° S y está ligada a la unidad fisiográfica de la Depresión Intermedia, no restringida por los cauces de los ríos. Las aguas subterráneas se alimentan de distintas fuentes, y el material constitutivo corresponde a rellenos cuaternarios no consolidados, provenientes de acarreo fluviales y fluvio-glaciales. En general son acuíferos libres.
- *Subsector Zona de los Canales*: Éste se ubica entre los 42° S y 56° S y se caracteriza por la poca cantidad de recursos subterráneos, debido al afloramiento de rocas metamórficas y plutónicas impermeables y carentes de permeabilidad secundaria. Solamente existen pequeñas acumulaciones de depósitos glaciofluviales cuaternarios de buenas condiciones.
- *Subsector Pampa Magallánica*: En esta zona existen depósitos fluvio-glaciales y fluviales en capas permeables de poca potencia. Se han explotado acuíferos surgentes formados por areniscas terciarias entorno al Estrecho de Magallanes y Tierra del Fuego.
- **Sector de cuencas costeras**: Este sector hidrogeológico incluye vertientes del Pacífico sin respaldo andino, nacientes en la Cordillera de la Costa. Se divide, a su vez, en dos subsectores:
 - *Costeras Arreicas*: Éstas incluyen cuencas localizadas en el Norte Grande que no presentan ningún tipo de escurrimiento por la ausencia de recursos hídricos.
 - *Costeras Exorreicas*: Este subsector corresponde a los acuíferos frente a los valles transversales y al sector centro-sur del país, libres, de productividad baja o mediana, de espesor inferior a 100 m, y su uso está limitado por la intrusión salina.

En cuanto a la disponibilidad de agua subterránea, se estima que Chile posee un importante volumen de recursos subterráneos y que la recarga media estimada alcanza aproximadamente 55m³/s desde la Región Metropolitana al norte (Ayala, 2010; Salazar, 2003). No obstante, las condiciones edafológicas y la información de campo limitada dificultan la estimación de una tasa más confiable. De esta forma, se estima que en las regiones de Tarapacá, Antofagasta y Atacama las tasas de recarga global es de unos 10m³/s, mientras que en la zona centro, las regiones de Valparaíso y Metropolitana tienen recargas de entre 50 y 100 m³/s (FCCyT, 2012). Al sur de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, no se cuenta con información detallada del nivel de recarga de los acuíferos; sin embargo, una primera aproximación de la DGA, indica que la recarga subterránea es de aproximadamente 160 m³/s entre las regiones del Maule y Los Lagos (DGA, 2010; Banco Mundial, 2011). No se tiene información consolidada sobre el potencial de recarga al sur de la región de Los Lagos.

En el 2003 se estimó un consumo de las aguas subterráneas de 88m³/s, correspondiendo un 49% a la agricultura, 35% al abastecimiento poblacional y 16% para la industria (Salazar, 2003 en Banco Mundial, 2011). El uso de estas aguas es fundamental en los sectores mineros y sanitarios, donde el 63% de los derechos de aprovechamiento de aguas mineros provienen de aguas subterráneas (Proust Consultores, 2008 en Banco Mundial, 2011) y el 46% de los usos por agua potable se obtienen de acuíferos (SISS, 2010 en Banco Mundial, 2011).

El agua subterránea de los acuíferos de las regiones de Tarapacá y Antofagasta se obtiene de tormentas esporádicas originadas en el Atlántico (Invierno Altiplánico). En la región de Copiapó, se recargan por inundaciones de ríos locales asociada a ENSO, el cual produce variabilidad climática periódicamente (FCCyT, 2012). En las regiones de Valparaíso y Metropolitana, las recargas de los acuíferos es mayor en comparación a la zona norte debido a precipitaciones infiltradas al suelo, provocadas por el aumento del flujo de los ríos en algunos periodos debido a deshielos y por pedidas del sistema de distribución de agua potable e ineficiencias en la conducción de las aguas así como en los sistemas de riego (Bartosch, 2007 en FCCyT, 2012)

Existe poca información sobre la interconexión de los acuíferos, su extensión tanto horizontal como vertical y sobre su recarga. Además existe falta de información sobre los niveles actuales de extracción de los acuíferos en algunas áreas de Chile, los cuales se cree que no son sostenibles. La DGA en conjunto con la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) está avanzando en este tema, para lograr disminuir los vacíos en esta área. Por otro lado, existe un incremento en la demanda de solicitudes de concesión para extraer aguas subterráneas, mucho mayor a las estimaciones de recarga disponible (FCCyT, 2012).

Las aguas subterráneas hasta los años 90 no eran muy utilizadas, sin embargo a partir de ese momento su uso ha ido en aumento progresivamente, produciéndose una sobre-explotación de éstos, principalmente en la zona norte y centro de Chile. Entre las regiones de Arica y Parinacota y la Región del Libertador Bernardo O'Higgins existen en la actualidad 69 acuíferos que abarcan 259 sectores hidrogeológicos, de los cuales se han estudiado 238 sectores, obteniéndose 106 sectores de Áreas de Restricción⁶ y 6 Zonas de Prohibición⁷.

Por otro lado, La DGA ha llegado a la conclusión que existe un sobre-otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas (DAA) (Banco Mundial, 2011). Esta conclusión se deriva de la comparación de la recarga estimada de diversos acuíferos del país con la demanda comprometida, estimado en base a DAA otorgados en el acuífero.

⁶ Área de Restricción: Sectores acuíferos con riesgo grave de disminución. Esta es una acción preventiva frente un escenario futuro de disminución del volumen embalsado por sobre explotación de un acuífero. Es posible otorgar derechos provisionales.

⁷ Zona de Prohibición: Zonas que mediante resolución fundada en la protección del acuífero y publicadas en el Diario Oficial, han sido declaradas como prohibidas para nuevas explotaciones. Estos son acuíferos en los cuales no es posible conceder nuevos derechos de aprovechamiento.

El Instituto de Ingenieros de Chile (2011) señala que se observa una explotación no sostenible de las aguas subterráneas, lo que se manifiesta principalmente en una profundización creciente de los niveles freáticos, en desecamiento de humedales y en la reducción del caudal de vertientes. Los casos más conocidos con descensos sistemáticos de niveles, tales como los evidenciados en el sector 4 del acuífero de Copiapó (descensos de hasta 12 m/año) y en el sector bajo del acuífero de Azapa (descensos de 4 m/año), sin perjuicio de la existencia de otros ejemplos menos conocidos.

Por ende, en términos generales, los actuales niveles de extracción de los acuíferos no son sostenibles. Esto es un desafío ya que reduce la seguridad hídrica, alimentaria y ambiental. Los ecosistemas que dependen de la infiltración de agua subterránea para sobrevivir están amenazados, así como se prevén dificultades futuras para satisfacer las demandas de agua de los asentamientos humanos y los requeridos para la producción de alimentos.

3.1.3 Sistemas de Información de los Recursos Hídricos

Para mantener un adecuado conocimiento del inventario de recursos hídricos es necesario saber cómo se constituye el sistema de información de los recursos hídricos en Chile. En las últimas décadas se han desarrollado distintos esfuerzos para modernizar las redes de información hidrológicas, logrando tener en la actualidad 260 estaciones satelitales en operación y una red de 2.000 estaciones de medición de variables meteorológicas, hidrológicas, etc (Instituto de Ingenieros, 2011). Estos avances han contribuido a la mejor gestión de los recursos hídricos y a una toma de decisiones más informada. Sin embargo, los sistemas actuales han quedado obsoletos por los acelerados cambios en infraestructura, población y uso del territorio, así como por los nuevos desafíos que impone la adaptación al cambio climático global.

Redes de Medición

Pese a que hoy en día se cuenta con una adecuada red de medición de los caudales en los cursos de agua, aún existen sectores hidrológicos específicos en donde las redes de medición de aguas superficiales son insuficientes para evaluar adecuadamente los recursos hídricos y caracterizar las variables hidrológicas. Los estudios disponibles indican que para lograr un sistema capaz de brindar la información necesaria, es necesario aumentar la red de medición hidrométrica actual en un 20% aproximadamente (Instituto de Ingenieros, 2011). Lo mismo ocurre con las aguas subterráneas, si bien los parámetros que se miden son adecuados, en algunos acuíferos la densidad de la red de medición es insuficiente para definir el actual nivel de explotación de los recursos

subterráneos, limitando las herramientas de administración de dichos recursos. Esta situación se agrava en el sector agrícola, donde la carencia de redes de medición de las extracciones de un canal y, la falta de regulación de extracciones de pozos puede conducir a sobre-aprovechamientos y a conflictos entre los usuarios.

En cuanto a redes de monitoreo de la calidad del agua para la agricultura, el Servicio Agrícola y Ganadero realiza un Programa de Monitoreo de Aguas a nivel Regional, cuyo objetivo es controlar la contaminación de las aguas de riego y bebida de animales, por efecto de las descargas de residuos líquidos industriales. Este plan se realiza anualmente en aproximadamente 50 fuentes fijas a nivel nacional, con lo que se ha podido generar avances, principalmente en temas de contaminación animal.

Tecnología de las Redes de Medición

Paralelamente, se ha identificado que la red pluviométrica no sólo es insuficiente, especialmente en zonas cordilleranas, sino que necesita incorporar tecnología más moderna, tanto en la forma de medición, como en la de transmisión y procesamiento de la información.

Por otro lado, como es sabido los sistemas de información del inventario de los recursos hídricos necesariamente deben manejar un enorme volumen de datos de distintos períodos de tiempo, además de cifras provenientes de distintas zonas geográficas. Esto lleva a presentar diversos problemas de gestión de la información del inventario hídrico, tales como la poca integración de las bases de datos de diferentes instituciones públicas y privadas.

a) Integración de la Información

Actualmente, existe un gran número de instituciones públicas y privadas que manejan datos relacionados con la gestión del agua donde cada una vela por sus responsabilidades en la recolección, generación y difusión de información relevante. En este sentido, no hay un sistema que incorpore los datos generados a un sistema de información nacional único y coherente. Además, en numerosos casos, los sistemas de información existentes en las instituciones son de baja calidad, resultan engorrosos para su utilización eficiente, que resulta de alto costo y con dificultades para el acceso y manejo de los datos. Por lo tanto, es necesario desarrollar un sistema que integre todas estas bases de datos en un registro nacional único.

b) Acceso a la Información

En Chile no se dispone de una guía clara y completa de la información existente en las instituciones públicas y privadas, ni de la forma de acceder a ella. De este modo, aun cuando existen avances importantes en algunas instituciones, hay muchos antecedentes cuyo acceso está limitado, por desconocimiento de una gran parte de los posibles interesados. Para ello se requiere, de una coordinación entre la información pública y la

privada y de mecanismos para publicar y traspasar la información que cada institución posee.

c) Costos para obtener Información

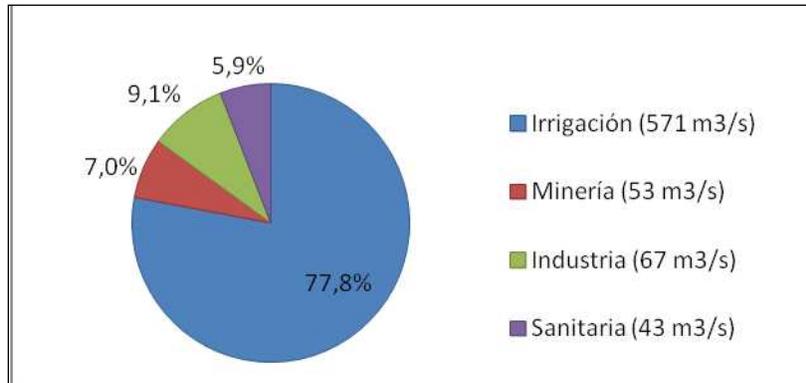
En cuanto a la entrega de información, estos servicios actualmente contemplan altos costos. Por lo mismo, ciertas investigaciones, en especial aquellas que requieren de grandes volúmenes de datos con el fin de obtener resultados más detallados, no se realizan debido a los altos costos involucrados. Por lo tanto, un componente importante de cualquier política de agua que considera el futuro, debe ser el suministro de información, y la comunicación con las diversas partes interesadas. Es así como se puede identificar que, con el fin de que Chile tenga una superación en temas de gestión de sus bases de datos e información, es fundamental contemplar un sistema de integración de la información que cada institución y sector posee, además de guías para facilitar el acceso a ésta, por parte de cualquier persona y a un costo razonable.

3.2 Usos del Agua

Las extracciones totales de agua en el país para fines consuntivos son de 519 m³/s. Por su parte, los usos no consuntivos de agua, principalmente para la generación de hidroelectricidad, son de aproximadamente 4.190 m³/s. Sin embargo, hay que destacar que los usos no consuntivos no son estrictamente sumables directamente con los usos consuntivos.

3.2.1 Usos Consuntivos del Agua

Como se señaló anteriormente, el mayor usuario de aguas consuntivas en Chile es la agricultura, representando un 77,8% del total. Le sigue en importancia las extracciones consuntivas para la industria (9%), minería (7%) y el sector sanitario y saneamiento (6%) (Figura 3-4).



Fuente: Elaboración propia a partir de FCCYT (2012)

Figura 3-4: Usos Consuntivos del Agua por Sector Económico

A nivel regional, el informe de FCCYT (2012) concluye que la agricultura representa el principal uso de aguas consuntivas en todas las regiones con la excepción de una región al norte del paralelo 40° S, la Región de Antofagasta. En esta región, la minería es el principal usuario de aguas consuntivas. Por lo tanto, aun cuando más del 80% de la población chilena vive en áreas urbanas, para Chile la agricultura es de gran importancia lo que se refleja en los patrones de aprovechamiento del agua.

El sostenido crecimiento económico y desarrollo social de las últimas décadas ha generado una demanda cada vez mayor sobre los recursos hídricos por parte de los diferentes sectores usuarios. Este crecimiento sostenido se produce en un contexto en el cual los recursos hídricos en una buena medida ya están legalmente comprometidos en el abastecimiento de los usos actuales. De hecho, las extracciones totales consuntivas han aumentado un 13% entre 1990 y 2006 para todos los sectores (Ver Tabla 3-1).

La mayoría de los aumentos en las demandas de aguas se presentan hacia el norte de la Región del Bío-Bío. Es decir, se presentan mayores demandas en zonas caracterizadas por estrés hídrico. Por lo tanto, estos crecientes requerimientos de agua se han abastecido mediante diversas alternativas como las siguientes (Instituto de Ingenieros de Chile, 2011):

Tabla 3-1: Incremento en extracciones consuntivas por sector entre 1990 y 2006

Año/Uso	Irrigación	Sanitario	Industria	Minería	Total
1990	516	27	47	43	633
1999	611	34	68	51	764
2002	647	37	77	53	814
2006	527*	40	84	63	714

* Año 2006 fue un año particularmente lluvioso

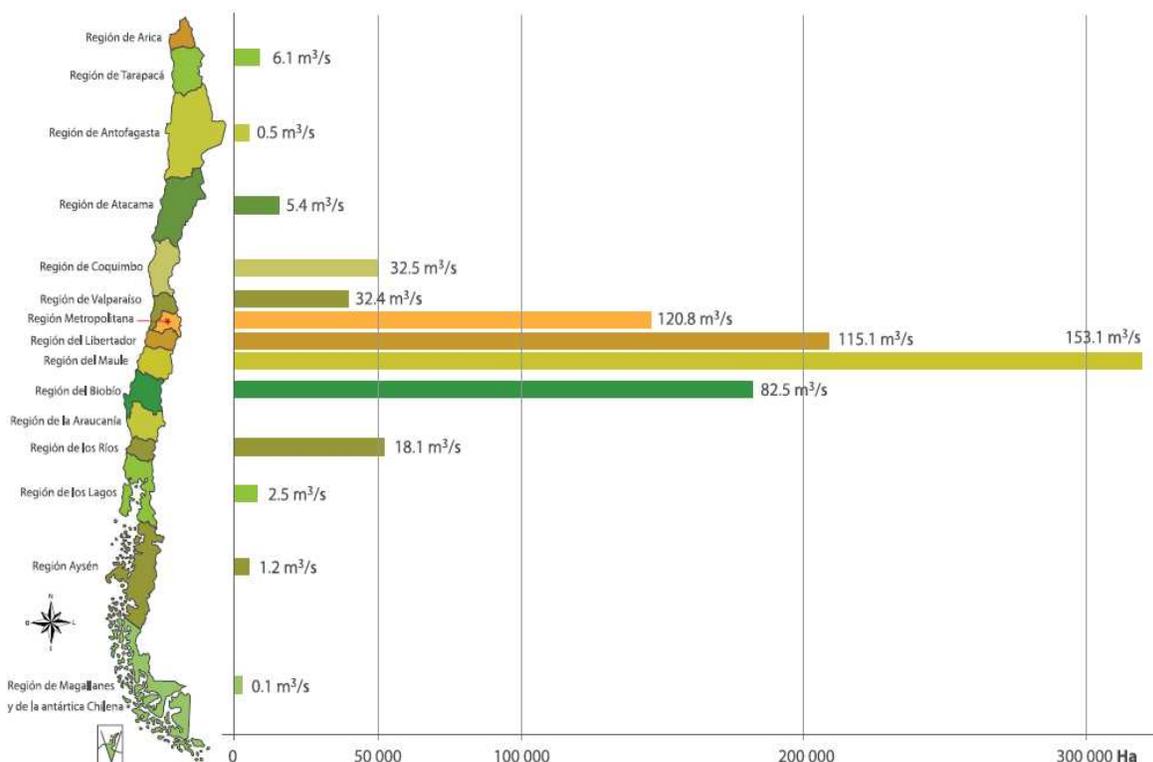
Fuente: Banco Mundial, 2011

- **Uso de fuentes que se encontraban subutilizadas**, tales como las aguas subterráneas.
- **Incrementos en las eficiencias de uso de los recursos hídricos disponibles** que han permitido aumentar las actividades de los propios usuarios o la transferencia de derechos de aprovechamiento a usuarios de mayor valor.
- **Incorporación de nuevas fuentes de aguas** tales como la desalinización de agua de mar y de aguas salobres.

3.2.1.1 Sector Agrícola, Forestal y Pecuario

El aumento en las demandas de aguas para la agricultura es una respuesta a las políticas públicas implementadas a partir de mediados de los años 80 cuyos objetivos era aumentar la superficie regada. Entre 1970 y 1990, el área regada creció cerca de 70% (Banco Mundial, 2011). Este crecimiento baja fuertemente durante el período entre 1997 y 2007, cuando el área regada aumenta en un 3%.

A partir de la década del 2000 se refuerza el objetivo de aumentar la superficie de riego en el país cuando el Estado, a través del Ministerio de Agricultura (MINAGRI), declara como objetivo transformar al país en una potencia agroalimentaria. Las estimaciones del MINAGRI indican que para alcanzar este objetivo al año 2020, se requiere aumentar la superficie de riego a 1.500.000 has., lo que representa llegar al 33% de la superficie agrícola regada. En la actualidad Chile cuenta con aproximadamente 1.200.000 has de riego (27% de la superficie agrícola), concentrados en el Sector Hidrológico Chile Central (Figura 3-5). Sin embargo, la superficie regada es muy importante para la agricultura ya que este 27% depende el 40% del área cultivada y la producción de los productos de alto valor de exportación.



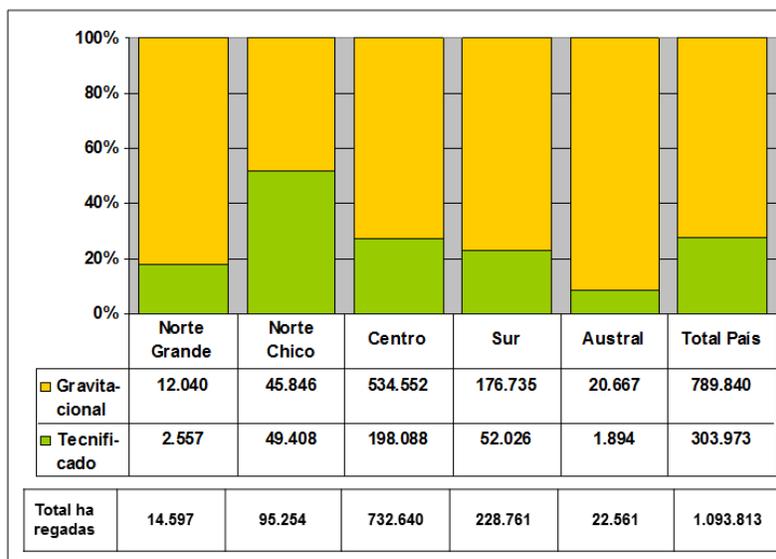
Fuente: IANAS, (2011)

Figura 3-5: Superficie de riego (has.) y caudal (m³/s) utilizado por región

Es importante destacar que en el Sector hidrológico Pacífico Seco presenta una significativa superficie agrícola de riego, a pesar de la fuerte escasez de agua. En este sector, la superficie de riego aumentó un 48% entre 1997 y 2007. Este incremento en la demanda de agua para la agricultura ha generado tensiones con otros sectores que también han presentado fuertes crecimientos en las demandas de agua, como la minería.

La superficie agrícola de riego en Chile, ha utilizado de forma histórica los sistemas de riego gravitacional o tradicional (Riego por tendido o surcos) que corresponden a los sistemas más antiguos utilizados en la agricultura y a la vez los más ineficientes porque consisten básicamente en dejar escurrir el agua de un canal, desde la parte alta del potrero hacia los sectores más bajos.

Por otro lado, los sistemas de riego tecnificados son mucho más eficientes en la entrega del agua pero también presentan altos costos de inversión. En la Figura se indica que el 78% de las hectáreas destinada a riego en Chile, utilizan riego por gravitación y solo el 28% utiliza riego tecnificado (Censo 2006-2007).



Fuente: Comisión nacional de riego - Censo 2006-2007

Figura 3-6: Composición de la superficie regada en Chile por tipo de riego y zona

En Chile el riego tecnificado que correspondía a un 8,8%, de la superficie regada de acuerdo al Censo agropecuario de 1997 ha aumentado a un 28% según el Censo agropecuario 2007, equivalente a 210.562 hectáreas en superficie tecnificada del país.

Los aumentos en las demandas hídricas por parte de la agricultura en los Sectores Hidrológicos Pacífico Seco y Chile Central se han logrado abastecer gracias a la mayor utilización de riego tecnificado. De acuerdo a la Figura anterior del total de hectáreas regadas en esta zona (Norte Grande, Norte chico y Centro) el 29,7% corresponde a riego tecnificado e incluso en el norte chico corresponde al 51,9%. Esta variación a riego tecnificado a significado una mejora sustancial en la eficiencia de riego y un creciente aprovechamiento de aguas subterráneas. Como se aprecia en la Figura siguiente la zona del norte chico presenta el mejor porcentaje de eficiencia de riego con un 63,8%.

Regiones	Nº Explotaciones regantes	ha regadas Censo 2006-2007	% de la superficie regada			Eficiencia promedio (%)
			Gravitacional	Mecánico mayor	Micro riego	
Norte Grande	5.412	14.597	82,5	0,6	17,0	47,0
Norte Chico	15.197	95.254	48,1	1,3	50,6	63,8
Centro	65.695	732.640	73,0	2,0	25,0	51,5
Sur	32.245	228.761	77,3	16,8	6,0	47,5
Austral	737	22.561	91,6	8,1	0,3	41,6
Total país	119.286	1.093.813	72,2	5,2	22,6	51,5
Eficiencia Promedio considerada (Reglamento Ley 18.450)			0,385	0,750	0,875	

Fuente: Comisión nacional de riego - Censo 2006-2007

Figura 3-7: Eficiencia de riego regional

La mejora en eficiencias de uso del agua para la agricultura se debe a la significativa incorporación de nuevos métodos de riego tecnificado, tales como el riego por goteo, el riego por micro aspersion en especial en las zonas agrícolas asociadas a productos de exportación de alto valor (Tabla 3-2). El conjunto de estos procesos ha significado en algunos valles, un aumento de la productividad por metro cúbico de agua del 58% en un período de 10 años (Instituto de Ingenieros de Chile, 2011).

Este aumento significativo en eficiencias de uso de agua por parte de la agricultura se debe, en parte al apoyo estatal a través de la Ley 18.450 administrada por la Comisión Nacional de Riego (CNR). La ley 18.450 fue creada con el propósito de fomentar la inversión privada en obras menores de riego y drenaje, para inversiones que tengan el objeto de aumentar la superficie regada en Chile, mejorar el abastecimiento de agua en superficies regadas en forma deficitaria, mejorar la eficiencia de la aplicación del agua de riego o habilitar suelos agrícolas de mal drenaje⁸. El Gobierno de Chile, mediante dicha ley, otorga un subsidio directo a la inversión privada en proyectos de riego y drenaje tanto para obras comunitarias, como para obras individuales.

El Estado de acuerdo a la ley, bonifica hasta un 75% del costo total de las obras, lo que incluye el costo de estudios, construcción y rehabilitación de obras y las inversiones en equipo y elementos de riego mecánico⁹. Por lo tanto, los agricultores y organizaciones de usuarios de agua reciben bonificación de la Ley 18.450 y aportan recursos propios para la construcción de obras de riego y drenaje. Adicionalmente, el monto de los proyectos no

⁸ Artículo 1º de la Ley 18.450

⁹ Artículo 1 de la Ley 18.450

puede exceder las 12.000 U.F., en el caso de proyectos individuales y las 24.000 U.F. en el caso de ser presentados por organizaciones de regantes.¹⁰

De este total, el aporte de la Ley 18.450 corresponde a una superficie de 89.645 hectáreas,¹¹ lo que representa un 42,6% de la superficie tecnificada entre 1997 y el 2007.

Adicionalmente, la eficiencia aumenta estimulada por la escasez de agua, lo que ha generado importantes aumentos en el valor del agua, y por incrementos en los valores de los productos agrícolas de exportación que permiten mayor inversión en sistemas de irrigación.

Tabla 3-2: Evolución de la superficie de riego, 1997-2007, por tipo de riego



Región	Superficie Agrícola 2007 (ha)	Total superficie regada	Gravitacional	Mecánico mayor	Microriego
Arica, Parinacota y Tarapacá	526475,68	53%	42%	594%	58%
Antofagasta	374.407,11	-22%	-23%	-	-63%
Atacama	3.769.753,47	38%	9%	5%	64%
Coquimbo	3.987.344,56	53%	10%	163%	157%
Valparaíso	1.114.922,11	25%	-28%	-20%	205%
Metropolitana	1.133.838,97	-6%	-29%	-37%	274%
O'Higgins	1.130.724,19	2%	-41%	-8%	754%
Maule	1.891.583,75	-6,50%	-18%	68%	913%
Bío-Bío	1.786.379,16	-8%	-19%	639%	858%
Araucanía	1.936.798,95	-2%	-24%	97%	673%
Los Lagos y Los Ríos	3502348,48	79%	10%	62%	231%
Aysen	3.251.078,49	-21%	-	-	-
Magallanes	5.356.956,00	1004%	-	-	-
Total País	29.762.610,9	3,40%	-22%	85%	298%

Fuente Banco Mundial (2011)

De la Tabla 3-2 se desprende que la eficiencia de uso del agua en la agricultura ha aumentado más en el Sector Hidrológico Pacifico Seco, que presenta mayor escasez de agua. Es así como el rendimiento económico del agua empleada en la agricultura, en términos de \$/m³, ha aumentado en las zonas del norte del país (ver Tabla 3-3).

¹⁰ Artículo 1° de la Ley 18.450

¹¹ Mejoramiento de la eficiencia hídrica sector agrícola, CNR. 2012

Tabla 3-3: Productividad Agrícola (\$/m³) en cuencas del Norte de Chile, Sector Pacifico Seco

	Elqui	Limarí	Choapa
Productividad Agrícola (\$/m ³)	257	107	37
Aumento de Productividad 1996-2005	58%	28%	7,4%

Fuente: Instituto de Ingenieros de Chile, 2011

El incremento en la productividad hídrica es un importante desafío en el sector agropecuario. El riego es la actividad que consume más agua en la agricultura y tiene por objetivo la entrega de ésta a los cultivos para que se lleve a cabo el proceso de evapotranspiración (FAO, 2006). Sin embargo la eficiencia de riego a nivel mundial registrada para el año 2002 alcanzó solo un 38%, y se espera que para el año 2030 ésta llegue al 42% en todo el mundo (UNESCO, 2003).

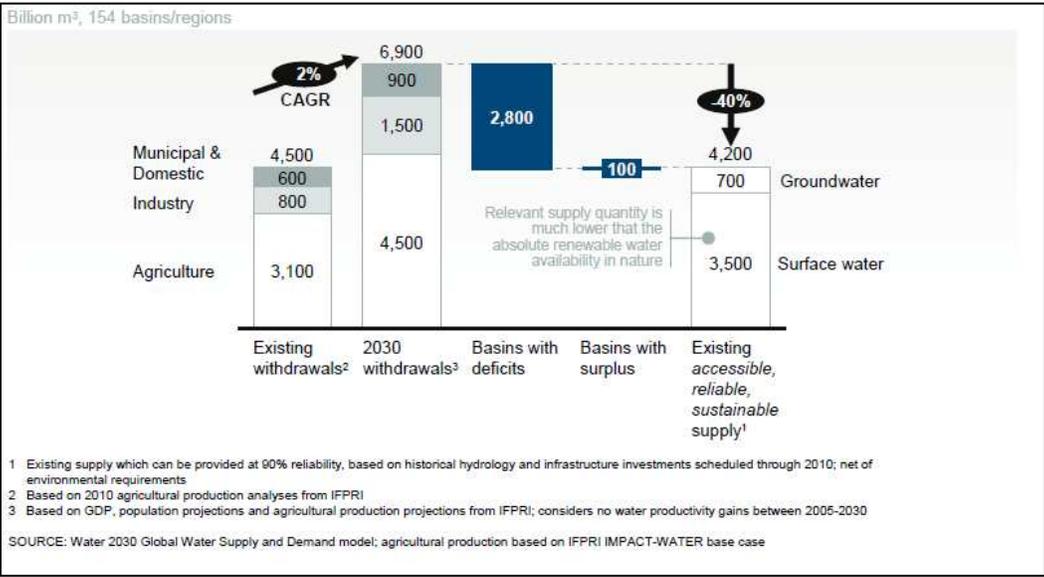
Para el caso de Chile la situación es bastante similar, registrando para el año 2007 una eficiencia promedio país del 51% (CNR, 2011). El exceso de agua en el riego y las pérdidas en su aplicación hacen alusión a una subvaloración del recurso por parte de los agricultores, especialmente cuando éste se encuentra disponible y no existen marcos regulatorios sobre su uso y disposición. Una hipótesis que explica este comportamiento señala que la ineficiente entrega de agua para los cultivos, además de la no percepción de escasez por parte del agricultor, está relacionada a que la disponibilidad y uso excesivo del recurso, permite una disminución del riesgo en la producción (Bogges *et al.*, 1993). El planteamiento realizado indica que los agricultores son agentes adversos al riesgo y que dicho comportamiento, genera una mayor utilización del recurso crítico en daños potenciales y pérdidas productivas. Es interesante señalar que si este comportamiento es válido, los productores agrícolas podrían generar intencionalmente en sus programaciones de riego, un excedente en los requerimientos reales de agua por el cultivo, con el objetivo de evitar que la producción sufra una reducción de rendimiento por estrés hídrico.

Escribano y Calatrava (2004), plantean que existen factores meteorológicos a nivel mundial que afectarán la disponibilidad del recurso hídrico. Los factores asociados al cambio climático generarán una presión en el recurso reductor del riesgo en la producción, por lo que los agricultores deben hacer uso de herramientas que permitan afrontar la mayor inseguridad de abastecimiento en sus decisiones de producción, como por ejemplo la adopción de tecnologías de conservación de agua.

Sistemas de riego superficiales que tradicionalmente son ineficientes en el uso del agua, pierden su ventaja relativa frente a sistemas tecnificados cuando se eleva el costo del

agua por presiones de demanda, cuando existen incrementos en el consumo y cuando se generan productos agrícolas de alto valor en zonas donde los recursos hídricos son limitados, especialmente, cuando éstos provienen de acuíferos (Caswell y Zilberman, 1985). Sin embargo, la decisión de adopción del agricultor se sustenta en la generación de un margen positivo, es decir, debe existir una utilidad adicional que permita cubrir la inversión realizada por incrementos en la productividad del uso del agua (Gorositz, 2002). Esto indica que el incentivo de tener y adoptar una mejor gestión de agua, está determinado principalmente por factores económicos más que por factores de conservación o cuidado del recurso.

En relación al consumo futuro del recurso hídrico, un estudio desarrollado por el Water Resources Group (2009), considerando un escenario de crecimiento económico mundial promedio, con una tasa del 2% anual, y dejando constantes las variables de productividad asociada al uso del agua, se proyecta para los principales rubros consumidores de agua, un incremento en la demanda del recurso para el año 2030 siendo ésta 40% mayor al suministro real registrado para el año 2010. Esto queda manifestado la siguiente Figura.



Fuente: WRG

Figura 3-8: Brecha global de consumo hídrico proyectado entre extracciones del año 2010 versus el año 2030.

En la Figura 3- se aprecia que los requerimientos mundiales de agua crecerán de los 4.500 billones de metros cúbicos existentes en el año 2010 a 6.900 millones de metros cúbicos para el año 2030, suponiendo que no existen ganancias por eficiencias en el uso del agua en los rubros y sectores analizados.

La agricultura es el principal consumidor del recurso hídrico en los 2 periodos, registrando para el año 2010 y potencialmente para el escenario del año 2030, el 69% y el 65% de las extracciones de agua respectivamente. Además de lo anterior, dicha actividad productiva incrementará un 45% su consumo en el periodo de tiempo estudiado. Es importante agregar que los países con mayor extracción de agua también poseen bajos porcentajes de tecnificación en riego, bajo nivel de ingreso per cápita y poca valoración del recurso hídrico como es el caso de India, África Sub-Sahariana y China, por lo que en éstos se presentará una mayor vulnerabilidad en la producción agrícola (Water Resources Group, 2009).

3.2.1.2 Sector Industrial¹²

El segundo usuario más importante de agua en Chile son las industrias (sin considerar la industria dedicada a la minería del cobre). Las industrias más importantes son la industria de procesamiento de papel/celulosa, la metalurgia y la industria de procesamiento de alimentos. Al igual que en la agricultura, las demandas de agua de este sector económico también se concentran en el Sector Hidrológico Chile Central, especialmente en las regiones Maipo, Maule y Biobío. Además, en la industria se presentan evidencias de mejoras en la eficiencia de uso de agua. El Instituto de Ingenieros de Chile (2011) cita el ejemplo de la industria de la celulosa que en la actualidad consume sólo 40 m³ de agua por tonelada de producto, mientras que en la década de 1980 este consumo alcanzaba los 130 m³/ton.

En la Figura 3- se presenta el uso de agua para industrias no-mineras por región. De esta se desprende que la demanda de agua para este sector se concentra en la zona hidrológica Chile Central, al igual que la agricultura.

¹² No considera la Minería del Cobre

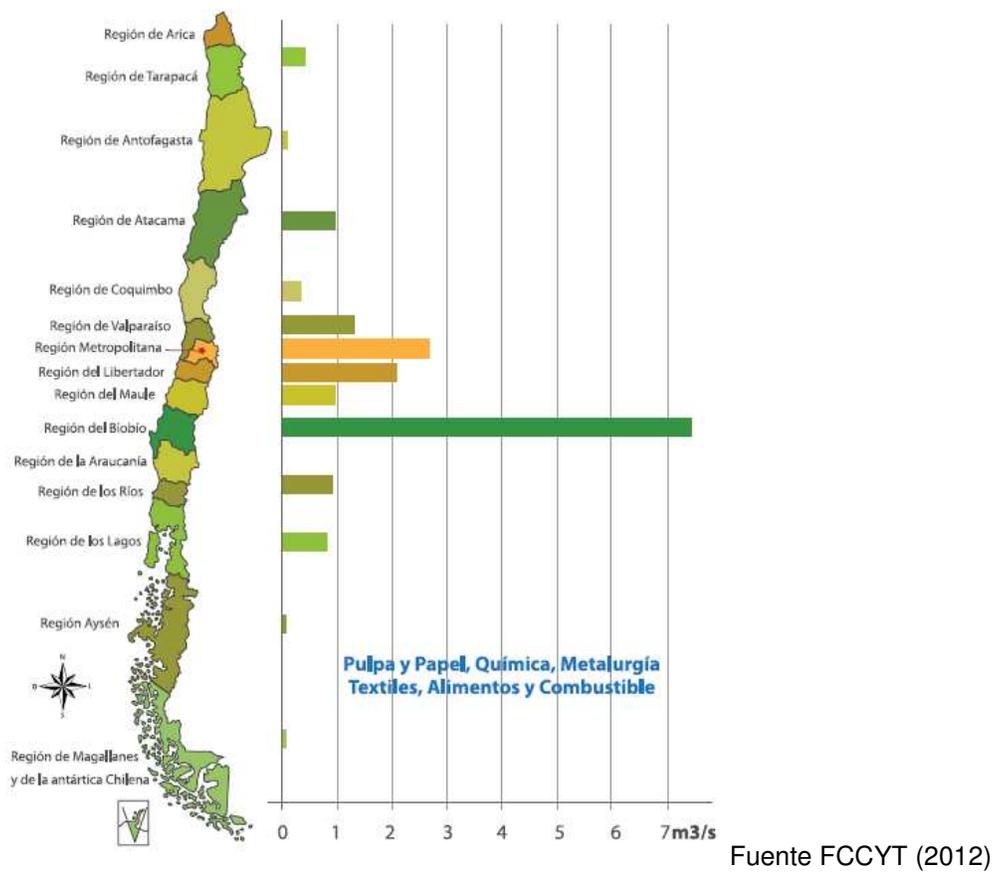


Figura 3-9: Usos de agua por la Industria no-minera por región (m³/s)

3.2.1.3 Sector Minería del Cobre

La minería del cobre, tercer usuario en importancia del agua, es el principal sector económico del país en términos de contribución al PIB y a las exportaciones. La mayoría de las actividades mineras del cobre se concentran en la mitad norte del país en el Sector Hidrológico Pacífico Seco. Debido a que la minería, en general, presenta un fuerte desarrollo posterior a otros usos del agua de larga tradición, como la agricultura, ha adquirido DAA participando en el mercado de DAA, comprando DAA principalmente a agricultores. En varios sectores, las transferencias de DAA han sido de fuentes subterráneas, lo que ha creado problemas en el equilibrio hídrico de muchos acuíferos de este sector, debido a la mayor intensidad de extracción de la minería, respecto de la agricultura.

Estos conflictos han surgido a pesar de los significativos aumentos en las eficiencias de uso del agua de este sector económico. La minera ha reducido significativamente el uso de agua, alcanzando actualmente un uso de 0,75m³/ton de mineral tratado, el que a inicios de los 80 era cercano a los 2 m³/ton (IANAS, 2011; Instituto de Ingenieros de Chile, 2011). Considerando la eficiencia de uso del agua alcanzado y un precio de

US\$3,00/onza de Cu, se tiene un rendimiento económico de aproximadamente US\$1.400/litro de agua (FCCyT, 2012).

En general se espera que se mantenga esta tendencia de mejorar la eficiencia de uso de agua, ya que el sector se ha puesto como meta futura, alcanzar un estándar medio de consumo de 0,5 m³ por tonelada de mineral tratado.

Se estima que el aumento a futuro en las inversiones del sector minero, inducirían el aumento en la demanda hídrica del sector en un 8.75% de los usos consuntivos del país, concentrada de la Región de Iquique a la Región de O'Higgins (Ayala *et al.*, 2007 en Banco Mundial, 2011). A pesar del aumento en la demanda hídrica esperado y de tratarse de una zona con escasez, no se proyecta un escenario en que el agua sea una limitante en el desarrollo de la minería, debido a la eficiencia de uso de agua lograda hoy (Banco Mundial, 2011).

3.2.1.4 Sector Agua Sanitaria y Saneamiento

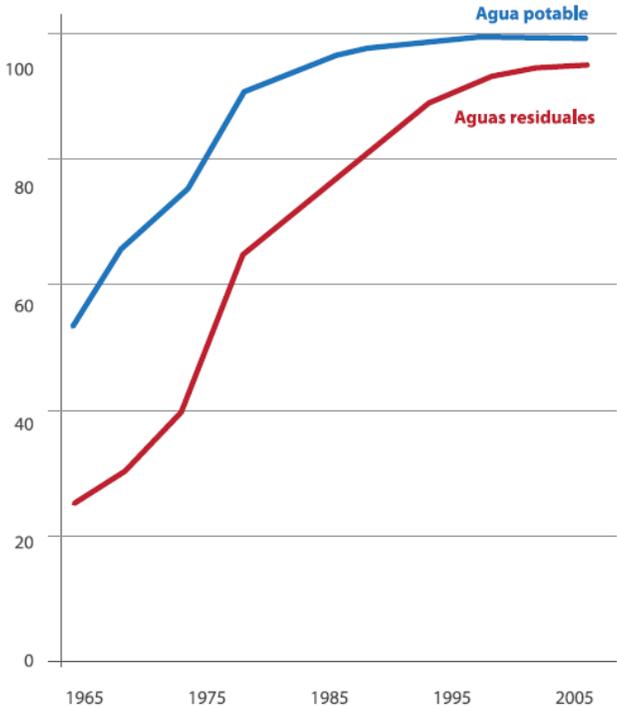
En términos generales, las aguas necesarias para el abastecimiento de la población son minoritarias frente a otros usos consuntivos. Este uso representa 6% de los usos consuntivos nacionales, de los cuales el 44% está ubicado en la Región Metropolitana, con un consumo per cápita de 230 l/cap/día (FCCyT, 2012) y el 12% en la Región de Valparaíso (SISS, 2010). El abastecimiento de Taltal y Antofagasta proviene de la desalación a partir de fuentes de agua salobre (SISS, 2010), debido a la alta escasez hídrica en esta zona.

A diferencia de los tres sectores anteriormente presentados, en el sector doméstico no se han observado cambios de eficiencia significativos. El promedio actual de eficiencia de las empresas sanitarias en Chile es de un 32% (Instituto de Ingenieros de Chile, 2011).

De acuerdo al diagnóstico realizado por el Banco Mundial (Banco Mundial, 2011), las principales fuentes de abastecimiento de las empresas sanitarias son las aguas superficiales; las fuentes superficiales representan un 54%, mientras que las aguas subterráneas un 46% (SISS, 2010). En el Sector Hidrológico Pacífico Seco, debido a la escasez de agua, las sanitarias han comenzado a implementar proyectos de desalación de aguas como nuevas fuentes de agua.

Es importante destacar que la producción y distribución de agua potable, la recolección de aguas residuales así como su tratamiento (en las localidades grandes) la ejercen empresas privadas ya sea en sanitarias privatizadas o concesionadas; Las mayorías de las empresas sanitarias chilenas son concesionadas, que se rigen por la Ley de Servicios Sanitarios y por el Reglamento de Concesiones Sanitarias. En las localidades pequeñas, en cambio, la administración de la producción y distribución del agua están a cargo de los comités rurales de agua potable, que cuentan con apoyo técnico de parte del Estado.

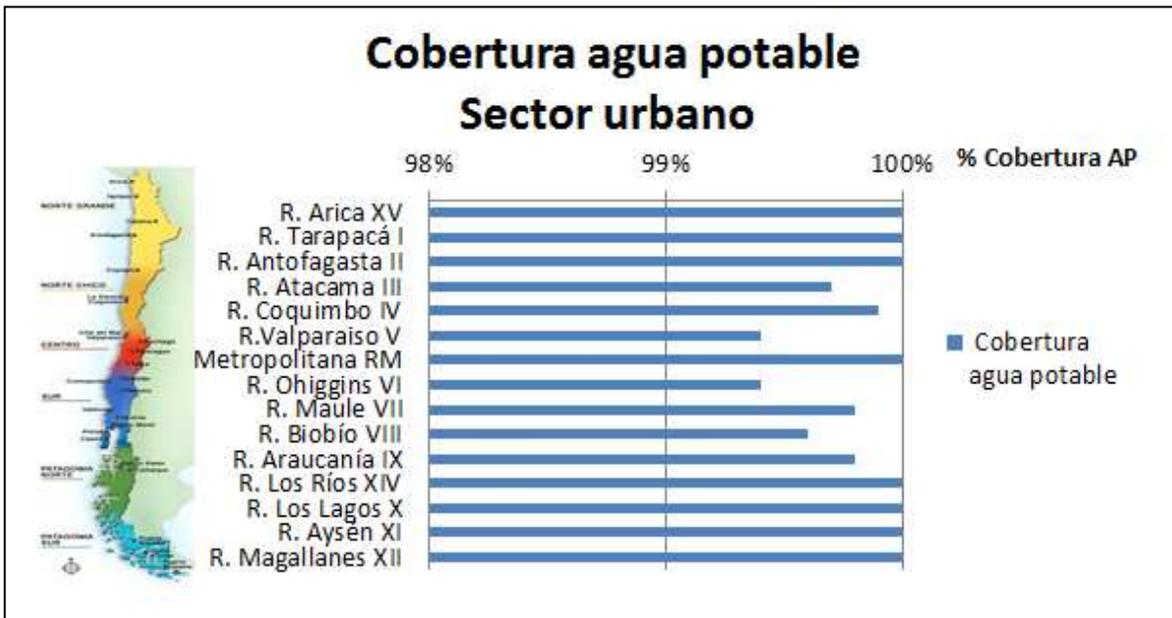
Este modelo de gestión ha permitido aumentar significativamente la cobertura de agua potable y de tratamiento de aguas residuales (Figura 3-10). Es así como en la actualidad Chile ha logrado una cobertura en agua potable y alcantarillado del 99,8% y 95,6% respectivamente de la población urbana y de aproximadamente un 60% de la población rural (Banco Mundial, 2011). Por otro lado, la cobertura de tratamiento de las aguas servidas en Chile ha aumentado desde un 17% en 1998 a aproximadamente un 85% en 2009 (Banco Mundial, 2011).



Fuente: FCCYT (2012)

Figura 3-10: Cobertura de Agua Potable y de Tratamiento de Aguas Servidas

La Figura 3-11 muestra la cobertura por región que ha alcanzado el agua potable en el sector urbano. De acuerdo a esta, podemos indicar que las regiones que presentan porcentajes inferiores al 100%, son aquellas próximas a la Región Metropolitana.



Fuente: Elaboración propia en base a informes del SISS (2011)

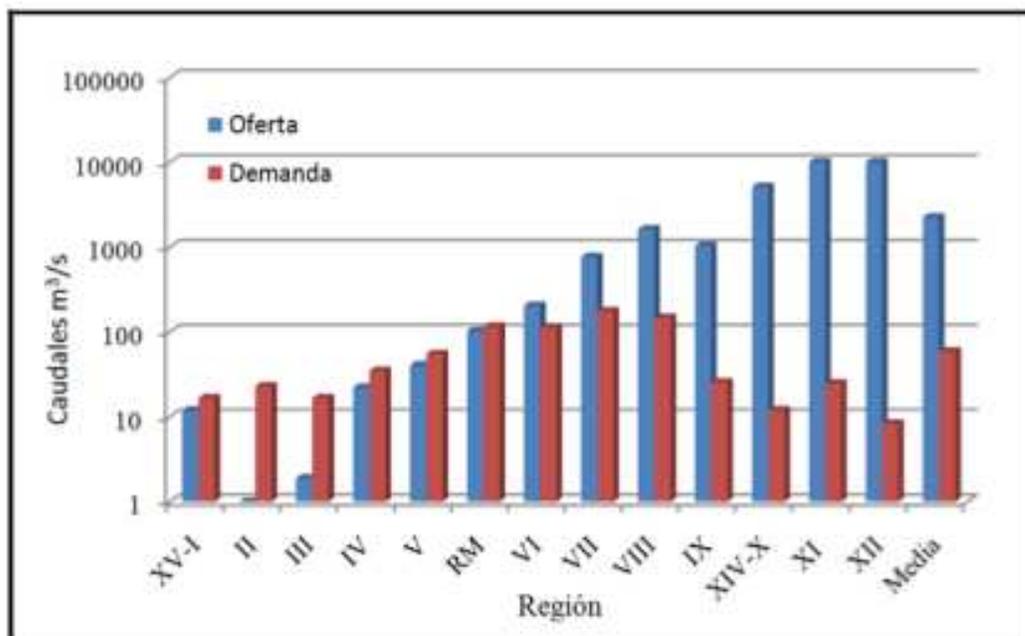
Figura 3-11: Cobertura de agua potable en el sector urbano, por región en Chile.

En relación al abastecimiento de agua potable del sector rural, actualmente se cuenta con una cobertura de aproximadamente el 99% de la población en sectores concentrados, que son aquellas localidades cuya densidad habitacional sobrepasa las 15 viviendas por kilómetro de red y con al menos 150 habitantes, en estas zonas, se abastece con agua potable a aproximadamente 1.500.0000 habitantes. A su vez la cobertura de agua potable en zonas semiconcentradas es de 1.5% aproximadamente, en estas zonas la densidad habitacional varía entre 8 y 15 viviendas por kilómetro de red y existen entre 80 a 150 habitantes, considerando que a lo largo de Chile, en estas localidades habitan alrededor de 500.000 personas. De acuerdo a estos antecedentes, la cobertura de agua potable en el sector rural alcanza alrededor del 74% de la población rural.

3.2.1.5 Estimación de Balance Hídrico de los Usos Consuntivos

A través del balance hídrico se identifica que a lo largo del país, existen zonas en las cuales las disponibilidades hídricas son abundantes, por lo que se podría aseverar que, en promedio, el país cuenta con mayores disponibilidades de recursos hídricos que los utilizados. No obstante, al revisar la situación regional, la imagen cambia, ya que, como se aprecia en la Figura 3-12 de la Región Metropolitana hacia el norte, hay una presión importante sobre los recursos hídricos, en donde las demandas de agua superan el caudal disponible, generando una situación de sequía hidrológica permanente. Esto último se explica principalmente por el uso de los caudales de retorno y en algunos casos,

por la sobre-explotación de los acuíferos. No obstante, la relación extracción/disponibilidad de agua se presenta favorable entre las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins y la Araucanía, y de la región de Los Lagos al sur, la disponibilidad de agua supera ampliamente el uso.



Fuente: Banco Mundial, 2011

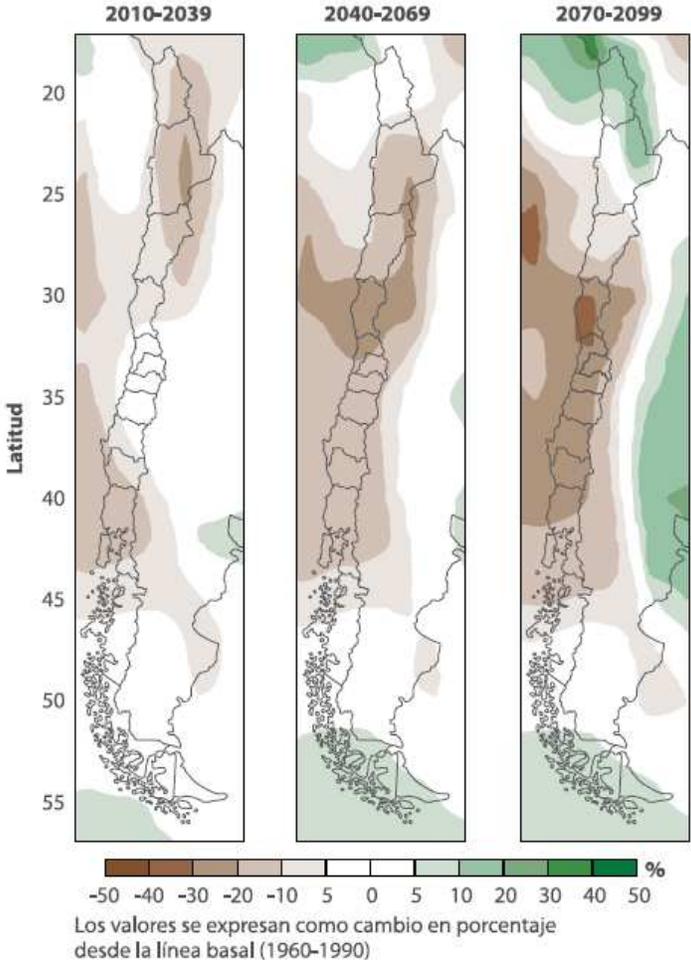
Figura 3-12: Recursos disponibles y extracciones por usos consuntivos

Estas sequías hidrológicas en los sectores hidrológicos Pacífico Seco y Chile Central aumentarán al considerar las proyecciones de cambio climático en Chile. Estas proyecciones indican una señal robusta que la temperatura aumentará en todo el territorio nacional aproximadamente unos 2° C. Las proyecciones de pluviometría, en cambio, son mixtas, ya que en el extremo norte se proyectan aumentos en las precipitaciones pero para la gran mayoría del territorio se esperan disminuciones en las lluvias (Figura 3-13).

En un escenario de simulación de las condiciones hidrológicas proyectadas para el periodo futuro 2070-2100, se concluye que la cobertura de demanda de agua para todos los usos consuntivos disminuye ostensiblemente debido a un cambio relevante en la disponibilidad de agua superficial asociada a estos escenarios climáticos (Donoso *et al.*, 2009). Es importante en este sentido incorporar estrategias de adaptación a nivel nacional para prepararse frente a los impactos del Cambio Climático especialmente en sectores altamente sensibles a los cambios climáticos como es el sector agrícola.

Dentro de este contexto, en el año 2008, la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) presentó su Plan de Acción en Cambio Climático, el cual está concentrado en generar una línea base de información sobre escenarios de impacto y opciones de

adaptación en sectores considerados claves en el quehacer nacional. En el marco de este Plan, el 2008 se constituyó el Consejo del Cambio Climático y Agricultura, el cual responde a la necesidad de preocuparse por una adaptación del sector agrícola, forestal y pecuario a los efectos del cambio climático.



Fuente: FCCYT (2012)

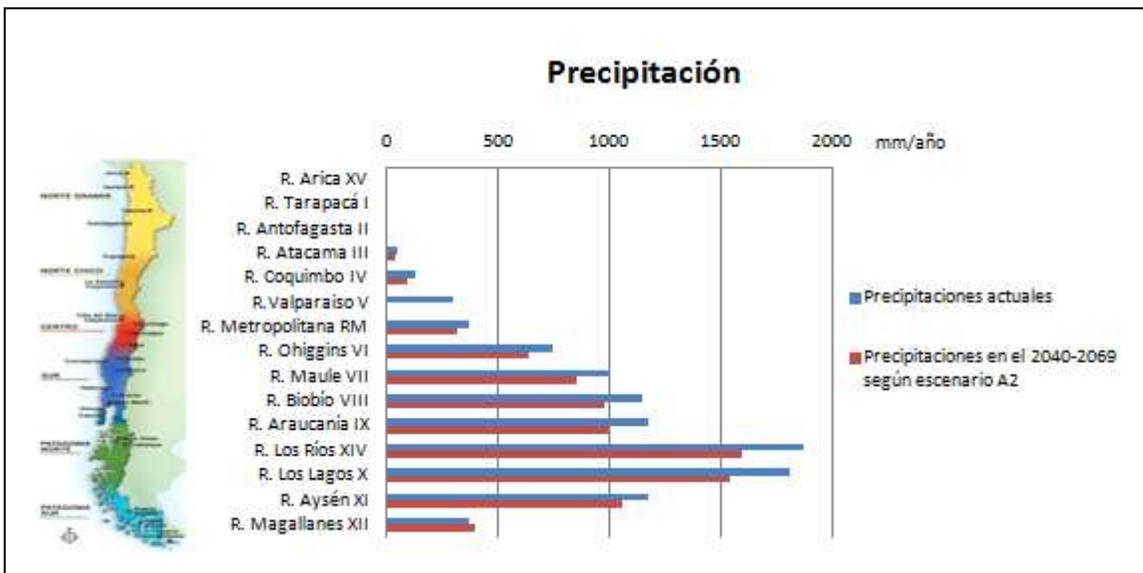
Figura 3-13: Proyecciones para la precipitación bajo el escenario de emisiones A2

De acuerdo a este escenario se puede realizar una proyección de la oferta de agua disponible en el año 2040-2070, que se aprecia en la Figura 3-14, así como las precipitaciones promedio esperadas en ese mismo año (Figura 3-15).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-14: Oferta de agua en las distintas regiones del país según el escenario de emisiones A2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-15: Precipitaciones en las distintas regiones del país según el escenario de emisiones A2.

3.2.2 Usos No-Consumivos del Agua

El uso de agua para la producción de energía eléctrica ha crecido fuertemente,

estimándose en alrededor de 4.190 m³/s (Ayala, 2010), siendo la energía hidroeléctrica el 38% de la energía eléctrica producida. Lo que se explica por el crecimiento importante de la demanda eléctrica, consecuencia del crecimiento sostenido de la economía en los últimos 30 años y de su dependencia en procesos de producción que requieren una gran cantidad de energía. De ese 38%, el 27% corresponde a energía hidroeléctrica proveniente de embalses, un 10% a centrales de pasada y un 1% a plantas pequeñas que no son capaces de generar más de 20MW de energía (FCCyT, 2012). Concentrándose la mayor parte de la energía hidráulica en las regiones del Maule y Bío-Bío.

La capacidad de almacenamiento para hidroelectricidad ya suma cerca de 10.000 millones m³, más del doble de la correspondiente a los embalses para riego. En este sentido, se han construido seis embalses destinados para generación hidroeléctrica, de los cuales tres de los más grandes tienen usos compartidos con el sector riego, tal como se aprecia en la **Tabla 3-4**.

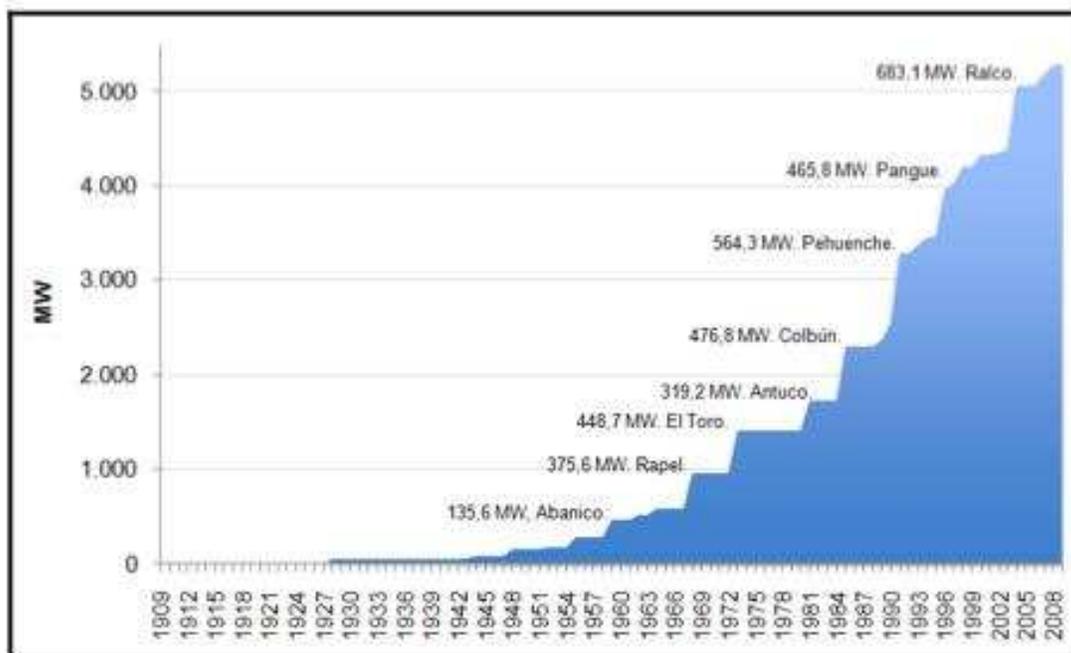
Tabla 3-4: Capacidad de Almacenamiento hídrico de Embalses en Chile

Embalse	Región	Cuenca	Uso Principal	Capacidad Máx.
Conchi	III	Loa	Riego	22
Lautaro	III	Copiapó	Riego	35
Santa Juana	III	Huasco	Riego	166
La Laguna	IV	Elqui	Riego	40
Puclaro	IV	Elqui	Riego	200
Recoleta	IV	Limarí	Riego	100
La Paloma	IV	Limarí	Riego	748
Cogotí	IV	Limarí	Riego	150
Culimo	IV	Quilimarí	Riego	10
Corrales	IV	Illapel	Riego	50

Tabla 3.4 Continuación				
El Yeso	RM	Maipo	Agua Potable	256
Rungue	RM	Maipo	Riego	2,2
Peñuelas	V	Peñuelas	Agua Potable	95
Convento Viejo	VI	Rapel	Riego	237
Rapel	VI	Rapel	Generación hidroeléctrica	695
Colbún	VII	Maule	Riego y generación hidroeléctrica	1.544
Laguna Maule	VII	Maule	Riego y generación hidroeléctrica	1.420
Bullileo	VII	Maule	Riego	60
Digua	VII	Maule	Riego	220
Tutuvén	VII	Maule	Riego	15
Coihueco	VIII	Itata	Riego	29
Lago Raja	VIII	Biobío	Riego y generación hidroeléctrica	5.582
Ralco	VIII	Biobío	Generación hidroeléctrica	669
Pangue	VIII	Biobío	Generación hidroeléctrica	83
Total Generación Hidroeléctrica				9.993
Total				12.428,2

Fuente: Elaboración propia en base a informes de la DGA (2010)

Cabe destacar que, de acuerdo al informe anual sobre energía eléctrica del año 2009, hasta 1981, el sector eléctrico sólo utilizaba el 33% de la potencia instalada (INE, 2010). Desde entonces, el crecimiento de la potencia instalada ha sido significativo. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la evolución de la entrada en servicio, de las más importantes centrales hidroeléctrica del país.



Fuente: Banco Mundial, 2011

Figura 3-6: Evolución de la Potencia Hidroeléctrica Instalada (1909-2009)

De acuerdo al objetivo del gobierno de aumentar el PIB en un 6% anual, se estima que se debe duplicar la disponibilidad de energía para el 2020 (INE, 2010 y Banco Central de Chile, 2010 en Banco Mundial, 2011). Para lograr este aumento en la disponibilidad de energía, el CNE indica que durante el 2008 al 2020 aproximadamente el 34% de la expansión de los sistemas SIC Y SING será cubierto por proyectos hidroeléctricos convencionales y en un 38% por termoeléctricos que también demandan agua para refrigeración.

Se espera que en los próximos años el uso de agua para energía hidroeléctrica vaya en aumento debido que el año 2007 se promulgo una ley que incentiva la implementación de centrales de energía renovables en desmedro de termoeléctricas, la cual dice que al menos el 5% de la energía que venden las empresas a los usuarios finales desde el 2010 al 2014 debe venir de una fuente renovable, porcentaje que va aumentando anualmente en un 0.5% hasta lograr un 10% el año 2024.

3.3 Calidad De Aguas: Contaminación Difusa Agrícola

3.3.1 Calidad de las Aguas

Los sistemas hidrográficos chilenos se caracterizan por el reducido tamaño de las cuencas y el corto recorrido entre la Cordillera y el Océano Pacífico, así como por la significativa pendiente de los ríos. Estas características contribuyen a que los problemas de contaminación tengan un ámbito espacial reducido y favorezcan los procesos de auto purificación de los cauces. Sin embargo, desde la Región Metropolitana al norte, la escasa disponibilidad de las aguas y la alta magnitud relativa de las extracciones agrícolas, urbanas, mineras e industriales, determina que la capacidad de dilución de contaminantes sea baja, presentando una mayor vulnerabilidad frente a los procesos de contaminación. También son particularmente vulnerables a la contaminación, los lagos costeros que se comportan como sumideros de los contaminantes que llegan desde aguas arriba y los acuíferos que en Chile son principalmente libres o semi-confinados, con poca profundidad en la parte media y baja de las cuencas.

Información sobre la calidad del agua

Los sistemas de monitoreo de calidad de agua actualmente existentes en Chile presentan limitaciones de cobertura, equipamiento e idoneidad, lo que limita la posibilidad de llevar a cabo una evaluación exacta y detallada del alcance del problema, lo que constituye un obstáculo serio para la gestión de los recursos hídricos. La red de monitoreo con la que se cuenta es insuficiente para caracterizar adecuadamente los ríos, lagos, estuarios y zonas costeras del país. Incluso, en la actualidad existen áreas del territorio donde no se dispone de información de calidad del agua. Los lagos costeros son actualmente los cuerpos de agua más vulnerables debido a que reciben la carga contaminante proveniente del valle central y estos no son considerados dentro de la red mínima de control de calidad de las aguas en lagos, por lo que la información disponible sobre el estado ambiental de estos lagos proviene fundamentalmente de algunas ONG. Adicionalmente, la red considera un conjunto limitado de parámetros y no los estratifica en función de la heterogeneidad que se observa a lo largo del territorio nacional. Finalmente, existe una escasa información, y, por lo mismo, una limitada comprensión de los ecosistemas acuáticos.

Origen y nivel de la contaminación

La contaminación de los cursos y cuerpos de agua en Chile tiene tanto orígenes naturales, como humanos (Figura 3.3-17); existe un nivel de contaminación natural importante de las aguas debido a fenómenos volcánicos, suelos salinos e estratos metalogénicos entre otros, que incluso han hecho que en diferentes partes del país, la

calidad natural de las aguas sobrepase los niveles máximos de algunos contaminantes establecidos en la norma vigente para uso humano. También, y a pesar de las iniciativas tendientes a proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas, existe una contaminación causada por el hombre en la mayoría de los cursos de agua.

El 2005 se preparó el estudio "Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad" (CADE-IDEPE, 2005) indicando para cada cuenca los niveles de contaminación natural y motivada por el hombre; sin embargo, los datos sobre la contaminación motivada por el hombre están desactualizados. De hecho, Chile ha estado realizando esfuerzos importantes en el tratamiento de las aguas Riles de las empresas sanitarias y de los establecimientos industriales, con lo que las descargas de ciertos elementos han disminuido significativamente. Sin embargo, las normas de emisión no abordan todos los tipos y todas las fuentes de contaminantes. Hoy en día, las principales fuentes de contaminación de origen humano son: la contaminación difusa, principalmente agrícola y agro-forestal; además de la contaminación por residuos mineros.

En la zona norte del país la contaminación del agua se ha debido principalmente al contacto del agua en el sector elevado de los ríos con suelos ricos en minerales expuestos por la erosión de las formaciones rocosas traspasando componentes como cobre, cromo, molibdeno, boro y aluminio al agua (FCCyT, 2012).

En la zona centro de Chile la contaminación del agua se origina de cargas orgánicas provenientes de asentamientos urbanos, debido a que es en esta zona donde se concentra la mayor parte de la población y por el alto uso del agua en agricultura provocando contaminación por fertilizantes y pesticidas. Con respecto a este último impacto, no se tiene mayor información debido a que las regulaciones ambientales en el país se han ocupado de las descargas controladas a los cuerpos de agua y no de la calidad de los cuerpos receptores en sí mismo (FCCyT, 2012).

En la zona sur la situación es diferente, debido a las altas tasas de descarga en las corrientes superficiales, los desechos líquidos que incorporan municipalidades e industrias en los ríos se diluyen (FCCyT, 2012), produciendo eventos contaminantes de alto perfil cada cierto tiempo.



FCCyT, 2012

Figura 3.3-17: Distribución regional de problemas relacionados con calidad de agua.

Además, la contaminación y/o los riesgos de la contaminación de aguas están asociados a diferentes sectores económicos del país.

Sector Forestal

Al reemplazar la vegetación nativa por plantaciones exóticas en las orilla de los ríos, el drenaje de los suelos para aumentar la cobertura forestal, el aumento del transporte de sedimentos en la cosecha, la acidificación de los suelos con la consecuente liberación de nutrientes y metales, así como la aplicación de compuestos fitosanitarios y el uso del agua para combatir incendios forestales producen una pérdida en la capacidad natural de mejoramiento de las aguas y por consecuencia afectan la calidad de estas (Banco Mundial, 2011).

Sector Agricultura

En este sector el efecto en la calidad de las agua se debe más que nada a la contaminación química de fertilizantes y pesticidas que se acumula en algunos acuíferos y

la reutilización de efluentes de aguas servidas para riego que pueden transmitir una serie de organismos patógenos aún después de tratamientos secundarios realizados a las aguas (Banco Mundial, 2011).

Sector Acuícola

La producción acuícola en ríos y lagos genera una disminución de la calidad de las aguas provocada por la carga de nutrientes y productos orgánicos persistentes como medicamentos y compuestos sanitarios, es por ello que en los últimos años se ha avanzado en el tema legal para evitar este tipo de cultivos en cauces naturales (Banco Mundial, 2011).

Sector Minería

Si bien las grandes explotaciones mineras actuales reciclan y tratan bien sus vertidos, las miles de pequeñas minas artesanales y los pasivos ambientales de origen minero como relaves y depósitos estériles, no tienen ningún tipo de medida de control respecto a la contaminación de sus aguas, constituyendo una fuente muy importante de contaminantes a los ríos e incluso a las zonas marinas adyacentes. Además la desalinización de agua de mar podría afectar la calidad de aguas superficiales tanto como subterráneas, no solo por la salinidad de las mismas sino también por su diferente composición química (Banco Mundial, 2011).

Sector Energético

En los embalses propios de la energía hidroeléctrica se produce un cambio del régimen hidrológico de las aguas, reducción de los caudales y pérdida de variabilidad natural provocando la eutrofización de las aguas y su deterioro en calidad (Banco Mundial, 2011).

3.3.2 Evolución reciente

Los niveles de fósforo total y oxígeno disuelto recientemente se han reducido en los principales lagos del país, lo que implica una mejora, por ejemplo el nivel de oxígeno disminuyó en 2µg/l en aguas superficiales de 1980 al 2000 (FCCyT, 2012), sin embargo, la concentración en nitrógeno total sigue creciendo. La reducción de los niveles de fósforo y oxígeno disuelto está atribuida al incremento del tratamiento de las aguas servidas. Los lagos costeros y los estuarios son particularmente vulnerables y se ha visto un crecimiento importante de los fenómenos de eutrofización en algunos de ellos, como el lago Budi, Lanalhue, y Vichuquén (Contreras, 2010), así como la aparición de microalgas

nocivas durante el verano en el lago Villarrica (Sur de Chile), pudiendo provocar impactos en las actividades económicas relacionadas a cada sector (FCCyT, 2012).

El cambio en el uso del suelo y la urbanización han provocado un cambio en la calidad del agua. Los datos de la Red Nacional de Monitoreo de la DGA muestran un incremento significativo en el nitrógeno/nitrato disuelto en los últimos 23 años (1985-2008) en 6 de los 9 ríos principales de la región central de Chile (Bíobío, Bueno, Imperial, Maule, Rapel y Valdivia); y un incremento significativo en el fósforo/fosfato en 2 de los 9 ríos (Rapel y Maule), ambos químicos asociados a la fertilización agrícola (Pizarro, 2009). En esos 9 ríos estudiados, la concentración media de nitrógeno en la aguas varía de 0,1mg/l a 1,6mg/l, mientras que la concentración media del fosforo varía de 0,1mg/l a 0,41mg/l (Banco Mundial, 2011).

Los ríos en el Norte de Chile tienen en general una elevada concentración de metales pesados provenientes de polución natural y minera. Un estudio reciente aborda la variación de concentración de metales pesados y sulfatos (subproducto de la minería) en 11 ríos del norte de Chile (Copiapó, Huasco, Los Choros, Elqui, Limarí, Choapa, Petorca, Ligua, Aconcagua, Maipo y Rapel). Este estudio muestra una elevada concentración de metales pesados y sulfatos, excediendo en muchos casos las normativas chilenas.

El Arsénico es uno de los metales pesados más importante en relación a la contaminación natural en Chile, además la alta evaporación y el aumento de la extracción del recurso hídrico han provocado el incremento del contenido de sales en las aguas (FCCyT, 2012). Así como el Aluminio es sumamente importante en la zona central del país.

Para poder controlar este cambio en las aguas, se están definiendo normas específicas para regular la calidad del agua de las descargas a los sistemas acuáticos, considerando las condiciones particulares de los cuerpos de agua receptores. Además de ya contar con una regulación de las descargas (FCCyT, 2012).

3.3.3 Sistemas de Información de Calidad del Recurso

A nivel nacional actualmente se cuenta con una red de medición de calidad con más de 300 puestos de control, que realizan entre tres y cuatro muestreos al año en cauces de aguas superficiales. Además de la red de calidad de aguas superficiales, se cuenta con una red de aguas subterráneas con 70 centros de control, y una en lagos, la cual, por ser muy reciente, sólo contempla algunos lagos y embalses, con solo 57 unidades de control a lo largo del país (Sancha, 2005).

Red de Calidad de las Aguas

Actualmente el país cuenta con diversas redes de control de calidad del recurso hídrico, no obstante, dada la situación hidrológica actual, estas formas de monitoreo se vuelven

claves, y es necesario continuar ampliándolas y perfeccionándolas. De esta forma, es fundamental contemplar el mejoramiento de la red nacional de calidad de las aguas, tanto en la amplitud de su cobertura, como en términos de los parámetros medidos y frecuencia y continuidad de los registros. Las características de la red actual son inadecuadas para atender los objetivos de vigilancia que supone la futura implementación en el país de las normas de calidad secundarias en todas las cuencas del territorio nacional. Estas normas establecen los límites máximos y mínimos de la concentración o permanencia en cauces y cuerpos de agua, de diversas sustancias, elementos, energía, e incluso la combinación de éstas, para las cuales el sistema de control de calidad actual no está adaptado (Medina & Encina-Montoya, 2003).

Técnicas de Control

En las técnicas de control de la contaminación se diagnostica una necesidad de desarrollar una red de calidad ambiental de los ríos orientada a incorporar nuevas técnicas, como por ejemplo los bio-indicadores, que permitan efectuar una evaluación objetiva y general de la situación ambiental de los ríos del país y del impacto de las acciones y políticas que se lleven adelante sobre la materia (Instituto de Ingenieros, 2011). Los análisis con bio-indicadores pueden realizarse en terreno o en laboratorio, mediante la mantención de ciertos organismos en el cuerpo de agua, los cuales muestran una respuesta distinta frente a la exposición del contaminante que se desea evaluar.

Red Sedimentométrica

En cuanto a la actual red sedimentométrica nacional, ésta es insuficiente en cobertura y gama de parámetros registrados para las actuales necesidades del país. De esta forma, el perfeccionar esta red se vuelve una de las materias más importantes para monitorear la calidad del recurso hídrico, siendo pieza clave para mejorar su calidad.

3.3.4 Asegurar la Calidad de las Aguas

Es importante profundizar en las medidas ya tomadas para asegurar la calidad del agua y no presentar o disminuir las pérdidas en ese aspecto. Si bien la preocupación por proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas es bastante reciente en muchos países, se han logrado avances impresionantes en poco más de 10 años. Sin embargo en ciertas partes del país, en particular en los cuerpos de agua de las zonas costeras y del norte se ha dado una disminución de la calidad de las aguas.

A pesar de haber introducido reformas en el área de la gestión medioambiental, incluyendo una racionalización de las competencias de la gestión de la calidad de las aguas y una mejora en la efectividad e integración del marco regulatorio. Existe aún desafíos pendientes como afrontar la contaminación difusa agrícola y forestal que aún no

se controla, los impactos de pasivos asociados a los residuos mineros, la protección de lagos costeros, estuarios y aguas subterráneas particularmente vulnerables a la contaminación (Banco Mundial, 2011).

Por ello, es aún un desafío implementar los instrumentos para el control de la contaminación previstos por la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, como las normas de calidad ambiental de las aguas receptoras y los planes de prevención y descontaminación asociados. Además es importante afrontar limitantes como:

- Mejorar la caracterización de las aguas que entregan la red de monitoreo de la calidad de aguas y el sistema de información actual.
- Falta de información y entendimiento sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos frente a cambios de caudal y calidad de aguas.
- Déficit de cantidad y calidad en personal de las Comisiones Regionales del Medio Ambiente y en la DGA. Dificultando la definición de normas secundarias como la fiscalización, y definición de caudales ecológicos, operación de la red y del sistema de información de la calidad del agua respectivamente.
- Problemas en el diseño de instrumentos de gestión, como las normas de emisión que no consideran las características ecológicas de los cuerpos de aguas receptores.
- La gestión de calidad de aguas posee un marco institucional muy fragmentado. Esto podría evitarse si el nuevo Ministerio del Medio Ambiente gestionara el ámbito de acción de cada organismo respecto a la calidad del agua. Considerando que el análisis técnico y los datos de campo están a cargo de la DGA (Banco Mundial, 2011).

Evaluación Ambiental Estratégica

La preocupación por la gestión de la calidad de agua y la más amplia temática ambiental es relativamente reciente en Chile. En particular, la definición de los derechos de aprovechamientos de aguas (DAA) establecida por el código de aguas (CA) no reconoce como usos los requerimientos medioambientales. Es en 1994 y luego en 2005, que aparecen los dos principales instrumentos que permiten hoy la protección de los requerimientos hídricos ambientales: el SEIA introducido por la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y el caudal ecológico mínimo a la constitución de nuevos DAA establecido por la Ley 20.017 de 2005 que reforma el CA (Banco Mundial, 2011). El SEIA evalúa grandes proyectos de inversión, tanto privados como públicos con el fin de determinar si estos pueden generar diversos efectos adversos, los cuales deben ser mitigados.

Sin embargo, falta mucho por hacer para que los requerimientos hídricos del medio ambiente sean correctamente protegidos. En las cuencas con alta escasez de agua, la protección de los caudales ecológicos mínimos a través de la constitución de nuevos derechos no es una solución, ya que estas cuencas no hay DAA para otorgar. Esto significa que se debe estudiar otro mecanismo que permita adquirir DAA concedidos para

constituir los caudales ecológicos. Además, la patente por no uso y la necesidad de justificar el uso futuro del agua para la constitución de nuevos DAA introducidos en 2005 con la enmienda del CA, han inhibido que actores privados interesados en conservar parte del recurso hídrico para el uso ambiental o recreacional en los cuerpos de agua adquieran y conserven DAA para este propósito.

Por último, una fuente importante de conflictividad entre los usuarios y la DGA es la diversidad de los criterios y metodologías conforme a los cuales se han establecido los caudales ecológicos mínimos (Vergara, 2010). Por lo tanto, la Ley n.° 20.417 de 2010 que crea el MMA, modificó el CA incorporando un reglamento que deberá llevar la firma de los Ministros del Medio Ambiente y de Obras Públicas, determinará los criterios en virtud de los cuales se establecerá el caudal ecológico mínimo. Sin embargo, todavía no se ha aprobado tal reglamento.

3.4 Estructuras y Obras Hidráulicas

En cuanto a obras hidráulicas nacionales, se pueden distinguir aquellas estructuras realizadas para la entrega de Agua Potable Urbana, Agua Potable Rural (APR), para el drenaje de las aguas lluvias, manejo de los cauces, además de estructuras mayores para el almacenamiento y distribución de las aguas para diferentes usos urbanos, agrícolas, industriales, mineros y de generación de energía.

Obras Sanitarias

Del informe de cobertura del sector sanitario en Chile para el año 2010, hay 58 empresas que operan servicios sanitarios en zonas urbanas del país, conteniendo a un universo de 15.027.479 de habitantes a quienes se debe proveer de agua potable y encargarse de la recolección y tratamiento de las aguas servidas, además de la disposición final de las mismas (CChC, 2010). Hoy en día, estas actividades involucran al 98% del total de habitantes de zonas urbanas, que representan el 88% del total de consumidores del país.

Sistemas de Agua Potable Rural (APR)

Desde un principio el propósito del Programa de Agua Potable Rural ha sido el desarrollo de las familias rurales, tanto en salud como en desarrollo social, siendo los objetivos el dotar de agua potable a la población rural semi-concentrada en calidad, cantidad y continuidad; disminuir las tasas de morbilidad y mortalidad causadas por enfermedades de origen hídrico; y finalmente, promover el desarrollo económico y social de las localidades atendidas.

En el sector rural semi-concentrado de Chile viven aproximadamente 2,5 millones de personas, a quienes desde hace más de 40 años, se les ha apoyado en la construcción

de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable Rural, llevado a cabo por el MOP, con el fin de resolver favorablemente el tema de la salubridad rural (DOH, 2010). Por medio de este programa, actualmente se abastece a una población del orden de 1.447.871 personas de zonas rurales (MOP, 2011).

Obras de Drenaje de Aguas Lluvias

Desde el año 1997 y mediante la ley N° 19.525, la Dirección de Obras Hidráulicas, adquirió la competencia en el tema del drenaje de las aguas lluvia en las zonas urbanas. Para ello, los primeros requisitos para solucionar el tema de las inundaciones, incluye el desarrollo de un Plan Maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvia, para cada una de las ciudades en estudio.

Hasta la fecha se han realizado los Planes Maestros de Evacuación y Drenaje de las Aguas Lluvias de las 31 ciudades más populosas del país, los cuales el 95% ya está construido, incluyendo estructuras como colectores de aguas lluvias, además de otras obras de captación, decantadores, y se complementan con obras de limpieza de colectores y de tratamiento de las aguas.

Manejo de Cauces

Se han realizado Planes Maestros de Manejo de Cauces Naturales en distintos ríos del país, para lo cual se desarrolla un diagnóstico del comportamiento hidráulico fluvial de los cauces naturales que conforman una cuenca determinada, y de su efecto en el entorno. Hasta la fecha se han realizado este tipo de estudios en siete cuencas del país (ver Tabla 3-5), los cuales incluyen además, una proposición de medidas estructurales (obras) y no estructurales (criterios y normas técnicas relativas al uso del suelo ribereño) para enfrentar los problemas detectados.

Obras de Riego

A través del tiempo se han construido grandes embalses para riego, que suman cerca de 4.200 MMm³ de capacidad. Entre los más importantes se pueden nombrar: Cogotí, Recoleta y Paloma, en la cuenca del Limarí, Santa Juana en el valle del Huasco, Puclaro en el valle del Elqui, Corrales en la cuenca del Choapa, Bullileo y Digua en la provincia de Linares (Banco Mundial, 2011).

Tabla 3-5: Planes Maestros de Manejo de Cauces llevados a cabo

Nº	Región	Sector
1	XV Región, de Arica y Parinacota	Cuenca de los Ríos Lluta y San José y sus Desembocaduras
2	Región Metropolitana	Cuenca del estero Lampa,
3	Región Metropolitana	Cuenca del Río Mapocho hasta Estero Las Hualtatas,
4	VII Región del Maule	Cuenca del Río Maule,
5	VII Región del Maule	Cuenca de los Ríos Longaví y Achibueno,
6	VII Región del Maule	Cuenca del Río Mataquito,
7	VIII Región del Biobío	Cuenca Ríos Itata, Ñuble y Cato,

Fuente: Elaboración propia en base a datos DOH (2011)

Además, para conducir el agua hasta la zona de los cultivos se han ido construyendo canales, entre los que se puede nombrar los: Sistemas de los canales Maule Norte y Maule Sur, canal Laja, canal Melado, canales Biobío Sur y Norte, canal Lauca, canal Laja-Diguillín y canal Pencahue. Actualmente se encuentra en construcción el canal Faja Maisan.

Finalmente, uno de los factores que ha influido en el desarrollo de la infraestructura extra e intrapredial de riego es la Ley de Fomento a las inversiones en Riego y Drenaje (Ley Nº 18.450), administrada por la Comisión Nacional de Riego. Esta herramienta de fomento financió, entre 1990 y 2007, más de 9.000 proyectos, apoyando a cerca de 200.000 beneficiarios, interviniendo una superficie de 1.740.000 ha (CNR, 2010).

4. Situación Institucional del agua en Chile

De acuerdo a Gazmuri y Rosengrant (1996), para que un sistema de gestión del agua funcione eficientemente, es fundamental definir con claridad las operaciones de regulación y supervisión de las autoridades relacionadas, además de las funciones operativas de los usuarios del recurso. En este sentido, el país ha desarrollado una institucionalidad basada en el mercado, en la gestión descentralizada y en el fomento a la participación del sector privado.

En el marco institucional establecido por el Código de Aguas de 1981, las funciones de gestión de los recursos hídricos asignados al Estado, son: medir y determinar la disponibilidad de los recursos hídricos, para generar las bases de datos que permitan una gestión informada de ellos; regular el uso de los recursos para evitar los efectos de terceros y su sobreexplotación; además de conservarlos y protegerlos por medio de un sistema de evaluación de impacto ambiental y de políticas ambientales. Para ello, el Estado cuenta con diferentes organismos que lo apoyan en el desempeño de estas metas, por lo que es necesario identificar cada una de estas instituciones involucradas previo al análisis de su real incidencia en la gestión de los recursos en la actualidad.

Por lo mismo, a continuación, se desarrolla un análisis de la institucionalidad y de las organizaciones de administración del agua que actúan en el país, identificando aquellos componentes que favorecen una buena gestión del recurso así como aquellos que es necesario perfeccionar.

4.1 Mapa Institucional del Agua

La institucionalidad vinculada con la gestión de las aguas en Chile es amplia y compleja, involucrando a organismos de prácticamente todos los sectores públicos del país. En esta línea, el principal organismo involucrado, a partir del cual se desprenden las demás instituciones, es la Presidencia de la República. Su objetivo es crear una sociedad donde todos cuenten con oportunidades para conseguir la realización personal y donde se aseguren valores como el respeto a la vida, la libertad, la diversidad y el cuidado del medio ambiente. A su vez, para el cumplimiento de este objetivo, el Presidente dispone de diversos programas e instituciones, gestionadas y fiscalizadas por los distintos Ministerios.

Un ejemplo de ello, es la Dirección General de Aguas (DGA), institución dependiente del Ministerio de Obras Públicas, encargada de constituir derechos de aprovechamiento de aguas, vigilar las aguas en los cauces naturales de uso público e impedir que se construyan, modifiquen o destruyan obras sin autorización, y supervigilar el funcionamiento de las Juntas de Vigilancia, entre otras. Este organismo es clave en la promoción de la gestión y administración del recurso hídrico, además de proporcionar y difundir la información generada por la red hidrométrica nacional y el Catastro Público de Aguas.

En cuanto a la construcción de infraestructura asociada al agua, es la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), también dependiente del MOP, quien se encarga del desarrollo de las infraestructuras de gran envergadura, como represas, canales y cauces, además de estar a cargo de mejorar el sistema de drenaje de aguas pluviales, mantener los colectores primarios de aguas lluvias y de los programas de Agua Potable Rural (APR).

Para el desarrollo de proyectos de riego más pequeños, la Comisión Nacional de Riego (CNR) presidida por el Ministro de Agricultura, ofrece su apoyo a través de la Ley de Fomento al Riego y Drenaje. Este programa subvenciona las inversiones privadas de riego a nivel predial.

Otro organismo, relacionado con los recursos hídricos, es el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), también del Ministerio de Agricultura. Esta institución, además de conservar y proteger los recursos naturales renovables que impactan en el sector silvoagropecuario nacional, participa en la regulación de los productos agropecuarios, cuidando que el sector tenga acceso a insumos seguros para las personas, los animales y el medio ambiente.

Además del SAG y de la CNR, el Ministerio de Agricultura posee otras cuatro instituciones que se relacionan con la gestión del recurso hídrico: (1) la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), que proporciona la información regional, nacional e internacional, para que los distintos agentes involucrados en la actividad silvoagropecuaria adopten sus decisiones; (2) el Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), principal institución de investigación agropecuaria de Chile, encargada de generar y transferir conocimientos y tecnologías estratégicas a escala global para producir innovación y mejorar la competitividad en el sector silvoagropecuario; (3) la Corporación Nacional Forestal (CONAF), cuyo objetivo es contribuir a la conservación, incremento, manejo y aprovechamiento de los recursos forestales; y (4) el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), quienes generan, recopilan e integran información sobre recursos naturales renovables, silvoagropecuarios y Productivos del País.

En temas de información, además de las instituciones mencionadas anteriormente, la Dirección Meteorológica de Chile (DMCh) dependiente de la Dirección General de Aeronáutica Civil a través de la Fuerza Aérea, tiene como propósito satisfacer las necesidades de información y previsión meteorológica de todas las actividades nacionales.

Paralelamente, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), es la institución dedicada a la conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables. Para ello, tiene a su cargo el desarrollo y aplicación de variados instrumentos de gestión ambiental en materia normativa, así como normas de calidad y de emisiones, además de planes de descontaminación.

En el sistema de suministro de agua y saneamiento en Chile existe una ley tarifaria en la cual la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) debe encargarse de otorgar las concesiones de los servicios sanitarios, fiscalizar a las empresas sanitarias, además de

realizar periódicamente los estudios necesarios para fijar las tarifas máximas que le son autorizadas a las concesionarias de servicios sanitarios. Estas tarifas deben permitir a cada empresa generar ingresos para cubrir los costos de explotación eficiente, además de un retorno de la inversión necesaria para la prestación del servicio de producción y distribución de agua potable y recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas.

Paralelamente, en la actualidad se está formando la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales que deberá formular proyectos de servicios sanitarios rurales y evaluarlos económica, técnica y socialmente; y contratar la inversión sectorial en materias relacionadas con servicios sanitarios rurales.

El Ministerio de Salud, se encarga de la formulación, control y evaluación de planes y programas generales en materia de salud, de la coordinación sectorial e intrasectorial para el logro de los objetivos sanitarios, además de ser la dirección que orienta las actividades del Estado relativas a la provisión de acciones de salud, de acuerdo con las políticas fijadas. Por ejemplo, para lograr los objetivos sanitarios 2011-2020, el Ministerio se propuso aumentar la cobertura de agua segura y sistemas de aguas servidas tratadas en el sector rural (Minsal, 2011). Este proyecto se complementa con lo propuesto por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, a través del Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU), de asegurar el desarrollo de las ciudades, promoviendo su planificación, disminuyendo el déficit habitacional de los sectores más vulnerables, reduciendo la inequidad y fomentando la integración social a través de la entrega de soluciones habitacionales. Dentro de las funciones de este último, se encuentran la de planificación, desarrollo y construcción de viviendas, además de urbanizar y normar el uso de los espacios de los centros urbanos para hacerlos apropiados para vivir, lo que integra aspectos de drenaje urbano.

Paralelamente, estos proyectos son apoyados por el Ministerio de Economía cuya misión es la de promover la modernización y competitividad de la estructura productiva del país, la iniciativa privada y la acción eficiente de los mercados, el desarrollo de la innovación y la consolidación de la inserción internacional de la economía del país, mediante la formulación de políticas, programas e instrumentos que faciliten la actividad de las unidades productivas del país. Dentro de estos instrumentos, se encuentra la Corporación de Fomento a la Producción (CORFO), que fomenta el emprendimiento y la innovación a través de más de 20 programas de apoyo.

A la vez, la Comisión Nacional de Energía (CNE), es el organismo técnico encargado de asesorar al Gobierno, por intermedio del Ministerio de Energía y participa en la institucionalidad del agua en todas aquellas materias vinculadas al sector energético en general y de la generación hidroeléctrica en particular, ya que dos tercios de la energía eléctrica del país son generados con recursos hídricos propios (ACENOR, 2010)

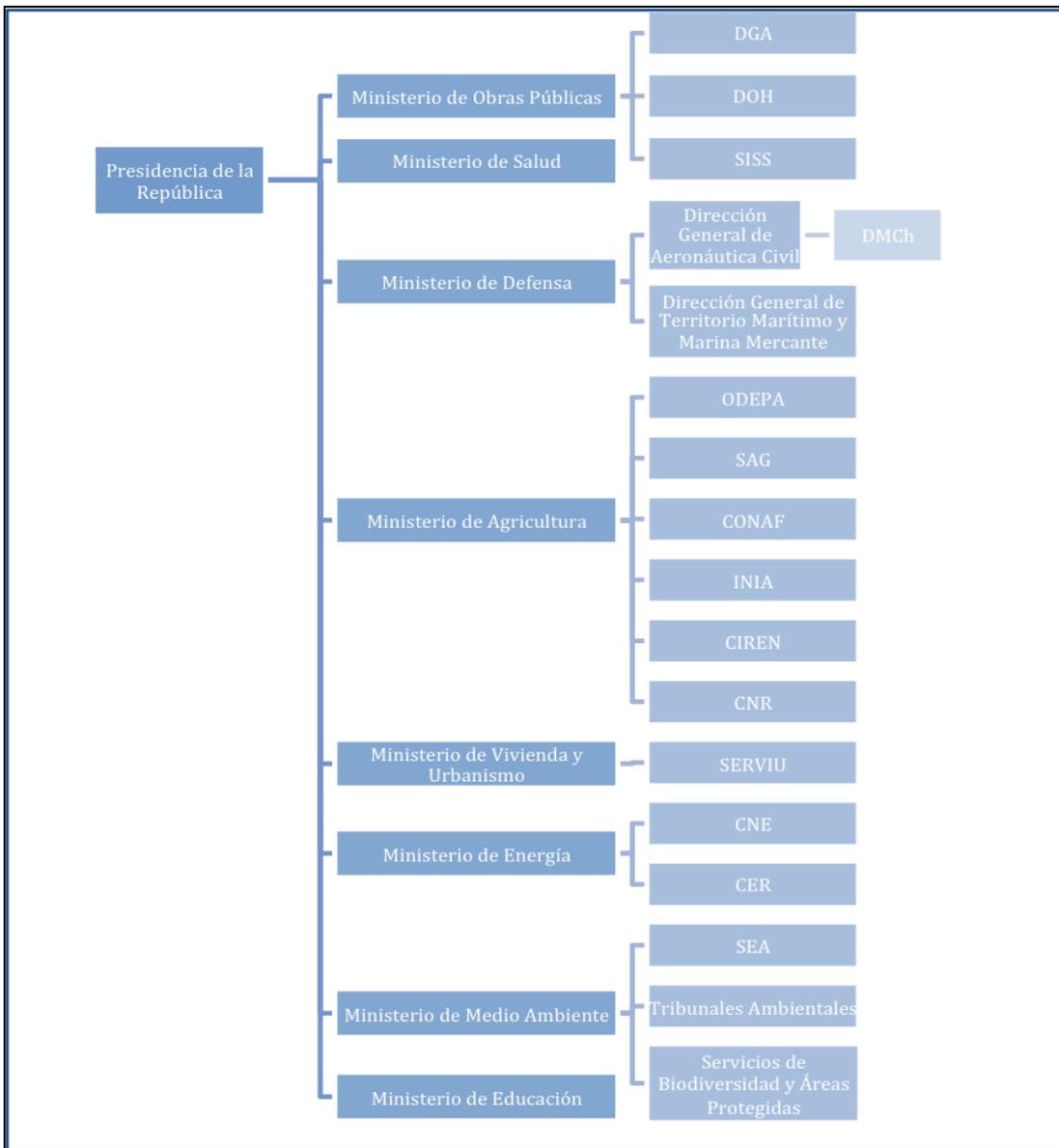
Finalmente, es necesario incluir en este recuento institucional del agua, a la DIRECTEMAR, ya que es el organismo de la Armada, mediante el cual el Estado de Chile cautela el cumplimiento de las leyes y acuerdos internacionales vigentes, para proteger la vida humana en el mar, el medio ambiente, los recursos naturales y regular las

actividades que se desarrollan en el ámbito acuático de su jurisdicción, con el propósito de contribuir el desarrollo marítimo de la nación.

A continuación en la Figura 4-1 se presenta esquemáticamente un mapa institucional nacional, que sintetiza la institucionalidad vigente en el país.

De esta forma, se puede apreciar, en síntesis, que la institucionalidad asociada al recurso hídrico está compuesta principalmente por una serie de organismos encargados de las funciones de regulación de las extracciones desde los cauces naturales y de los vertidos, la regulación ambiental de los aprovechamientos, la regulación de los servicios públicos y apoyo del riego. El alto número de organismos públicos asociados a la gestión del agua, convierte a Chile en el país con la más amplia asignación de roles y responsabilidades dentro de los países de la OCDE, en donde señalan también que esto puede imposibilitar el desarrollo de un mapeo institucional comprensible a nivel nacional, ya que ello implicaría hacer una gran cantidad de generalizaciones que ocultarían la diversidad, la fragmentación y omisiones en los sistemas. Es precisamente esta segmentación excesiva del sector hídrico y la falta de mecanismos de coordinación tradicionales, los que plantean los mayores desafíos en esta área (OECD, 2011).

Dado que la institucionalidad relacionada con el recurso agua involucra diferentes agencias gubernamentales, surgen una serie de interrogantes tal como el nivel de efectividad de estas instituciones en términos de alcanzar sus objetivos, o bien, el nivel de coherencia y coordinación del amplio número de políticas administradas por diferentes agencias bajo el auspicio de diferentes organismos legislativos y judiciales. En la siguiente sección se analizan estas interrogantes y se identifican los desafíos de esta fragmentación institucional.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-1: Institucionalidad pública del recurso hídrico en Chile

4.2 Desafíos de la Institucionalidad

Como se señaló en el apartado anterior, existe un importante número de instituciones que se relacionan con la gestión del recurso hídrico. En este sentido, se observa que, existen variables tanto externas como internas al sistema que provocan que el funcionamiento institucional no sea el óptimo. La fragmentación a nivel gubernamental, institucional y subnacional presente hoy en día es el principal problema que afecta la coordinación adecuada del recurso hídrico, por ello es fundamental conocer en qué medida se

encuentra fragmentado el sistema y cuáles son los organismos responsables en cada área, nivel y función.

A nivel gubernamental el diseño e implementación de las políticas del agua de acuerdo a la asignación de funciones y responsabilidades recae sobre un gran número de ministerios y entidades públicas, como se aprecia en la Tabla 4-1. Por ejemplo, funciones como la regulación económica del agua, de acuerdo a la Tabla 4-1 está determinada por la DGA para los recursos hídricos, por el SISS a nivel urbano para el servicio y abastecimiento de agua de uso doméstico, así como por comités a nivel rural, para el servicio y abastecimiento de la agricultura las regulaciones económicas están determinadas por el consejo de ministros de la CNR, para la Industria por el MINECON y por último el servicio y tratamiento de aguas residuales está determinada por el SISS.

Tabla 4-1: Asignación de funciones entre los ministerios y entidades públicas.

Funciones /Áreas	Recursos hídricos	Serviciosde agua			
		Abastecimiento de agua			Tratamiento de aguas residuales
		Domestico	Agricultura	Industria	
Asignación de usos	DGA	DGA	DGA	DGA	
Estándares de calidad	DGA, SISS, MMA	SISS	MINAGRI, MOP	MINSAL	SISS
Cumplimiento del compromiso de prestación de servicios	SISS	Compañías sanitarias y SISS			A nivel urbano: Compañías sanitarias y SISS
Regulación económica (tarifas, etc.)	DGA	A nivel urbano: SISS A nivel rural: Comités	Consejo de Ministros de la CNR	MINECON	SISS
Regulación ambiental (aplicación de normas, etc.)	MMA	MMA, SISS	MINAGRI	MINSAL	SISS

Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2012)

A su vez la Tabla 4-2, también indica una serie de responsabilidades determinadas y realizadas por un gran número de ministerios e instituciones gubernamentales.

Tabla 4-2: Asignación de funciones entre ministerios y agencias públicas. Diseño e implementación de políticas del agua.

Roles/ Áreas	Recursos hídricos	Servicios de agua			
		Abastecimiento de agua			Tratamiento de aguas residuales
		Domestica	Agricultura	Industria	
Estrategia, establecimiento de prioridades y planificación (incluyendo infraestructura)	MOP a través de: - DGA - DOH	- Urbano: SISS - Rural: Programa de agua potable rural, DOH, MOP	- Minagri a través de la secretaría ejecutiva de la CNR - MOP, DOH	- Hidroeléctrica: CNE - Minería: Comisión Chilena de Cobre, Departamento de Minería	- Urbano: SISS - Rural: MOP, un proyecto de ley para institucionalizar esta materia está siendo discutida en el parlamento
Creación de políticas e implementación	MOP	- Urbano: SISS - Rural: MOP-DOH	- Minagri, secretaria ejecutiva - CNR - MOP-DOH		- Urbano: SISS - Rural: MOP a través de la DOH
Información, monitoreo y evaluación	DGA	- Urbano: SISS - Rural: PAPR-DOH	- Minagri - CNR		- Urbano: SISS - Rural: Dirección General de obras hidráulicas, MOP
Compromiso de los agentes interesados (conciencia ciudadana)	DGA, Comisión Nacional por el Medio Ambiente, DOH, CNR	- Urbano: SISS - Rural: Compañías de agua y DOH	- Minagri - CNR - MOP-DOH	- Hidroeléctrica: Comisión Nacional de Energía (CNE) - Minería: Comisión Chile del Cobre, Departamento de Minería	- Urbano: SISS - Rural: Aunque es escasa en las zonas rurales, se consideran Gobiernos regionales y Municipios
Otros (especificar)	Organizaciones de profesionales	Compañías de aguas	Asociaciones de usuarios de agua	Asociaciones privadas	Compañías de aguas

Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2011)

En la diversidad de instituciones mencionadas y en la multiplicidad y conjunción de funciones y actividades que ellas ejercen, se observan los siguientes problemas:

4.2.1 Desafíos interinstitucionales

Existen a nivel internacional una serie de mecanismos e instituciones apropiadas para lograr una mejor coordinación de las actividades relacionadas al recurso hídrico; sin embargo en Chile no existen todas las instituciones pertinentes en el tema. En la Tabla 4-3, se pueden apreciar las instituciones que existen y aquellas ausentes, como son el caso de un ministerio del agua, fundamental para canalizar todas las atribuciones del tema y un programa inter agencias para coordinar la dispersiones de los temas relacionados al agua, que hoy en día conciernen a muchas entidades públicas.

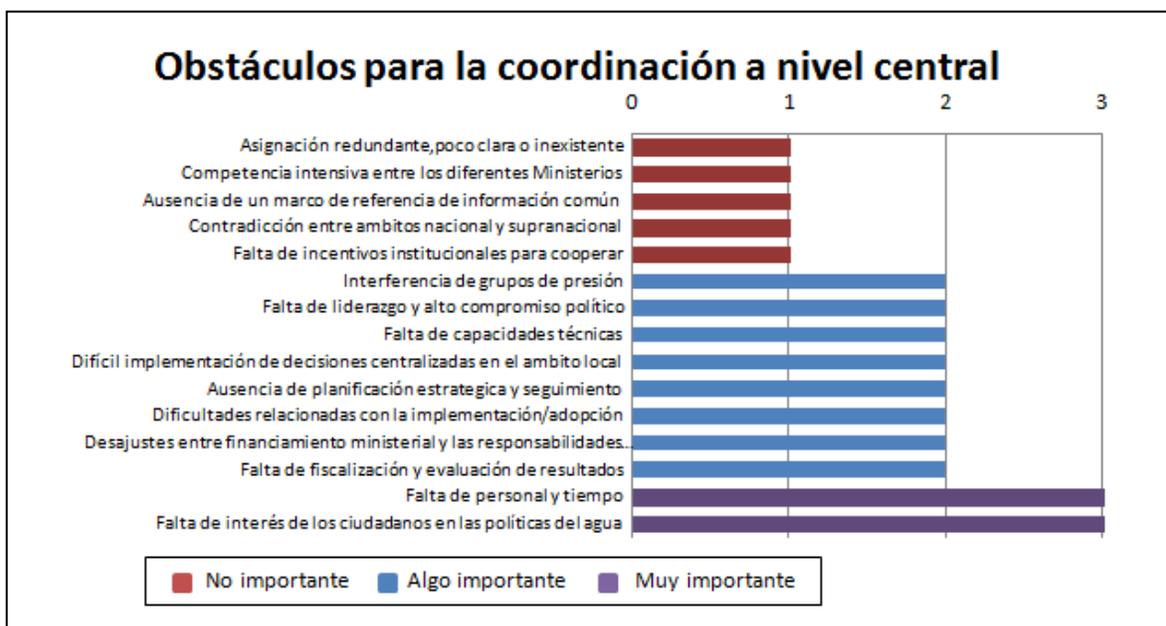
Tabla 4-3: Mecanismos existentes y ausentes en Chile, para coordinar las acciones entre ministerios y entidades públicas

Mecanismos de coordinación existentes entre ministerios y entidades públicas	Si	No	Detalles (nombre, sitio web, datos del contacto, descripción, ejemplos, etc)
Un ministerio del agua		X	
Un ministerio de tutela	X		MOP (www.mop.cl), a través de la DGA (www.dga.cl) y la DOH
Una agencia central sobre temas relativos al agua	X		MOP, DGA
Un organismo interministerial (comité, comisión)	X		Consejo de ministerios de la CNR, implementado por la ley
Un programa inter agencias		X	
Un grupo de coordinación de expertos			
Un mecanismo interministerial para enfrentar los desafíos territoriales del agua	X		Comités de trabajo con usuarios vinculados a grandes obras de riego, MINAGRI / MOP

Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2011)

Si bien son necesarias las instituciones mencionadas con anterioridad, para coordinar el conjunto de funciones del Estado en relación con el agua, es necesario generar e implementar políticas coherentes y lograr que las funciones asociadas a la gestión del agua se ejerzan en forma armónica entre las distintas instituciones. En la Figura 4.2-, se

indican los niveles de importancia en Chile de algunos obstáculos para la coordinación de las políticas de agua a nivel gubernamental.

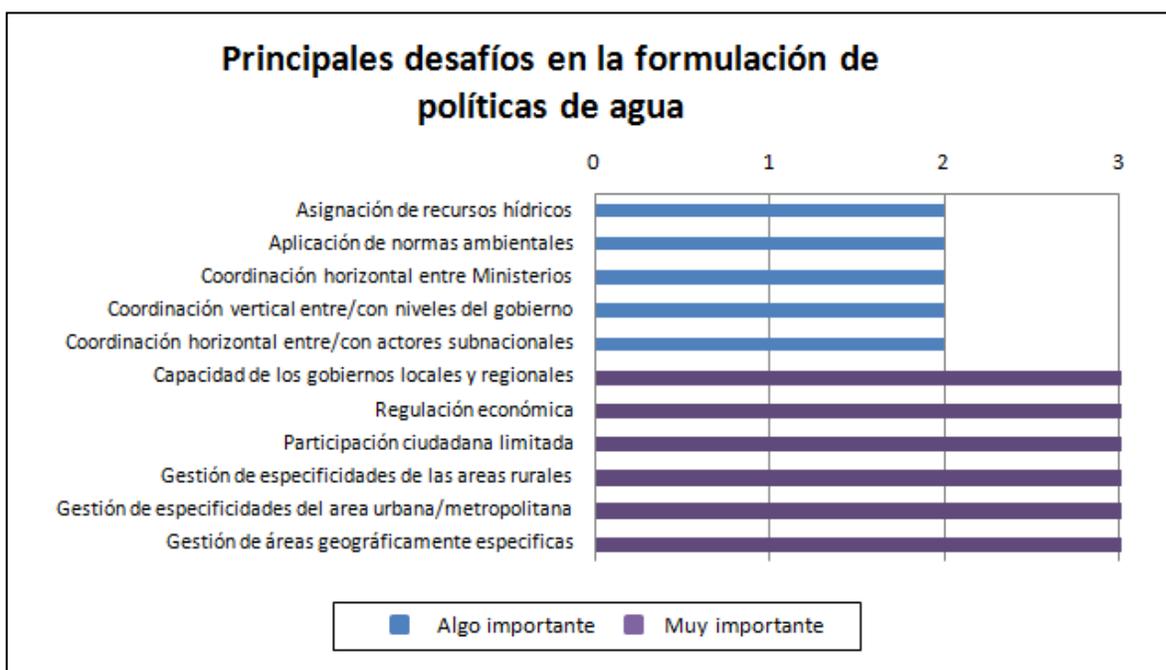


Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2011)

Figura 4.2-2: Coordinación de la formulación de políticas del agua entre ministerios y entidades públicas en el nivel del gobierno central

De acuerdo a la Figura 4.2- existen una serie de aspectos importantes de mejorar a nivel país, sin embargo los puntos más relevantes de resolver en Chile son la falta de personal y tiempo en las instituciones gubernamentales para la formulación de políticas del agua, en conjunto con la falta de ciudadanos interesados en este aspecto. Algún grado de importancia en la formulación de políticas del agua tienen la falta de fiscalización y evaluación de resultados, el desajuste entre financiamiento ministerial y las responsabilidades administrativas, las dificultades relacionadas con la implementación y adopción de las políticas, la ausencia de planificación estratégica y el posterior seguimiento, la dificultad existente para la implementación de decisiones centralizadas en el ámbito más local, la ausencia de capacidades técnicas en las entidades gubernamentales, la falta de liderazgo y compromiso político con este tema y la interferencia grupos de presión.

Considerando los obstáculos presentes en Chile, los principales desafíos que son necesarios desarrollar para lograr una formulación adecuada de políticas hídricas, son mejorar la capacidad del gobierno local y regional, aumentar la regulación económica, aumentar la participación ciudadana, la mejora en el manejo y gestión de áreas rurales, urbanas y metropolitana, así como manejo de áreas geográficamente específicas indicadas en la Figura 4.2 -.



Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2011)

Figura 4.2 -3: Principales desafíos en la formulación de políticas del agua en Chile.

A continuación se analizarán los factores que afectan la coordinación de las políticas del agua, mencionados con anterioridad.

- Sobre fragmentación de responsabilidades

Dentro del mapa institucional se aprecia la existencia de una multiplicidad de competencias, sin que exista ninguna instancia territorial de coordinación intersectorial; ni de coordinación público-privada (excepto en la Evaluación Ambiental). Este problema se aprecia en las Tabla 4-1 y Tabla 4-2 expuestas con anterioridad, en donde múltiples instituciones tenían relación con una misma función relacionada al agua en distintas áreas de acción o incluso en a la misma área de acción.

- *Capacidad de conocimiento insuficiente*

La sobre fragmentación de responsabilidades genera que múltiples instituciones incidan en el tema, provocando por ejemplo, la existencia de información desagregada, la cual, tiende a contradecirse. Por otro lado, en gran parte de los casos los sistemas de información existentes en las instituciones son de baja

calidad, engorrosos, de alto costo y dificultan el acceso y el manejo de los datos (Instituto de Ingenieros de Chile, 2011).

Algunos ejemplos claros de la falta de información en Chile, son la ausencia de conocimiento sobre la disponibilidad real de agua en los acuíferos, problema que se está intentando revertir en algunas cuencas a través del uso de tecnologías como telemetría y el conocimiento inexacto sobre los usuarios de derechos de aprovechamiento de aguas, porque ocurre en Chile que muchas veces esos derechos de agua son vendidos y no se cuenta con el registro de los nuevos dueños de esos derechos.

- *Financiamiento insuficiente*

Las instituciones deben asegurar que sus actividades se cumplan, compitiendo por asegurar un presupuesto, generalmente pensado a horizontes de corto y mediano plazo. A lo anterior se agregan defensas corporativas de los espacios de actuación, lo que entraba un accionar expedito y oportuno en la solución de problemas del sector.

- *Coordinación de funciones*

Existe gran dificultad y complejidad en el proceso de coordinación de funciones similares entre dos o más instituciones y entre estas y el sector privado. Por ejemplo en la gestión de la calidad del agua, está involucrado el Ministerio de Agricultura, Ministerio de Salud, Subsecretaria de Pesca, Dirección General de Aguas, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Territorio Marítimo y la Superintendencia de Servicios Sanitarios, compartiendo funciones con distintos grados de superposición. Lo mismo ocurre en el caso de la gestión de cauces naturales y autorización de obras, en la cual entidades como la Dirección General de Aguas, Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Bienes Nacionales, Municipalidades, Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Energía, Ministerio de Transporte, Ministerio de Vivienda, el Sernageomin y las Juntas de Vigilancia tienen atribuciones. En relación a la regulación y fiscalización de aspectos ambientales relativos a los recursos hídricos, los organismos encargados son el Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Aguas, Ministerio de Agricultura, Conaf, Sernatur, Ministerio de Bienes Nacionales, Subsecretaria de Pesca y la Directemar (Instituto de Ingenieros de Chile, 2011).

En la Tabla 4-4 se aprecia las múltiples instituciones involucradas en las distintas áreas del recurso hídrico a nivel subnacional, es decir entre autoridades locales y regionales. Por ejemplo para la asignación de usos de agua en el sector doméstico, se encuentran involucrados el SISS, APR y MINSAL.

Tabla 4-4: Asignación de funciones y responsabilidades en la regulación del agua (creación y aplicación de normas) entre autoridades locales y regionales.

Funciones/ Áreas	Recursos hídricos	Servicios de agua			
		Abastecimiento de agua			Tratamiento de aguas residuales
		Uso domestico	Agricultura	Industria	
Asignación de usos	DGA	SISS, APR, MINSAL	DGA	DGA	SISS
Estándares de calidad	DGA, MMA	MINSAL, SISS	MINAGRI	MINSAL	SISS
Cumplimiento del compromiso de prestación de servicios	DGA	SISS, APR			
Regulación económica (tarifas, etc.)	DGA	SISS, APR		MINECON	SISS, APR
Regulación ambiental (aplicación de normas, etc.)	DGA, MMA	SISS, APR	MINAGRI	CONAMA	SISS, APR
Control a nivel subnacional de la aplicación de regulaciones nacionales	DGA, MMA	SISS, APR	MINAGRI	DGA, MINECON	SISS, APR

Fuente: Elaboración propia a partir de OCED (2011)

Así mismo, en la siguiente tabla se puede apreciar la superposición de funciones respecto a las normas y regulación de la calidad de aguas entre diferentes instituciones Chilenas.

Tabla 4-5: Asignación de funciones entre ministerios y entidades públicas para los estándares de calidad y su regulación.

Funciones/ Áreas	Recursos hídricos	Servicios de agua			
		Abastecimiento de agua			Tratamiento de aguas residuales
		Uso domestico	Agricultura	Industria	
Estrategia, prioridades y planificación (incluyendo infraestructura)	MOP a través de: - DGA - DOH	SISS, DOH, MOP	- Minagri a través de la secretaría ejecutiva de la CNR y DOH	-Hidroeléctrica: CNE -Minería: Comisión Chilena de Cobre (COCHILCO), Departamento de Minería	- Urbano: SISS - Rural: MOP, un proyecto de ley para institucionalizar el tratamiento de aguas residuales se está revisando en el parlamento
Elaboración e implementación de políticas	MOP, DGA	- Urbano: SISS - Rural: MOP-DOH	- Minagri, secretaría ejecutiva - CNR - MOP-DOH		- Urbano: SISS - Rural: MOP a través de la DOH
Información, monitoreo y evaluación	DGA	- Urbano: SISS - Rural: PAPER-DOH	- Minagri - CNR		- Urbano: SISS - Rural: Dirección General de obras hidráulicas, MOP
Compromiso de las partes interesadas (stakeholders)	DGA, Comisión Nacional por el Medio Ambiente, DOH, CNR	- Urbano: SISS - Rural: empresas de saneamiento/DOH	- Minagri - CNR	-Hidroeléctrica: Comisión Nacional de Energía (CNE) - Minería: Comisión Chile del Cobre, Departamento de Minería	- Urbano: SISS - Rural: Aunque es escasa en las zonas rurales, se consideran Gobiernos regionales y Municipios
Otros (especificar)	Organizaciones de expertos	Empresas de saneamiento	Asociaciones de usuarios de agua	Asociaciones privadas	Empresas de saneamiento

Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2012)

Lo mismo ocurre en el caso de las responsabilidades que poseen los distintos organismos en los estándares de calidad y su regulación, como se aprecia en la Tabla 4-6, donde muchas instituciones poseen participación.

Tabla 4-6: Mapa institucional de los estándares de calidad y regulación.

Roles/ Áreas	Recursos hídricos	Servicios de agua			
		Abastecimiento de agua			Tratamiento de aguas residuales
		Domestica			
Asignación de usos	DGA	DGA	DGA	DGA	
Estándares de calidad	SISS, MMA	SISS	MINAGRI Y MOP	Ministerio de Salud	SISS
Compromiso en el cumplimiento de las prestaciones de servicios		Compañías de agua			A nivel urbano: Compañías de agua
Regulaciones económicas (tarifas, etc.)	DGA	SISS (a nivel urbano) y Comités (a nivel rural)	Consejo de Ministerios de la Comisión Nacional de Riego	Ministerio de Economía	SISS
Regulaciones ambientales (aplicación de normas, etc.)	MMA	MMA SISS	MINAGRI	Ministerio de Salud	SISS
Otros (especificar)					

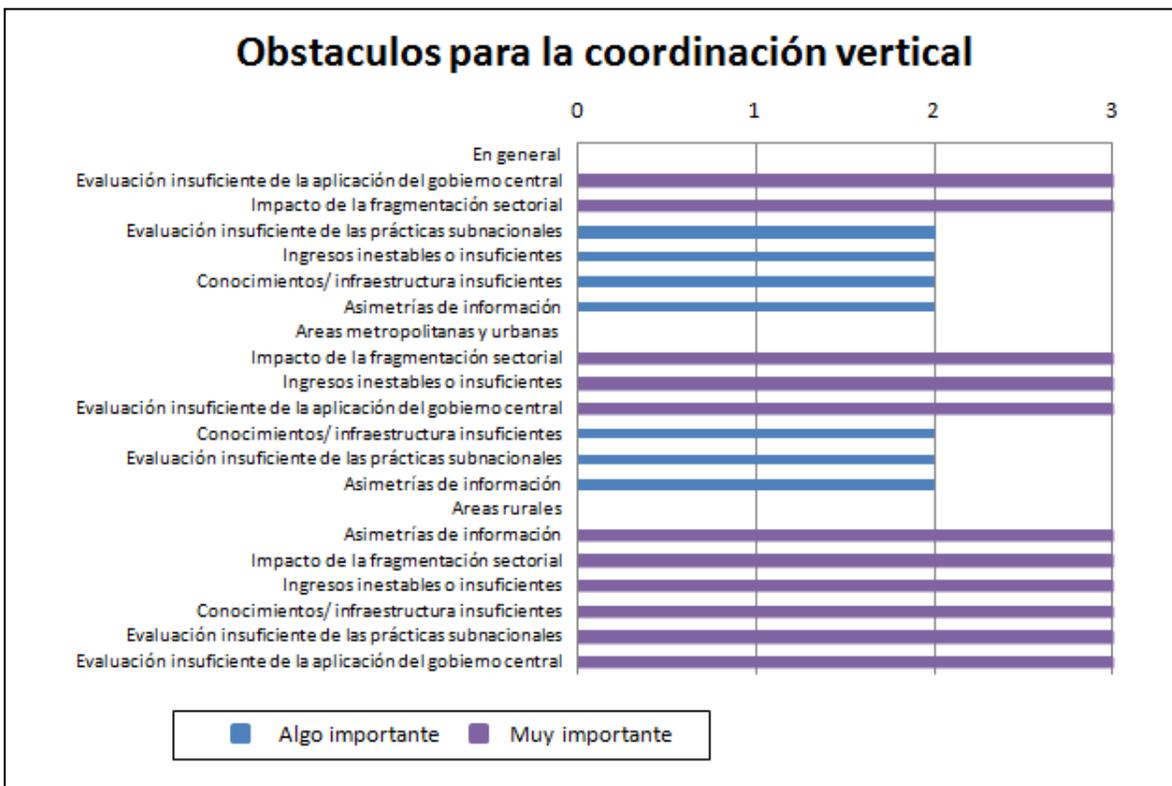
Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2011)

En este sentido, es fundamental que la institucionalidad incorpore una visión sistémica en la lógica del manejo integrado de cuencas, coordinando las funciones y el actuar de los distintos organismos participantes en solo una o pocas instituciones.

Se identifica que existen diferentes niveles de autoridad entre las instituciones, que generan ineficacias en el modelo institucional. Por ejemplo, la asimetría entre el rango institucional de la DGA en comparación con algunos de los actores con los que tiene que

tratar, entre los que se encuentran Ministerios, organismos de regulación, gobiernos locales e importantes compañías privadas, afecta en la fluidez de los procesos. Un ejemplo claro de esta situación es la DGA, la cual siendo un organismo del Ministerio de Obras Públicas posee competencias similares o mayores en temas relacionados al recurso hídrico como gestión de cauces naturales, calidad y fiscalización que otros Ministerios como el Medio Ambiente, Bienes Nacionales y Energía, sin embargo constituye un nivel jerárquico menor, lo que dificulta su poder de acción.

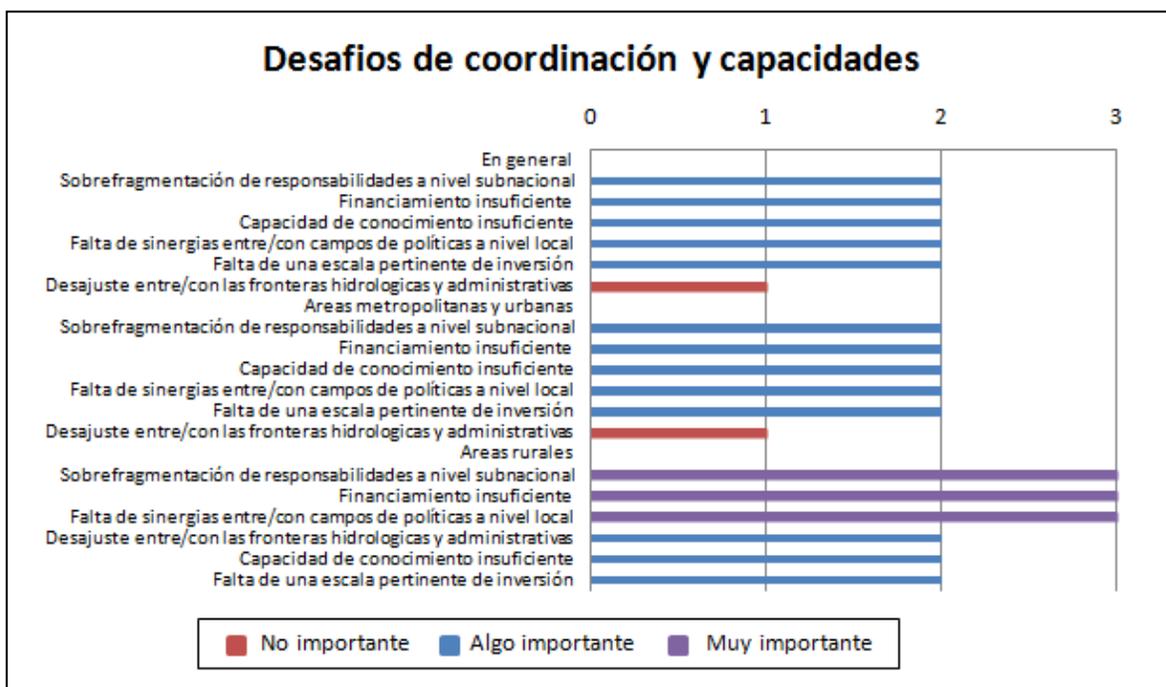
Por último, la coordinación de la formulación de políticas del agua entre entidades del gobierno y actores locales a nivel general se ve obstaculizada principalmente por la evaluación insuficiente de la aplicación del gobierno central y el impacto de la fragmentación sectorial, a nivel urbano y en el área metropolitana a los principales desafíos indicados a nivel general se le agregan los ingresos inestables e insuficientes (ver Figura 4.2-). Sin embargo a nivel rural, todos los aspectos analizados tienen bastante relevancia y además se suma la asimetría de la información, los conocimientos e infraestructuras insuficientes y la evaluación insuficiente de las prácticas subnacionales.



Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2012)

Figura 4.2-4: Coordinación de la formulación de políticas del agua entre entidades de gobierno y entre actores locales

En la Figura 4.2-, se aprecian los principales desafíos para lograr una coordinación en las políticas del agua.



Fuente: Elaboración propia a partir de OECD (2012)

Figura 4.2-5: Obstáculos para la formación de capacidad y la coordinación en la formulación de políticas del agua a nivel territorial entre instituciones del gobierno y actores locales.

De acuerdo a la Figura, a nivel general los aspectos más relevantes para una inadecuada coordinación en la formulación de políticas del agua son la sobre fragmentación de responsabilidades, el insuficiente financiamiento, un conocimiento insuficiente, la falta de sinergia entre campos de política a nivel local y la falta de una escala pertinente de inversión. A su vez, si bien el desajuste existente entre fronteras hidrológicas y administrativas existe en Chile, no es un aspecto fundamental en la coordinación de políticas del agua. A nivel urbano y el área metropolitana los mismos aspectos son relevantes, sin embargo a nivel rural, la sobre fragmentación de responsabilidades, el insuficiente financiamiento y la falta de sinergias entre campos de políticas a nivel local, adquiere un mayor nivel de importancia.

4.2.2 Limitaciones propias de cada Institución

Los problemas interinstitucionales que se indican en el punto precedente, se ven agravados por la existencia de diversas limitantes históricas propias de cada institución,

problemas que en este caso se han agravado por el explosivo incremento de los requerimientos a los organismos públicos pertinentes.

A modo de ejemplo se puede señalar que, entre los últimos años, las solicitudes de derechos de agua y otras relativas al ejercicio de dichos derechos a la DGA, han aumentado gradualmente. Además, en ese período surgieron temas nuevos que han requerido especial atención, como el tema ambiental y el impulso que ha tenido en el país la explotación de las aguas subterráneas. Este aumento de actividad no se ha visto apoyado por un aumento significativo de presupuesto ni por un aumento en la dotación de personal.

Trámites y resoluciones administrativas

La falta de nuevas tecnologías en los procesos administrativos, sumado a la falta de coordinación entre las distintas instituciones, hace que cada organismo exija un alto número de trámites que corroboren la información que se presenta, por lo que, estas tramitaciones implican largos tiempos de revisión y demora, que inciden en la gestión del recurso, en la oportuna y expedita revisión y aprobación de proyectos de infraestructura y de desarrollo y en la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento.

Implementación de funciones

Se evidencia la existencia de debilidades e insuficiencias técnicas y administrativas en la implementación y en el cumplimiento de las funciones asignadas a la institucionalidad pública a lo largo del país. En este sentido, muchas de las funciones de gestión y planificación, en la práctica están solamente en el papel y las funciones de control y vigilancia son limitadas, tales como: la fiscalización de extracciones, información sobre el mercado del agua, o la revisión de proyectos.

Presupuesto

Actualmente, el presupuesto asignado es insuficiente, y no cuenta con una distribución adecuada en relación con las crecientes responsabilidades asignadas a las instituciones. La autoridad responsable por la gestión del agua debe tener los recursos conmensurados a su responsabilidad, para así poder efectivamente ejercer sus funciones. Por ejemplo en la DGA el número de solicitudes y requerimiento de actividades se ha triplicado en los últimos 20 años, sin embargo la dotación de personal no ha experimentado cambios significativos. Siendo la dotación de personal menor a las necesidades y demandas presentes.

Imagen pública

En la ciudadanía se percibe una débil imagen hacia los organismos públicos y poco reconocimiento político sobre las funciones y acciones de algunas instituciones relacionadas con el agua, en relación con su creciente importancia de este recurso para la economía del país. En este aspecto, se aprecia la falta de un referente claro, que identifique la política hídrica de gobierno frente a la opinión pública y le dé coherencia al accionar de los distintos servicios.

De esta manera, se identifican diversas descoordinaciones que ocurren entre las organizaciones y dentro de ellas, que pueden o han generado conflictos para el desarrollo de una gestión de los recursos hídricos.

5. Situación Jurídica de las Aguas en Chile

5.1 Naturaleza Jurídica de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA)

El primer texto nacional en el cual se regula la utilización de las aguas data de 1819, y pertenece a O'Higgins, quien dictó un Decreto Supremo donde define las dimensiones de un regador, forma de venta y responsabilidad de las bocatomas. El Código Civil, que empieza a regir desde 1857, es el primer instrumento que define que “los ríos y todas las aguas que corren por cauces naturales son bienes nacionales de uso público”, además de regular que el acceso a las aguas se realiza por la vía de “mercedes”, las que “se conceden por autoridad competente”. En 1872 con la Ordenanza sobre la distribución de las aguas, se someten a turno las distribuciones de las aguas en periodos de sequía. Esta ordenanza creó lo que se denomina ahora derechos permanentes y eventuales.

Desde el proyecto de Código de Agua de 1930, se introduce el concepto de “Derecho de Aprovechamiento de Aguas” (DAA) y es en el Código de 1951 donde se desarrolla más este concepto, estableciéndose que “El Derecho de Aprovechamiento sólo se puede adquirir en virtud de una merced concedida por el Presidente de la República en la forma que establece este código”.

El Código de Aguas de 1967, debido a su contexto político más centralizador, refuerza el concepto de las aguas como dominio público y se “cambia la naturaleza jurídica del Derecho de Aprovechamiento”, consistiendo esta nueva naturaleza jurídica, “en darle a éste el carácter de una concesión del uso del bien nacional de uso público con sujeción a normas de derecho público.” Los DAA pasan a ser administrativo caducable y el proceso de resignación del agua lo somete a planificación para ser ejecutado mediante la “tasa de uso racional y beneficioso”

A partir de los cambios políticos ocurridos en Chile en el año 1973, el paradigma económico vigente cambia desde uno donde el Estado debe proteger y velar por la asignación óptima de los recursos, a otro donde el mercado es el encargado de asignar los recursos de manera eficiente. Los distintos instrumentos y ordenanzas presentadas anteriormente, incluyendo los Códigos anteriores al de 1981, presentaban limitaciones para permitir la conformación y operación de un mercado de aguas eficiente y coherente con el nuevo sistema económico. Estas limitaciones hacen referencia principalmente, a la definición de los derechos de aprovechamiento, el nivel de información disponible para los usuarios, los costos de transacción, los eventuales daños a terceros, los mecanismos de resolución de conflictos, la especulación del recurso hídrico y la institucionalidad o marco

legal necesario para que el mercado funcione como corresponde. Por ende, como señala el ex Ministro de Hacienda Hernán Büchi (1993), "el sentido que tuvo la acción gubernativa en este campo, fue crear derechos sólidos de propiedad, no sobre el agua misma sino sobre el uso de las aguas, y facilitar por todos los medios el funcionamiento ordenado del mercado".

El sistema del derecho de aguas establecido en virtud del DL 2.603, de 1979, y del Código de Aguas de 1981 (CA), consagra el sistema concesional de los derechos de aguas, pues éstas siguen manteniendo su condición de bienes nacionales de uso público. No obstante, los derechos de aprovechamiento de aguas gozan de una amplia protección, de un marco jurídico especial y pueden ser libremente transferidos. La actual legislación consagra una total libertad para el uso del agua a que se tiene derecho, quedando el dueño del título en libertad de aprovechar el agua para el uso que le plazca. Hay que considerar que cuando se definió el DAA, no se pensó en los usos del agua en la corriente tales como recreación y pesca, entre otros.

5.1.1 Definición de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA)

Como se mencionaba, el concepto de Derecho de Aprovechamiento fue introducido con el Código de Agua de 1930, estableciéndose que "El Derecho de Aprovechamiento sólo se puede adquirir en virtud de una merced concedida por el Presidente de la República en la forma que establece este código".

Actualmente, dentro de lo establecido en el Código de Aguas de 1981, los DAA se definen, entre otros elementos, por (Vergara, 1998; 2010):

- a. La cantidad de agua que se autoriza a extraer, expresada en volumen por unidad de tiempo;
- b. El o los puntos de captación y el modo de extracción;
- c. Si el derecho es de ejercicio permanente o eventual, continuo, discontinuo o alternado, consuntivo o no consuntivo;
- d. El desnivel y puntos de restitución de las aguas si se trata de un uso no consuntivo.

Aun cuando los DAA se definen a partir de una cantidad de agua (volumen por unidad de tiempo), en la práctica, la mayoría de los DAA superficiales se ejercen de manera proporcional al flujo real e instantáneo del respectivo cauce, que es variable (sistema de distribución alícuota, prorrata o turnos). Eso se explica por la variabilidad natural de los flujos de agua en los ríos y el sistema tradicional de distribución de las aguas: alícuota o por turnos en el cauce natural y en los canales colectivos. El diagnóstico del Banco Mundial (2011) concluye que el sistema actual, que combina montos máximos volumétricos por unidad de tiempo en tiempos de abundancia, con alícuotas en tiempos de escasez parece adecuado para la distribución del agua superficial, ya que el uso de un sistema de derechos puro de partes alícuotas, impediría cualquier aprovechamiento de las aguas sobrantes o liberación de aguas para objetivos ambientales, y permitiría el uso

completo de las aguas por los actuales titulares de DAA. En cuanto a los derechos de aguas subterráneas, estas se extraen de acuerdo a volúmenes, tal como especifica el CA, pese a que existen dificultades para cumplir la función de control, ya que la DGA no puede entrar en predios para verificar extracciones y no hay sistema de medición en la mayoría de los pozos.

Uno de los elementos del sistema chileno es el papel restringido del Estado en la regulación del ejercicio y en materia de la transferencia de los DAA, ya que está en manos del mercado. Sin embargo, las medidas para controlar los potenciales efectos negativos de la constitución y del ejercicio de los DAA se han reforzado desde 1981, especialmente con la enmienda del año 2005 y la ley No 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente de 1994.

Es así como se identifica que, dentro de las características que definen a los DAA en Chile se encuentran: la seguridad jurídica sólida, la posibilidad de gravarlos y el libre ejercicio y transferibilidad mediante el mercado de los DAA. La DGA está facultada para autorizar el cambio de la fuente de abastecimiento, el punto de captación y el lugar de restitución de las aguas de cualquier usuario, a petición de éste o de terceros, cuando así lo aconseje el más adecuado empleo de ellas.

5.1.2 DAA Consuetudinarios

Una de las características principales del marco jurídico chileno introducido a principios de los 1980, es que brinda seguridad a los propietarios de DAA, fomentando así la inversión privada y el aprovechamiento eficiente de las aguas. En ese contexto, un aspecto importante desde un punto de vista social, es el reconocimiento por la Constitución de 1980 de los usos consuetudinarios de los derechos y el establecimiento por el CA de 1981 de los procedimientos para su regularización y su inscripción en los catastros de los Conservadores de Bienes Raíces (CBR). Adicionalmente, dada la dificultad que habían tenido algunas comunidades indígenas en proteger sus DAA históricos, y los conflictos que esta situación habían creado, la Ley N° 19.253 Indígena de 1993, introdujo medidas adicionales para proteger especialmente los DAA de los indígenas.

Sin embargo, no se puede proteger (ni gestionar) lo que no está definido, y, en consecuencia, un gran desafío para la protección de los DAA de grupos vulnerables es que aquellos usuarios antiguos se registren según las normativas del país. Hoy en día, existe una cantidad importante de los antiguos usuarios que no tienen títulos o no están inscritos en los registros de los Conservadores de Bienes Raíces (CBR), a quienes no se les puede ofrecer la certeza de la posesión de sus derechos, ni protección del caudal.

Al respecto, la Ley Indígena 19.253 de 1993, protege especialmente las aguas de las comunidades Aymaras y Atacameñas y establece un organismo, la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), para asumir cuando fuere solicitada, la defensa jurídica de los indígenas y sus comunidades en conflictos sobre aguas, y establece el Fondo para

Tierras y Aguas Indígenas, el cual debe estar disponible para la constitución, regularización o compra de DAA o financiar obras destinadas a obtener este recurso.

Si bien es cierto que el trámite ante la DGA es gratuito (salvo si la Dirección estima necesario realizar inspección ocular), la publicación y difusión de la solicitud en los diarios y los mensajes radiales son a costa de los interesados, lo que puede representar un costo significativo para algunos usuarios. Para ello, ahora existen programas de apoyo a los pequeños agricultores y a los pueblos indígenas para el proceso de regularización. Es el caso del programa Bono Legal de Aguas implementado por INDAP para los pequeños agricultores desde 2007 y el Fondo para Aguas y Tierras Indígenas implementado por la CONADI y creado por la Ley Indígena 19.253 de 1993.

Considerando que la mayoría de los DAA corresponden a usos preexistentes al CA de 1981, el art. 2ºT CA establece el procedimiento para concretar el reconocimiento de estos usos. La regularización tiene dos etapas: una administrativa a cargo de la DGA, con un proceso de publicación y difusión de la solicitud, y una judicial de cargo de los Tribunales de Justicia. La regularización del DAA se concreta por su inscripción en el RPA a cargo de los CBR.

Se han realizado múltiples esfuerzos a través del tiempo para regularizar los DAA Consuetudinarios. Las estimaciones de DAA Consuetudinarios no regularizados varían entre 60% y 90% del total de DAA en ejercicio (Dourojeanni y Jouravlev, 1999). Esta falta de avance en la regularización de estos DAA se puede explicar, en parte por la protección que le han otorgado las cortes a los DAA Consuetudinarios.

Rhodos (2010) levanta la cantidad de caudal que se encuentra en DAA Consuetudinarios no regularizados (Tabla 5-1) De la Tabla 5-1 se desprende que el problema de DAA Consuetudinarios no regularizados es menor en el sector hidrológico Pacífico Seco, debido al alto valor de este recurso dada su escasez. Sin embargo, lo contrario se presenta para las cuencas del sector hidrológico Pacífico Sur.

Tabla 5-1: Caudales de agua (l/s) de DAA regularizados y no-regularizados.

Región	Cuencas	Caudales Regularizados (l/s)	Caudales No-Regularizados (l/s)
R. Antofagasta	Salar de Atacama	2.740	8
R. Atacama	Río Salado	390	1
R. Coquimbo	Estero Pupío	437	128
R. Coquimbo	Estero Quilimarí	346	65
R. Valparaíso	Río Petorca	2.355	1.622
R. Valparaíso	Río La Ligua	3.531	2.738
R. Metropolitana	Río Maipo	82.473	34.247
R. Bio Bio	Río Bio-Bio	62.236	38.852

Fuente: Rhodos, 2010, Banco Mundial (2011).

Por ende, los procedimientos de regularización no han sido efectivos, lo que se puede explicar por los siguientes factores (Banco Mundial, 2011):

- a. La falta de incentivos y penalidades a usuarios con DAA Consuetudinarios no regularizados. Específicamente el Segundo artículo transitorio del CA 1981 no establece limitaciones al ejercicio del derecho de aprovechamiento por no estar regularizado los DAA Consuetudinarios;
- b. Los procedimientos de regularización son complejos y largos, debido al procedimiento de verificación de los derechos. Sin embargo, también son demorosos por la excesiva judicialización de los procesos; entre un 40 y 60% del total de DAA Consuetudinarios verificados por la DGA aún no cuentan con una resolución judicial (Banco Mundial, 2011).

Por último, es importante señalar que las regularizaciones de DAA Consuetudinarios han sido una fuente importante de conflictos por usos de agua. Dado que el procedimiento de regularización se estableció hace más de 20 años atrás, ha aumentado significativamente las dificultades para verificar la validez de los DAA Consuetudinarios (Banco Mundial, 2011).

5.1.3 DAA Subterráneos

Con respecto a la definición del derecho de aprovechamiento de aguas, es sabido que, desde la Colonia, la legislación que se refería a las “mercedes de aguas” en Chile, contemplaba para el otorgamiento de una merced o un derecho sobre este recurso, que este estuviera expresado en términos de caudal. Es así como en forma previa a la promulgación de la legislación, que transformó las unidades de pesos y medidas españolas al sistema métrico decimal, alrededor del año 1848, las medidas de caudal en Chile se expresaban en regadores, tejas, reales, bueyes, etc. A partir de la legislación señalada, las mercedes y derechos debían expresarse en términos de unidades métricas por unidad de tiempo. Es por ello que los derechos de aguas subterráneas se expresaron siempre solo en términos de caudal, valor que resulta actualmente inadecuado para determinar la magnitud de la explotación real de un acuífero, debido a que su naturaleza es más bien la de un embalse cuyos flujos de entrada y salida son muy pequeños en comparación a su volumen. Esto se mantuvo así hasta las modificaciones al Código de Aguas contenidas en la ley N° 20.017 del 16 de junio de 2005, que señala que los derechos de aguas subterráneas otorgados a partir de esa fecha no solo deberán contener caudal, sino también un volumen máximo de explotación anual.

Una segunda debilidad o limitante, se refería a la insuficiente definición legal de los niveles de explotación aceptables. Al respecto se debe destacar que la determinación del caudal que es posible de explotar en forma sustentable en un acuífero, es compleja, ya que debido a la capacidad de regulación de los acuíferos interesa analizar el comportamiento del acuífero considerando las recargas y la extracciones en un período

largo de tiempo (varios años). Así la mera posibilidad de extracción de agua desde un acuífero en un instante, no indica que ello será posible sostenerlo en el largo plazo, y por otra parte, existe una gran diferencia entre las extracciones máximas que se autorizan en los títulos de los derechos de agua y la explotación media, ya que es sabido que los usuarios, por razones asociadas a la estacionalidad de las demandas, fluctuaciones de corto plazo, criterios técnicos y otros, solo ocupan en promedio una proporción sustancialmente menor al volumen máximo anual que podrían extraer, que es el caudal estipulado por los derechos de aprovechamiento anteriores al actual Código de Aguas, multiplicado por los 365 días del año y todos los segundos del día. Esta situación dio origen a diversos conflictos judiciales y administrativos sobre si tenía o no la Administración, la facultad de considerar en sus resoluciones la necesidad de una explotación sustentable de los acuíferos, tema que fue resuelto en la modificación del código de aguas de 2005.

5.2 Elementos Claves del Código de Aguas de 1981

5.2.1 Asignación de nuevos derechos de aprovechamiento

Los DAA se asignan de nuevos DAA se inicia con una solicitud de parte del usuario que debe cumplir con los siguientes requisitos:

- (a) Identificación de la fuente de agua desde la cual se extraerá el caudal solicitado, especificando si la fuente es superficial o subterráneo;
- (b) Definición del caudal a extraer, especificado en litros por segundo;
- (c) En el caso de aguas subterráneas, se debe especificar, además del caudal, la profundidad del pozo;
- (d) Especificación de la localización en la cual se realizará la extracción, así como el método de extracción; y
- (e) Definición de las siguientes características del DAA: consuntivo o no-consuntivo, permanente o eventual, continuo, discontinuo o alterno.

El procedimiento administrativo requiere que la solicitud sea publicada en el *Diario Oficial*, en un diario de Santiago y en un diario de la Región donde se ubica el DAA solicitado. Es importante destacar que previo a la reforma del CA 1981, del año 2005, la DGA no podía denegar los DAA solicitados si había evidencia técnica de disponibilidad de agua y que no se perjudicaría a los actuales usuarios de aguas.

En el caso de presentarse competencia por los DAA solicitados, la asignación se resuelve a través de un proceso de licitación. De esta manera, se asegura que el DAA se asigna a los usuarios de mayor valor.

El nuevo DAA asignado se registra en el Catastro Público de Aguas (CPA) de la DGA.

Peña (2004) y Bitran y Saez (1994) señalaron que la no obligación de uso de los DAA permitió que usuarios solicitaran DAA con fines especulativos o de acaparamiento

estratégico. Este comportamiento llevó a una escasez del recurso hídrico no real creando obstáculos para el desarrollo de nuevos proyectos de inversión, debido a la imposibilidad de adquirir los DAA necesarios. Esto fue particularmente evidente en el caso de los DAA no-consuntivos donde el acaparamiento de los DAA no-consuntivos por parte de pocas empresas que redujo la competencia en el mercado de la generación hidroeléctrica. Riestra (2008) señaló que de 15.000 m³/s otorgados en DAA no-consuntivos, solo se usaban 2.800 m³/s. Sin embargo, el no-uso de los DAA consuntivos no llegó a representar una barrera real dado que bajo un sistema de asignación de aguas como alcuotas del caudal significa que toda el agua se asigna a los usuarios de DAA consuntivos (Hearne and Donoso, 2005). Dourojeanni and Jouravlev (1999) estiman que el porcentaje de DAA consuntivos que no se usaban no superó el 1% de los DAA consuntivos totales.

Este comportamiento estratégico por parte de algunos usuarios motivó la presentación de una reforma al CA 1981 que fue aprobado el año 2005 (Ley N°. 20.017 de 2005). Esta reforma modificó el procedimiento de solicitud de nuevos DAA e introdujo una patente de no-uso.

El Nuevo procedimiento para solicitar nuevos DAA es el siguiente:

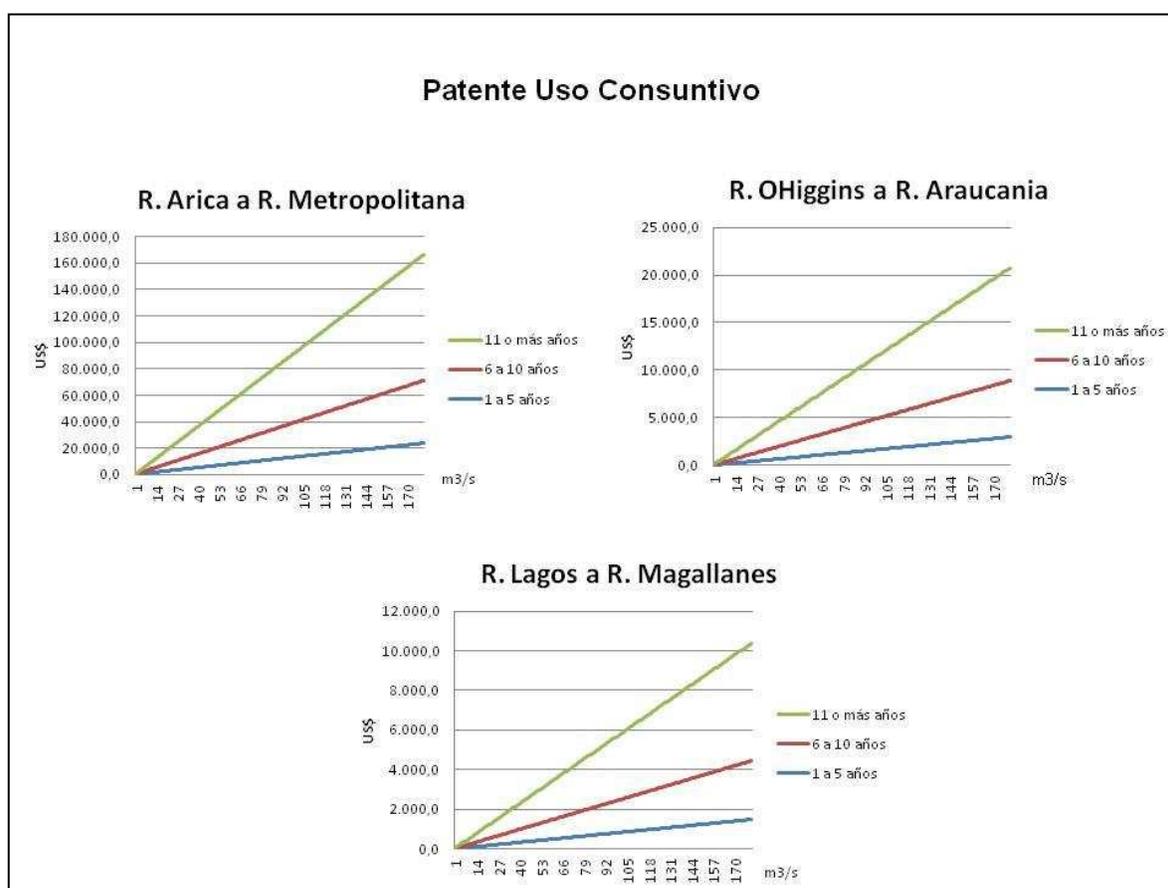
- (a) El usuario debe justificar el caudal de agua solicitada, indicando el uso específico que se dará al caudal;
- (b) Los DAA se otorgan de acuerdo a la a los requerimientos del proyecto de inversión;
- (c) La DGA ahora tiene la facultad para limitar el caudal que se otorga si no existe una equivalencia entre el caudal solicitado y los requerimientos del proyecto de inversión;
- (d) La DGA otorga los DAA si existe disponibilidad de agua y no se afecta a los DAA ya otorgados, tomando en cuenta la relación entre aguas superficiales y subterráneas;
- (e) En el caso de petición de DAA no-consuntivo, el solicitante debe especificar el punto de captación y de restitución de las aguas;
- (f) Se establece el requerimiento a la DGA de establecer caudales ecológicos mínimos, que solo pueden afectar a nuevas peticiones de DAA, pero no a los DAA otorgados previo a la reforma del 2005; y
- (g) Se establece el cobro de una patente por el no-uso de las aguas a las cuales el usuario tiene especificado en sus DAAs.

5.2.2 Patente de no-uso

Este cobro por el no-uso de las aguas establecidas en los DAAs, se introdujo en la reforma al CA de 1981. Debido a las dificultades de fiscalizar el uso efectivo de todas las aguas a las cuales un usuario tiene derecho, la DGA aplica el cobro de la patente de no-uso solo en aquellos casos en los cuales no se cuenta con las obras de captación (Ley N°. 20,017 de 2005, art. 129 bis 4-6).

La patente de no-uso para DAA consuntivos y no-consuntivos se calcula como $\tau = \gamma Qf$ y $\tau = \gamma QHf$, respectivamente, donde γ es una constante que toma el valor de 0,1 para todas las regiones entre Magallanes y Los Lagos, 0,2 para las regiones entre O'Higgins y Araucanía, y 1,6 para todas las regiones al norte de la Metropolitana¹³, Q representa el caudal promedio de agua que no es usada, medida en m³/s, f es un factor temporal que aumenta si el DAA permanece sin uso ($f = 1$ para los años 1 a 5, $f = 2$ para los años 6 a 10, y $f = 4$ para los años mayores a 11 sin un uso efectivo de las aguas), y H , aplicada solo a los DAA no-consuntivos es la diferencia entre el nivel de extracción del agua y el nivel de restitución de las aguas, con un valor mínimo de 10 metros ($H \geq 10$).

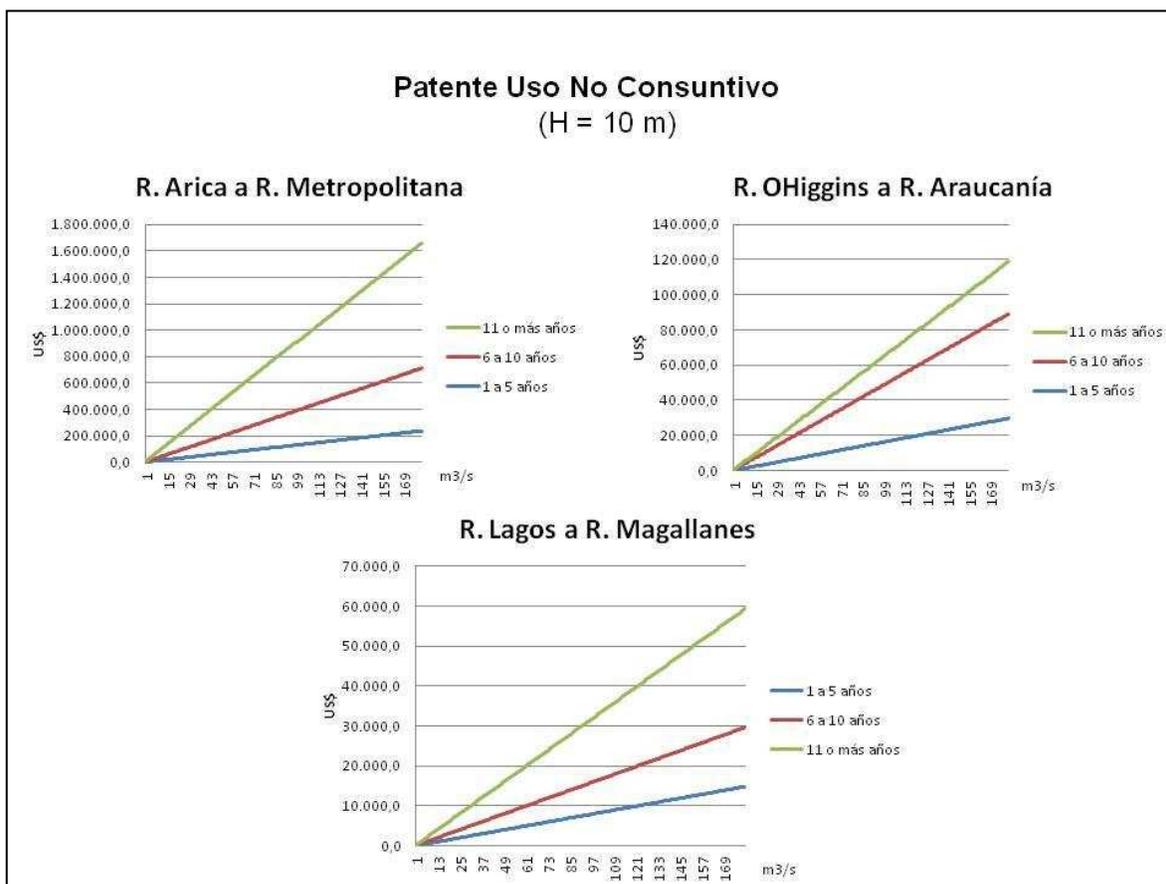
En las Figura 5-1 y Figura 5-2, se aprecia el valor de las patentes de no uso según la región y el caudal otorgado a los DAA, dependiendo si se trata de usos consuntivos o no-consuntivos, respectivamente.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 5-1: Patente por no uso de usos consuntivos (US\$), para distintas regiones del país y según el número de años de no uso del recurso hídrico.

¹³ El coeficiente γ aumenta en las regiones localizadas en el Sector Hidrológico Pacífico Seco de manera de reflejar el mayor valor del recurso debido a su alta escasez relativa.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 5-2: Patente por no uso de usos no consumitivos (US\$), para distintas regiones del país y según el número de años de no uso, considerando una diferencia entre el nivel de extracción del agua y el nivel de restitución del agua de 10 metros.

5.2.3 Obligación de establecer caudales mínimos ecológicos

La extracción de aguas afecta la dinámica del ecosistema acuático, por lo que para proteger estos ecosistemas y los servicios eco-sistémicos se aprobó, en la reforma del CA 1981 de 2005, que la DGA establezca caudales mínimos ecológicos. El CA 1981 no consideró este requisito.

Adicionalmente, previo a los años 90's, los temas ambientales no se consideraban en las políticas de gestión de aguas, por lo que no se establecieron caudales ecológicos mínimos. Producto de lo anterior, la mayoría de las cuencas al norte de la Región Metropolitana se otorgaron completamente, o se sobre-otorgaron en algunos casos, por lo que se ha evidenciado un significativo deterioro de los ecosistemas acuáticos del Sector Hidrológico Pacífico Seco.

Esta situación se ha modificado gradualmente a partir de la aprobación de la Ley de Bases del Medio Ambiente en 1994, que introdujo el Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y más activamente a partir de la reforma del CA 1981 el año 2005.

Actualmente, existen dos mecanismos para fijar caudales ecológicos mínimos:

- a. El SEIA propone el establecimiento de caudales ecológicos como medidas de mitigación de proyectos, esto es especialmente aplicable en el caso de grandes embalses, y
- b. Establecimiento de caudales ecológicos mínimos en el momento de constituir nuevos DAA.

La diversidad de criterios que se han aplicado para determinar los niveles de los caudales ecológicos mínimos, ha sido una fuente de conflictos entre la DGA y los usuarios de agua (Vergara, 2010). La Ley N°. 20,417 de 2010 que creó el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), establece que serán los Ministros de Medio Ambiente y de Obras Públicas los encargados de identificar los criterios con los cuales se establecerán los caudales ecológicos mínimos. Sin embargo, aún no se ha aplicado esta regulación.

En la Tabla 5-2 se aprecian los caudales ecológicos establecidos por región, que si bien ya han sido estimados aún no han sido aplicados a las distintas regiones de Chile. Estos caudales fueron estimados como el 10% del caudal medio anual de la serie de caudales observados. Se utilizó este método propuesto por la DGA porque es el que mantiene una mayor uniformidad en los resultados.

Tabla 5-2: Caudal ecológico (m³/s) establecido en las distintas regiones del país.

Región	Caudal Ecológico (m³/s)
R. Arica y R. Tarapacá	0.420
R. Antofagasta	0.420
R. Atacama	0.820
R. Coquimbo	3.440
R. Valparaíso	17.560
R. Metropolitana	50.400
R. O'Higgins	10.060
R. Maule	56.640
R. Biobío	471.990
R. Araucanía	83.140
R. de los Ríos y R. de los Lagos	206.430
R. Aysén	189.410
R. Magallanes	6.490
Total	1.095.560

Fuente: Ayala, 2007

5.2.4 Regulación sobre las transferencias de los DAA

La autorización de la DGA de transferir DAA cuando estos implican un cambio en el punto de captación es la principal medida establecida para regular las transferencias de los DAA con el objeto de evitar daños a terceros y/o al medio ambiente.

La DGA es la agencia encargada de realizar el estudio y análisis de los potenciales daños a terceros o al medio ambiente. Las solicitudes de traslado de punto de captación se transmiten radialmente, a lo menos tres veces, y son publicadas en diarios de circulación nacional y regional. Adicionalmente, el SEIA puede exigirle a los usuarios acciones para mitigar daños ambientales producto de la transferencia de DAA.

Es importante señalar que aquellas transferencias de DAA que no implican cambios en el punto de captación no están sujetas a regulación por parte del Estado. Uno de los elementos del sistema chileno es el papel restringido del Estado en la regulación del ejercicio, y nulo en materia de la transferencia de los DAA. Sin embargo, las medidas para controlar los potenciales efectos negativos de la constitución y del ejercicio de los DAA se han reforzado desde 1981, especialmente con la enmienda del año 2005 y la ley no 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente de 1994.

5.2.5 Gestión del Recurso Hídrico a través de las Organizaciones de Usuarios

Las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) surgen por la necesidad de los usuarios a organizarse en la gestión de los derechos de agua. Estas organizaciones no son dueñas de los derechos de agua, sin embargo tienen facultades arbitrales y representan a los miembros frente a terceros (ODEPA, 2010). Las funciones generales de estas asociaciones son distribuir el agua de acuerdo con los derechos, para lo que deben construir, administrar, conservar y mejorar la infraestructura de distribución de agua, incluyendo represas y otras obras hidráulicas necesarias para la distribución.

En Chile, estos organismos han existido desde la época colonial y en la actualidad hay más de 4.000. Existen tres tipos de organizaciones reconocidas por el Código de Aguas de 1981: las Comunidades de Agua, que son un grupo de usuarios que comparten una fuente común de agua ya sea superficial o subterránea; las Asociaciones de Canalistas, que operan sobre un sistema de canales para distribuir las aguas, y, finalmente, están las Juntas de Vigilancia, responsables de administrar el agua y asignar los caudales que fluyen en los ríos a las respectivas bocatomas de los distintos canales (Hearne y Donoso, 2005). Las OUA cobran una cuota de administración, distribución, mantenimiento y amortización de las infraestructuras construidas o adquiridas, y son responsables de la solución, en primera instancia, de los conflictos entre los miembros (Gazmuri y Rosegrant, 1996).

Dentro de las organizaciones de usuarios contempladas en el Código de Aguas, se encuentran, en primer lugar, las comunidades de aguas. En la legislación chilena la comunidad de aguas constituye un hecho que consiste en que dos o más personas

utilicen en común las aguas de un mismo canal o embalse o usen en común la misma obra de captación de aguas subterráneas. La comunidad se rige por un directorio o administradores que son elegidos en junta general ordinaria. El directorio o administradores tienen los deberes y atribuciones que determinen los estatutos y, en su defecto, por los que le encomiende el Código de Aguas.

Por su parte, las asociaciones de canalistas constituyen la segunda organización de usuarios regulada por el Código de Aguas. La constitución de la asociación y sus estatutos se debe efectuar por escritura pública suscrita por todos los titulares de derechos en las aguas de un mismo canal o embalse, o que usen en común la misma obra de captación de aguas subterráneas. También pueden constituirse en forma judicial, en los mismos términos que las comunidades de aguas. A las asociaciones de canalistas les son aplicables las normas referidas a las comunidades de aguas que se han señalado.

Por otra parte, las juntas de vigilancia corresponden a la tercera organización de usuarios regulada especialmente por el Código de Aguas, que tiene funciones y atribuciones más amplias que las anteriores. Las personas naturales o jurídicas y las organizaciones de usuarios que en cualquier forma aprovechen aguas de una misma cuenca u hoyo hidrográfica, podrán organizarse como junta de vigilancia que se constituirá y regirá por las disposiciones del párrafo 4º del Título III del Libro Segundo del referido ordenamiento. Además, puede organizarse una junta de vigilancia para cada sección de una corriente natural en que se distribuyan sus aguas en forma independiente de las secciones vecinas de la misma corriente. Las juntas de vigilancia tienen por objeto administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho sus miembros en los cauces naturales, explotar y conservar las obras de aprovechamiento común y realizar los demás fines que les encomiende la ley.

Adicionalmente, las juntas de vigilancia se entienden organizadas por su registro en la Dirección General de Aguas. Dicho registro es igualmente necesario para modificar sus estatutos. Los miembros de la junta de vigilancia que se sientan perjudicados por un acuerdo adoptado por el directorio en uso de las atribuciones que le confieren los números 2, 3 y 4, del artículo 274 del Código de Aguas, podrán reclamar de él ante los Tribunales Ordinarios de Justicia.

Entre las atribuciones y deberes más importantes del directorio cabe destacar: a) Vigilar que la captación de las aguas se haga por medio de obras adecuadas y, en general, tomar las medidas que tiendan al goce completo y a la correcta distribución de los derechos de agua sometidos a su control, b) Distribuir las aguas de los cauces naturales que administre, declarar su escasez y, en este caso, fijar las medidas de distribución extraordinarias con arreglo a los derechos establecidos y suspenderlas. La declaración de escasez de las aguas, como también la suspensión de las medidas de distribución extraordinarias, deberá hacerse por el directorio en sesión convocada especialmente para ese efecto, c) Privar del uso de las aguas en los casos que determinen las leyes o los estatutos y d) Conocer las cuestiones que se susciten sobre construcción o ubicación, dentro del cauce de uso público, de obras provisionales destinadas a dirigir las aguas

hacia la bocatoma de los canales. Las obras definitivas requerirán el permiso de la Dirección General de Aguas.

Las atribuciones de cada tipo de OUA se presentan en la Tabla 5-3

Tabla 5-3: Caracterización de las diferentes OUA

CARACTERÍSTICA	COMUNIDADES DE AGUAS	ASOCIACIÓN DE CANALISTAS	JUNTAS DE VIGILANCIA
Tipo de Fuente sobre la cual tienen influencia	Cauces artificiales	Cauces artificiales	Cauces naturales
Jurisdicción	Actúan sobre el caudal que no excede la capacidad de sus canales.	Actúan sobre el caudal que no excede la capacidad de sus canales.	Ejercer jurisdicción en toda una cuenca u hoyo hidrográfica o una sección independiente de una corriente natural
Requisitos para constituirse	Hecho que dos o más personas capten agua de una fuente natural por una misma bocatoma y la conduzcan por un mismo canal	Es el resultado de un acto formal. Esta asociación tiene personalidad jurídica	Para constituir una junta es necesario que estén organizados los canales.
Reconocimiento	Precisar quienes son los que tienen derechos, que dotación de agua y sus características y quienes son los dueños de las obras	Requiere de un documento donde conste la voluntad unánime de asociarse, Debe tener autorización del Presidente de la República	Son los mismos que para una comunidad de agua, además del reconocimiento del Presidente de la República.
Funciones	Mantenimiento de los canales, distribuyen, administran y resuelven conflictos	Mantenimiento de los canales, distribuyen, administran y resuelven conflictos	Distribuyen, administran y resuelven conflictos, además de: Preocuparse de la constitución de nuevos derechos y oponerse si fuere necesario De los traslados de los puntos de toma De los vertidos de las aguas contaminadas para que no perjudiquen a los usuarios De la extracción de las arenas Del libre escurrimiento y de las tomas sin derecho Del alumbramiento de las aguas del subsuelo Vigilar que lo que se haga en las partes altas de la cuenca u otros sectores de ella no perturbe el procedimiento de reparto en las partes bajas de ella. Realizar obras en el cauce para protegerlo.

Fuente: Elaboración propia, en base al CA 1981

En cuanto al funcionamiento administrativo de estas organizaciones, esta se realiza, en general, en forma adecuada, ya que la constitución de las organizaciones provee las herramientas legales y administrativas para el buen manejo de las mismas (DGA, 1999). Además, se ha investigado que las instituciones colaboran, no sólo brindando eficacia en la gestión de ciertos sistemas de riego y en la disminución de los costos de transacción de los derechos de agua sino que han logrado el funcionamiento de mercados de transacciones de volúmenes de agua temporales, es decir, de un mercado muy complejo (Hearne y Easter, 1997). El establecimiento del sistema que garantice los derechos transables, aumenta el valor del agua, creando fuertes incentivos a continuar desarrollando este tipo de instituciones eficaces para la gestión del agua (Gazmuri y Rosegrant, 1996).

En cuanto a la gestión financiera de las OUA, esta se lleva a cabo en forma confiable y responsable. Las organizaciones se financian estableciendo un sistema de cuotas que permite el funcionamiento de la organización, pero no provee de fondos para realizar programas de mantención ni para afrontar emergencias. Al respecto algunas organizaciones contemplan el cobro de cuotas extraordinarias o en la postulación de subsidios que les permiten ejecutar una reparación o mejoramiento específico (DGA, 1999).

La completa organización de estas instituciones se ha visto enfrentada a una serie de desafíos, que ya se planteaban en el año 1999, cuando se realizó la primera Política Nacional de Recursos Hídricos y, muchos de ellos siguen existiendo en la actualidad.

5.2.6 La resolución de conflicto

El Código de Aguas establece que, los conflictos que se presenten entre los usuarios y entre éstos y la organización, deben ser resueltos por el directorio de las asociaciones de usuarios, que conoce y resuelve como árbitro arbitrador y sus resoluciones se pueden cumplir con el auxilio de la fuerza pública.

En forma más específica, el directorio conoce en calidad de árbitro las siguientes materias: a) Repartición de aguas, b) Ejercicio de los derechos que tengan los comuneros como miembros de la comunidad y c) Conflictos que surjan respecto de cualquiera de los puntos anteriores entre comuneros y la comunidad.

El árbitro resuelve con la mayoría absoluta de los miembros y los fallos deben llevar por lo menos la firma de los que hayan concurrido al acuerdo de mayoría. Además, el Código establece la conveniencia que también firmen los de minoría y dejen constancia de sus razones. Las resoluciones en estos juicios arbitrales se notifican por carta certificada y la notificación se cuenta desde el segundo día siguiente a su remisión. Además, si fuera necesaria la fuerza pública, el directorio puede disponer de ella por intermedio del juez que tenga competencia en el territorio donde deba cumplirse el fallo. El juez sólo debe revisar que quienes dictaron el fallo sean efectivamente los integrantes del directorio de la comunidad y que ésta esté legalmente reconocida.

Finalmente, cuando la negociación privada falla y el o los involucrados se crean perjudicados por un fallo arbitral, puede reclamar ante los Tribunales Ordinarios de Justicia dentro del plazo de seis meses contados desde la notificación.

La resolución de conflictos se basa en la ley del Código de agua (1981) y en alguna otra ley que esté relacionada con el conflicto en estudio; por ejemplo para el caso de centrales hidroeléctricas se considera también la ley eléctrica (1982).

La ley del Código de agua se rige básicamente considerando fuertemente al agua como un derecho de propiedad privada, aumentando la autonomía privada del uso y manejo del agua y favoreciendo un mercado libre de aguas. En su mayoría los conflictos se presentan debido a que el código de agua separa los derechos de agua de la propiedad de tierra, permitiendo su libre intercambio y pudiendo ser vendido, hipotecados, heredados y transferidos como cualquier otro bien raíz. A su vez, el código de agua reduce el rol del gobierno en el manejo, regulación y desarrollo de los recursos hídricos.

Como es sabido, la DGA es una entidad sumamente relacionada al manejo del recurso hídrico, sin embargo de acuerdo al Código de aguas posee muy poca autoridad regulatoria sobre el uso de agua privada y no posee ningún poder para resolver conflictos entre usuarios del agua. Sin poder cancelar o restringir los derechos ya existentes, a excepción de la expropiación de estos de acuerdo a los artículos de propiedad de la constitución (Bauer, 2009).

Gran parte de los conflictos relacionados al agua se atribuyen a la dificultad de asignar al agua la modalidad de derecho de propiedad privada debido a su propiedad de alta movilidad y al frecuente cambio de estado físico que presentan. Esta dinámica del agua, que afecta el uso del agua y sus transacciones inevitablemente involucran a terceros provocando conflictos.

En los casos en que el conflicto involucra producción eléctrica, un problema importante ocurre en la resolución de conflictos, debido a que la superposición de leyes afecta el desarrollo de una resolución. La ley de electricidad considera los recursos hídricos como insumos críticos en el sistema nacional de electricidad y como la ley se concentra en el aspecto energético, considera el agua como combustible y no evalúa otros aspectos de los derechos de agua o manejos del agua (Bauer, 2009).

Por otro lado, la creación de los derechos de aguas no consuntivos, ha generado en Chile importantes problemas políticos y económicos, relacionados con el monopolio de derechos de aguas no consuntivos otorgados a hidroeléctricas y con la disponibilidad de los recursos hídricos para derechos de uso agrícola y eléctrico. A su vez las normas jurídicas que regulan los derechos no consuntivos son pocos y pobremente definidos; el Código de agua establece la existencia y la definición legal de los derechos, sin embargo no indica con claridad cómo se pueden ejercer o los deberes de que corresponden a los propietarios, dificultando la resolución de conflictos por parte de las entidades correspondientes.

Otro aspecto importante de considerar en la resolución de conflictos hídricos que coinciden con aspectos energéticos en Chile, es el hecho que en 1996 el gobierno realizó una acotación al código de agua, disminuyendo la importancia de los derechos de agua como barrera competitiva en el sector eléctrico, y favoreciendo la generación eléctrica de Chile, debido a la incertidumbre sobre la oferta de gas natural proveniente de Argentina. Este hecho debilitó la importancia del código de agua (Bauer, 2009).

Múltiples conflictos se presentaron en torno a la falta de una multa por los derechos de agua asignados y sin usos que en muchos casos constituían una barrera de entrada a ciertos mercados, sin embargo luego de la reforma al código de aguas en el 2005, existe cierta evidencia de que las nuevas tarifas por la falta de uso de los derechos ha dado lugar a un gran número de subastas de los derechos de agua por la DGA (especialmente derechos no consuntivos). Si esta situación continua se produciría un impacto importante en gran parte de los conflictos en torno al agua debido a una disminución del monopolio, propiedad especulativa y barreras para un nuevo desarrollo.

5.2.7 Aguas Subterráneas

El Código de aguas de 1981 establece que las aguas subterráneas son bienes nacionales de uso público. Por ello, la necesidad de definir un derecho de aprovechamiento para la explotación de las aguas subterráneas se debe a que forman parte de una misma corriente con todas las aguas de la cuenca u hoya hidrográfica.

Para la constitución de un derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas deben cumplirse los siguientes requisitos: a) el interesado debe presentar una solicitud de derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas a la Dirección General de Aguas (la que deberá regirse por el procedimiento contenido en el Título I del Libro II del Código de Aguas), b) acreditar la existencia de aguas subterráneas, c) comprobar la disponibilidad de las aguas subterráneas y d) que la solicitud sea legalmente procedente.

Adicionalmente, el Código de Aguas y la Resolución D.G.A. Nº 186 de 1996, establecen tres instrumentos que dispone el Director General de Aguas, para proteger los acuíferos y a los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas. Estos instrumentos corresponden a las denominadas limitaciones a la explotación de aguas subterráneas y son las siguientes:

- *Reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.* Con este instrumento se persigue proteger a titulares de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de la explotación que hagan otros usuarios. El efecto es la reducción temporal del ejercicio, a prorrata de ellos.
- *Áreas de restricción.* Las áreas de restricción están constituidas por aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en los que exista riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él. La declaración de área de restricción la efectúa la Dirección General de Aguas a petición de cualquier usuario del

respectivo sector, sobre la base de antecedentes históricos de explotación de sus obras de captación, que demuestren la conveniencia de restringir el acceso al sector. Declarada un área de restricción, la Dirección General de Aguas, podrá exigir la instalación de sistemas de medición y requerir la información que se obtenga en todos los pozos comprendidos en ella. La Dirección General de Aguas se encuentra facultada para otorgar provisionalmente derechos de aprovechamiento en aquellas zonas que haya declarado de restricción, los que pueden dejarse sin efecto en caso de constatar perjuicios a los derechos ya constituidos. Los derechos otorgados provisionalmente pueden transformarse en definitivos una vez transcurridos cinco años de ejercicio efectivo en los términos concedidos, y siempre que los titulares de derechos ya constituidos no demuestren haber sufrido daños. La declaración de un área de restricción da origen a una comunidad de aguas formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidas en ella.

- *Zonas de prohibición.* La Dirección General de Aguas puede declarar zonas de prohibición para nuevas explotaciones, mediante resolución fundada en la protección del acuífero, la cual debe publicarse en el Diario Oficial. También, corresponde a la Dirección General de Aguas dictar las resoluciones pertinentes relativas a la mantención o alzamiento de la prohibición de explotar, a petición justificada, si así lo aconsejan los resultados de nuevas investigaciones respecto de las características del acuífero o la recarga artificial del mismo.

Al interesado en explotar nuevos pozos se le constituye un derecho provisional respecto del cual: a) la Dirección General de Aguas puede limitar prudencialmente el uso del pozo si constata perjuicios a los ya existentes, b) el derecho puede transformarse en definitivo si el pozo se ha explotado durante cinco años en los mismos términos en que se constituyó el derecho, y los titulares de derechos ya constituidos no demuestren haber sufrido daños con la construcción del pozo.

5.2.8 Recursos Transfronterizos

Los cuerpos de agua transfronterizos pueden cumplir múltiples funciones, además de hacer las veces de límites internacionales entre dos o más estados, de lo cual se desprende justamente su calidad de transfronterizos o internacionales. Estos cuerpos de agua pueden servir como vías navegables, además de ser usadas para riego, pesca, usos industriales y, para producción eléctrica, entre otros. Surge entonces la necesidad de establecer cómo debe conducirse un estado, en virtud del derecho internacional, al utilizar las aguas de un curso de agua internacional.

En el caso Chileno, el país comparte aguas con Argentina, Bolivia y Perú, frente a los cuales, se han debido establecer acuerdos. Por ejemplo, con la República de Argentina, en el año 1991, se suscribió un tratado compartido sobre medio ambiente, en donde ambos países se harán cargo de la protección y aprovechamiento racional de los recursos hídricos y de sus recursos vivos, además de la prevención, defensa y saneamiento de su

contaminación. En este tratado, se agrega un protocolo específico sobre recursos hídricos compartidos, en donde se establece que el aprovechamiento de recursos hídricos compartidos se emprenderá conforme al concepto de manejo integral de las cuencas hidrográficas, y que las acciones y programas de aprovechamiento de los recursos hídricos compartidos, se efectuarán en forma coordinada o conjunta a través de planes generales de utilización, entre otras.

6. Mercado de Derechos de Aprovechamiento de Aguas

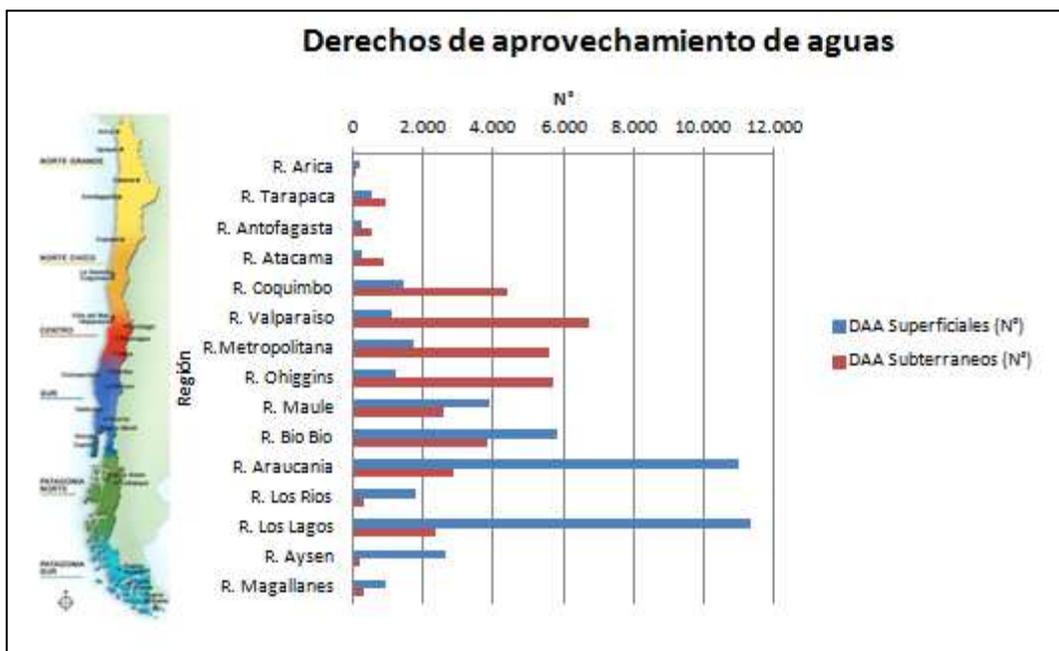
Actualmente se han concedido 81.818 derechos de aprovechamientos de agua distribuidos a los largo de todo Chile, de los cuales el 54,2% corresponde a DAA superficiales y un 45,8% a DAA subterráneos. Del valor total de DAA otorgados, el 45,4% se concentran en la Región del Biobío, Araucanía y Los Lagos, con un 11,8%, 16,9% y 16,7% respectivamente, como se aprecia en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Número de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneos otorgados en cada región de Chile.

Región	DAA Superficiales (N°)	DAA Subterráneos (N°)	Total
R. Arica	187	108	295
R. Tarapacá	544	973	1.517
R. Antofagasta	292	558	850
R. Atacama	287	915	1.202
R. Coquimbo	1.466	4.407	5.873
R. Valparaíso	1.103	6.707	7.810
R. Metropolitana	1.748	5.604	7.352
R. O'Higgins	1.257	5.731	6.988
R. Maule	3.912	2.574	6.486
R. Biobío	5.833	3.823	9.656
R. Araucanía	10.973	2.865	13.838
R. Los Ríos	1.787	326	2.113
R. Los Lagos	11.330	2.341	13.671
R. Aysén	2.674	223	2.897
R. Magallanes	948	322	1.270
Total	44.341	37.477	81.818

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que en las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, existe un predominio de DAA subterráneos, mientras que en las regiones del Biobío, Araucanía y Los Lagos la tendencia son los DAA superficiales.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-1: Derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneos otorgados en las distintas regiones de Chile.

El total de los derechos de aprovechamiento de aguas transado en el año 2011 corresponde a un 5,6% del total de los derechos de aguas concedidos en el territorio Chileno. A su vez los DAA superficiales transados durante el 2011 equivalen al 4,4% del total y los DAA subterráneos equivalen al 7% de los DAA subterráneos totales.

Los derechos de aprovechamiento de agua constituidos en Chile durante el último periodo (2003 a 2011), varía drásticamente año a año, tanto en la cantidad de DAA concedidos, como en el caudal de esos DAA. Como se aprecia en la Tabla 6-1, en el año 2011 los DAA superficiales concedidos corresponden a un 42,8% del total, de esto el 56% corresponde a usos consuntivos y un 44% a usos no consuntivos. Por otro lado, los DAA subterráneos corresponden a 57,2% de los DAA concedidos ese año, de los cuales la totalidad son DAA de usos consuntivos. En el caso de los recursos de aguas superficiales, los años 2007 y 2008 presentaron el mayor valor de DAA concedidos, superando en 738% y 778%, respectivamente, el número actual (2011) de los DAA concedidos. Por otro lado para estos recursos, los derechos de aprovechamiento de aguas han disminuido desde el 2008 a la actualidad. En relación a los DAA subterráneos

concedidos los mayores valores se presentan en el 2009, siendo 286% mayor al valor de los DAA superficiales otorgado el 2011.

Tabla 6-2: Cantidad de derechos de aprovechamiento de agua superficial y subterráneos concedidos desde el 2003 al 2011.

Año	Superficiales (N°)			Subterráneos (N°)		
	Consuntivos	No Consuntivos	Total	Consuntivos	No Consuntivos	Total
2003	7.310	3.151	10.461	1.530	1	1.531
2004	9.426	3.069	12.495	1.373	0	1.373
2005	6.700	1.850	8.550	726	1	727
2006	6.313	2.398	8.711	4.791	0	4.791
2007	10.039	4.441	14.480	1.933	0	1.933
2008	8.702	6.574	15.276	4.763	5	4.768
2009	5.118	4.286	9.404	7.508	6	7.514
2010	1.467	855	2.322	5.892	4	5.896
2011	1.099	864	1.963	2.626	0	2.626

Fuente: Elaboración propia

En relación a los caudales asociados a los DAA concedidos, la Tabla 6-3, indica en el año 2011, el 99,8% del caudal concedido asociado a DAA corresponde a agua superficiales y un 0,2% a agua subterráneas. Del caudal de aguas superficiales, el 99% corresponde a usos no consuntivos y 0,9% a usos consuntivos. De las aguas subterráneas, el caudal total es de usos consuntivos.

Tabla 6-3: Caudal concedido de los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas (l/s), para usos consuntivos y no consuntivos, desde el 2003 al 2011.

Año	Superficiales (l/s)			Subterráneas (l/s)		
	Consuntivos	No Consuntivos	Total	Consuntivos	No Consuntivos	Total
2003	675.726,7	2.228.291,8	2.904.018,5	32.025,0	8,0	32.033,0
2004	227.287,9	3.480.564,7	3.707.852,6	24.133,9	0,0	24.133,9
2005	368.430,7	5.780.504,8	6.148.935,5	9.472,9	3,5	9.476,4
2006	40.588,4	22.835.378,8	22.875.967,2	25.655,5	0,0	25.655,5
2007	47.824.582,2	20.332.187,3	68.156.769,4	25.958,0	0,0	25.958,0
2008	211.734.540,7	16.420.338,5	228.154.879,2	77.889,4	8,1	77.897,5
2009	1.009.839,4	19.914.439,0	20.924.278,5	42.575,4	6,6	42.582,0
2010	22.970,9	2.969.814,7	2.992.785,6	10.492,3	13,3	10.505,6
2011	47.340,5	5.192.039,8	5.239.380,2	12.087,0	0,0	12.087,0

Varios autores, (Gazmuri & Rosegrant, 1994; Ríos & Quiroz, 1995; Hearne & Easter; Gómez-Lobo & Paredes, 2001; Donoso, 2006; Hadjigeorgalis & Riquelme, 2002; Donoso, Montero, & Vicuña, 2001) señalan que los mercados de derechos de aprovechamiento de aguas en Chile presentan evidencias de transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas tanto intersectoriales como intrasectoriales, especificando que los mercados son más activos en aquellas zonas en que el recurso es más escaso. En estos trabajos se señala que el sistema de asignación basado en el mercado, presenta ventajas respecto a otros sistemas de asignación del recurso. Donoso (2006) argumenta que las fuerzas de mercado presentes en este sistema han presentado los siguientes efectos positivos:

- a. Inducen a los usuarios a considerar el costo de oportunidad de poseer derechos de aguas.
- b. El mercado ha permitido valorar el recurso.
- c. Reducen la presión sobre nuevas fuentes de agua.
- d. Estimulan un ajuste más rápido en la asignación del agua entre diversos usos. Es así como han colaborado en resolver problemas de escasez cuando se ha necesitado una rápida respuesta.
- e. Ha permitido el desarrollo económico de sectores no-agrícolas en zonas de escasez al comprar derechos agrícolas. Es decir, ha permitido el traspaso de DAA desde usos de menor valor a usos de mayor valor, logrando alcanzar mayores niveles de bienestar social.

Jaeger (2003) indica que este sistema de asignación ha fomentado la inversión de proyectos asociados al uso del agua, generado una adecuada reasignación, y, permitido dar al recurso el destino más eficiente. Además, Hearne y Donoso (2005) agregan que ha fomentado la presencia de mercados en valles donde no existía, una regulación y privatización de algunos sistemas de abastecimiento y saneamiento de aguas y la generación de programas de tratamiento de residuos. Junto con esto, el mercado ha permitido una reasignación fluida de los derechos de agua en las áreas en proceso de urbanización (Peña, 1996), tarea que a través de procedimientos administrativos centralizados, habría resultado difícil y conflictiva (Dourojeanni & Jouravlev, 1999).

Por ende, el Código de 1981 como mecanismo reasignador ha tenido resultados exitosos y concordantes con lo que se preveía, en especial en las zonas donde el agua es un recurso escaso, y, por lo tanto, un recurso de alto valor (Jouravlev, 2004).

Respecto a los valores de las transacciones de DAA, se espera que estos precios sean iguales al valor del producto marginal de agua. Sin embargo, los valores registrados, difieren por mucho de lo esperado, principalmente debido a la incertidumbre asociada al abastecimiento de aguas y a la poca información disponible al respecto (Hadjigeorgalis, 2004).

En esta línea, Hearne y Easter (1995) identificaron grandes variaciones en los retornos marginales del agua de acuerdo al uso dado, estimando el valor marginal del agua de US\$857 para uva de mesa y US\$867 para uva de pisco, en la zona centro norte del país. Estos valores difieren en gran medida con los valores marginales para la pimienta (US\$317), y la situación es más notoria aún para el caso de la papa (US\$ 33,5), ubicados en la zona sur.

En sectores con una oferta de agua más crítica, la tendencia ha llevado a desarrollar mercados de derechos de aguas con una gran movilidad de los DAA. Un estudio llevado a cabo por Alevy, Cristi y Melo (2010), así lo comprueba, e incluso indican que esta mayor movilidad de los DAA asociada a años secos se debe a los altos valores que adquieren los DAA en situaciones de mayor escasez. De hecho, en un estudio llevado a cabo en el valle de Limarí (Región de Coquimbo), se muestra que los agricultores pequeños, o de bajos ingresos, frente a situaciones de sequía, prefieren vender sus derechos de aprovechamiento, asegurando una mejor rentabilidad y una seguridad de renta, frente a lo obtenido de su producción en situación de incertidumbre (Hadjigeorgalis, 2004).

De los estudios analizados, se puede concluir que el desempeño del mercado de los derechos de aprovechamiento de aguas en Chile, es variable. Por una parte, la eficiencia en el uso del recurso se ha ido perfeccionado a través de la adquisición de mayores tecnologías, y se identifican mayores movimientos en los meses de escasez. Sin embargo, aún quedan ciertos aspectos que se deben perfeccionar, tales como la alta variabilidad de los precios de transacción.

Esta variabilidad de precios se debe a que el mercado de derechos de aguas en Chile carece de información pública y confiable que indique los valores aproximados del precio del agua; es decir, no existe un mecanismo revelador de precios. Son escasos los compradores y vendedores que conocen efectivamente cuánto es el valor que corresponde por metro cúbico por segundo, u otra medida de volumen.

En la Tabla 6-4 se presentan los resultados del estudio de Cristi y Poblete (2010) y es posible dilucidar cuánto varía el promedio simple a lo largo del país.

Es de sentido común pensar que a medida que uno va de norte a sur del país, el valor del metro cúbico disminuya, dado la mayor abundancia de aguas en el sur. En el norte al ser más escasa, el valor del metro cúbico debe ser comparativamente más caro que en el sur. Sin embargo, en la Tabla 6-4 no es posible identificar esa relación en forma nítida. Este es el caso, por ejemplo, de la Región de la Araucanía, que es una región que se caracteriza por una mayor abundancia de agua y que registra un precio promedio muy superior en comparación al resto de regiones que la rodean. En todo caso es necesario tomar ese valor con cautela dada la enorme dispersión de precios que se observa en las transacciones de esa región.

Cristi y Poblete (2010) señalan que el cálculo del promedio simple de los precios se ve afectado por la existencia de transacciones de muy poco caudal y con precios por m³/segundo muy altos. Esto sugiere la conveniencia de utilizar un promedio ponderado,

en que las ponderaciones corresponden al cociente entre el caudal de cada transacción y el caudal total transado en cada región y para cada año. Ello entrega precios promedio con una menor dispersión y los resultados son más razonables. En la Tabla 6-5 se pueden observar los promedios ponderados de los precios.

Tabla 6-4: Precio promedio simple del m³/seg (US\$)¹⁴



Región	Precio del m ³ /seg (US\$), con extremos			Precio del m ³ /seg (US\$), sin extremos		
	Media	Desviación	N°	Media	Desviación	N°
I	4.519.246,6	7.164.036,4	32	4.986.789,0	7.374.439,9	29
II	4.537.725.644,9	11.807.268.937,8	56	208.376.489,3	382.445.996,2	39
III	20.827.637,6	268.398,7	8	27.770.152,0	221.946,0	6
IV	19.026.487,5	91.769.185,4	326	33.709.975,6	107.431.949,5	184
V	35.082.922,0	241.514.286,1	683	29.289.617,7	77.097.475,5	379
RM	48.144.428,0	964.662.997,5	768	29.886.483,3	118.424.566,4	611
VI	377.886.233,0	2.920.635.469,4	242	10.600.925,3	32.763.913,6	170
VII	33.495.944,4	262.695.454,3	926	26.576.939,0	145.649.063,8	513
VIII	4.820.953,7	58.524.867,7	491	16.116.973,7	89.938.543,1	147
IX	295.752.265,1	1.662.136.405,0	389	63.940.567,0	257.276.928,3	317
X	12.231.717,2	31.829.912,4	163	15.950.149,1	34.998.873,6	125
XI	13.468.038,0	46.769.926,9	65	72.951.876,4	66.465.409,0	12
XII	214.455,2	184.633,1	4	285.971,6	0,0	3

Fuente: Cristi y Poblete (2010)

¹⁴ En el estudio de Cristi y Poblete (2010), el precio está valorizado en Unidades de Fomento (UF), medida monetaria libre de inflación; por lo tanto para realizar la correspondiente conversión del precio a dólares se consideró los valores del día 25/10/2012.

1 UF = CL\$22.697,76, 1US\$=CL\$481,78

Tabla 6-5: Precio ponderado del m³/seg (US\$)



Región	2005	2006	2007	2008
I	1.963.075,0	613.402,0	505.656,2	3.276.330,1
II	0,0	41.322.097,0	2.027.948,6	329.245.571,2
III	55.005.296,9	456.659,4	0,0	0,0
IV	7.348.245,5	4.414.327,5	5.309.790,9	184.586,0
V	6.316.062,3	4.941.702,5	518.235,2	16.294.869,7
RM	2.409.558,2	3.878.990,6	14.150.883,6	6.129.497,6
VI	1.965.619,0	3.834.893,4	182.920.728,7	2.911.539,6
VII	110.148,5	1.225.202,3	57.241,4	2.638.335,5
VIII	549.235,1	2.912.717,4	173.891,5	211.204,4
IX	256.102,4	458.826,6	160.228,9	797.893,8
X	227.081,2	198.813,9	334.685,7	692.032,5
XI	0,0	1.273.021,2	148.324.241,1	31.897.094,6
XII	0,0	426.366,2	5.135,2	0,0

Fuente: Cristi y Poblete (2010)

La Tabla 6-5 muestra que al ponderar el precio, si se observa, en general, como el precio del agua disminuye del norte hacia el sur del país, en donde hay mayor abundancia de agua.

A nivel de país el valor promedio de las transacciones de derechos no consuntivos es de US \$1.413,18/m³/s, con una desviación estándar de US \$41.730,28/m³/s (Cristi y Poblete, 2010). De forma similar Cristi y Poblete (2010) calcularon el promedio simple del valor del metro cúbico por segundo para el caso de los derechos consuntivos en todo el país, obteniendo un valor de US \$485 MM, con una desviación estándar de US \$8.803 MM. Los altos valores de desviación estándar indican que los mercados de DAA tienden a ser poco profundos.

Este desempeño variable del mercado de DAA se debe a diversas problemáticas, algunas de ellas dependientes del sistema de mercado como herramienta de asignación, mientras que otras problemáticas surgirían independientes del sistema elegido. Los problemas que afectan la asignación eficiente del recurso, bajo cualquier sistema de asignación del recurso, se clasifican como problemas independientes del mercado de DAA. Es decir, el problema estará presente independiente del diseño del mercado de DAA. Por otra parte, los problemas que se clasifican como dependientes del sistema de asignación están asociados al diseño del sistema de mercado de los DAA.

6.1 Problemas no relacionados con el Sistema de Asignación

6.1.1 Usos consuetudinarios y derechos antiguos de aguas que no están inscritos en los Registros de Aguas de los CBR

Un gran desafío pendiente es la existencia de una importante cantidad de usos consuetudinarios y derechos antiguos de aguas, los cuales, en un porcentaje todavía indeterminado, pero se presume significativo y elevado, no están inscritos en los Registros de Aguas de los CBR, lo que puede afectar la seguridad de su uso, porque no se puede proteger (ni gestionar) lo que no está definido (Banco Mundial, 2011).

El Informe del Instituto de Ingenieros que plantea la necesidad de perfeccionar los sistemas de información actuales, como el Catastro Público de Aguas que existe en la actualidad, junto con el desarrollo de acuerdos e incentivos adecuados para una colaboración eficaz entre el sector público y privado que fortalezca la obtención de información con respecto al agua (Instituto de Ingenieros de Chile, 2011).

6.1.2 Artículos transitorios que establecen los procedimientos de regularización que han dado origen a parte importante de los actuales asuntos y conflictos que actualmente deben conocer la DGA y los tribunales.

Como señala el diagnóstico del Banco Mundial (Banco Mundial, 2011) existe una creciente dificultad para verificar la validez de los pedidos de formalización de los usuarios. Según estudios de levantamiento de información sobre derechos no inscritos y susceptibles de regularizar este artículo transitorio se ha prestado para muchos abusos, porque se han regularizado en su nombre muchos usos que no se registran en los catastros de usuarios realizados por la DGA entre 1981 y 1987 para aguas superficiales y en 1976 para aguas subterráneas.

Un gran desafío pendiente es la existencia de una importante cantidad de usos consuetudinarios y derechos antiguos de aguas, los cuales, en un porcentaje todavía indeterminado, pero se presume significativo y elevado, no están inscritos en los Registros de Aguas de los CBR (Vergara, 2010), lo que puede afectar la seguridad de su uso, porque no se puede proteger (ni manejar) lo que no está definido.

6.1.3 Mejorar la protección de los requerimientos hídricos para los ecosistemas y servicios asociados

Como en muchos otros países, la preocupación por la gestión de la calidad de agua y la más amplia temática ambiental es relativamente reciente en Chile. En particular, la definición de los DAA establecida por el CA no reconoce como usos los requerimientos medioambientales. Es en 1994 y luego en 2005 que aparecen los dos principales

instrumentos que permiten hoy la protección de los requerimientos hídricos ambientales: el SEIA introducido por la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y el caudal ecológico mínimo a la constitución de nuevos DAA establecido por la Ley N° 20.017 de 2005 que reforma el CA (Banco Mundial, 2011). El SEIA evalúa grandes proyectos de inversión, tanto privados como públicos con el fin de determinar si estos pueden generar diversos efectos adversos, los cuales deben ser mitigados.

Sin embargo, falta mucho por hacer para que los requerimientos hídricos del medio ambiente sean correctamente protegidos. En las cuencas con alta escasez de agua, la protección de los caudales ecológicos mínimos a través de la constitución de nuevos derechos no es una solución ya que estas cuencas no hay DAA para otorgar. Esto significa que se debe estudiar otro mecanismo que permita adquirir DAA concedidos para constituir los caudales ecológicos. Además, la patente por no uso y la necesidad de justificar el uso futuro del agua para la constitución de nuevos DAA introducidos en 2005 con la enmienda del CA, han inhibido que actores privados interesados en conservar parte del recurso hídrico para el uso ambiental o recreacional en los cuerpos de agua adquieran y conserven DAA para este propósito.

Por último, una fuente importante de conflictividad entre los usuarios y la DGA es la diversidad de los criterios y metodologías conforme a los cuales se han establecido los caudales ecológicos mínimos (Vergara, 2010). Por lo tanto, la Ley n.° 20.417 de 2010 que crea el MMA, modificó el CA incorporando que —un reglamento que deberá llevar la firma de los Ministros del Medio Ambiente y de Obras Públicas, determinara los criterios en virtud de los cuales se establecerá el caudal ecológico mínimo. Sin embargo, todavía no se ha aprobado tal reglamento.

6.1.4 Flujos de retorno y efectos en la corriente y a terceros.

De acuerdo con el CA, los DAA consuntivos no toman su agua de flujos de retorno. Sin embargo, según Jouravlev (2005) el 70% de los DAA emitidos dependen de flujos de retorno; no obstante, no existen estudios publicados que justifiquen esta cifra. La inducción temporal del concepto del uso previsible empeoró la situación.

Dado que los DAA no incluyen especificaciones respecto a las eficiencias de uso, los dueños de DAA pueden aumentar su eficiencia, reduciendo los flujos de retorno sobre los cuales terceros dependen, sin que se les pueda pedir cuentas por efectos negativos. Es importante destacar que esta discrepancia entre la ley y la práctica resulta en un elevado grado de inseguridad y de potencial conflicto. Esto afectaría cualquier sistema de asignación de DAA, no solo el basado en un mercado.

6.1.5 Constitución, ejercicio y transferencia de los DAA - control de los efectos sobre terceros y medio ambiente.

Los instrumentos y medidas de control previstos para evitar daños sobre terceros y al medio ambiente están previstos en el proceso de constitución de los DAA. Sin embargo, la transferencia de DAA que no implica cambios de punto de captación y mejoras en la eficiencia de uso no están sujetos a medidas de control de daños a terceros o al medio ambiente, excepto cuando están asociados a nuevos proyectos sujetos a EIA. Es probable que algunos cambios y transferencias den lugar a daños a terceros. Por lo anterior, sería conveniente evaluar/cuantificar estos riesgos, especialmente si se pretende activar los mercados de aguas y continuar con la tecnificación del riego.

A su vez, el procedimiento de perfeccionamiento de los DAA solamente incluye una fase judicial, y por lo tanto no requiere una aprobación por parte de la DGA asegurando que no haya impactos sobre terceros y que el agua esté disponible. Además, no considera publicación o notificación de las solicitudes, aunque este proceso puede potencialmente provocar daños a terceros (Vergara, 2010).

6.1.6 Necesidad de Sistema de Resolución de Conflictos

Una limitante en las reasignaciones de los DAA, sea por un sistema administrativo o basado en transacciones, son los conflictos de uso cuya solución demora mucho tiempo. Un porcentaje mayoritario termina en los tribunales de justicia, los cuales no cuentan con la preparación requerida en Derecho de Aguas, están sobrepasados por un excesivo número de causas y no siguen una tendencia uniforme al resolver.

El desafío es crear una instancia especializada y ágil de resolución de conflictos en materias de aguas que evite que este recurso sea un factor limitante del desarrollo social, económico y ambiental del país.

6.2 Problemas Dependientes del Sistema de Asignación

6.2.1 Información de Mercado

La amplia dispersión de precios encontrada por Cristi y Poblete (2010) puede ser una indicación de la poca información a la que compradores y vendedores tienen acceso. Hasta las reformas del 2005, la información de las transacciones solo estaba disponible a través de los CBR; la actividad de mercados de agua ha carecido a menudo de transparencia y ha afectado los resultados del mercado. En la medida que no existe un mecanismo revelador de precios, que les permita a los propietarios de DAA verificar el valor de los sus derechos se dificultan las transacciones, ya que sólo existe una percepción del valor, pero no una evidencia de él.

Por otro lado, la falta de información genera problemas de información asimétrica entre vendedores y compradores, lo que no permite que el mercado de DAA sea totalmente

eficiente y por tanto la distribución inicial de derechos afecta la eficiencia de la asignación final de recursos (ver Myerson y Satterhwaite(1983) y la discusión de McAfee (1998)).

6.2.2 Costos de transacción

Los costos de transacción evitables se refieren a los desembolsos relacionados con la investigación de ofertas y solicitudes que deben realizar vendedores y compradores, la negociación correspondiente y el cumplimiento de los contratos como también la validación legal de la propiedad del derecho de uso del agua, legalización del contrato y la adquisición del permiso necesario por las autoridades para la transferencia del agua. Se debe destacar que altos costos de transacción pueden impedir que una asignación inicial que no se encuentra en el óptimo, se corrija naturalmente.

Los costos asociados con una transacción de mercado de aguas pueden aumentar debido al difícil proceso de encontrar compradores o vendedores potencialmente adecuados. Los agentes interesados en la compraventa de derechos a menudo acuden a oficinas de abogados especializados en DAA para buscar compradores y vendedores y obtener alguna referencia respecto de los precios. También es común que personas naturales o empresas con DAA contraten servicios de consultoría para que les valoren sus derechos con respecto al mercado. No son comunes empresas especializadas en intermediación.

6.2.3 Equidad y exclusión

La falta de transparencia del mercado, la prevalencia de las negociaciones bilaterales, y la asimetría de información que existe en el mercado, puede también llevar a una redistribución del agua y sus actividades económicas relacionadas que sea poco equitativo con respecto a las ganancias del intercambio (Verges, 2010). Este también puede ser el caso de las transacciones dentro del sector agrícola, p.ej. entre grandes empresas agroindustriales y pequeños agricultores que en muchos casos cuentan con educación escolar muy limitada.

6.2.4 Asegurar el uso óptimo de las aguas sin poner en peligro la sostenibilidad de los ríos y acuíferos – sobre-otorgamiento vinculado al concepto de uso previsible.

La DGA ha suspendido la constitución de nuevos DAA consuntiva en un número creciente e importante de ríos y acuíferos donde el volumen otorgado por DAA había alcanzado la disponibilidad de explotación sostenible. En muchos casos los acuíferos y ríos cerrados presentan mejores condiciones de las esperadas, y realmente no presentan problemas de sobrexplotación. La razón principal es que el uso real del agua es mucho menor que el volumen concedido por la importancia de los flujos de retorno (derrames y percolación) y porque existen DAA no plenamente utilizados (DAA continuo, uso eventual etc) (Banco

Mundial, 2011). Sin embargo, el problema es que los derechos reales no coinciden con lo que el titular define como sus derechos de propiedad nominal.

El concepto de uso previsible empleado en la constitución de nuevos DAA en los acuíferos, surge de la concepción que se podría utilizar mejor el potencial de los acuíferos y rectificar de esta manera la sobre-evaluación de la demanda resultado de la asignación de DAA consuntivo y continuo a usos que no lo son necesariamente. La idea era permitir un sobre-otorgamiento controlado de los DAA. Sin embargo, el concepto de uso previsible no es aplicable cuando el sistema de asignación se basa en la libre transferibilidad de los DAA entre sectores ya que puede llevar a un sobreotorgamiento cuando se traspasan DAA de usuarios con menor uso previsible a usuarios con mayor uso previsible. Por lo anterior, no se debe aplicar el concepto de uso previsible al otorgar DAA.

De hecho es la propia DGA y una serie de expertos los que consideran que el uso previsible ha sido la causa principal del sobre-otorgamiento, y en muchos casos de sobreexplotación de diversos acuíferos del país. En efecto, el uso previsible utilizado durante cerca de 15 años llevó a subestimar el uso efectivo de los DAA, provocando un detrimento en la sustentabilidad del recurso hídrico y en los ecosistemas asociados. Sin embargo, otros expertos opinan que no se debería limitar la explotación de los acuíferos a los derechos nominales (Muñoz, 2010) y que si el concepto de uso previsible se hubiese utilizado rigurosamente el sobre-otorgamiento hubiera sido mucho menor, a un nivel compatible con la sostenibilidad de los acuíferos (Peña, 2010).

En acuíferos abiertos, este problema puede evitarse en el futuro no aplicando el factor de uso previsible al otorgar DAA, en particular para el caso de las aguas subterráneas. El desafío, sin embargo, es diseñar un instrumento que permita disminuir el sobreotorgamiento de manera de asegurar un uso sustentable de los acuíferos cerrados.

6.2.5 Uso efectivo de los derechos de aguas.

Combatir los riesgos de especulación, barrera de entrada y escasez jurídica pero no real de agua fue uno de los más importantes objetivos de la reforma de 2005. Por ello, después de muchos debates, la Ley N.º 20.017 de 2005 que modifica el CA introdujo tres medidas: (a) la necesidad a la constitución del derecho de justificar el caudal pedido asociándolo al uso que se quiere hacer; (b) la DGA puede limitar el caudal de una solicitud de DAA si no hay equivalencia entre la cantidad de agua pedida y el uso invocado por el peticionario y (c) la necesidad de pagar una patente por no uso de agua (Banco Mundial, 2011).

Según Peña (2010), el resultado de la reforma de 2005, combinada con la actuación de la Comisión Antimonopolio, ha permitido que la propiedad de DAA haya dejado de ser un elemento de distorsión monopólica. A su vez, Jouravlev (2010) señala que “como resultado de la reforma de 2005 (junto con otras medidas), los derechos sin uso que aún subsisten ya no son en general un obstáculo importante para el desarrollo de las cuencas, y es probable que la situación se mejore en el futuro con la progresividad de la patente.”

En cambio, Valenzuela (2009) observa que “la patente ha obligado a renunciar a 20 derechos equivalentes a 65 m³/s, lo que representa 1% de tanto de los DAA afectados por la patente como del caudal.” Además, Cristi 2010, indica que “el efecto de la patente ha sido muy limitado, porque en 2009 por ejemplo, sólo 2,08% de los DAA afectados a un pago de patente pasó a ser utilizado o se devolvió al Estado.”

Adicionalmente, se estima necesario perfeccionar el diseño de la patente.

7. Huella Hídrica de Chile

7.1 Cálculo de la huella hídrica

7.1.1 Metodología estimación huella hídrica agrícola

Este estudio distingue los componentes de huella hídrica azul, verde y gris expresados en la siguiente fórmula basada en el método descrito en el Manual de Huella Hídrica (Hoekstra *et al.*, 2009).

$$(7.1) \quad WF = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey}$$

donde WF es la Huella hídrica total del producto, que se descompone en WF_{green} , WF_{blue} y WF_{grey} que representan la huella hídrica verde, azul y gris, respectivamente. Las distintas huellas hídricas están expresadas en volumen de agua por unidad de masa, siendo una medida común la expresión m³/ton y su equivalente Litros/kg.

Los componentes azul y verde de la huella hídrica se calculan como el agua consumida por los productos agrícolas (medida de volumen) dividida por el nivel de producción (medida de masa); es decir

$$(7.1a) \quad WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y}$$

$$(7.1b) \quad WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y}$$

donde CWU_i/Y es el consumo de agua de tipo $i = verde$ y $azul$ en m³/unidad de producción. En el caso de la producción agrícola, se determina usando los datos de evapotranspiración de los distintos productos agrícolas (mm/día, mm/mes, etc.) durante toda la fase productiva. Para este estudio se utilizaron datos mensuales y se obtuvieron evapotranspiraciones medias durante toda la temporada para cada mes. Las siguientes fórmulas expresan el uso de agua de los distintos cultivos en función de la evapotranspiración

$$(7.2) \quad CWU_i = 10 \sum_{d=1}^n ET_{id}, \quad \forall i.$$

La evapotranspiración total verde y azul es la suma desde el día de siembra o inicio de temporada hasta el fin del ciclo productivo. El factor 10 transforma la lámina de agua medida en milímetros a volumen de agua por superficie en m³/ha. Es importante destacar que en función de los distintos productos agrícolas, la duración de la temporada (o periodo de crecimiento) puede tener distintas duraciones como también distintas fechas de inicio en el año, esto puede influir significativamente en la evapotranspiración calculada (Hoekstra *et al.*, 2009).

Para poder usar las fórmulas anteriormente expuestas y obtener los distintos componentes de la huella hídrica es imprescindible calcular la evapotranspiración de los cultivos. Esto se realizó mediante la metodología CROPWAT (FAO, 2009 para calcular la demanda evaporativa en condiciones óptimas y no óptimas respectivamente:

$$(7.3a) \quad ET_c = ET_o * K_c$$

$$(7.3b) \quad ET_{ca_j} = ET_o * K_c * K_s$$

donde ET_c es la evapotranspiración estándar del cultivo (mm/ mes), ET_o la evapotranspiración de referencia o potencial (mm/ mes), ET_{ca_j} representa la evapotranspiración del cultivo ajustada (mm/ mes), y los K_c y K_s son los coeficiente de cultivo y coeficiente de estrés hídrico, respectivamente.

La evapotranspiración de un cultivo (ET_c) se calcula multiplicando la demanda evaporativa de referencia o potencial (ET_o), en una zona geográfica determinada, con el coeficiente de la especie estudiada (K_c), en condiciones donde las necesidades hídricas del mismo no se ven afectadas y por ende su evapotranspiración no es limitada. En condiciones no óptimas se incorpora un factor que refleje una disminución en la evapotranspiración, este factor se denomina coeficiente de estrés hídrico (K_s) y permite describir el efecto del déficit de agua en la zona radicular del suelo sobre la evapotranspiración de la especie vegetal estudiada (FAO, 2006).

La estimación de la huella hídrica gris como el tercer componente de la huella hídrica total fue estimada como sigue

$$(7.4) \quad WF_{grey} = \frac{(a * AR)}{(C_{max} - C_{nat}) * Y}.$$

donde AR es la cantidad aplicada del contaminante, α representa la fracción de lixiviación y escorrentía del producto expresada en %, C_{max} es la concentración máxima aceptable definida por estándares de calidad (mg/Lt), C_{nat} la concentración natural del contaminante

(mg/Lt) e Y es el nivel de producción. Al igual que la huella azul y verde, la huella gris se mide en términos de volumen por unidad de masa de producto (m³/ton), la cantidad de agua necesaria para asimilar los residuos y diluirlos hasta el punto en que su concentración se mantenga dentro de los rangos de calidad e inocuidad según normas de calidad (Hoekstra *et al.*, 2009).

Para calcular la huella gris es necesario definir un agente que permita medir la polución hídrica en términos de volumen de agua contaminada. En función del Manual de Huella Hídrica (Hoekstra *et al.*, 2009), se utilizó el nitrógeno como agente contaminante por lo que la cantidad aplicada (AR), corresponde a la dosis de referencia de nitrógeno para cada especie. Utilizando el elemento anterior, la fracción de lixiviación y escorrentía utilizada fue del 10% según la recomendación del manual citado anteriormente.

La concentración máxima aceptable usada para todas las regiones y para los años de estudio fue de 15mg/Lt, basada en el decreto supremo 90 de la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales de la República de Chile (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2001). La concentración natural de los cuerpos de agua receptores se estableció según la metodología de Hoekstra *et al.* (2009), dándole un valor de 0 mg/Lt debido a la falta de datos.

En este estudio se realizó una adaptación al modelo de cálculo de la huella hídrica relacionando la evapotranspiración teórica estimada con los rendimientos reales. El ajuste busca reducir el consumo de agua en tales casos donde el rendimiento no alcanzó el potencial regional de un año base o el promedio obtenido en función de una base de datos de 30 años¹⁵. La estimación en la reducción del rendimiento se hizo mediante el software CROPWAT donde existe la opción de relacionar la reducción de evapotranspiración a un porcentaje de reducción de rendimiento. Para estimar la reducción del rendimiento se realizó el siguiente cálculo:

$$(7.5) \quad \left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_{caj}}{ET_c}\right)$$

donde K_y es el factor de respuesta a la productividad, ET_{caj} es la evapotranspiración ajustada (real) del cultivo (mm/día), ET_c la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (sin estrés hídrico), Y_a los rendimientos reales obtenidos o ajustados del cultivo (ton/ha) e Y_m los rendimientos esperados (ton/ha).

Esta fórmula es una función lineal que cuantifica la relación entre el uso del agua por el cultivo y los rendimientos por hectárea generados, cuyo objetivo es la predicción en la reducción de la productividad cuando existe estrés hídrico por falta de agua en el suelo (FAO, 2006). El factor K_y describe la reducción relativa de la productividad en función de

¹⁵ Considerando estos valores como patrón de rendimientos esperados basándose en el promedio regional para los cultivos anuales y en los rendimientos potenciales del año control de 1989.

la reducción de evapotranspiración del cultivo por escasez de agua, este valor es distinto en las etapas de desarrollo del cultivo ya que la reducción de productividad por falta de agua es menor en etapas de desarrollo vegetativo que en periodos de floración (FAO, 2006). Finalmente el propósito de este procedimiento es obtener huellas hídricas más precisas ya que el cálculo depende en gran medida del rendimiento de la especie estudiada.

Una vez obtenida una adecuada fórmula de medición de huella hídrica, se puede llevar a cabo el cálculo de huella hídrica total, verde, azul y gris de los distintos productos agrícolas más relevantes en Chile.

7.1.2 Metodología estimación huella hídrica forestal

La misma metodología utilizada para el sector agrícola fue aplicada en el sector forestal, con la única salvedad que en este sector se consideró la huella hídrica como el promedio de las huellas hídricas de 10 años. Al considerar 10 años un tiempo adecuado de producción.

7.1.3 Metodología estimación huella hídrica ganadería

En la estimación de la huella hídrica del sector ganadero se consideró como etapas, la estimación de la huella hídrica del Vacuno, Porcino y Aves, al constituir las especies más relevantes en el sector ganadero.

La estimación de la huella hídrica de estas especies se realizó a partir del valor de huella hídrica (m^3/ton) obtenida de la base de datos de Hoesktra, Reports 50 National Water Footprint y a ese valor se le multiplicó la cantidad producida de cada rubro evaluado.

$$(7.6) \quad \sum WFP_i * PROD_i$$

Por lo tanto WFP_i corresponde a la huella hídrica de la especie i y $PROD_i$ a la producción obtenida por la especie i en Chile.

Por otro lado, la productividad aparente se estimó a partir de los precios mayoristas de la carne en vara y para el caso de las aves se utilizó el precio faenado al por mayor.

7.1.4 Metodología estimación huella hídrica minería

Se estimó la huella hídrica del sector minero a partir de la sumatoria de la demanda hídrica de la Minería en cada región de Chile, donde i representa la región. Considerando un factor de transformación a unidad anual.

$$(7.7) \quad \sum CW_i * 31.536.000$$

Se considera la demanda de agua de las plantas concentradoras, hidrometalurgia y otras como fundiciones, refinerías y minerías no metálicas.

7.1.5 Metodología estimación huella hídrica industrial

La huella hídrica del sector industrial se obtuvo a partir del Water footprint of nation (ver Datos).

7.1.6 Metodología estimación huella hídrica agua potable

Se estimó la huella hídrica del agua potable a partir del agua potable utilizada en el sector urbano de cada región de Chile. Utilizando como base de datos un documento realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas. Si se evalúan las etapas consideradas para la estimación de la huella hídrica, se puede considerar como etapas la estimación de la huella hídrica del agua potable en el sector urbano de cada región de Chile (ver Datos).

7.1.7 Metodología estimación huella hídrica energía

En el sector energía se realizó la estimación de la huella hídrica de las centrales hidroeléctricas de embalses del Sistema Interconectado Central, considerando casi todos los embalses, excepto 3 centrales, de las cuales 1 tiene información confusa (Central Antuco). Abarcando en el estudio el 84,19% de la potencia generada.

La huella hídrica del sector energético se considera como el agua que se pierde en el proceso de producción de energía, es decir aquella agua evaporada por los embalses.

Por lo tanto la huella hídrica del sector energético (m^3/ton) se calculó como la sumatoria de la huella hídrica de cada región i ($m^3/año$), dividido en la sumatoria de la generación eléctrica anual de cada embalse j (Wh).

$$(7.8) \quad \frac{\sum WFP_i}{\sum G_{ij}}$$

La huella hídrica de cada región corresponde a la sumatoria de las huellas hídricas de los embalses establecidos en esa región, que a su vez se obtuvo a través de la sumatoria de la evaporación del embalse de cada mes Em , multiplicado por un factor 10 que transforma los mm a m^3/ha , multiplicado por el área del embalse por un factor 100 que transforma los Km^2 en hectáreas, dejando el valor final de acuerdo al área total del embalse.

$$\sum Em * 10 * A * 100(7.9)$$

El agua evaporada por los embalses se calculó con la siguiente fórmula, que considera distintos coeficientes $\frac{1}{\alpha}$, Δw , $rad\ net$, γ , fu , es y ea .

$$E = \frac{1}{\alpha} * \left(\frac{\Delta w * rad\ net + \gamma * fu * (es - ea)}{(\Delta w + \gamma)} \right) (7.10)$$

Esta fórmula considera temperatura media del aire, elevación del nivel del mar, área del embalse, velocidad del viento, radiación neta y humedad relativa. El coeficiente $\frac{1}{\alpha}$ se calculo de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{(2,501 - 2,361 * (10^{-3}) * Ta)} (7.11a)$$

Donde Ta corresponde a la temperatura media del aire ($^{\circ}C$). El factor Δw se obtuvo a través de la ecuación presentada a continuación.

$$\Delta W = \frac{\left(4098 * \left(0,6108 * EXP \left(\frac{(17,27 * Ta)}{(Ta + 237,3)} \right) \right) \right)}{(Ta + 237,3)^2}$$

(7.11b)

Por otro lado, la $rad\ net$ corresponde a la radiación neta y γ es obtenido a través de la siguiente ecuación.

$$\gamma = \frac{(1,63 * 10^{-3} * 101,3 * \left(\frac{293 - 0,0065 * \varphi}{293} \right)^{5,26}}{(2,501 - 2,361 * (10^{-3}) * Ta)}$$

(7.11c)

Donde φ representa la elevación del nivel del mar (m). El coeficiente f_u se calcula a través de la siguiente ecuación, en la cual u_{10} representa la velocidad del viento (m/s).

$$f_u = \left(\frac{5}{A}\right)^{0,05} * (3,8 + 1,57 * u_{10}) \quad (7.11d)$$

El coeficiente e_s , se calculó con la formula presentada a continuación que considera temperatura mínima T_{min} y la temperatura máxima T_{max} , expresada en °C.

$$e_s = \frac{(0,6108 * EXP\left(\frac{17,27 * T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right) + (0,6108 * EXP\left(\frac{17,27 * T_{max}}{T_{max} + 237,3}\right))}{2}$$

(7.11e)

Por último el coeficiente e_a , se calcula a través de la ecuación presentada a continuación.

$$e_a = \frac{(0,6108 * EXP\left(\frac{17,27 * T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right) * HR_{max}) + (0,6108 * EXP\left(\frac{17,27 * T_{max}}{T_{max} + 237,3}\right) * HR_{min})}{2}$$

(7.11f)

7.1.8 Datos

Los datos utilizados en la estimación de la huella hídrica de distintos sectores fueron obtenidos de múltiples documentos. En relación a los antecedentes necesarios para el sector agrícola, los coeficientes de cultivos K_c fueron obtenidos de la FAO 56. Los antecedentes climáticos se obtuvieron de los Anuarios Meteorológicos de Chile de la Dirección General de Aeronáutica Civil, en conjunto con la Dirección Meteorológica de Chile.

Los valores de rendimientos y superficies de cada cultivo fue obtenido del Censo Agropecuario 2007 (INE, 2007). El uso potencial del agua, el uso real del agua, el aporte de la lluvia se obtuvieron a partir del Software CROPWAT. Por otro lado, las dosis de nitrógeno utilizadas en Chile, para el posterior cálculo de huella hídrica gris se obtuvieron del Manual de fertilización de Rodríguez.

En relación al sector forestal los datos de las superficies y el consumo de maderas nacional y regional fueron obtenido por informes realizado por la ODEPA, con información de INFOR, CONAF y empresas. El consumo de agua total regional se considera como

valor promedio y fue obtenido del documento the green and blue water footprint of a paper products (Van Oel y Hoekstra, 2010). Los datos climáticos al igual que en el sector agrícola fueron adquiridos de los Anuarios Meteorológicos de Chile.

Los antecedentes de la producción pecuaria de Chile, se obtuvieron del Informe anual, Producción pecuaria 2005-2010 (INE, 2011). El consumo de agua del Vacuno, Porcino y Aves se obtuvo del Report 50 National Water Footprint Accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

Los antecedentes de producción de la minería que se relacionan con las demandas de agua del sector, son obtenidos del Ministerio de Minería, de la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) y de proyectos de inversión en proceso que tiene la SOFOFA. A través de la tabla de equivalencia de la DGA, entre caudales y usos. La demanda de agua del sector minero se obtuvo de Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas (Consejo nacional de producción más limpia y subsecretaría de economía, 2002), del Desarrollo de un Patrón de Análisis Ambiental de la Pequeña Minería. Ministerio de Minería-CONAMA Subterra ingeniería. Mapa Minero (Ministerio de Minería, 2006), Minería No Metálica en Chile. (COCHILCO, 2004), Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales (COCHILCO, 2005), Proyección de Inversión en la Minería Chilena del Cobre y del Oro Actualizada a 2005 (COCHILCO, 2006).

Los antecedentes de huella hídrica de la industria se obtuvieron del documento Water Footprint of Nations efectuado por Hoekstra y Chapagain el 2006.

Los antecedentes de la producción de agua potable del sector urbano y del uso del agua del sector urbano en cada región de Chile se obtuvo del Informa anual, Medio ambiente 2007 (INE, 2007). Los antecedentes demográficos de Chile se obtuvieron de Estadísticas Demográficas, Compendio Estadístico, 2010 (INE, 2010).

Los antecedentes de energía fueron obtenidos de distintos documentos, en el caso de la elevación del nivel del mar de los embalses se consultó el software Google Earth; respecto a la potencia bruta total declarada por el embalse se consultó los datos del 2011 de la Comisión Nacional de Energía. Los datos de generación anual de los embalses fueron obtenidos de la Central de Energía de Chile.

Por último para todos los sectores estudiados los dos informes de la DGA sobre Estimaciones de demandas de agua y proyecciones futuras (DGA, 2007), fueron útiles para conocer los consumos de agua de algunas regiones.

7.2 Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de Chile

La huella hídrica de un sector económico del país se refiere al volumen de agua fresca usada por ese sector del país. Este concepto considera el agua utilizada proveniente de precipitación, el agua proveniente de cuerpos subterráneos y superficiales y el agua necesaria para neutralizar los contaminantes asociados al proceso productivo. Este

concepto está asociado al agua que no se vuelve a utilizar y es un indicador útil del consumo efectivo del recurso hídrico en un tiempo y espacio específico. En este capítulo se presenta los resultados de las estimaciones de la huella hídrica de los principales sectores económicos de Chile.

Tabla 7-1: Porcentaje del PIB, fuerza laboral y consumo de agua de los sectores económicos de Chile.

	Sector	1990	1999	2002	2006	2011
%PIB	Silvoagropecuario	6,7	4,2	3,9	2,8	2,8
	Minería	12,6	5,8	6,9	22,3	15,2
	Industria	18,5	17,4	18,4	13,5	10,9
	Agua Potable Energía	2,6	2,7	3,1	2,8	2,4
% Laboral	Silvoagropecuario	19	14,2	13,55	12,6	9,6
	Minería	2,3	1,5	1,46	1,4	3,0
	Industria	16,5	14,5	14,15	13,3	11,5
	Agua Potable Energía	0,5	0,6	0,49	0,5	0,8
Consumo de Agua (MMm³)	Agropecuario	16.272,6	19.268,5	20.403,8	16.619,5	18.007,1
	Minería	1.356	1.608,3	1.671,4	1.986,8	1.671,4
	Industria	1.482,2	2.144,4	2.428,3	2.649	2.112,9
	Agua Potable	851,5	1.072,2	1.166,8	1.261,4	1.356
	Energía	37.496,3	91.895,9	123.904,9	126.049,4	132.135,8

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 7-1 se desprende que si bien la minería es el sector económico con mayor participación en el PIB, posee un bajo consumo de agua en relación con otros sectores. La minería presenta un crecimiento promedio del consumo de agua de 85,903MMm³/año en el periodo estudiado, asociados al aumento promedio de las exportaciones mineras de 4,3% anual para el mismo periodo; además, posee un 7,5% de participación en el consumo de agua consuntiva.

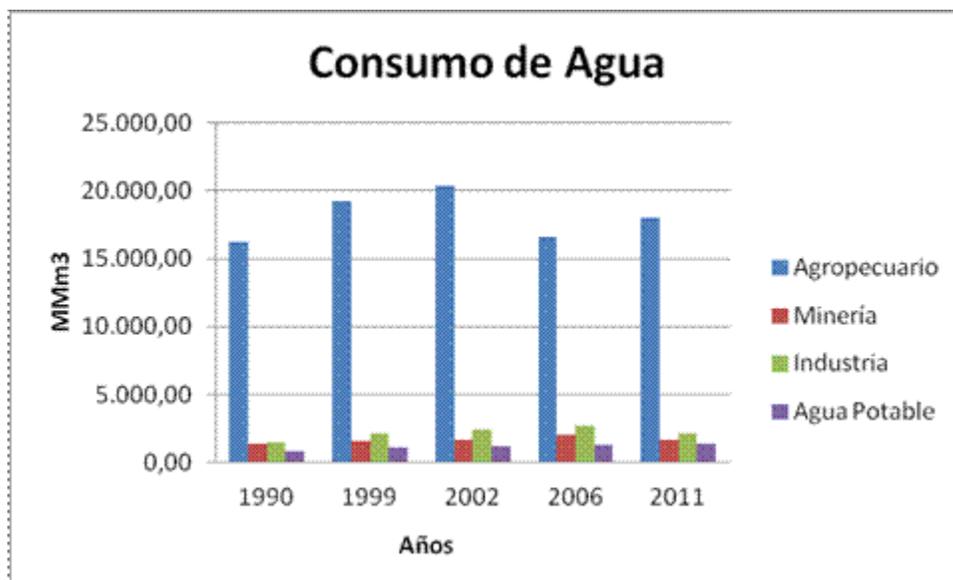
Por otro lado, el sector Agropecuario presenta el mayor consumo de agua de los usos consuntivos, constituyendo el 77,7% del consumo. Este sector, sin embargo, posee una menor relevancia en el PIB nacional. No obstante, demanda un importante porcentaje de la fuerza laboral del país, con un 9,6% el 2011.

El sector industrial corresponde al 9,7% del consumo de agua consuntiva, con un crecimiento promedio de 139,25MMm³/año de consumo de agua. Es importante señalar que el sector Industrial aporta actualmente el 10,9% del PIB de Chile, valor que ha disminuido significativamente en comparación al aporte del 18,5% del PIB en 1990. Este sector corresponde al 11,5% de la fuerza laboral del país, también disminuyendo en participación desde 1990. Por último el sector Agua potable representa el 9,7% del consumo del agua consuntiva.

Es relevante mencionar que en el último año estudiado (2011), el consumo de agua Minero e Industrial ha disminuido en 15,6 y 20%, respectivamente, mientras que el Agua potable y el sector Agropecuario han aumentado en 7,1 y 8,4% respectivamente.

A su vez, el uso no consuntivo representado por la energía ha tenido un incremento de 4,8% del consumo de agua en el 2011 en relación al 2006 y representa en promedio el 80,4% del consumo de agua total del país desde el año 1990 al 2011.

En la Figura 7-1 se destaca la importancia del sector Agropecuario en el consumo hídrico de Chile, sobrepasando significativamente a los demás sectores económicos con usos consuntivos en el consumo de agua, durante todos los periodos estudiado. El año 2006 se destaca una reducción importante en el consumo de agua por parte de la Agricultura debido, en gran parte, a que ese año fue particularmente lluvioso (Banco Mundial, 2011).



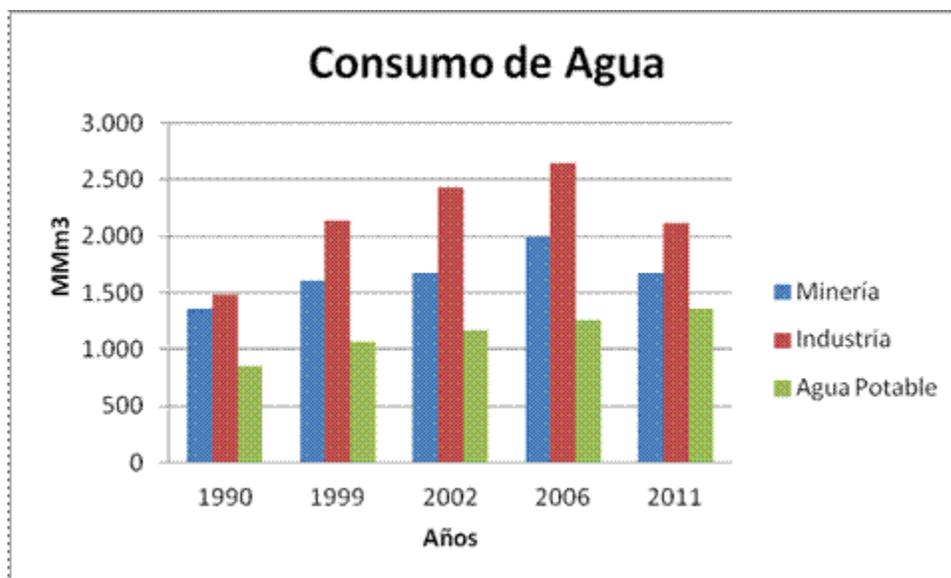
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-1: Consumo de agua de los distintos sectores económicos (uso consuntivo).

Es importante destacar que sin considerar el consumo de agua del sector Agropecuario, el sector Industrial encabeza el consumo de agua de los usos consuntivos en todos los años estudiados. Le sigue el sector Minero y por último el sector Agua potable (Figura 7-2).

El sector Industrial tiene un consumo de agua superior entre un 20 a 31% del consumo de agua del sector Minero, salvo en 1990 donde la brecha entre Minería e Industrial es solo de 126 MMm³/año, equivalente a un 9% de diferencia entre sus consumos de agua. Por otro lado, el Agua potable un crecimiento anual promedio de consumo de agua de 91,4

MMm³/año, único sector con uso consuntivo de agua que ha tenido para todo los años estudiados un crecimiento en el consumo de agua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-2: Consumo de agua de los distintos sectores económicos con usos consuntivos, sin considerar sector Agropecuario.

En la Tabla 7-2, se presentan los resultados de la estimación de la huella hídrica para los sectores económicos más importantes de Chile y sus valores de productividad aparente del agua¹⁶ asociadas.

¹⁶ La productividad aparente del agua por sector se obtiene al dividir el valor bruto generado por cada sector (US \$) por su huella hídrica total (m³).

Tabla 7-2: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua para los distintos sectores económicos de Chile.

Sector	Huella Hídrica (MMm ³ /año)	Productividad Aparente del Agua (US\$/m ³)
Silvoagropecuario	16.734,04	0,27
Minero	1.979,7	4,43
Industrial	2.644,2	7,38
Agua potable	1.265,67	2,39
Energía	126.057,15	0,02

Fuente: Elaboración propia

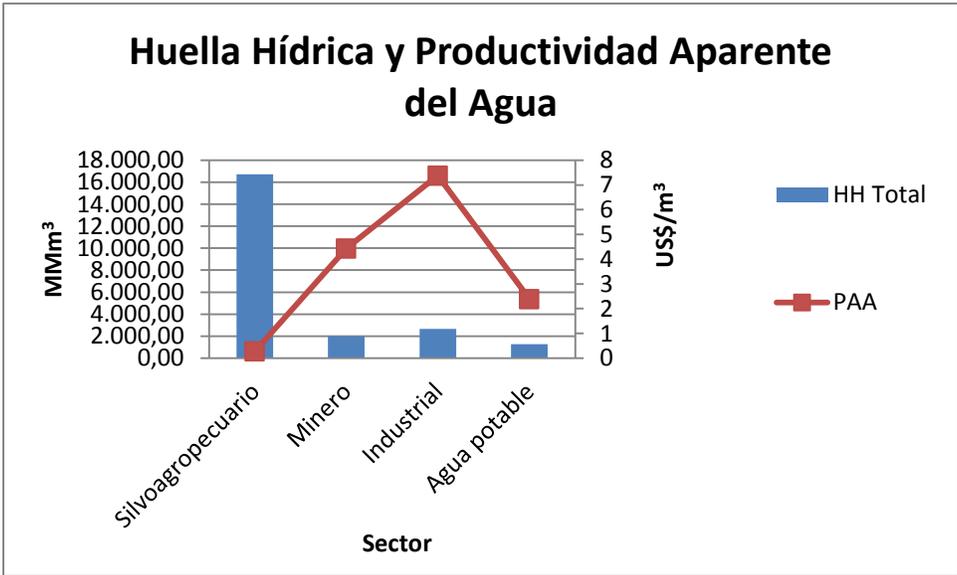
Como se aprecia en la Figura 7-3, en Chile ocurre que los sectores económicos con mayor uso de agua son aquellos que presentan una menor productividad aparente del recurso hídrico y viceversa, exceptuando el caso de la Industria, en que si bien no posee una Huella hídrica despreciable, el valor del agua para este caso es muy superior al resto de los sectores.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-3: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de los distintos sectores económicos.

Sin considerar los usos no consuntivos del agua, representados por la Energía, se puede apreciar en la Figura 7-4, que el sector Silvoagropecuario representa el mayor valor de Huella hídrica de los usos consuntivos con un valor de 16.734MMm³/año, siendo 633% mayor al valor de huella hídrica del sector Industrial, que corresponde al siguiente valor más alto de huella hídrica en Chile. Si bien el sector Minero, Industrial y Agua potable poseen Huellas Hídricas relativamente similares, la productividad aparente de cada sector varía considerablemente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-4: Huella Hídrica y Productividad Aparente del Agua de los sectores económicos con usos consuntivos del agua.

A continuación se realiza un análisis detallado de la huella hídrica y productividad aparente del agua para cada sector de la economía.

7.3 Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Energía

Se puede indicar que la Energía sobrepasa en gran medida los usos consuntivos del agua de Chile, con un valor de huella hídrica de 126.057,15 MMm³/año; a su vez, representa el menor valor de productividad aparente del agua, lo cual refleja el bajo valor económico del agua de uso energético (US\$ 4.476,16 millones¹⁷). De estos valores la energía hidráulica corresponde a 502,026 millones m³ que según la información obtenida se concentran en

¹⁷ Para mayores detalles ver Anexo B.5

la zona geográfica comprendida entre la Región de O'Higgins a la Región del Biobío. De este total, la huella hídrica de agua azul corresponde a $0,045\text{m}^3/\text{kWh}$, arrojando una productividad del agua de $69,3\$/\text{m}^3$ ¹⁸. Para otros tipos de energía no se cuenta con información.

7.4 Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Industria

El sector Industrial posee una Huella Hídrica de $2.644,2\text{MMm}^3/\text{año}$, correspondiente al 11,7% de la Huella Hídrica de los usos consuntivos estudiados. Su productividad aparente del agua es de $\text{US}\$7,38/\text{m}^3$, determinada principalmente por el alto valor económico del sector Industrial, representando más del doble del valor económico del agua del sector Minero.

El sector industrial considera la industria del procesamiento de papel/celulosa, la metalurgia y la de procesamiento de alimentos. Para este sector la demanda de agua se concentra en la zona central del país, con un máximo en la región del Biobío donde se utilizan más de $7\text{ m}^3/\text{s}$ de agua (FCCyT, 2012).

7.5 Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Minería

Debido a que está ubicada principalmente en el norte del país en áreas donde el agua es escasa, el sector minero ha invertido en la exploración de aguas subterráneas, en el mejoramiento de la tecnología para incrementar la eficiencia de su uso, ha comprado derechos de uso de agua a los agricultores y, en algunos casos, ha optado por la desalación, a pesar de su elevado costo.

La Minería posee una Huella Hídrica de $1.979,7\text{ MMm}^3/\text{año}$, igual al 8,8% de la Huella Hídrica de los usos consuntivos del agua, y con una productividad aparente del agua de $\text{US}\$4,43/\text{m}^3$, determinado también por el alto valor económico del agua de la Minería de $\text{US}\$8.769,03$ millones¹⁹.

La medición de productividad del agua y huella hídrica del sector minero, se efectuó en la minería del cobre que corresponde al 82,16% de la minería total, porque además de representar gran porcentaje del sector, no se cuenta con la información del resto del rubro minero.

Con respecto al sector minero existen dos mediciones de huella hídrica, el primero que se ve en el Anexo B.10, en la cual se obtienen valores idénticos de productividad del agua para las distintas regiones del país y otra medición representada en el Anexo B.11, en la cual se obtuvieron valores de productividad del agua diferentes para cada región y de acuerdo con la importancia de la minería en la región. Esta diferencia en las

¹⁸ Ver Anexo B.12 y B.13

¹⁹ Anexo B.5

productividades del recurso hídrico se debió a una diferencia en las mediciones. Para el primer caso (Anexo B.10) se utilizó un valor de huella hídrica de cobre de la División El Teniente Codelco para estimar el valor de huella hídrica de producción de cobre nacional. Para ello, se consideraron los tres valores obtenidos de huella hídrica para los años 2008, 2009 y 2010 y se sacó un promedio de estos. Por lo tanto como se consideró la misma huella hídrica para todas las regiones, la productividad del agua arroja un mismo valor para todas las regiones en que la minería tiene importancia.

La medición de la huella hídrica en el Anexo B.11 se realizó a partir del caudal consumido por la Minería para las distintas regiones del país. Estimando un volumen de consumo regional, el cual entrega un valor de huella hídrica de la producción minera que permite entregar un valor de productividad del agua más real y exacto para cada región.

Por lo tanto la medición realizada en el Anexo B.11 es más precisa y más realista para el resto de las regiones (que no sean la Región de O'Higgins donde está situada la División El Teniente), especialmente considerando que la huella hídrica es una medición específica para un lugar y tiempo específico.

7.6 Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Agua potable

Por último la Huella Hídrica del sector Agua potable equivale a 1.265.67MMm³/año, valor que corresponde al 5,6% de la Huella Hídrica de los usos consuntivos, con un valor de productividad aparente de US\$2,39/m³, debido al valor económico de este sector, equivalente a US\$ 3.028,29 millones²⁰. Los precios medios de abastecimiento obtenidos indica que la Región de Antofagasta, Atacama y la Región Aysén poseen los mayores precios de abastecimiento debido a ser las regiones más alejadas del sistema centralizado del país, sin considerar las regiones de ambos extremos (Región de Iquique y Magallanes).

El sector sanitario obtiene su abastecimiento en un 54% de las aguas superficiales y un 46% de las aguas subterráneas (SISS, 2010 en Banco Mundial, 2011).

7.7 Huella hídrica y Productividad Aparente del Agua para Sector Silvoagropecuario

Como se señaló con anterioridad, el sector Silvoagropecuario constituye el 2,8% del PIB nacional; de esto, el sector Agrícola representa el 58,9% del PIB Silvoagropecuario, el sector Forestal un 17,5% y el sector Ganadero un 23,6%. La Huella Hídrica de este sector es de 16.734,04 MM m³/año equivalente al 74% de la Huella Hídrica de los usos consuntivos del agua estudiados. En la Tabla 7-3 y , se presentan los valores por rubro y subsector.

²⁰ Anexo B.5

Tabla 7-3: HH Azul, verde, gris, total y productividad aparente del agua de los distintos rubros estudiados del sector agrícola, forestal y ganadero.

Sector	Rubro	HH Azul (MMm ³ /ton)	HH Verde (MMm ³ /ton)	HH Gris (MMm ³ /ton)	HH (MMm ³ /ton)	Productividad Aparente del Agua (US\$/m ³)
Agrícola	Cereales	407,52	361,66	128,12	897,3	0,22
	Cultivos extensivo (Papa)	215,57	74,23	14,09	303,89	0,81
	Alfalfa	87,75	155,83	n/a	243,58	0,6
	Frutales	324,94	57,04	32,52	414,5	0,79
	Viñas	604,05	116,96	n/a	721,01	0,3
	Praderas ²¹	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	-	n/a	311,75	n/a	311,75	0,47
Forestal Ganadero	Vacuno	316	7.911	128	8.355	0,32
	Porcino	606	2.884	571	4.061	0,49
	Aves	746	529	2.623	3.898	0,43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-4: HH Azul, verde, gris, total de los distintos rubros estudiados del sector agrícola, forestal y ganadero.

Sector	Rubro	HH Azul (MMm ³)	HH Verde (MMm ³)	HH Gris (MMm ³)	HH (MMm ³)
Agrícola	Cereales	1.534,85	1.362,12	482,54	3.379,51
	Cultivos extensivo (Papa)	194,11	66,84	12,69	273,64
	Alfalfa	80,79	143,38	n/a	224,17
	Frutales	1.629,97	286,15	163,15	2.079,27
	Viñas	630,13	122,01	n/a	752,14
	Praderas	1.473,96	1.741,67	n/a	3.215,63
	-				
Forestal Ganadero	Vacuno	76,36	1.911,9	30,9	2.19,16
	Porcino	302,21	1.438,3	284,7	2.025,21
	Aves	433,45	1,524,1	307,4	2.264,95

Fuente: Elaboración propia

²¹ Falta considerar en el sector agrícola huella hídrica de las praderas, porque no se cuenta con información de rendimientos, solo se estimo los m³ utilizados al año.

7.7.1 Agrícola

La huella hídrica del sector agrícola, fue estimada en base a los datos de superficie del último Censo agropecuario el año 2007. De acuerdo a estos datos la superficie agrícola, extrayendo las plantaciones forestales corresponde a 1.724.111,65 ha distribuidas entre diferentes rubros.

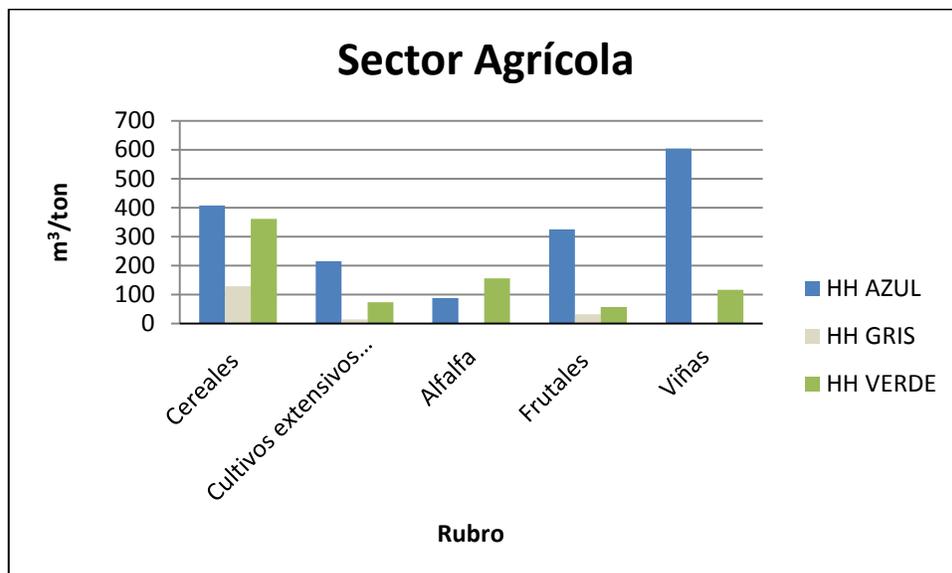
De la superficie agrícola total, el 30% corresponde a plantaciones forrajeras, el 28% a cereales, 19% a frutales, 7% a viñas y parronales viníferos, 6% a hortalizas, 4% a cultivos industriales, 4% a leguminosas y tubérculos y 2% a semilleros. En el estudio de huella hídrica agrícola se consideraron cereales, leguminosas y tubérculos, plantaciones forrajeras, frutales y viñas y parronales viníferos que constituyen aproximadamente el 89% de la superficie agrícola nacional.

En los cereales se consideró el Trigo, Maíz y Avena que representan al 86,1% de la superficie de cereales en Chile. En leguminosas y tubérculos, se consideró la Papa, la cual de acuerdo al Censo 2007 abarca el 75,8% de la superficie, sin embargo según Odepa corresponde al 93,5% de la superficie. En relación a plantaciones forrajeras se consideró por un lado la Alfalfa y por otro las praderas, de esta última solo se estimó la huella hídrica en m³ y no en relación al nivel de producción pues no se contaba con el detalle de los rendimientos; entre la Alfalfa y las Praderas se obtiene una cobertura del 85,5% de la superficie destinadas de acuerdo al Censo a plantaciones forrajeras. Con respecto a los frutales se estimó la huella hídrica de Uva de mesa, Palto, Manzano, Olivo, Nogal, Cerezo, Ciruelo, Berries (Frambuesa y Arándano), Durazno, Kiwi, Cítricos (Naranja, Clementina, Limón de pica y Limón), Almendra y Peral pues de acuerdo al Censo 2007, representan el 87% de la superficie en producción destinada a frutales; sin embargo, es importante mencionar que estos frutales representan el 68,3% de la superficie nacional de frutales, que corresponde tanto a frutales en producción como a aquellos en formación o sembrados. Es importante mencionar que para realizar la estimación de huella hídrica se consideran aquellos frutales en producción porque solo estos poseen un nivel de producción y rendimiento. Por último se consideró el 99,4% de la superficie destinada a viñas y parronales viníferos.

De acuerdo a la estimación de huella hídrica del sector agrícola que se aprecia en las Tabla 7-3 y Tabla 7-4, se puede indicar que los rubros más relevante en cuanto al consumo de agua son cereales, frutales y praderas, con huellas hídricas totales de 3.379,51m³/año, 2.079,27m³/año y 3.215m³/año, respectivamente. De estos rubros, los cereales y las praderas son bastante parejos en relación al consumo de agua verde y azul, sin embargo en los frutales ocurre una gran diferencia entre los consumos de agua verde y azul, donde la huella hídrica azul posee una participación mucho mayor en la producción de los frutales.

Del sector Agrícola y como se aprecia en la Figura 7-, los rubros con mayor consumo de agua son las viñas y los cereales, siendo la Huella Hídrica azul la más relevante en ambos casos. El valor de Huella Hídrica total obtenida para el caso de las viñas fue 721,01m³/ton, correspondiendo el 83,8% a agua azul y solo un 16,2% a agua verde; para

el caso de los cereales que poseen una Huella Hídrica total de 893,3m³/ton, la relación agua azul, agua verde está más equilibrada, representando la Huella Hídrica azul el 45,4% de la Huella Hídrica total y la Huella Hídrica verde el 40,3%.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-5: HH Azul, Verde y Gris de los cultivos más importantes de sector Agrícola.

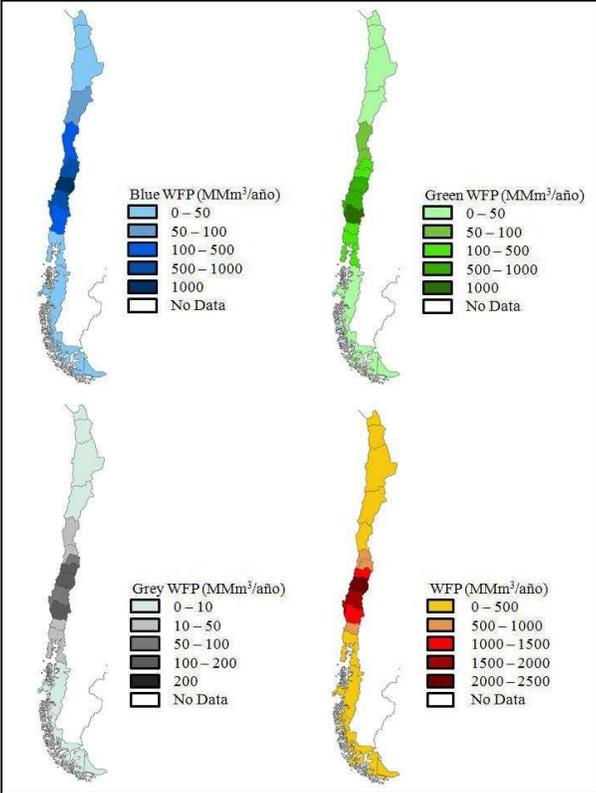
Para Cultivos extensivos, Alfalfa y Frutales la Huella Hídrica total es de 303,9 m³/ton, 243,6 m³/ton y 414,5 m³/ton, respectivamente.

En el caso de la Papa y los Frutales ocurre nuevamente que la huella hídrica azul asume mayor relevancia que la huella hídrica verde con 70,9% y 78,3%, respectivamente; sin embargo, en la Alfalfa ocurre todo lo contrario, siendo un 63,9% la importancia del agua verde en la Huella Hídrica total y un 36% el valor aportado por el agua azul.

En la Figura 7- se presentan estos resultados geográficamente. La huella hídrica del sector agrícola se concentra en las regiones de O'Higgins hasta la Araucanía. En estas regiones el volumen de agua utilizada es de 6.676,74 millones de m³/año, que corresponde al 70,2% del volumen de agua utilizada en el sector agrícola a nivel nacional.

Se aprecia, además, que los valores de 500 a 2.500 MMm³/año de huellas hídricas total se concentran en las regiones de Valparaíso hasta los Ríos. En relación a la huella hídrica azul se presenta el rango mayor, sobre los 1.000MMm³/año en la Región del Maule, con 1.533,85MMm³/año. En la Región Metropolitana, O'Higgins y Biobío se dan valores entre los 500 a 1.000MMm³/año, disminuyendo hacia los extremos del país. El mayor rango de huella hídrica verde se produce en la Región de la Araucanía, que representa el 30,5% de la huella hídrica verde, con un valor de 1.073,7MMm³/año, a su vez la Región del Maule y

Biobío poseen valores mayores de huella hídrica verde, con 610,4MMm³/año y 636,4MMm³/año respectivamente, disminuyendo nuevamente hacia los extremos del país.

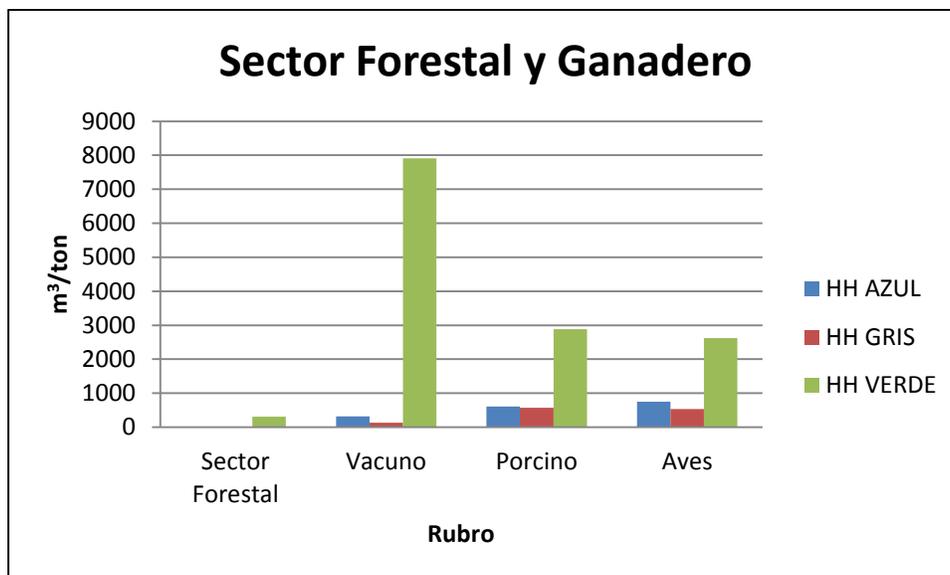


Fuente: Elaboración propia

Figura 7-6: Huella hídrica azul, verde, gris y total del sector agrícola en Chile.

7.7.2 Ganadero y forestal

En el sector Ganadero a diferencia del sector Agrícola, la huella hídrica verde posee mayor importancia, representando en el caso del Vacuno un 94,7% de su HH, en Porcino un 71% y en Aves 67,2% (ver Figura 7.7-).



Fuente: Elaboración propia

Figura 7.7-7: HH Azul, Verde y Gris del sector Forestal y del sector Ganadero.

Además en Vacuno, Porcino y Aves la huella hídrica gris adquiere relevancia, siendo similar en porcentajes a la huella hídrica azul (Figura 7.7-).

Al comparar los valores de huella hídrica total del sector Agrícola con el Ganadero, se puede apreciar que el sector Ganadero posee una huella hídrica quince veces mayor a la huella hídrica del sector Agrícola, representando solo un 23,3% del PIB Silvoagropecuario como se indicó anteriormente; sin embargo, es fundamental considerar que el PIB de este sector ha tenido un porcentaje de crecimiento promedio anual de 5,4% entre el 2003 al 2009, con una caída de 5,9% entre el 2008 al 2009.

Por otro lado, la huella hídrica del sector Forestal fue estimada a partir de los datos del Censo agropecuario 2007 y se consideró en la estimación un 91,3% de cobertura de la superficie con plantaciones forestales nacional; en este porcentaje de cobertura se consideraron las superficies del Pino y Eucaliptus.

La huella hídrica del sector Forestal está 100% determinada por la huella hídrica verde (Figura 7.7-), que en Chile adquiere un valor de 311,75m³/ton. Debido a que no existe información de las dosis de nitrógeno de este sector, no se pudo estimar el cálculo de huella hídrica gris.

7.7.3 Productividad Aparente del Agua para el Sector Silvoagropecuaria

La Productividad Aparente del Agua para el sector Silvoagropecuario corresponde a US\$0,27/m³, determinada fundamentalmente por el alto volumen de agua utilizada. En la Tabla 7-5, se resume la productividad aparente del agua en cada sector. Así se puede

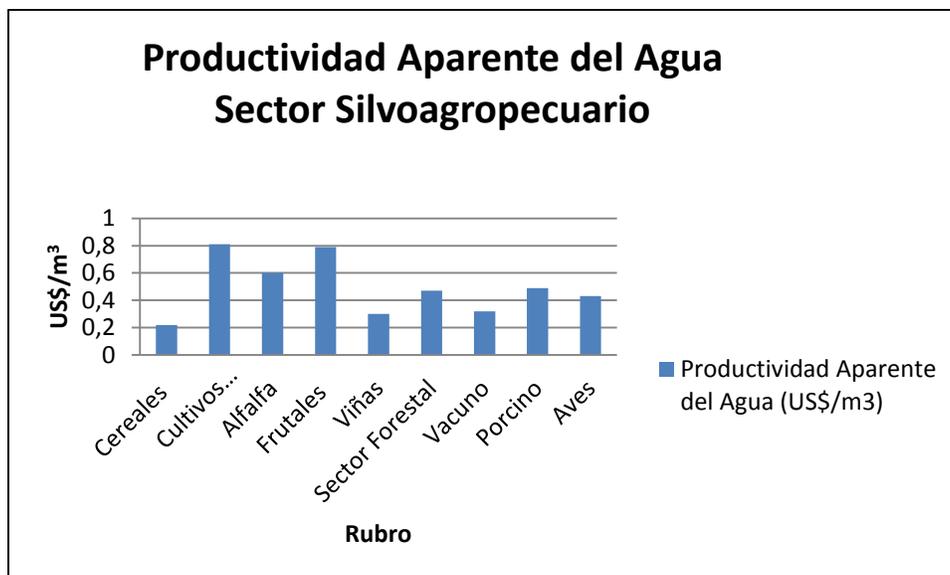
indicar que los rubros con mejores productividades de agua y que por lo tanto poseen un mayor valor del producto por unidad de agua, son los frutales y cultivos extensivos como la Papa con un valor de US\$0,79/m³ y US\$0,81/m³ respectivamente (Figura 7.7-). Los sigue en valor la Alfalfa, el sector forestal y Porcinos con US\$0,6/ m³, US\$0,47 m³ y US\$0,49 m³ cada uno. Por otro lado, la menor productividad aparente del agua corresponde a los Cereales con US\$0,22/m³.

Tabla 7-5: Productividad aparente del agua de los distintos rubros del sector Silvoagropecuario.

Sector	Rubro	Productividad Aparente del Agua (US\$/m³)
Agrícola	Cereales	0,22
	Cultivos extensivos (Papa)	0,81
	Alfalfa	0,6
	Frutales	0,79
	Viña	0,3
	Praderas	n/a
Forestal	-	0,47
Ganadero	Vacuno	0,32
	Porcino	0,49
	Aves	0,43

Fuente: Elaboración propia

Los altos valores de productividad de aguas, de los frutales y los cultivos extensivos como la Papa, se debe a que el sector frutal por ejemplo considera múltiples productos como Berries y Almendras que tienen un alto valor de mercado por unidad producida, y que por otro lado los frutales en su conjunto poseen un bajo valor de huella hídrica interna nacional de 2.079,27 millones m³ en relación a otros cultivos como cereales. Por lo tanto un alto valor del sector productivo junto a una baja huella hídrica interna del sector, generan una mayor productividad aparente del agua. Para el caso de la Papa, si bien no tiene un alto precio de mercado el valor de huella hídrica interna nacional (273,64 Millones m³) es muy bajo en comparación al resto de los sectores, lo cual le otorga un alta productividad aparente del agua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7.7-8: Productividad aparente del agua de los distintos rubros estudiados del sector Silvoagropecuario.

El bajo valor de productividad de agua de los cereales hace referencia a la baja eficiencia de riego de los sistemas de riego utilizados para estos cultivos en Chile. Utilizando excesivo recurso hídrico en relación a los rendimientos obtenidos y al valor de mercado de estos productos.

El valor de productividad aparente del sector forestal es relativamente bajo en comparación a cultivos del sector agrícola como frutales, Alfalfa y cultivos extensivos como Papa debido a que el valor de huella interna del sector es sumamente alto en comparación a los demás sectores, alcanzando 11.706,51MMm³.

Para el sector Ganadero, el rubro con mejor utilización de agua debido a su mayor productividad aparente del agua es el Porcino con US\$0,49/m³ y el con menor productividad fue el Vacuno con US\$0,32/m³, si bien este rubro posee el más alto precio de los tres sectores estudiado, su excesiva huella interna de 8.355m³/ton, disminuyen su valor de productividad aparente del agua.

7.8 Comparación Usos de agua con huella hídrica azul en Chile

La agricultura consume el 77,8% de los usos consuntivos, equivalente a 571m³/s, le sigue la Industria con un 9%, equivalente a 67m³/s, Minería con un 7% equivalentes a 53m³/s y por último el sector sanitario con un 6%, que representa 43m³/s.

Tabla 7-6: Huella hídrica azul, verde, gris y total para los sectores económicos más importantes de Chile.

Sector Económico	HH Azul (MMm ³ /año)	HH Verde (MMm ³ /año)	HH Gris (MMm ³ /año)	HH Total (MMm ³ /año)
Agropecuaria y Forestal	5.543,81	15.428,78	658,38	21.630,97
Agua potable	964,70			964,70
Industria	158,00		534,40	692,40
Minería	1.955,77			1.955,77

Fuente:
Elaboración propia

De la Tabla 7-6, se desprende que el sector Agua potable posee una huella hídrica azul que representa el 11,2% de la huella hídrica azul total del país. En el sector Silvoagropecuario, la huella hídrica azul representa el 64,3% de y en el sector Industrial la huella hídrica azul equivale al 0,02% de la huella hídrica azul total. Por último, en el caso de la Minería la huella hídrica azul corresponde al 22,7% del total.

En relación a la productividad aparente del agua azul (Tabla 7-7), podemos apreciar que el sector con mayor valor de productividad aparente azul es la Industria, con un valor de US \$123,47 por m³ de agua consumida, le sigue la Minería con un valor menor de US \$4,48/m³ y el agua potable con US \$3,14/m³. Por último, la agricultura presenta una productividad aparente del agua azul de US \$0,81/m³, cifra cuatro veces mayor a su productividad aparente total del agua.

Tabla 7-7: Productividad aparente del agua azul (US\$/m³).

Sector económico	HH Azul (MMm ³ /año)	Valor económico (MMUS\$)	Productividad aparente del agua azul (US\$/m ³)
Silvoagropecuario	5.543,81	\$ 4.476,16	\$ 0,81
Agua potable	964,70	\$ 3.028,29	\$ 3,14
Industria	158,00	\$19.507,57	\$ 123,47
Minería	1.955,77	\$ 8.769,03	\$ 4,48
Energía	-	\$ 2.265,47	-

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, si se analiza la productividad aparente del agua azul de los subsectores o rubros del sector silvoagropecuario (Tabla 7-8), se puede indicar que en el sector agrícola la Alfalfa posee el mayor valor de productividad aparente de agua azul, equivalente a US \$1,68 por metro cúbico de agua, seguido por cultivos extensivos como la Papa y los Frutales con US \$1,14/m³ y US \$1,01/m³, respectivamente. El sector forestal no posee productividad aparente del agua azul porque toda el agua consumida proviene de agua lluvia.

Tabla 7-8: Productividad aparente del agua azul de los rubros del sector silvoagropecuario (US\$/m³)

Sector	Rubro	HH Azul (MMm ³ /año)	Valor económico (\$US)	Productividad aparente del agua azul (\$US/m ³)
Agrícola	Cereales	1534,85	733.818.523	0,48
	Cultivos extensivo (Papa)	194,11	222.166.877	1,14
	Alfalfa	80,79	135.656.464	1,68
	Frutales	1629,97	1.651.767.989	1,01
	Viñas	630,13	227.564.135	0,36
	Praderas	1473,96	n/a	n/a
	Forestal	-	-	5.516.542.653
Ganadero	Vacuno	76,370	2682,28*	8,49
	Porcino	302,216	1976,31*	3,26
	Aves	433,451	1683,6*	2,26

* El valor económico está determinado en US\$/ton.

Fuente: Elaboración propia

En relación a la productividad aparente del agua azul en el sector Ganadero, el mayor valor corresponde al Vacuno con US \$8,49/m³, luego Porcino con un valor de US \$3,26/m³ y por último las aves con un valor de productividad de US \$2,26/m³ de agua azul. Como se aprecia, los valores en el ganado son muy superiores a los que presenta el sector agrícola.

8. Reforma de políticas económicas y agrarias y la seguridad alimentaria en Chile

De acuerdo al marco utilizado por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), hay cuatro dimensiones importantes en la seguridad alimentaria. El primero es que para tener seguridad alimentaria debe haber *disponibilidad* de alimentos en términos de la cantidad y calidad, ya sea derivada de la producción doméstica o de la capacidad para importar. Sin embargo, la existencia de esta disponibilidad de un país o región no es

suficiente para asegurar que las familias de hecho tengan comida en la mesa, por lo que la seguridad alimentaria también analiza la dimensión del *acceso* a los alimentos, es decir, que los hogares tengan control sobre los recursos que les permitan adquirir una dieta adecuada. En el contexto de las sociedades basadas en el mercado, el acceso a los alimentos está relacionado estrechamente al acceso económico, es decir, hogares que tienen ingresos suficientes, derivados del trabajo o de algún tipo de asistencia, los que les permiten comprar alimentos²². Una vez que se ha satisfecho la disponibilidad de alimentos, los problemas de acceso a los alimentos por lo general tienen que ver con pobreza, ingresos y precios.

Tener acceso a productos alimenticios no implica necesariamente que los hogares puedan traducir esas mercancías en bienestar nutricional. La tercera dimensión de *utilización* de los alimentos incorpora otros recursos, tales como equilibrio de las fuentes de micronutrientes, agua potable y cobertura de salud, que contribuyen al resultado nutricional final, medido por la salud de los miembros del hogar. Por último, un concepto práctico de la seguridad alimentaria debe considerar una dimensión intertemporal, es decir, la *estabilidad* en el tiempo en cuanto a la disponibilidad de alimentos y acceso. La estabilidad del acceso de los hogares a una nutrición adecuada no sólo es un factor en el mantenimiento de la salud en el futuro y bienestar de los miembros de la familia (especialmente los niños), pero además permite destinar recursos a otras necesidades familiares. Al reducir la inestabilidad de disponibilidad o acceso a alimentos, se liberaran recursos reservados para hacer frente a la inestabilidad para su uso en otras iniciativas e inversiones.

Al igual que en la mayoría de los países con ingresos medios-altos, en Chile se dispone de alimentos, los hogares, con pocas excepciones, tienen acceso a los alimentos, no hay grandes problemas que pongan en peligro una utilización adecuada, y no es probable que el suministro y acceso futuro de alimentos puedan ser interrumpido. De hecho, The Economist Intelligence Unit's Global Food Security Index ubica a Chile en el primer lugar, tanto entre los países de América Latina como entre países de ingresos medios; el rango de Chile es 26 entre los 105 países examinados, y sus puntajes con respecto a tres

²²La FAO establece que la definición de acceso se puede generalizar más allá de hogares con poder adquisitivo suficiente para comprar alimentos: "Los derechos se definen como el conjunto de todos los grupos de productos sobre los cuales una persona puede establecer dominio dependiendo de acuerdos legales, políticos, económicos y sociales de la sociedad en la cual vive (incluyendo los derechos tradicionales como el acceso a recursos comunes)." (FAO, *Food Security, Policy Brief, Issue 2, 2006, p.1.*)

²The Economist Intelligence Unit, *Global food security index 2012*. Véase la página web <http://foodsecurityindex.eiu.com/> para ver más detalles e información básica sobre las cuales se basan las clasificaciones de los países.

categorías, asequibilidad, disponibilidad y calidad y seguridad de los alimentos, pone al país en el rango de los países más ricos²³.

8.1 Breve historia sobre el desarrollo de importantes políticas alimentarias y agrícolas en Chile

La situación actual respecto a la seguridad alimentaria en Chile es el resultado de varias décadas de crecimiento económico, tanto a nivel nacional como a nivel de producción y procesamiento de alimentos. Para comprender la situación actual, a continuación se presenta una breve historia de las políticas alimentarias y agrícolas en Chile durante las últimas décadas²⁴.

Esta historia tiene tres partes: los mercados controlados desde 1950 hasta 1974, el movimiento hacia la liberalización de los mercados entre mediados de 1970 y mediados de 1980 y, desde entonces, la consolidación de las políticas económicas liberales en general. Durante esta última fase se produjo una mayor integración hacia los mercados mundiales de todos los sectores, especialmente de la agricultura, y el desarrollo de una industria de alimentos gerencial y tecnológicamente sofisticada.

8.1.1 Mercados controlados desde 1950 a 1973

Las políticas económicas relevantes para la agricultura antes de mediados de 1960 se basaron en los objetivos de control de los aumentos de precios (común en la década de 1950), de control del déficit presupuestario, y de impulsar los ingresos en divisas. Durante la administración del presidente Alessandri (1958-1964), el gobierno trató de estabilizar los precios en general con una política de fijación de precios agrícolas nominales para productos de primera necesidad, de tasas de cambio nominales y de márgenes de comercialización al por menor. Estos productos esenciales eran "bienes salariales", alimentos básicos, como el trigo y pan, carne y leche, arroz, azúcar y semillas oleaginosas. El gobierno prohibió la exportación de algunos productos básicos, como el trigo, harina y cordero, mientras fomentó la exportación de frutas, lo que generó divisas. Hubo inicialmente algunos problemas con respecto a la liberalización del comercio, pero el gobierno aumentó los aranceles a fines de 1961, y se impusieron licencias de importación, tales como cuotas. Existían tarifas diferentes para distintos productos agrícolas, y los importadores de maquinaria agrícola y agroquímicos tuvieron que hacer depósitos previos, aumentando efectivamente el costo de estas importaciones.

³La información resumida en esta sección se basa en Foster y Valdés (2006), Hurtado, Valdés y Muchnik (1990), Valdés, Hurtado y Muchnik (1991) y Jarvis (1985).

El gobierno también trató de impulsar la productividad agrícola a través de programas de desarrollo, específicamente para el ganado. Se motivaron inversiones en los mataderos y los productores de leche fueron subvencionados. Las subvenciones fueron otorgadas a través de créditos agrícolas (que por lo tanto tenían que ser racionados), transporte ferroviario de trigo, ganado y forrajes. También, hubo "días sin carne", racionamiento de carne para los consumidores, y el gobierno además, prohibió la masacre del ganado joven y durante embarazo. En 1960 se estableció una junta de comercialización, primero para el trigo y sus derivados, y luego se extendió a una larga lista de productos agrícolas. La junta se convirtió en el monopolio importador de estos productos. Todas estas políticas estaban destinadas a garantizar suministros "normales" y en términos actuales, para promover la seguridad alimentaria. Sin embargo, éstas alimentaron una mayor ansiedad política de intervenir para resolver los cuellos de botella, asignaciones ineficientes e ineficiencias, todos atribuibles a fallas del mercado.

Así, desde el comienzo de la administración del Presidente Frei Montalva en 1965, se promovió una política agraria más intervencionista con el fin de lograr la autosuficiencia y la coordinación de los precios al productor y al consumidor, siempre teniendo como objetivo estimular la producción en general. Aunque los aranceles restrictivos para algunos productos aumentaron los precios agrícolas internos, las licencias de exportación, y las cuotas; la fijación de los precios al consumidor disminuyeron los precios de producción agrícola y de los alimentos básicos. Por otra parte, se fijaron precios mínimos al productor. Se definieron además, los márgenes de comercialización de los alimentos básicos. La matanza de vacuno fue restringida o prohibida y se intensificó el enfoque de "día sin carne". Para algunas exportaciones menos sensibles (que pueden generar divisas), como frutas y cordero, hubo devolución de impuestos.

A pesar de sus inclinaciones intervencionistas, el gobierno reconoció la importancia de los incentivos, al menos para fomentar la producción agrícola. Se permitió así al precio general de los productos agrícolas subir más rápido que los productos no agrícolas. Se trató de disminuir los márgenes de comercialización, ya sea mediante la promoción de inversiones en almacenamiento, transporte y procesamiento o mediante intervención directa a través de las juntas de comercialización y el uso de las reservas gubernamentales de productos sensibles.

Como era de esperar, los políticos se enfrentaron a una incómoda incoherencia de los objetivos, tratando de aumentar la producción agrícola mediante incentivos, lo que aumentaría los salarios rurales y los retornos relacionados a los salarios urbanos, pero tratando de contener los salarios en los sectores no agrícolas mediante el control del precio de los bienes.

Un aumento rápido de la productividad hubiese facilitado estas contradicciones, pero la ausencia de tales ganancias se consideraron no ser el resultado de incentivos imperfectos y señales del mercado erróneas, sino una consecuencia de las ineficiencias sistémicas inherentes a la estructura social y económica. Loveman (2001) concluyó (p. 228), "La creciente necesidad de importar alimentos, la inflación, y una campaña de prensa por parte de los periódicos de izquierda y reformistas e intelectuales, aislaron

políticamente a los terratenientes y los identificaron en la mente del público como el grupo en gran parte responsable del retraso social y económico de Chile”. El debate de políticas sobre la estrategia de desarrollo, especialmente durante la década de 1950, fue influenciado fuertemente en Chile por la escuela estructuralista de Prebisch y Singer²⁵, la que sostuvo que la agricultura en su conjunto no respondía a los incentivos en cuanto a abastecimiento, en parte debido a un sistema anticuado de posesión de las tierras. Por lo tanto, se consideró una Reforma Agraria con el fin de romper un modelo rígido de la producción, lo que llevaría a una mayor productividad, mayores ingresos del sector agrícola y a una reducción de los precios al consumidor.

8.1.2 Reforma Agraria

El verdadero papel de la antigua hacienda y del sistema de *latifundios* en la perpetuación de decepcionantes resultados económicos nacionales y sectoriales, fue sin duda el centro del debate político. Presiones políticas en busca de una reforma agraria habían comenzado desde hace muchos años²⁶ y crecieron aún más bajo la presidencia de Alessandri sumada a la presión de Estados Unidos a la Alianza para el Progreso, la que tuvo como tema central lo que pasó a ser una fuerte "reforma agraria" durante los gobiernos de Frei y Allende²⁷. Los objetivos originales de la iniciativa de reforma de la tierra, ofrecidos por las autoridades políticas antes de su implementación a gran escala durante el gobierno de Frei, fueron económicos, políticos y sociales. Al romper controladoras de propiedades excesivamente grandes y presumiblemente ineficientes, las ganancias de productividad se traducirían en beneficio tanto para los productores como los consumidores. Se creía que los dueños de las haciendas eran resistentes o inmunes a los incentivos que una agricultura moderna y tecnológicamente sofisticada debería haber producido. Además, las expropiaciones de tierras reducirían la influencia política de grandes propietarios de tierras en las comunidades locales. El peso político asociado con grandes haciendas que empleaban mano de obra campesina fue tal vez la razón de la resistencia de un ineficiente sistema de hacienda, y fue un obstáculo a las reformas económicas y sociales en general²⁸. Finalmente, había una promesa implícita, al menos

²⁵ R. Prebisch estaba ubicado en la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas (CEPAL) en Santiago. La CEPAL influyó significativamente en las contribuciones analíticas y empíricas al debate, así como en el marco conceptual en el cual se interpretó la información y se desarrolló soluciones.

²⁶ Algunos problemas agrarios se habían acumulado durante décadas. Aunque en pequeña escala, la iglesia católica chilena comenzó a experimentar con sistemas cooperativos durante la década de 1950, antes de la iniciación por parte del gobierno de programas de reforma agraria. Una organización llamada INPROA puso en marcha un experimento en la vida real sobre cultivos cooperativos, el cual fue seguido de cerca por los partidarios de la reforma agraria. Véase, Thiesenhusen, W. (1966), Proyecto Cooperativo de Agricultura en Chile”, *Journal of Farm Economics*, May, v. 48, n. 2; y por el mismo autor “Experimento chileno de la Reforma Agraria” (1974) in *American Journal of Agricultural Economics*, May, v.56, n. 2.

²⁷ El gobierno de Alessandri implementó lo que se denominó *reforma de macetero*, debido a su pequeña puesta en marcha, a pesar de que unas 60 mil hectáreas de tierras públicas se convirtieron en su mayoría en pequeñas fundos o haciendas.

²⁸ El contexto político y práctico era importante. Un motivo político económico explícito para la reforma de tenencia de las tierras era reducir el poder político de grandes terratenientes, los *latifundistas*, ya que unía

inicialmente, de redistribuir la tierra a los pequeños agricultores, la cual tenía la misión no sólo de resolver los problemas de eficiencia sino promover la equidad y reducción de la pobreza.

Dado el tamaño de la agricultura chilena, el programa de reforma agraria fue masivo. Entre 1965 y finales de 1973, el programa había expropiado 5.809 fincas, lo que representa aproximadamente 10 millones de hectáreas, o el 59% de las tierras agrícolas del país, equivalente a cerca del 40 por ciento de las tierras en términos de hectáreas de productividad. La brevedad de esta historia excluye un análisis detallado de la aplicación de la reforma agraria, pero el lector debe tener en cuenta que el objetivo de redistribución de tierras a pequeños agricultores no se logró bajo las administraciones de Frei y Allende, donde las propiedades de gran tamaño no fueron divididas y no se redistribuyeron a los pequeños agricultores, sino que sus gestiones se transfirieron a los llamados asentamientos, convenios de reforma agraria aparentemente destinados a ser cooperativas colectivas. Estos holding empresariales fueron descritos inicialmente como temporales, tres a cinco años, período durante el cual los campesinos como beneficiarios recibieron capacitación para ser operadores independientes.

Pero en realidad, no se disolvieron ni redistribuyeron los asentamientos durante el período de Frei, y bajo el gobierno de Allende, el propósito de la expropiación de las tierras era transferir tierras privadas a grandes haciendas cooperativas y estatales. Aunque el programa de reforma agraria durante el mandato de Alessandri fue pequeño, basado en ventas voluntarias a precios de mercado y orientados hacia la promoción de pequeñas haciendas, durante el gobierno de Frei, la reforma agraria masiva de 1967 se basó en expropiaciones, con una compensación parcial determinada por el estado. Todas las haciendas de más de 80 hectáreas (o su equivalente) fueron objeto de expropiación.

La reforma agraria no resultó ser un programa de redistribución de las tierras como fue visualizado por muchos reformistas y como fue recomendado por la Alianza para el Progreso de la década de 1960, propuesta durante la administración Kennedy. Esta reforma agraria en pro de pequeños agricultores significaría dividir enormes propiedades de tierras en muchas pequeñas propiedades. En Taiwán y Japón, por ejemplo, se disolvieron fincas grandes con muchos arrendatarios y los campesinos, quienes arrendaban, se convirtieron en propietarios de las tierras que cultivaban. Estas reformas tuvieron lugar en un contexto de economías rurales con escasez de tierra, de cultivo de un solo alimento básico y con alta densidad de población, contrario al escenario en América del Sur. El rol económico desempeñado por los pequeños agricultores en Chile, Argentina, Brasil, Colombia, y Paraguay entre otros., ha sido y es muy diferente al del

la influencia electoral al control de tierras. Una reforma importante previa a la reforma agraria fue el cambio de ley electoral para preservar el secreto del voto. Esto redujo la capacidad de los propietarios de tierras de imponer el voto en bloque sobre aquellos que trabajan sus tierras. La nueva ley sirvió como impulso para cambios en el sistema de votación y redujo el valor político que significaba poseer superficies grandes de tierras (valor de venta). Los partidos políticos tradicionales y conservadores asociados a las tierras fueron los perdedores. La ley de Reforma Agraria de 1966 se aprobó debido a los cambios en la composición del Congreso, los que a su vez fueron una consecuencia de las reformas electorales anteriores.

Este de Asia. En Sudáfrica y Bolivia, las grandes haciendas se dividieron en muchas nuevas parcelas y se distribuyeron entre pequeños propietarios. En México, las haciendas se convirtieron en *ejidos*, una forma de propiedad cooperativa, pero con administración individual de las pequeñas parcelas. En el caso de Chile, sin embargo, durante los gobiernos de Frei y Allende, principalmente grandes latifundios privados y haciendas corporativas de cualquier tamaño estaban sujetos a expropiación, independientemente de la productividad y prácticas de gestión. Una vez expropiado, se convertían en grandes granjas cooperativas o estatales. La idea era racionalizar la agricultura para transformarla en un sector industrial tecnológicamente moderno integrado a una economía inteligente planeada. La intención era transformar las haciendas grandes y supuestamente ineficientes en empresas modernas, las que al final de un período de transición no tenían que ser necesariamente de cierto tamaño, grandes o pequeñas.

Según Frei, el modelo de hacienda que debía ser aplicado a las fincas recientemente expropiadas, durante un período de transición de cinco años, fue una de las grandes cooperativas autoadministradas. Este tipo de diseño fue influenciado por el modelo yugoslavo de la época, haciendo hincapié en grandes empresas agrícolas eficientes junto con el control por parte de los trabajadores de las decisiones. En realidad, los trabajadores agrícolas chilenos no tenían mucho que decir con respecto a las decisiones de producción e inversión, las que estaban en manos de los técnicos de la Corporación de la Reforma Agraria (CORA). Las reformas bajo el Presidente Frei se enfocaron en el aumento de la productividad, ya que se consideró que el modelo de la vieja "hacienda" no respondía a incentivos. Bajo el Presidente Allende, la Reforma Agraria fue parte de un objetivo de transformación económica socialista más grande. La propiedad estatal o el control de los recursos agrícolas, así como el comercio, la comercialización de servicios financieros y otras actividades a lo largo de la economía, tuvieron como objetivos racionalizar el uso de recursos y lograr una distribución más equitativa de los excedentes económicos. La productividad agrícola o la seguridad alimentaria no eran el objetivo central.

En la administración de Allende, sin duda la ideología económica explícita rechazó la propiedad privada de las tierras y de la agricultura en pequeña escala por una visión marxista-socialista más tradicional sobre el rol de la ciencia y grandes operaciones en cuanto a empresas estatales y colectivas. En efecto, durante los primeros años la década de 1970, la Reforma Agraria llevó a cabo una transformación de toda la economía, una transición hacia una economía socialista internacional, con planificación centralizada y control estatal directo del sistema financiero, el comercio y todas las denominadas empresas estratégicas en todos los sectores.

Se han realizado algunos análisis sobre los impactos de la reforma agraria y de la redistribución de tierras que siguió al golpe de Estado en septiembre de 1973. Coeymans y Mundlak²⁹ analizaron el desempeño de la economía chilena, centrándose en la

²⁹ Coeymans, J.E., and Y. Mundlak. 1993. "La Agricultura Chilena en Un Entorno Económico Cambiante," capítulo 9, R.M. Bautista y A. Valdés, *Tendencias Contra la Agricultura: Comercio y Políticas*

agricultura, la minería, la manufactura y los servicios, durante el periodo 1962 a 1982. Este trabajo permite hacer algunas preguntas hipotéticas sobre el crecimiento sectorial en diferentes condiciones. La producción agrícola parece haber sido afectada positivamente por las reformas durante el período inicial de 1965-1968, pero se observó un ligero efecto negativo entre 1969 y 1973. El capital de los retornos de inversiones cayó y la fuerza laboral aumentó. Los autores atribuyen los efectos negativos de la Reforma Agraria a la incertidumbre de los derechos de propiedad, lo que desalentó las inversiones en las haciendas que aún no habían sido expropiadas³⁰.

Más recientemente, Acemoglu, Gallegos y Robinson (2009) han explorado diversos aspectos del proceso de reforma agraria en Chile, con especial énfasis en los impactos en la productividad³¹. A pesar de la gran cantidad de tierras expropiadas, las que luego fueron redistribuidas, estos autores encontraron que en el plano nacional, los indicadores de concentración de tierras (coeficientes Gini) se mantuvieron sin cambios antes y después de la reforma. Esto les llevó a concluir que, en a largo plazo (entre 1965 y 2007), la desigualdad de la tierra no se vio afectada por la reforma. Con respecto a la producción, los datos muestran que la intensidad de la Reforma Agraria en una sola localidad (medido por la proporción de la superficie total afectada) tuvo un impacto negativo directo sobre la producción, medido tanto por la producción bruta y por la producción por trabajador. Pero el análisis de los autores también señala que hay un efecto positivo y significativo sobre la producción de la *interacción* entre la intensidad de la reforma agraria y el grado de desigualdad inicial en la distribución de la tierra. En otras palabras, la producción en los distritos con una desigualdad de la tierra inicialmente alta en realidad aumentaría junto con la intensidad de la reforma.

La evolución de la tenencia de la tierra desde la redistribución agraria en la década de 1970, también ha sido influenciada por cambios en la cadena de comercialización, en particular la creciente importancia de la elaboración y calidad, además de incentivos

Macroeconómicas en Países en Desarrollo, Centro Internacional para el Desarrollo Económico y IFPRI, ICS Press.

³⁰ Los autores concluyeron, “El efecto directo en la productividad, medido como el efecto sobre la producción fue marginal. La incertidumbre fue creada por la reducción de inversiones en la agricultura y que trajo como consecuencia una producción desalentada.” La interpretación del marco legal de la Reforma Agraria fue dejada, hasta cierto punto, en las manos de la Corporación para la Reforma Agraria, CORA. A partir de 1969, la responsabilidad de las decisiones CORA era administrativa, fuera del sistema judicial. CORA podía tomar posesión de haciendas antes de completar el proceso de evaluación y procedimientos normales. Los dueños eran expropiados sin acceso a un sistema típico judicial independiente. El límite mínimo legal de 80 hectáreas fue reducido durante la administración de Allende sin un cambio formal en los estatutos. CORA contaba con discreción administrativa para aplicar las reglas permitiendo “una administración ineficiente” como una razón para la expropiación de haciendas de menos de 80 hectáreas. La definición de gestión ineficiente fue la pregunta clave, produciendo una gran incertidumbre entre los pequeños propietarios quienes de otra forma podrían haber tenido un incentivo para invertir en mejoras de la productividad. El resultado fue una disminución en la inversión privada y eventualmente una disminución de producción en todo el sector.

³¹ Acemoglu, D., F. Gallego y J. Robinson. 2009. “Reforma Agraria en Chile.” Instituto de Economía, Universidad Católica de Chile.

asociados para incorporar una sofisticada tecnología en las propias haciendas que producen bienes de alto valor. Los supermercados se desarrollaron rápidamente en Chile, al igual que en gran parte de América Latina, en respuesta a una demanda creciente de los consumidores por orden y señales de calidad creíbles en los productos alimenticios, en particular productos perecederos³². Los compradores de productos agrícolas para la exportación también respondieron a la creciente demanda de regulación, calidad y trazabilidad y confiables entregas de gran volumen. Todos estos cambios dieron una ventaja a las empresas agrícolas medianas y grandes de frutas y hortalizas. Hay costos fijos significativos para alcanzar y mantener los niveles de sofisticación necesarias para satisfacer grandes supermercados nacionales y compradores de exportación más exigentes. Los cultivos comerciales básicos y tradicionales de la agricultura en cambio no sufrieron la misma presión para demostrar la seguridad y calidad de sus productos.

8.1.3 El cambio hacia la liberalización de los mercados

Durante el gobierno de Allende (1971-1973) se intensificó el intervencionismo económico. Se aceleró el aumento en el nivel de precios, y dada la lógica del modelo económico imperante, el gobierno respondió con controles de precios más severos. El gobierno reaccionó con un intento de monopolizar los mercados de fertilizantes, trigo, maíz, leche, azúcar y otros productos. En lo que respecta al comercio exterior, el gobierno acentuó el proteccionismo de la administración anterior, la fijación del tipo de cambio mínimo y el monopolio estatal de importación y controles de las exportaciones se hicieron más estrictos.

Enfrentado a una hiperinflación, grandes déficits en las cuentas internas y externas, y una gran parte de la economía (incluida la agricultura) en manos del Estado, el comienzo del gobierno militar, a finales de 1973, cambió radicalmente las políticas económicas y agrícolas enfocadas hacia la asignación de recursos basados en el mercado. El rol del gobierno en la economía se redujo, se produjo la liberalización del comercio y el fortalecimiento de los derechos de propiedad privada. Durante la primera fase de reformas, entre 1973 y 1983, se pusieron en marcha de forma rápida reformas económicas generales y reformas en sectores específicos fueron aplazadas. La estabilización macroeconómica y el deseo de establecer credibilidad de las reformas fueron consideraciones clave.

En el caso de la agricultura, el gobierno se distanció de la mayoría de las intervenciones en mercados de insumos y productos. La nueva política de tierras era proporcionar un acceso a la propiedad de la tierra sin restricciones y proteger los derechos de propiedad privada. Los títulos de propiedad fueron distribuidos a los campesinos/beneficiarios del programa de reforma agraria anterior en forma de pequeñas haciendas de aproximadamente 12 hectáreas. El gasto público en agricultura se redujo drásticamente.

³² Reardon, T., y J. Berdegue. 2002. "El rápido crecimiento de supermercados en Latinoamérica: Desafíos y oportunidades de desarrollo." *Development Policy Review*, v. 20: 371-388.

A partir de 1975, Chile inició un nuevo experimento en la liberalización del comercio, el cierre del comité de comercialización y las agencias de control de precios. La mayoría de los controles de precios fueron levantados, excepto para el trigo, la leche y las semillas oleaginosas; se incrementaron los límites máximos de las tasas de interés y luego se removieron y se terminaron las tasas preferenciales para la agricultura. Se eliminaron casi todas las barreras no arancelarias del comercio, se redujeron los aranceles sobre la mayoría de las importaciones y se introdujo un arancel equivalente uniforme. Las restricciones a la exportación fueron eliminadas y un sistema de minidevaluaciones de los tipos de cambio, creado durante Frei, pero terminado por Allende, fue restablecido hasta que un sistema de tipo de cambio fijo fue reinstalado en 1979.

Hubo una lenta eliminación de control de precios en algunos productos agrícolas, y las reformas relacionadas a las tierras y al agua fueron lentas. También se retrasaron reformas laborales como la eliminación de la fijación salarial y la mayor flexibilidad en el mercado de carga y descarga de embarcaciones. La privatización y la desregulación se llevaron a cabo en compañías aéreas y de telecomunicaciones, lo que condujo a mejoras significativas en la calidad de los servicios y una reducción en los costos de consumo. Estas mejoras fueron especialmente importantes para el sector agrícola de exportación, en particular, para los productores y exportadores de productos perecederos.

A raíz de una profunda recesión a principios de 1980, se inició una segunda fase de reformas en 1984. La tendencia de apreciación de la moneda fue resistida con devaluaciones nominales y restricciones a las entradas de capital a corto plazo. Para proteger subsectores políticamente sensibles y de importaciones de volatilidad de los precios internacionales, se estableció un mecanismo de estabilización de precios (básicamente un gravamen variable modificado) para el trigo, el azúcar y las semillas oleaginosas, y también se establecieron valoraciones de aduana mínimas para la leche.

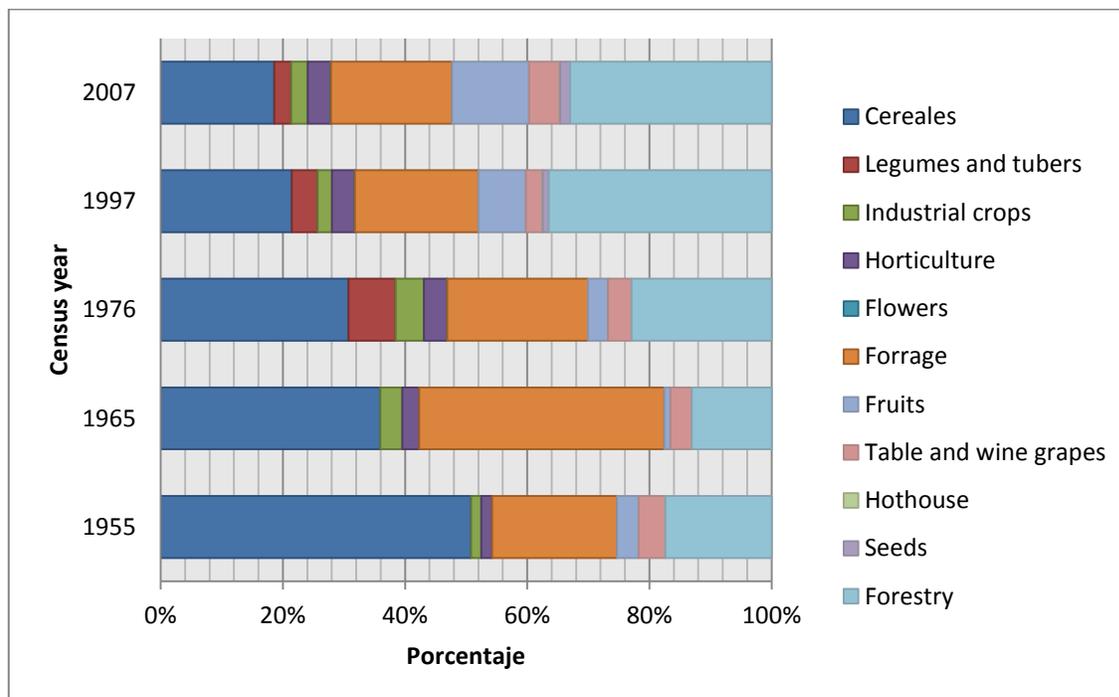
Desde la transición a un gobierno civil tras el plebiscito de 1988, Chile ha consolidado sus políticas económicas orientadas al mercado. Varias administraciones han continuado la política de apertura de los mercados nacionales y a la integración internacional y la competencia, algo muy importante para los sectores agrícolas y de alimentos. Chile ha negociado numerosos acuerdos comerciales, se han reducido unilateralmente sus aranceles, y se han eliminando las protecciones que quedan en los cultivos tradicionales.

8.2 El desempeño de los indicadores de agricultura y seguridad alimentaria

8.2.1 Uso actual de la tierra y la productividad

Desde 1955 ha habido una reducción en la cantidad de tierra dedicada a los cereales, pero un aumento significativo de tierras dedicadas a la silvicultura y las frutas (Figura 8-1). La producción de frutas creció en la zona central del país, mientras que los cereales tradicionales tendieron a concentrarse en el sur. Los productos lácteos y la carne, los cuales dependen de los pastos de secano, se mantuvieron principalmente en el sur.

Durante el período de la Reforma Agraria, 1965-1973, hubo poco cambio significativo en el uso de las tierras. Los cambios más grandes en la producción se produjeron después de las reformas estructurales de la década de 1970.



Fuente: Censos Agropecuarios y ODEPA

Figura 8-1: Evolución del uso de la tierra (hectáreas) en la agricultura chilena

No sólo la composición de la producción ha cambiado a lo largo de las últimas décadas, también la productividad de la tierra ha aumentado de manera significativa. Durante las dos décadas de 1955-1976, los rendimientos por hectárea de los principales cultivos, como la Figura 8-2 demuestran, no cambió considerablemente. Pero en las dos décadas posteriores a 1976, los rendimientos de los principales cultivos aumentaron significativamente. Por ejemplo, entre 1976 y 1997, el trigo duplicó sus rendimientos y el maíz los triplicó. En el censo de 2007, se encuentran los rendimientos más altos. Algo similar ocurrió en el caso del ganado, especialmente los productos lácteos, donde la producción de leche por vaca ha crecido hasta el punto en que Chile ha pasado de ser un importador a un exportador neto de productos lácteos. Las producciones de aves de corral y de carne de cerdo se han industrializado y mostrado un crecimiento muy rápido.

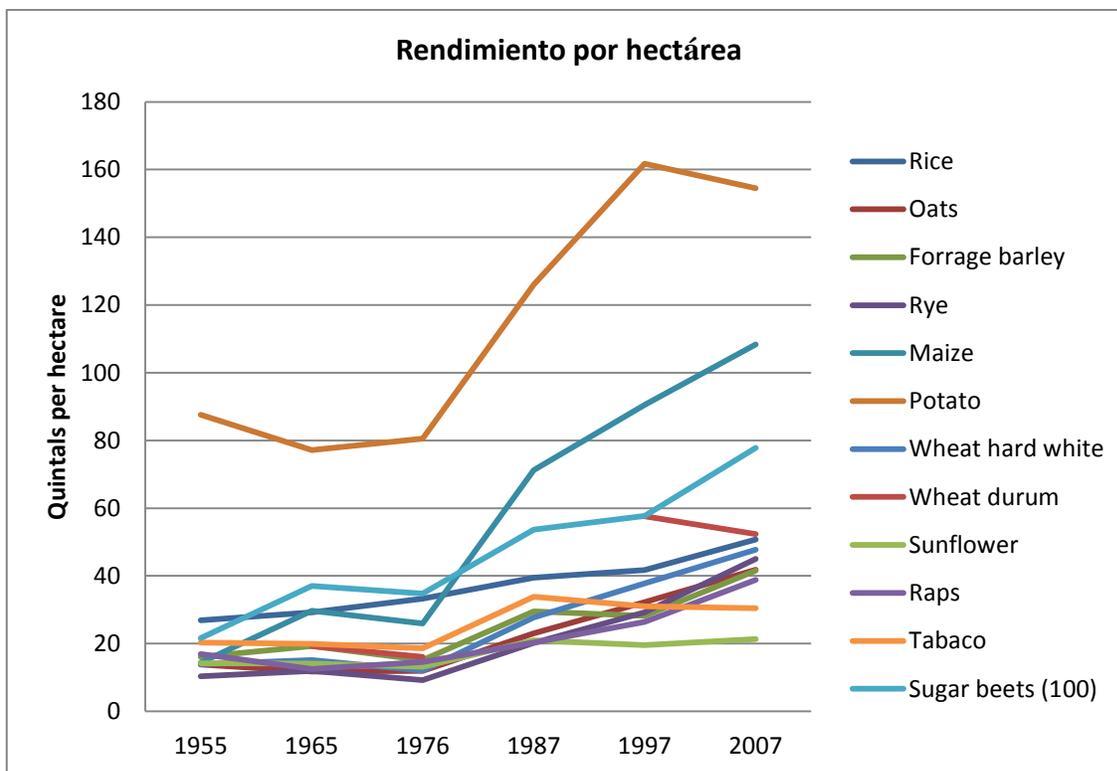


Figura 8-2: Rendimientos promedio por hectárea, cultivos principales, quintales, años censales 1955, 1965, 1976, 1997 y 2007

Este logro en el incremento de los rendimientos obtenido en las últimas décadas, ha permitido a Chile mejorar el factor producción y disponibilidad de alimentos, fundamental en la seguridad alimentaria.

8.2.2 Indicadores actuales de la seguridad alimentaria

Las medidas o indicadores de la seguridad alimentaria en Chile han mejorado constantemente desde hace décadas. En cuanto a los indicadores agregados, Chile ha experimentado un continuo incremento en el consumo per cápita de calorías, proteínas y grasas. Las últimas estadísticas de la FAO indican que durante el período entre 2006 y 2008, el promedio de consumo per cápita de energía era considerado alto, 2.960 cal/día. Los efectos esperados del desarrollo económico y el crecimiento de los ingresos son evidentes en los resultados de las encuestas que detallan el gasto de los hogares en Santiago, los que están disponibles desde 1978.

La Tabla 8-1 muestra, en todos los niveles de ingresos, la constante disminución de los gastos de los hogares destinados a la alimentación. En 1978, cuando el PIB per cápita de

Chile era de aproximadamente US \$1.900³³, el porcentaje promedio de gastos de los hogares en alimentos era del 42%, y los promedios de los tres primeros quintiles de ingreso (60% de los hogares) estaban por encima del 50%. En 1997, el PIB per cápita nacional había llegado a US \$ 8.591, o alrededor de 40% del promedio de los miembros de la OCDE en ese momento, y el gasto nacional promedio en alimentos había caído por debajo del 30% y la proporción media del quintil más pobre por debajo de 50%. Para el 2007, el año más reciente para el cual los datos de consumo de gastos están disponibles, el PIB per cápita alcanzó los US \$14.598, el promedio nacional de gasto en alimentos había disminuido alcanzando un 22,5% y los hogares del quintil más pobre destinaron un poco más de un tercio del total de gastos a la alimentación, cuatro puntos porcentuales más que el promedio del quintil más rico tres décadas antes. Hoy, cinco años después, el chileno PIB nacional per cápita es de US 17.311, la mitad del promedio de la OCDE, y muy probablemente la proporción del gasto total de los hogares en alimentos se ha reducido aún más.

Tabla 8-1: Gastos mensuales de los hogares en alimentos y bebidas por quintil de ingreso (%).

Gastos en alimentos	Totalidad de hogares	Primer quintil, los más pobres	Segundo quintil	Tercer quintil	Cuarto quintil	Quinto quintil, los más ricos
1978	41.9	59.4	56.1	53.2	47.7	32.1
1988	32.9	53	49.4	45.9	39.7	23.2
1997	26.8	43.6	39.5	35.6	29.6	18.3
2007	22.5	36.4	31.8	28.6	23.1	14.7

Fuente: Encuesta sobre gastos en los hogares de Santiago por INE.

Con estas mejoras en los ingresos y un mejor acceso a los alimentos en los hogares más pobres, el problema de la desnutrición se redujo considerablemente, y hoy en día la desnutrición (más allá de casos excepcionales y específicos) ya no es una preocupación política. Durante más de tres décadas, el Sistema Nacional de Salud Pública del país ha supervisado y asistido niños menores de seis años de edad, para que se pueda monitorear con cierto detalle el estado nutricional cada vez mejorado de los niños. En 1975, casi el 12 por ciento de todos los nacimientos eran de niños con bajo peso, y en

³³ Estas cifras provienen de la base de datos de World Development Indicators. Las cifras de los ingresos nacionales per cápita son equivalentes en paridad con el poder adquisitivo expresado en dólares internacionales actuales.

1996 esta proporción se había reducido al 5 por ciento y desde entonces, se ha mantenido estable (aunque con un ligero aumento en 2008) y por debajo del promedio de la OCDE³⁴. La malnutrición de los niños menores de seis años se redujo desde cerca de un 16% (aproximadamente 70% de todos los niños fueron monitorizados) en 1975 a 5% veinte años más tarde. Para el 2009, las tasas de desnutrición fueron menos de la mitad del 1% en todos los quintiles de ingreso. En el quintil más bajo de ingresos, un 3,4% de los niños fueron clasificados como en riesgo de desnutrición, 0,5% como desnutridos, pero el 11,2 % de los niños menores de seis años se consideró con sobrepeso. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) citada por la FAO, en promedio desde el 2000 al 2010, Chile es el país de América Latina y el Caribe con el menor porcentaje de desnutrición en menores de 5 años, equivalente a un 2%, sin embargo presenta un 9,5% de sobrepeso en menores de 5 años, constituyendo el cuarto país con mayor sobrepeso en el rango de países estudiados.

Tabla 8-2: Estado nutricional de niños chilenos menores de 6 años, 2006 y 2009

Categoría/Quintil	2006					2009				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Riesgo de desnutrición	4.4	4.1	2.7	2.0	1.2	3.4	3.3	3.1	1.4	2.0
Malnutridos	0.9	0.4	0.5	0.2	0.1	0.5	0.5	0.3	0.2	0.7
Sobrepeso	8.6	10.7	10.6	10.5	5.6	11.2	12.3	11.5	9.7	6.7

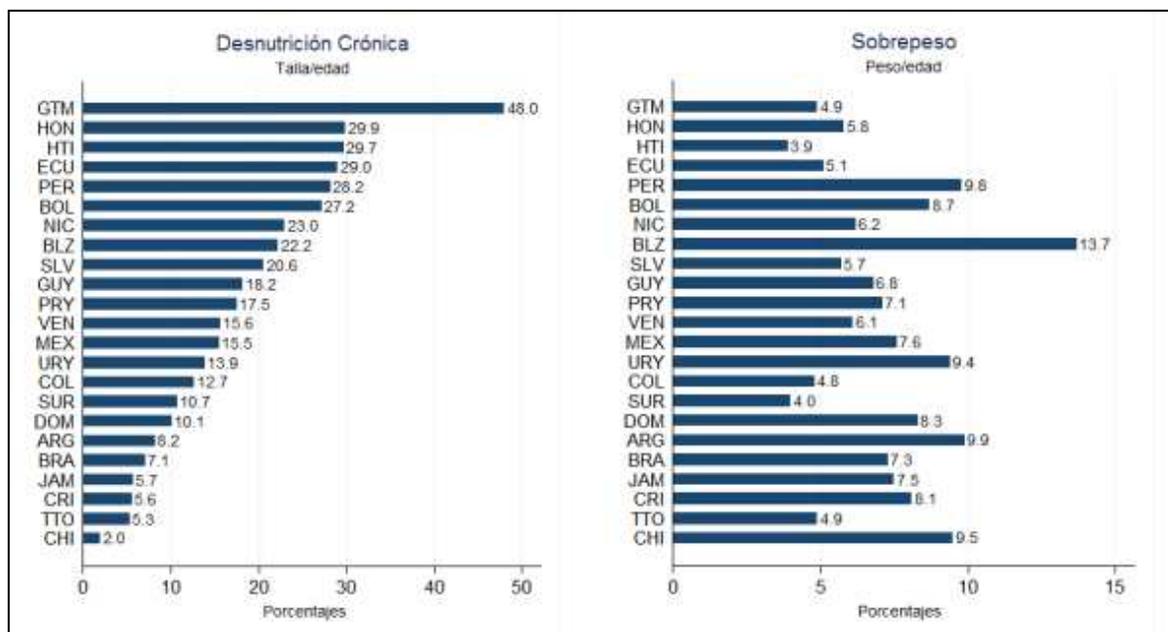
Fuente: MIDEPLAN.

Entre los 35 países de las Américas, la OMC clasificó a Chile como séptimo en cuanto a la cantidad de población masculina adulta con sobrepeso³⁵. A partir de 2010, el 68,4 por ciento de los hombres fueron clasificados con sobrepeso, y el 24,3 por ciento como

³⁴ La UNICEF, Estado de la infancia del mundo. Bajo peso al nacer se define como recién nacidos que pesan menos de 2.500 gramos. Las comparaciones internacionales se complican por la forma en la cual se cuentan a los recién nacidos. No solo la definición de "nacido vivo" varía según el país, pero debido a los avances médicos, existen más recién nacidos que sobreviven dentro y fuera del vientre materno para ser incluidos por las estadísticas. En el caso de los países ricos, (Chile esta entrando a este grupo), la interpretación de la comparación de pesos promedios al nacer entre países a través del tiempo es un reto. De hecho, para la mayoría de los miembros de la OCDE, la proporción de niños con bajo peso al nacer ha aumentado desde 1980, casi seguro un reflejo de los avances médicos y efectos de selección en lugar de un deterioro de la salud o estado nutricional de la madre.

³⁵ Aunque no sin problemas de interpretación, las definiciones de la OMS en cuanto a sobrepeso y obesidad se basan en el índice de masa corporal. Una persona con sobrepeso tiene un IMC mayor o igual a 25. Una persona obesa tiene un IMC mayor o igual a 30.

obesos. En cuanto a mujeres, el 73,3 por ciento tenía sobrepeso y el 39,1 por ciento de ellas eran obesas. Estas cifras son menores, pero no muy lejos de otros países en el hemisferio los cuales tienen altas tasas de obesidad (Tabla 8-2, Figura 8-3 y Tabla 8-3).



Fuente: FAO (2012)

Figura 8-3: Malnutrición en menores de 5 años, 2000-2010.

Tabla 8-3: Porcentaje de población adulta con sobrepeso y obesa para argentina, chile, méxico y estados unidos, 2010.

Clasificaciones nacionales y mundiales de 192 países	Sobrepeso		Obesos	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Argentina	77.7	71.2	37.4	37.8
Clasificación	8	26	8	27
Chile	68.4	73.3	24.3	39.1
clasificación	20	20	22	23
México	73.6	73	30.1	41
clasificación	15	23	12	20
Estados Unidos	80.5	80.8	44.2	48.3
clasificación	7	10	5	13

Fuente: Organización Mundial de la Salud. Adultos: Mayores de 15 años.

8.2.3 Reducción de la pobreza en Chile

Estos totales nacionales oscurecen lo que sucede en los hogares más pobres. La relación entre crecimiento económico nacional y reducción de la pobreza es bien conocida, aunque los economistas han discutido sobre que tan fuerte es la relación entre países específicos, cada uno con sus propias condiciones históricas, culturales y políticas. Como regla general, sin embargo, la evidencia apoya la recomendación básica de analistas y organismos internacionales sobre que los gobiernos se centran en el crecimiento para reducir la pobreza (por ejemplo, Banco Mundial, 2001; Dollar y Kraay, 2001 y Ravallion, 2004, entre muchos otros). El análisis estadístico ha demostrado una fuerte asociación negativa entre el crecimiento y la incidencia de la pobreza; Ravallion (1995), por ejemplo, demuestra que la elasticidad de la reducción de la pobreza con respecto al crecimiento del ingreso nacional ha estado en el rango de 2 a 3,5%. Una de las conclusiones más controvertidas, en el contexto de aplicar experiencias internacionales a un país en particular, es que el crecimiento nacional pareciera ser, en promedio, neutral en términos de la distribución de los niveles de ingreso de los hogares.

Las altas tasas de crecimiento económico chilenas, medidas a través del PIB per cápita durante los últimos decenios, están en contraste con promedios históricos a largo plazo. Schmidt-Hebbel (2006) señaló que entre la independencia nacional y 2005, el promedio de los ingresos per cápita aumentó alrededor de un 1,7% por año, mientras que entre 1991 y 2005, la tasa fue del 4%. Pero el crecimiento fue desigual en cuanto a los sectores económicos y su incidencia se desequilibró con respecto a los niveles de ingresos. El crecimiento económico ha promediado más de un 4% desde la década de 1980, pero con diferencia sectorial. En la década de 1990, cuando el crecimiento alcanzó su mayor tasa, 6% al año, el sector servicios fue el más rápido en aumentar, y la agricultura registró la mitad de la tasa nacional. En cambio, en las décadas de 1980 y 2000 (hasta la crisis financiera de 2008), las tasas nacionales de crecimiento fueron más lentas, pero el valor agregado del sector agrícola alcanzó la mayor tasa, superior al 5%.

Al examinar los años 1980 y 1990, diversos estudios encontraron una conexión inequívoca entre el crecimiento económico nacional y la reducción de la pobreza en general (por ejemplo, Banco Mundial, 2000; Contreras *et al.*, 2001; Contreras, Cooper y Neilson, 2008). La Figura 8-4 resume la evidencia de las encuestas de hogares de CASEN, las que muestran una disminución de la pobreza desde principios de 1990.

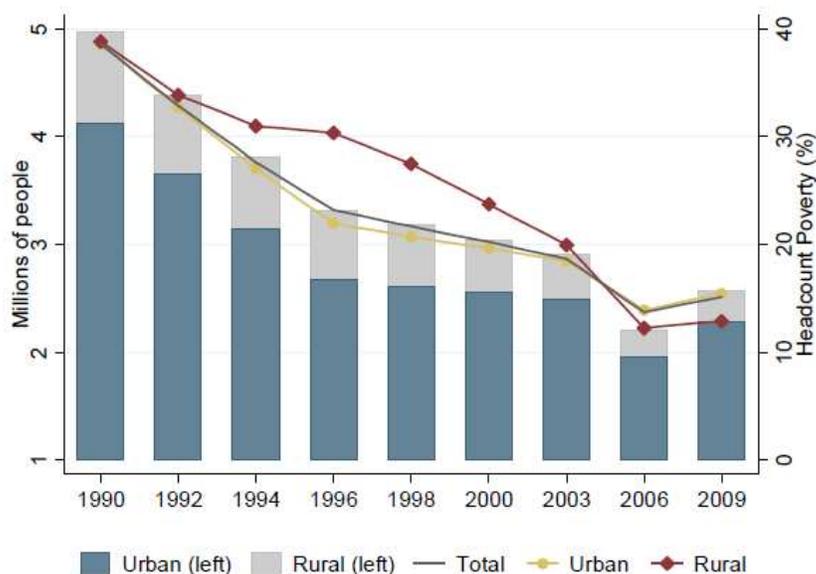


Figure 1. Evolution of Poverty in Chile, 1990-2009

Source: Own elaboration based on CASEN surveys.

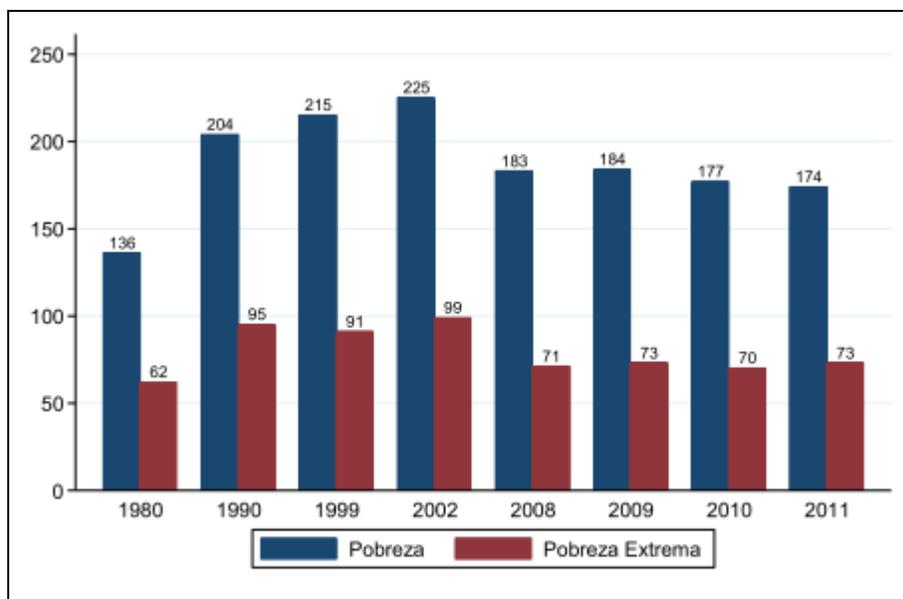
Fuente: Elaboración propia en base a las encuestas CASEN.

Figura 8-4: Evolución de la Pobreza en Chile/ urbana y rural

La disminución de los niveles de pobreza ha sido claro: desde 5 millones de personas situadas por debajo del umbral de pobreza en 1990, o el 40% de la población, a 2,5 millones en 2009, o el 15%. La tasa de pobreza extrema se redujo aún más rápido, del 13% de la población en 1990 a 3,7% en 2009.

Si se compara con las tasas de pobreza de América Latina expuestas en la Figura 8-5. Chile corresponde en el 2009 al 1,4% de la pobreza en la región.

Es importante tener en cuenta que el crecimiento ha tenido un impacto desigual en los sectores. Durante muchos años, la incidencia de la pobreza en Chile en las zonas rurales fue mayor que en las zonas urbanas, aunque en números absolutos, la mayor parte de los pobres vivían en centros urbanos. Pero más recientemente, la pobreza rural ha caído más rápido que las tasas nacionales, y bastante más rápido de tal manera que ahora la tasa de pobreza en las zonas rurales es menor que en las zonas urbanas. Esto se debe a una combinación de aumento de los ingresos en las zonas rurales con tasas más altas de emigración de los hogares más pobres de zonas rurales a las ciudades. En definitiva, se ha producido una considerable reducción en la proporción de la población total que vive en la pobreza y que residen en las zonas rurales, desde un 17% en 1990 al 12% en 2009.



Fuente: FAO (2012)

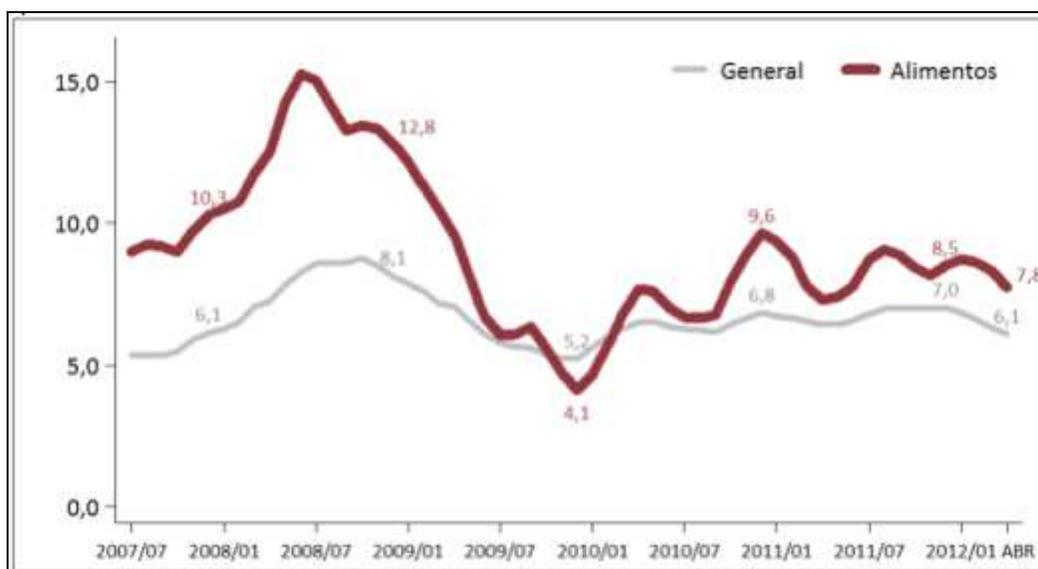
Figura 8-5: Evolución del número de pobres en América Latina y el Caribe (millones de personas), 1980-2011.

Recientemente, Rivera (2010) ha examinado con más detalle la naturaleza de la reducción de la pobreza durante las últimas dos décadas. Su análisis de los datos de los hogares muestra que el crecimiento económico chileno produjo impactos heterogéneos en la reducción de la pobreza dependiendo tanto de la geografía (zona urbana o rural) y de la actividad económica (agricultura versus no agricultura). Durante la década de 1990, los beneficios del crecimiento económico fueron disfrutados en un grado similar por los hogares en todos los niveles de ingresos, con tasas promedio de crecimiento de los ingresos de un poco más del 4%. Pero las familias que vivían en zonas urbanas y en el sector no agrícola gozaron de aun mejores tasas de crecimiento promedio. Por otra parte, las tasas de crecimiento del ingreso afectaron en una dirección favorable a los pobres, hogares más pobres disfrutaron de mayores aumentos relativos que los hogares más ricos.

Durante la siguiente década, la tasa de crecimiento del ingreso promedio de todos los hogares disminuyó, pero la tasa de crecimiento de los hogares de menores ingresos fue mayor que para los más acomodados. Se observaron mayores tasas en favor de los pobres sobre todo para los hogares de las zonas rurales y en la agricultura. Estos hogares tuvieron dobles tasas de crecimiento del ingreso comparados a la década anterior.

8.3 Impacto de la reciente volatilidad en los precios internacionales de productos básicos

Un estudio de la FAO, en el 2012, muestra la evolución de la inflación en América Latina y el Caribe debido a la repercusión de los precios internacionales sobre las economías de los países.



Fuente: FAO (2012)

Figura 8.3-6: Inflación anual en América Latina del 2007 a 2012. Variación porcentual respecto a los 12 meses previos.

Estas variaciones de los precios afectan directamente el poder adquisitivo de las familias así como el acceso a productos básicos, pudiendo influir en algún grado sobre la seguridad alimentaria de un país. Como se aprecia en la Figura 8.3-, la variación de los precios de alimentos muestra la misma tendencia que la inflación general, pero con caídas y aumentos más pronunciados.

Sólo recientemente, desde la década del 2000, los precios de los productos agrícolas no tropicales y minerales han mostrado una tendencia preocupante a revertir su descenso a largo plazo. La reciente volatilidad de los precios mundiales de productos agrícolas y alimentarios, después de llegar a su punto más alto desde el 2007 al 2008, ha creado una preocupación por la seguridad alimentaria en términos generales y específicamente, con respecto a los países en desarrollo³⁶. Existe un debate sobre el grado en que los recientes aumentos de precios son el resultado de fundamentos alterados de la oferta y la demanda, o son debido a devaluaciones monetarias competitivas lideradas por Estados

³⁶ Esta sección se basa en Valdés y Foster (2010).

Unidos o la Unión Europea, o ambos. Pero las causas subyacentes son menos importantes para la seguridad alimentaria que los impactos a corto plazo de estas alzas sobre el bienestar de los consumidores, especialmente los consumidores pobres, y las acciones de los países en desarrollo para enfrentar grandes facturas de importación de alimentos. La vulnerabilidad de un país ante las alzas de precios depende de los niveles de ingreso, su posición comercial neta, la disponibilidad de reservas de divisas y los ingresos netos provenientes de deudas extranjeras a corto plazo. Hay que distinguir entre la posición del comercio de alimentos de un país y la posición del comercio agrícola. Chile, por ejemplo, depende de las importaciones de alimentos, pero es un exportador neto de productos agrícolas, de productos que no son básicos.

En comparación con algunos países en desarrollo, en Chile la rápida transmisión de estos cambios de precios desde la frontera hasta el consumidor no estaba limitado por frenos de política o de integración del mercado débil; el país se caracteriza por bajos costos de transacción entre los mercados nacionales e internacionales. Pero mientras que Chile es un importador neto de productos alimenticios, dada su riqueza per cápita, no es un país vulnerable a subidas de precios. Por otra parte, en Chile y otras economías en crecimiento, como Brasil, las alzas de precios mundiales en dólares fueron compensados por la apreciación de la moneda local. Es altamente improbable que el país necesite de ayuda financiera o de otro tipo en el caso de un rápido incremento en su factura de importación de alimentos. Sin embargo, la apertura comercial de Chile plantea preguntas acerca de la vulnerabilidad a la volatilidad de precios de productos básicos en los hogares de los consumidores pobres.

Hay que señalar que las alzas de precios mundiales recientes afectan los productos básicos en un grado más severo que los alimentos en general. Los precios de los alimentos reflejan otros costos a lo largo de toda la cadena agroalimentaria, desde la hacienda al supermercado. Este impacto diferencial en los precios de las materias primas y los alimentos debería vincularse a la observación general de que mayores ingresos conducen a una dieta más diversificada. En Chile, el desarrollo económico y mayores ingresos han provocado un menor énfasis en los productos básicos y más énfasis en las actividades de valor añadido de transporte, transformación y comercialización una vez fuera de la hacienda. Independientemente del efecto de los ingresos y una menor tasa de los precios mundiales de productos para consumidores individuales, las alzas de precios causan una pérdida de ingresos para Chile en su conjunto, con hogares más pobres que sufren más en términos de sus ingresos reales.

Con las alzas de precios de 2007 y 2008, muchos gobiernos trataron de proteger a los consumidores domésticos para resistir los cambios de precios en los alimentos. Muchos gobiernos utilizaron una variedad de medidas de fronteras, algunos redujeron los aranceles y las barreras no arancelarias sobre los bienes importables, y otros, como Argentina, Ucrania y Tailandia, restringieron las exportaciones a través de impuestos, cuotas de exportación y prohibiciones absolutas. Las acciones gubernamentales más frecuentes para reducir la transmisión de los precios internacionales a los mercados nacionales, fueron los cambios arancelarios. Algunos gobiernos intentaron intervenciones

no comerciales para controlar los precios de alimentos básicos como el pan, cereales y leche, o liberaron acciones de estabilización, expandieron programas de distribución de alimentos y subsidiaron los precios de los alimentos. Pero las tasas arancelarias de Chile ya eran muy bajas y las intervenciones de mercado son considerados económicamente y políticamente imprudente. Por lo que el gobierno trató de apoyar a los hogares pobres de manera más directa a través de transferencias en efectivo.

De hecho, los programas de protección social son la respuesta más específica a los efectos negativos en los hogares más pobres y son recomendados por los economistas (Tangermann, 2011). Sin embargo, éstos requieren una preparación y manejo efectivo. Chile tuvo la suerte de poder contar con ellos durante las alzas de precios de 2007 y 2008 (al igual que México y Sudáfrica)³⁷. Chile tenía recursos suficientes y la capacidad institucional, y da un ejemplo sobre el hecho de que países con ingresos medios deberían optar por estas redes de seguridad en vez de otras intervenciones. De hecho, redes de seguridad son además capaces de hacer frente a las vulnerabilidades asociadas con la nutrición, la salud y la vivienda.

La reciente volatilidad de los precios ha provocado una renovada discusión sobre reservas alimentarias (Gilbert, 2011, y Abbott, 2012). ¿Tienen sentido las reservas gestionados por el gobierno en el caso de Chile? Definitivamente. Cierta grado de reservas nacionales amortiguarían el consumo y los cambios de precios en Chile en el caso de una escasez a nivel de crisis debido a cortes por los proveedores. Pero no hay una razón clara del por qué se necesitaría de actividades de almacenamiento público para internalizar las probabilidades de esos riesgos y los beneficios potenciales de tal previsión. La historia de las reservas estatales, sobre todo en las economías que funcionan bien, es que las reservas estratégicas del Estado pueden "desplazar" las reservas privadas, si se utilizan además para suavizar las fluctuaciones de precios, y que no estén disponibles solo durante las crisis. La experiencia ha demostrado en la mayoría de los países, que crear y manejar grande reservas de productos comercializables que podrían servir de manera significativa para minimizar el impactar alzas de precios, es caro y confuso. Las reservas limitan la transmisión de señales a lo largo de la cadena de suministro, influyendo en el almacenamiento privado y los usuarios de intercambio de productos básicos. La mayoría de los países de ingresos medios que han liberalizado el comercio, y que son dictadores de precios en los mercados mundiales, han optado por dejar las acciones en manos del sector privado.

Sea o no positivo para las políticas fronterizas, la reciente crisis económica también destaca el atractivo fiscal de las demás políticas y mecanismos basados en el mercado: intercambio de materias primas y derivados de los precios. Los beneficios de esta política son claros cuando funcionan: menores costos de transacción, determinación de precios, disponibilidad de instrumentos de cobertura y la posibilidad de un financiamiento más sofisticado a lo largo de la cadena de comercialización. Ciertamente, hay un rol de determinación de precios mundiales que es jugado generalmente por los intercambios de

³⁷ Véase Jones y Kwiecinski (2010) para la OCDE.

los países desarrollados, muchos analistas sugieren que la mejora de los intercambios locales ayudaría no sólo a protegerse contra alzas repentinas de precios, sino también para promover las transacciones locales. Sin embargo, existen barreras para el uso doméstico de futuros internacionales y mercados de opciones, siendo la más evidente las diferencias de calidad del producto (por ejemplo, el maíz blanco en México y en el sur de África) y el riesgo de base local. Por ejemplo, en el caso del arroz, los intercambios internacionales desempeñan un rol limitado debido a la baja correlación entre el precio local con los precios CIF para variedades y calidades específicas. Sin embargo, incluso en el caso del arroz, los intercambios mundiales pueden ofrecer una herramienta de cobertura útil en el caso de una subida de precios severa. Además, para productos estandarizados, como el trigo y el maíz amarillo y soya, los intercambios internacionales pueden desempeñar y desempeñan un papel importante en los mercados locales.

En algunos países en desarrollo, los intercambios locales están bien establecidos, en otros, están ausentes. Aunque los compradores, importadores, procesadores y otras empresas en los países en desarrollo han aumentado el uso de intercambios locales e internacionales, no se debe esperar que los agricultores pequeños participen. Pero consumidores y agricultores se benefician del descubrimiento de precios. Las políticas que facilitarían los intercambios locales reducirían el riesgo financiero de las inversiones en toda la cadena de suministro.

8.4 Desafíos futuros en seguridad alimentaria

Si bien son necesarias para una mejora en la seguridad alimentaria, el desarrollo de la disponibilidad de alimentos, el acceso a estos, la utilización y la estabilidad, para producir un cambio en estos aspectos, se han implementado distintas políticas de seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe durante la última década, como el fortalecimiento de marcos jurídicos e institucionales para la seguridad alimentaria, escasos en Chile, el desarrollo rural y fortalecimiento de la pequeña agricultura, la protección social y alimentación, a través del establecimiento de distintos servicios de alimentación a sectores sociales focalizados y la distribución de alimentos y micronutrientes, ya sea bajo la modalidad de cestas de alimentos o la entrega de raciones alimentarias básicas para grupos de riesgo; la asistencia en salud nutricional y por último educación y formación en salud y nutrición.

Sin embargo para mejorar estos aspectos y la seguridad alimentaria la FAO en el 2011 indica que se debe fortalecer:

- **Gobernanza de la seguridad alimentaria y del comercio de los alimentos**
Al ser Chile y otros países de América Latina fundamentales en el sistema agroalimentario mundial, se debe generar una coordinación en la toma de decisiones respecto a seguridad alimentaria entre estos países, por ejemplo en relación al fortalecimiento de su rol en el comité mundial de seguridad alimentaria,

nivel de inversión adecuado para lograr desafíos en políticas de la agricultura y comercio de alimentos, como también fomentar el comercio intra-regional.

- Fomento productivo con prioridad en la agricultura familiar
Disminuir las brechas entre pequeña agricultura y agro negocio a través de una mayor inversión productiva público y privada en la agricultura familiar, financiamiento e instrumentos de gestión de riesgos en la agricultura; y sanidad agropecuaria e inocuidad de los alimentos.
- La adaptación del sector agropecuario al cambio climático
Es necesario integrar los recursos naturales al modelo de desarrollo económico, considerándolos como bienes públicos y no como medio disponibles de producción ilimitada. Así se consideran mecanismos y prácticas para mantener una producción agrícola sostenible.
- Competencia en los mercados agroalimentarios y cumplimiento de la legislación en los mercados laborales agrícolas
Para lograr la mejora en la seguridad alimentaria a través de políticas productivas y sociales es necesario desarrollar un mercado agroalimentario transparente y más competitivo, la defensa de los derechos de los consumidores y productores; y el cumplimiento efectivo de la legislación laboral junto a la mejora de las instituciones del mercado del trabajo.
- Valorización de los alimentos y de los mercados locales
Ya que gran parte del mercado se encuentra centralizado, es importante promover el desarrollo y producción de productos tradicionales, como la papa, el frijol, la quinoa, etc, ampliando la base alimentaria, con la correspondiente mejora nutricional, además de la generación de nuevos ingresos de la población rural, dinamizando los mercados locales y la producción de la pequeña agricultura.
- Cambios en los patrones de consumo alimentario y la calidad de los alimentos
Incorporar mecanismo que en conjunto con los programas de formación y educación social recomienden dietas más saludables, la recuperación de consumo de productos locales, mejora de la calidad de alimentos y la reducción del desperdicio de los alimentos.

9. REFERENCIAS

- African Development Bank, (2006). Support to the Development of Water Information and Knowledge Management Systems in Ethiopia . *Appraisal Report* .
- Alevy, J., Cristi, O., & Melo, O. (2010). Right-to-Choose Auctions: A field study of water markets in the Limari Valley of Chile. *Agricultural and Resource Economics Review* 39 (2) , 213-226.
- Australian Government (2010a). Restoring the Balance in the Murray-Darling Basin program. *Water Act 2007* . Camberra.
- Australian Government (2010b). NWMS. *National Water Market System, Fact Sheet* .
- Australian Government (2010c). Water Education Toolkit. *The one-stop-shop for Australian water education resources* .
- Australian Government (2011). Water Act 2007. (G. D. Canberra, Ed.) Office of Legislative Drafting and Publishing Attorney.
- Authority, Murray Darling Basin (2010). Guide to the Proposed Basin Plan. *Volume 1* . Canberra: Australian Government.
- Ayala, C. (2007). Estimaciones de la demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I Regiones I a IV. . *Informe final* . Santiago.
- Ayala, L. (2010). *Aspectos Técnicos de la Gestión Integrada de las Aguas (GIRH). Primera etapa: Diagnóstico*. Santiago: Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos.
- Backeberg, G. (2005). Water Institutional Reforms in Southafrica. *Water Policies* 7 , 107-123.
- Banco Central de Chile (2011). Cuentas Nacionales de Chile, PIB Regional 2011.
- Banco Mundial, B. (2011). Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. *Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible* .
- Banco Mundial, B. (2009). Matanza-Riachuelo Basin (MRB) Sustainable Development Adaptable Lending Program. *Implementation Status & Results*.
- Bauer, C. (2009). Dams and Markets: Rivers and Electric Power in Chile. *Natural Resources Journal*.
- Bauer, C. (2004). Result of Chilean Water Markets: Empirical research since 1990. *Water Resources Research* 40 .
- Bauer, C. (1998). Against the Current: Privatization, water markets and the State in Chile. *Kluwer Academic* . Boston.
- Bitrán, E., & Sáez, R. (1994). Privatization and Regulation in Chile. *The Chilean Economy: Policy lessons and challenges* . Washington.
- Bjornlund, H. (2006). Do Markets Promote more Efficient and Higher Value Water Use: Tracing evidence over time in an Australian Water Market. *In Lorenzini, G & Brebbia, C.A, Increased participation in Australian Water Markets* , 289-302. Southampton, WITPress.
- Bjornlund, H. (Julio de 2002). Signs of Maturity in Australian Water Markets. *New Zealand Property Journal* , 31-46.

- Bjornlund, H., & McKay, J. (2002). Aspects of Water Markets for Developing Countries: Experiences from Australia, Chile and USA. *Environment and Development Economics* 7, 769-795.
- Bjornlund, H., & Rossini, P. (2005). Tracing Evidence of Rational Investor Behavior in Water Markets. *XI annual conference, Pacific Real Estate Society*. Melbourne.
- BM, B. M. (2011). Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. *Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*.
- Boggess, W., Lacewell, R. y Zilberman, D. (1993). Economics of Water Use in Agriculture. Agricultural and Environmental Resource Economics, Oxford University Press.
- Borregaard, N., Donoso, F., Dourojeanni, A., Herrada, P., & Medina, J. (2011). *Mesa Agua y Medio Ambiente. Texto Borrador*. ANDESS y CIPMA.
- Brown, E. (2004). Hacia un Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos. *II Taller Nacional CEPAL*.
- Brown, T. (2006). Trends in Water Market Activity and Price in the Western United States. *Water Resources Research* 42.
- Büchi, H. (1993). La Transformación Económica de Chile: del estatismo a la libertad económica. *1a. ed. Norma*. Bogotá.
- CADE-IDEPE. (2005). *Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad*. DGA.
- Callejón, J., López, J., Martínez, J., Reca, J., & Zapata, A. (2000). Predicción del Caudal en Redes de Riego de Cultivos Intensivos. *Riegos y Drenajes* 21 (110), 40-45.
- Canada, Federal Government (2011). Canada's Water Act. *Consolidation*. (<http://laws-lois.justice.gc.ca>, Ed.) Minister of Justice.
- Canada, Federal Government (2011). Consolidation of Canada's Water Act. (<http://laws-lois.justice.gc.ca>, Ed.) Minister of Justice.
- Castell, M., & Zilberman, D. (1985). The Choices of Irrigation Technologies in California. *American Journal of Agricultural Economics* 67 (2): 224-234.
- Cazalac. (2009). Aplicación de Metodologías para Determinar la Eficiencia de Uso del Agua: Estudio de caso en la región de Coquimbo. *Elaborado por CAZALAC, Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe, con la asesoría de Rodhos Asesorías y Proyectos Ltda*. Coquimbo.
- CChC. (2010). *Balance de Infraestructura en Chile: Análisis de la Evolución Sectorial y Proyección 2010-2014*. Cámara Chilena de la Construcción, Comisión de Infraestructura.
- CEPAL. (2003). Taller Nacional - Chile. *Hacia una Política Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos*. Santiago.
- Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004) Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf.
- Código de Aguas de Chile. (1981). *Decreto con Fuerza de Ley N° 1122*. Santiago.
- Connicks, S., & Innes, J. (2001). Outcomes of Collaborative Water Policy Making. *Applying complexity thinking to evaluation*. (I. o. Development, Ed.) Berkeley: University of California.

- Crase, L., O'Reilly, L., & Dollery, B. (2000). Water Markets as a Vehicle for Water Reform: The case os New South Wales. *The Australian Journal of Agriculture and Resource Economic* 44 (2) , 299-231.
- Cristi, O., & Poblete, C. (2010a). Los Mercados de Agua a lo largo de Chile: ¿Qué nos dice la información que envían los Conservadores de Bienes Raíces a la Dirección General de Aguas? *Centro de Investigaciones Empresas y Negocios (CIEN), Universidad del Desarrollo* . Santiago.
- Cristi, O., & Poblete, C. (2010b). Qué nos dicen los Conservadores de Bienes Raíces del Mercados de Aguas en Chile. *Serie Working Paper, Escuela de Gobierno, Universida de Desarrollo* . Santiago.
- Davis, U. (1990). Israel Water Policies. *University of California Press* , 3-31.
- Del Saz, S., Hernández, F., & Sala, R. (2009). Estimación del Valor Económico de la Calidad de Agua del Río Mediante una Doble Aproximación: Una aplicación de los principios económicos de la Directiva Marco de Agua. 37-63. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 9 (1).
- DGA (2007). Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV. Republica de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago.
- DGA (2007). Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana. Republica de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago.
- DGA. (2010). *Estimación de Recargas de Aguas Subterráneas en Cuencas de las Regiones VII, VIII, XIV y X*. Santiago: Gobierno de Chile.
- DGA, (1999). Diagnóstico Situación Actual de las Organizaciones de Usuarios de Agua a Nivel Nacional. *Informe Final* .
- DOH. (2010). *Programa de Agua Potable Rural*. Gobierno de Chile.
- Donoso, G. (2009). *Contribution of Integrated Water Resources Management Towards the Achievement of the Millennium Development Goals (MDGs)*. Departamento de Economía Agraria. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Donoso, G. (2006). Water Markets: A case study of Chile's 1981 Water Code. *Ciencia e Investigación Agraria* 33 (2) , 157-171. Santiago.
- Donoso, G., Montero, J., & Vicuña, S. (2001). Análisis de los Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en las Cuencas del Maipo y el Sistema Paloma en Chile: Efecto de la variabilidad en la ofera hídrica y de los costos de transacción. *Revista Derecho Administrativo Económico III* (2) , 363-366.
- Doukkali, M. (2005). Water Institutional Reforms in Morocco. *Water Policies* 7 (1) , 71-88.
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (1999). El Código de Aguas de Chile: Entre la ideología y la realidad. *Debate Agrario* 29 , 138-185.
- DWAF. (2008). Policy on Financial Support of the Water User Associations . *Department of Water Affairs and Forestry* .
- DWAF. (1997). White paper on a National Water Policy for South Africa. Pretoria.
- DWR. (2009). California Water Plan. *Update 2009: Integrated Water Management*. (www.water.ca.gov, Ed.) California: Department of Water Resources (DWR) of the Natural Resources Agency.

- Environment, Canada. (1987). Federal Water Policy. Ministry of the Environment.
- Faiguenbaum, H. (2003). Labranza, Siembra y Producción de los Principales Cultivos de Chile. Vivaldi y Asociados. Santiago.
- FAO 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.
- FAO (2012). Situación de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe. VI Reunión del Grupo de Trabajo 2025. Georgetown, Guyana.
- FCCyT. (2012). *Diagnóstico del Agua en las Américas. Red Interamericana de Academias de Ciencias*. México, Distrito Federal: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.
- Fuster, R. (2009). Estudio "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile". *Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, Universidad de Chile*. Santiago.
- Garrido, A. (2000). A Mathematical Programming Model Applied to the Study of Spanish Water Markets. *Annals of Operations Research* 94 , 105-123.
- Gazmuri, R., & Rosegrant, M. (1994). Chilean Water Policy: The role of water rights, institutions and markets. *International Food Policy Research Institute*. Washington.
- Gazmuri, R., & Rosegrant, M. (1996). Chilean Water Policy: The role of water rights, institutions and markets. *Water Resources Development* 12 (1) , 38-48.
- Global Water Partnership, G. (2004). Informal Stakeholder Baseline Survey: Current status of national efforts to move towards sustainable water management using an IWRM approach. Estocolmo.
- Gómez-Lobo, A., & Paredes, R. (2001). Reflexiones sobre el Proyecto de Modificación del Código de Aguas. *Estudios Públicos* 82 , 83-104. Santiago.
- Government, A. (2009). The Basin Plan. *A concept statement*. (www.mdba.gov.au, Ed.) Canberra: Murray-Darling Basin Authority.
- Grigg, N. (2008). Integrated Water Resources Management: balancing views and improving practice. *Water International* 33 (3) , 279-292.
- Hadjigeorgalis, E., & Riquelme, C. (2002). Análisis de los Precios de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas en el Río Cachapoal. *Ciencia e Investigación Agraria* 20 (2) , 91-100.
- Hearne, R. (2004). Evolving water management institutions in Mexico. *Water Resources Research*.
- Hearne, R., & Donoso, G. (2005). Water Institutional Reforms in Chile. *Water Policy* 7 , 53-69.
- Hearne, R., & Easter, K. (1997). The Economic and Financial Gains from Water Markets in Chile. *Agroicultural Economics* 15 , 187-197.
- Hearne, R., & Easter, W. (s.f.). Water Allocations and Water Markets: An analysis of gains from trade in Chile. *World Bank Technical Paper* 315 .
- Hearne, R., & Easter, K. (1997). The Economic and Financial Gains from Water Markets in Chile. *Agroicultural Economics* 15 , 187-197.
- Hoekstra, A. & Chapagain, A. (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. & Mekonnen, M. (2009). Water Footprint Manual. Water Footprint Network. The Netherlands.
- INE (2007). Informe anual: Medio ambiente 2007.
- INE (2010). Compendio Estadístico, 1.2 Estadísticas Demográficas. http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/compendio_estadistico/pdf/2010/1.2estdemograficas.pdf
- INE. (2010). Informe anual: Producción pecuaria 2005-2010. (http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/200511/pecu_10180511.pdf)
- Instituto de Ingenieros, (2011). Temas Prioritarios para una Política Nacional de Recursos Hídricos. *Comisión de Agua*.
- IPCC. (2007). *Cambio Climático: Informe de Síntesis*. Ginebra: Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático; OMM; PNUMA.
- Jaeger, P. (2003). La Legislación de Aguas en Chile: lo bueno y lo malo. *Banco Interamericano de Desarrollo, BID*. Ciudad de Panamá.
- Jaeger, P. (2010). Modificación a la Ley 20.017 y sus Implicancias en la Ley 20.411 para la Constitución de Derechos de Aprovechamiento de Agua. *Vertiente (11), revista de ALHSUD*, 17-18.
- Jaspers, F. (2003). Institutional Arrangements for Integrated River Basin Management. *Water Policy* 5, 77-90.
- Jouravlev, A. (Julio de 2010). Código de Aguas de Chile: desafíos pendientes. *Presentación a la Dirección General de Aguas*. Santiago.
- Jouravlev, A. (Diciembre de 2005). Integrating Equity, Efficiency and Environment in the Water Allocations Reform. *Presentation at the International Seminar of Water Rights Development in China*. Beijing.
- Jouravlev, A. (2004). Mercados (de Derechos) de Agua, Introducción. *Experiencias y propuestas en América del Sur*. Santiago.
- Libro Blanco, (1998). Libro Blanco del Agua en España. *Documento de Síntesis*. Madrid.
- Lloret, P. (2003). La Valoración del Agua. *Revista Universidad-Verdad*, 50-59.
- Mackay, H. (2003). Water Policies and Practices, in towards a just South Africa: The political economy of natural wealth. *Edited by D. Reed and M.P. Wit*, 49-83. Pretoria.
- Márquez-Peñamedrano, M. (Julio de 1998). La Financiación: Clave del Plan Nacional de Regadíos. *Revista Vida Rural*, 18-21.
- Matus, N., Fernández, B., Aedo, M., & Larraín, S. (2004). Recursos Hídricos en Chile, Desafíos para la Sustentabilidad. *Programa Chile Sustentable*.
- McAfee, R. (1998). Four Issues in Auctions and Markets Design. *Revista de Análisis Económico* 13 (1), 7-24.
- Medina, M., & Encina-Montoya, F. (2003). Incorporación de la Evaluación de Riesgo Ecológico en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental para ecosistemas acuáticos en Chile. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA* 19 (3 y 4). Santiago.
- Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011). National Water Footprint Accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption. Research Report Series No. 50. UNESCO-IHE Institute for Water Education.

- Melacon, M. (1995). Bioindicators used in aquatic and terrestrial monitoring. *En: Handbook of Ecotoxicology Hoffman, D; Rattner, B; Burton, A & Cairns, J.*
- Mena, C., Ormazábal, Y., Llanos, J., & Díaz, J. (2007). Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para Mejorar la Gestión del Agua de Riego del Embalse Convento Viejo en Chile. *Agricultura Técnica 67 (1)*, 49-59.
- Michelsen, A., & Ward, F. (2002). The Economic Value of Water in Agriculture: Concepts and policy applications. 423-446. *Water Policy 4.*
- MOP (2011). *Proyecto de Ley que regula los Servicios Sanitarios Rurales (APR).*
- Morris, T., Boyd, D., Brandes, O., Bruce, J., Hudon, M., Lucas, B., y otros. (2007). Changing the Flow: A Blueprint for Federal Action on Freshwater. *The Gordon Water Group of Concerned Scientists and Citizens.*
- Muñoz, J. (2010). Aplicación del concepto de uso previsible en la constitución originaria de derechos. *Revista Vertiente 11, Capítulo Chileno A.G.*, 11-13.
- Myerson, R., & Satterthwaite, M. (1983). Efficient Mechanisms for ilateral Trading. *Journal of Economic Theory 29*, 265-281.
- Obeng, L., & Walshe, M. (2009). *Estrategia 2009-2013.* GWP, Global Water Partnership.
- OECD (2011). Water Governance in OECD Countries: A Multi-level Approach, OECD Studies on Water, OECD Publishing. [HYPERLINK "http://dx.doi.org/10.1787/9789264119284-en"](http://dx.doi.org/10.1787/9789264119284-en) \t "_blank" <http://dx.doi.org/10.1787/9789264119284-en>
- OECD (2012). Water Governance in Latin America and the Caribbean: A Multi-level Approach, OECD Estudios on Water, OECD Publishing.
- ODEPA, o. d. (2010). Análisis del Mercado de Agua de Riego en Chile: Una revisión crítica a través del caso de la Región de Valparaíso. Informe Final.
- ODEPA (2012). Efectos de la apertura comercial chilena en la superficie cultivada.
- ODEPA (2012). Comercio exterior silvoagropecuario.
- ODEPA (2012). Inserción de la agricultura chilena en los mercados internacionales.
- Oficina de Planificación Hidrológica, O. (2010). La Gestión del Agua en las Cuencas del Miño-Sil y Limia. *Resumen divulgativo del proyecto Plan Hidrológico 2010-2015 de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil.*
- OMM, (1992). *Declaración de Dublín.* Dublin: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/documents/espanol/icwedecs.html>.
- Parlamento Europeo, y. e. (2000). Actos Legislativos y Otros Instrumentos. *Directiva 2000: CE del Parlamento Europeo y el Consejo por lo que establecen un Marco Comunitario de Actuación en la Política de Aguas.* Bruselas.
- Peña, H. (2010). Copiapó: Realidades, desafíos y lecciones. *Presentación para "¿Existe sobre-explotación del agua en Chile?"*
- Peña, H. (1996). Modificaciones al Código de Aguas y su aporte a la gestión del agua. *Trabajo presentado al Seminario Internacional Gestión del Recurso Hídrico.* Santiago.
- Peña, H. (1999). Política Nacional de Recursos Hídricos de Chile. *Dirección General de Aguas.* Santiago.

- Peña, H., Luraschi, M., & Valenzuela, C. (2004). Agua, desarrollo y políticas públicas: la experiencia de Chile. *Revista de Gestión del Agua en América Latina* 1 (2) .
- Percy, P. (2005). Responding to Water Scarcity in Western Canada. 2091-2107. *Texas Law Review* 83 (7).
- Perret, S. (2002). Water Policies and Smallholding Irrigation Schemes in South Africa: a history and new institutional challenges. (U. o. Pretoria, Ed.) Pretoria: Department of Agricultural Economics, Extension and Rural Development.
- Plan Hidrológico Nacional de España. (2001). *Ley 10/2001* . Madrid.
- Pochat, V. (2008). Principios de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos . *Bases para el Desarrollo de Planes Nacionales* .
- Ríos, M., & Quiroz, J. (1995). The Market of Water Rights in Chile: Major issues. *Cuadernos de Economía* 32 (97) .
- Rogers, P. (2002). Water Governance in Latin America and the Caribbean. *División Ambiental del Departamento de Desarrollo Sustentable* .
- Rogers, P., De Silva, R., & Bhatia, R. (2002). Water is an Economic Good: how to use prices to promote equity, efficiency and sustainability. 1-17. *Water Policy* 4.
- Rosegrant, M., & Binswanger, H. (1994). Markets in Tradeable Water Rights: potential for efficiency gains in developing country water resources allocation. *World Development* 22 (11) , 1613-1625.
- RSA, R. o. (1998). National Water Act. *Act N° 36* .
- Salazar, C. (2003). *Situación de los Recursos Hídricos en Chile, Reporte de Investigación*. Santiago.
- Saleth, R., & Dinar, A. (2000). Institutional Changes in Global Water Sector: Trends, Patterns and Implications. *Water Policy* 2 , 175-179.
- Saleth, R., & Dinar, A. (2005). Institutional Reforms, Theory and Practice. *Water Policy* 7 , 1-19.
- Saleth, R., & Dinar, A. (2004). The Institutional Economics of Water: A cross-country analysis of institutions and performances. *Edward Elgar* . Cheltenham.
- Samad, M. (2005). Water Institutional Reforms in Sri Lanka. *Water Policies* 7 , 125-140.
- Sancha, A. (2005). *Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados para Uso en Riego. Informe Final*. Santiago: Universidad de Chile, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente y SAG.
- SISS, (2010). Informe Anual de Coberturas Urbanas de Servicios Sanitarios.
- Solanes, M., & González-Villarreal, F. (2001). *Los Principios de Dublin reflejados en una Evaluación Comparativa de Ordenamientos Institucionales y Legales para una Gestión Integrada de Agua*. GWP.
- Southgate, D., & Figueroa, E. (2006). Reforming Water Policies in Latin America: Some lessons from Chile and Ecuador. *The Water Revolution* , 73-91.
- Taylor, P. (2008). Gestión Integrada de los Recursos Hídricos para Organizaciones de Cuencas Fluviales. *Manual de Capacitación, Cap-Net* .
- Tisdell, J., & Ward, J. (2001). Attitudes Towards Water Markets: An Australian case study. *Society and Natural Resources* 16 , 61-75.

- Tisdell, J., Ward, J., & Grudzinski, T. (2002). The Development of Water Reforms in Australia. *Technical Report* .
- Tortajada, C. (1999). River Basins: Institutional Framework and Management Options for Latin America. *Thematic Review. Draft* . México D.F.
- UN (2010). *Objetivos de Desarrollo del Milenio: Informe 2010*. Nueva York: Podemos Erradicar la Pobreza 2015.
- UN (1992). Report of the United Nations Conference on Environment and Development. *United Nations General Assembly* . Rio de Janeiro.
- UNESCO. (2007). Water Education in China. *China Institute for Water Resources and Hydropower Research* .
- Valenzuela, C. (2009). La Patente por la No-Utilización de las Aguas en Chile: origen, diseño y primeras experiencias en su implementación. . Santiago.
- Van Oel, P. & Hoekstra, A. (2010). The green and blue water footprint of paper products: Methodological considerations and quantification. UNESCO- IHE Institute for water education.
- Vaux, H., & Howitt, R. (1984). Managing Water Scarcity: an evaluation of inter-regional transfers. *Water Resources Research* 20 , 785-792.
- Vergara, A. (1998). Derecho de Agua. *Editorial Jurídica de Agua* . Santiago.
- Vergara, A. (2010). Diagnóstico de Problemas en la Gestión de Recursos Hídricos: Aspectos institucionales para una propuesta de modificaciones legales, reglamentarias y/o de prácticas administrativas. . *Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos* . Santiago.
- Verges, J. (2010). Síntesis del diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos: primero borrador. *Informe preparado para el Diagnóstico de la Gestión de Recursos Hídricos* . Santiago.
- World Commission on Dams, W. (1999). River Basins Institutional Framework and Management Options. *Draft. Thematic Review* .
- WWC (2009). 5th World Water Forum. *Highlights from Istanbul* .
- WWF (2007). Education Initiative for Water: Active learning for students through real world problem-solving and community service. *World Wide Fund, WWF. China Programme* . Beijing.
- Yáñez, R. (2008). El Mercado de las Aguas en Chile. *Informe Especial. Instituto Libertad, Ideas para Chile 19 (200)* .
- Young, M., & McColl, J. (2009). Robust Design: Frontiers in Water Trading. *Working Draft* .
- Young, M., & McColl, J. (2011). Sustainable Diversion Limits: a plan for the Murray-Darling Basin . *The Environment Institute* . (www.myoung.net.au, Ed.) University of Adelaide.
- Zaharaton, D., & Abidin, Z. (Junio de 2004). IWRM Implementation Realities in Malaysia. *Malaysian Water Forum* . Kuala Lumpur.

ANEXOS

A. Anexo: Huella Hídrica de los Productos Agrícolas

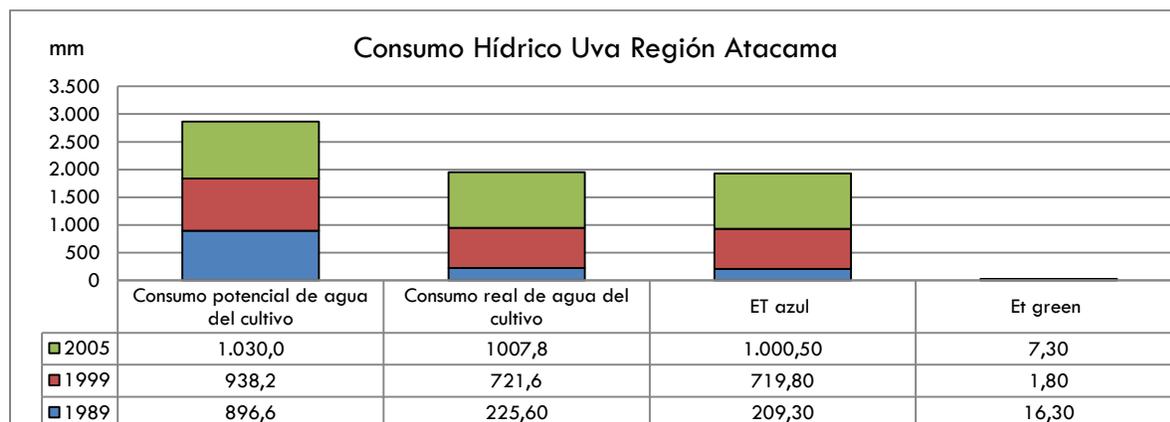
A.1. Huella Hídrica Uva de Mesa (*Vitis vinífera* spp.)

Especie frutal de la familia Vitáceae, cuya superficie mundial corresponde a 7,41 millones de ha el año 2008 (Odepa, 2010), con una producción total de 20,6 millones de toneladas el año 2008. Su utilización está enfocada principalmente al consumo humano.

En cuanto a las condiciones climáticas la uva de Mesa requiere de temperaturas entre 20° a 25°C para un buen desarrollo de la planta, es a esas temperaturas donde se produce la floración, cambio de color de bayas y maduración. En invierno temperaturas de -20°C ocasionan daños irreversibles, pero si la planta ya brotó la temperatura de daño es de -2°C. Temperaturas demasiado altas como 34°C también pueden provocar algunos daños a las plantas.

A.1.1. Huella Hídrica Región de Atacama

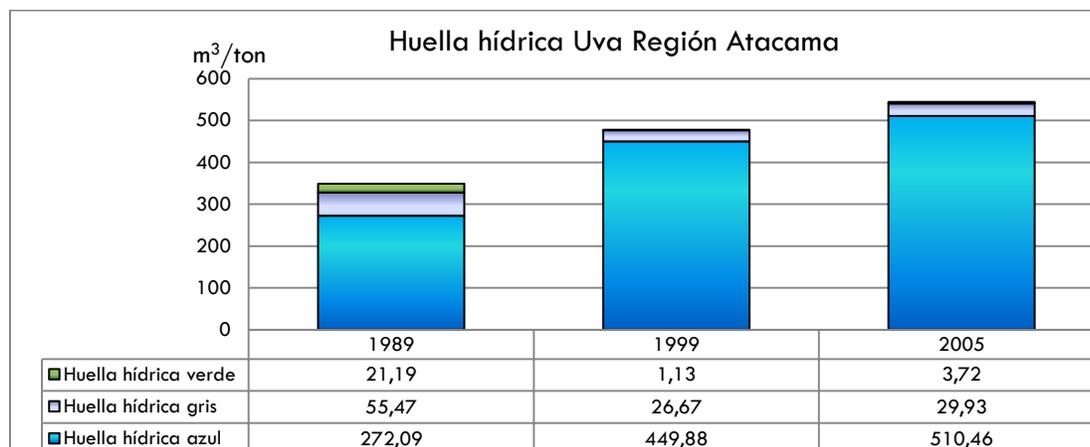
Para la Región de Atacama la superficie sembrada en el año 1989 fue de 5.200ha, el año 1999 se tenían 5.689ha y el año 2005 subieron a 6.818ha. En relación a los rendimientos obtenidos el año 1989 se obtuvo 7,69ton/ha, para el año 1999 se obtuvo 16ton/ha, mientras que en el año 2005 se consiguió 19,6ton/ha. Los resultados de la huella hídrica total y de sus distintos componentes se presentan a continuación.



Fuente: Elaboración propia

Figura A-A-1: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región de Atacama.

Durante los años estudiados el consumo potencial de agua de la Uva varía muy poco, sin embargo el consumo real de agua es bastante bajo el año 1989 con 225,6mm en comparación al 2005 donde el consumo real es de 1007,8mm.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A-2: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la Uva en la región de Atacama.

La huella hídrica total para los años 1989, 1999 y 2005 fue 348,75m³/ton, 477,68m³/ton y 544,11m³/ton respectivamente. En los tres años analizados se ve una clara predominancia de la huella hídrica azul debido a los factores climáticos de la zona. Por otro lado, con el paso del tiempo se aprecia un aumento en la huella hídrica total de la Uva, debido al aumento en la superficie de uva producida.

A.1.2. Huella Hídrica Región de Coquimbo

La Región de Coquimbo presenta durante el año 1989 una superficie sembrada de 7.300ha, el año 1999 de 7.042,8ha, y 8.711,7ha el año 2005. La Uva de mesa corresponde a una de las especies agrícolas con mayor superficie en la Región de Coquimbo. El rendimiento el año 1989 para Uva fue 13,42ton/ha, el año 1999 de 16,8ton/ha y 19,5ton/ha el año 2005.

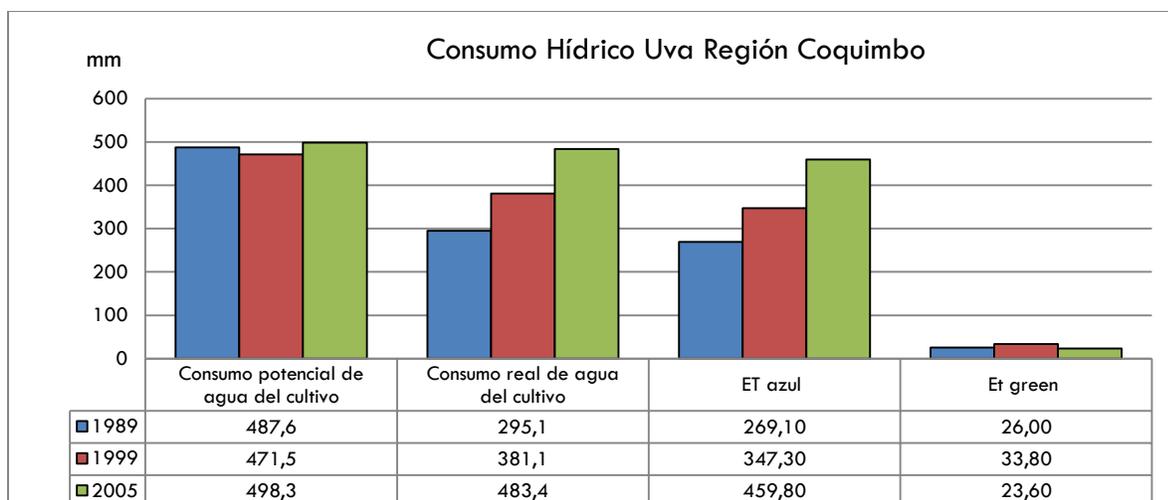


Figura A-A-3: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región de Coquimbo

En los años estudiados se puede apreciar un consumo potencial con diferencias mínimas, sin embargo el consumo real de agua va en aumento con el paso de los años acompañado por el aumento de los rendimientos que de 1989 al 2005 se incrementó en un 45,3%.

La huella hídrica total para los años 1989, 1999, y 2005 fue de 251,6m³/ton, 252,25m³/ton y 277,98m³/ton respectivamente. Debido a la zona y a sus condiciones climáticas como también a los requerimientos hídricos del cultivo se observa un predominante suministro de agua azul en los 3 años analizados. Para el año 2005 se aprecia una mayor huella hídrica debido al incremento en la superficie sembrada.

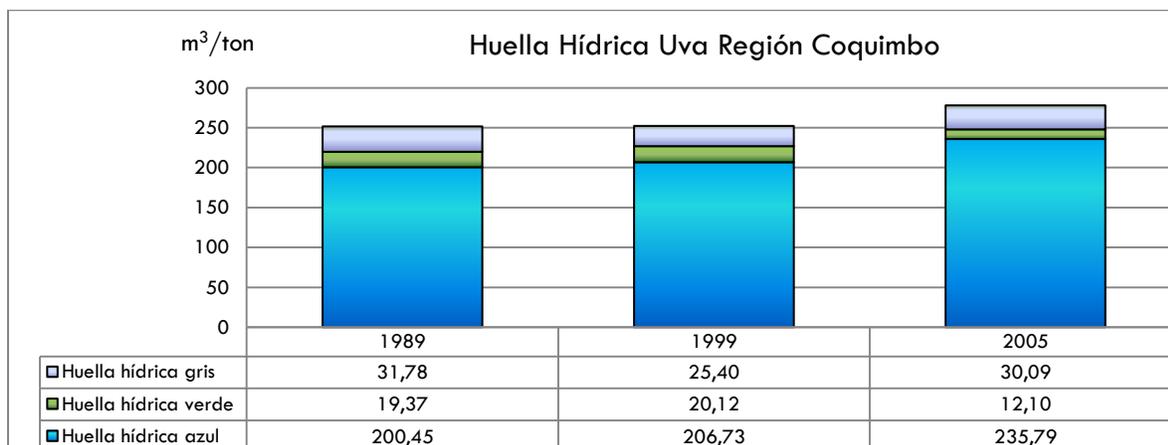


Figura A-A-4: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la Uva en la región de Coquimbo.

El año 1999 hay una disminución de la huella hídrica gris en comparación al año 1989 debido a que para superficie relativamente similares, en el año 1999 se obtuvo un rendimiento mucho mejor, lo que significa que el nitrógeno utilizado se disolvió en un mayor número de toneladas producidas arrojando un valor menor de huella hídrica gris.

A.1.3. Huella Hídrica Región de Valparaíso

En la Región de Valparaíso la superficie destinada a Uva de Mesa el año 1989 fue de 12.080ha, en el 2002 fue de 8.419,3ha y el 2008 aumento nuevamente a 10.256,2ha. El rendimiento en el año 1989 fue 12,09ton/ha, de 18ton/ha el 2002 y el 2008 de 22,9ton/ha.

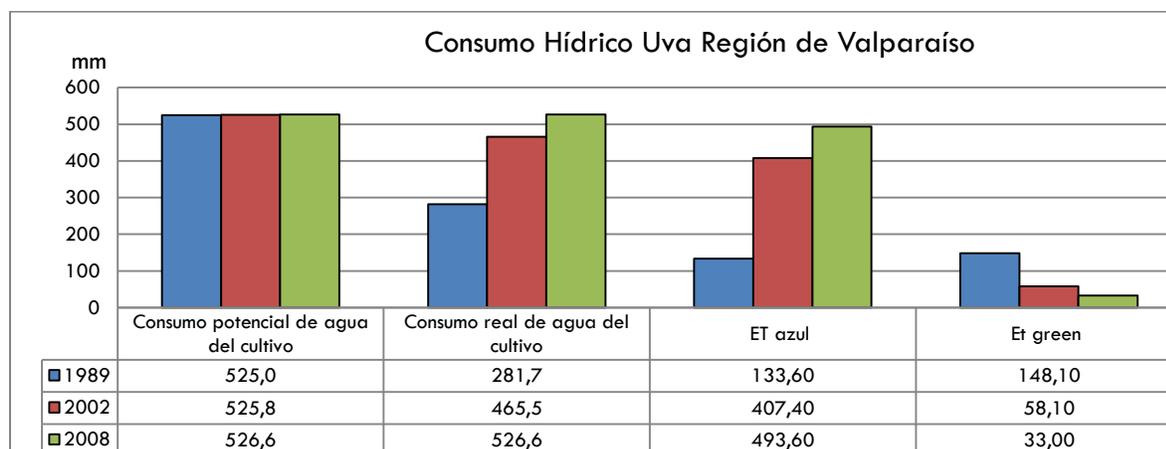


Figura A-A-5: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región de Valparaíso

Para la Región de Valparaíso el consumo potencial del agua es casi igual en los 3 años estudiados. Sin embargo el consumo real va en aumento, esto se debe a un incremento en la producción y por ende en una mayor demanda hídrica que es abastecida especialmente de agua azul en el año 2008.

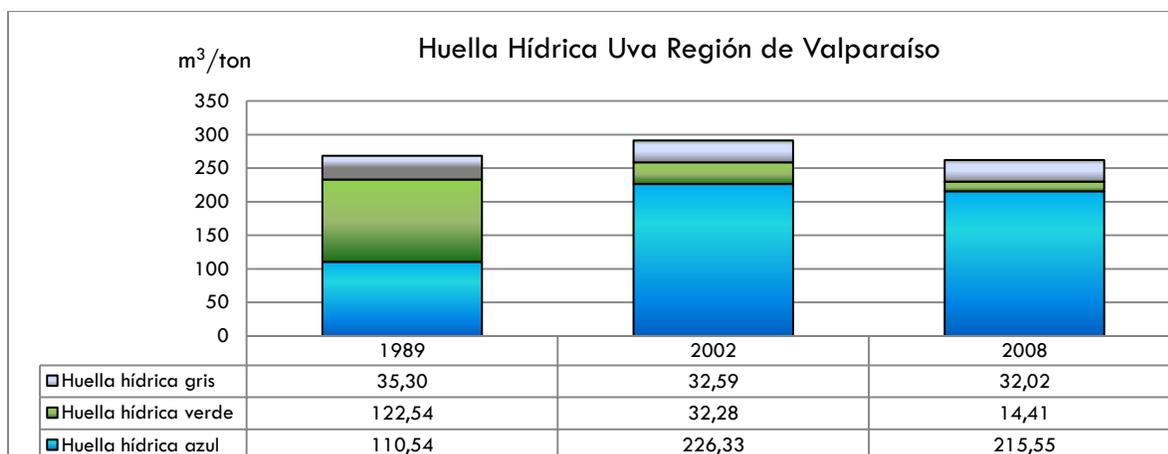


Figura A-A-6: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la Uva en la región de Valparaíso.

La huella hídrica de la Uva de Mesa en los años 1989, 2002 y 2008 es de 268,38m³/ton, 291,2m³/ha, 261,98m³/ha respectivamente. Siendo en 1989 muy importante la huella hídrica proveniente del agua verde, a diferencia de los otros años estudiados en que va perdiendo importancia considerable, debido posiblemente a la disminución de las precipitaciones en la zona. Por otro lado, la huella hídrica el 2002 es mayor a los dos otros años debido a que ese año la superficie sembrada disminuyó en un 30,3%.

A.1.4. Huella Hídrica Región Metropolitana (RM)

En la Región Metropolitana, la superficie y el rendimiento de los años 1989, 1997, 2004 y 2010 son 12.230ha y 15,86ton/ha, 8.859,5ha y 19,5ton/ha, 8.395,5ha y 20,5ton/ha, 8.531,9ha y 23,5ton/ha respectivamente.

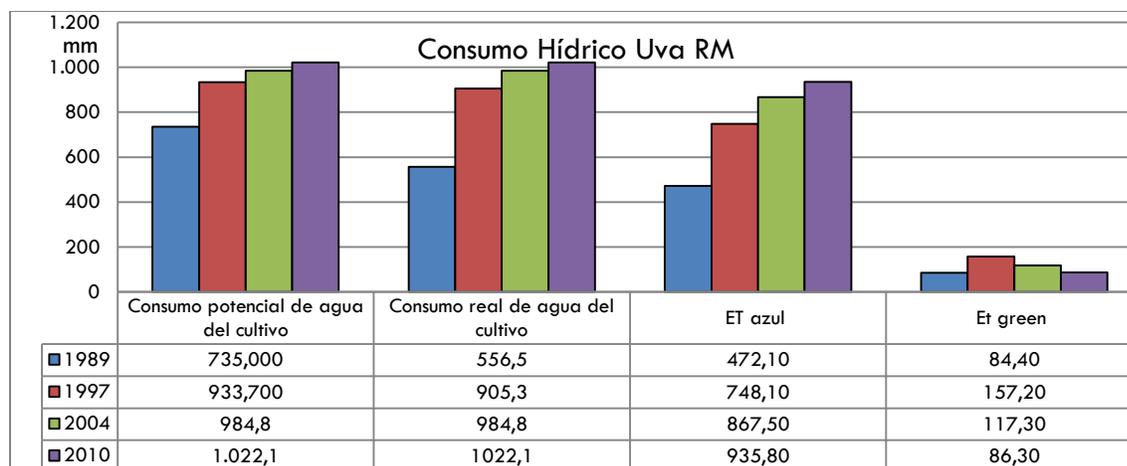


Figura A-A-7: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región Metropolitana

De acuerdo a los valores de rendimiento, el consumo potencial de agua varía año a año. Sin embargo es bastante similar al consumo real excepto en el año 1989.

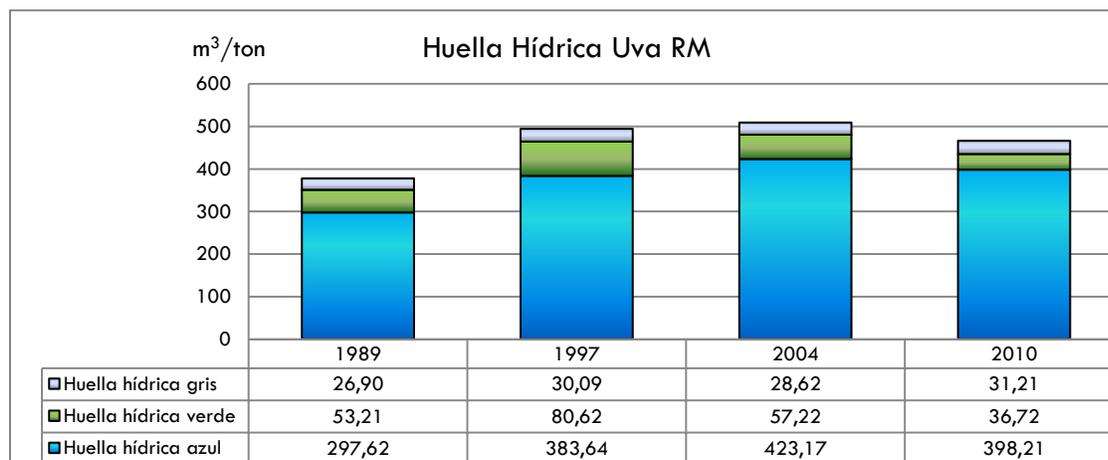


Figura A-A-8: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la Uva en la región Metropolitana.

La huella hídrica total para los 1989, 1997, 2004 y 2010 es 377,73m³/ton, 494,35m³/ton, 509,01m³/ton y 466,14m³/ton respectivamente. En todos los años estudiados existe una mayor influencia del agua azul que del agua verde en el sector, sin embargo en los años 1997 y 2004 se ve un incremento de la huella debido principalmente al aumento de los rendimientos en relación al consumo de agua real de la Uva.

A.1.5. Huella Hídrica Región de O'Higgins

En la Región de O'Higgins, la superficie destinada a Uva de Mesa en los años 1989, 2003 y 2009 es de 8.869 ha, 9.598,3 ha y 11.979,9ha respectivamente. Por otro lado, los rendimientos para los mismo años fueron de 14,43ton/ha, 21,2ton/ha y 24,5ton/ha.

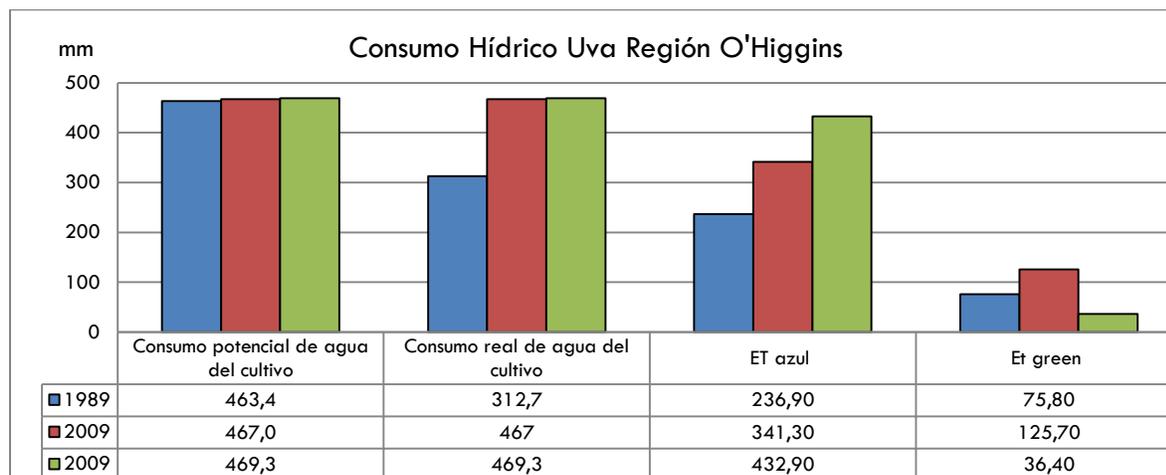


Figura A-A-9: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región del Libertador Bernardo O'Higgins

La Uva presenta un bajo nivel de consumo real de agua el año 1989 en relación al consumo potencial de agua debido probablemente al menor rendimiento obtenido.

La huella hídrica total de la Uva para los años estudiados fue de 246,23m³/ton (1989), 247,95m³/ton (2003) y 221,48m³/ton (2009). Si bien el 2003 y el 2009 tienen un consumo real de agua casi similar, la diferencia en sus rendimientos provoca una disminución en la huella hídrica del año 2009.

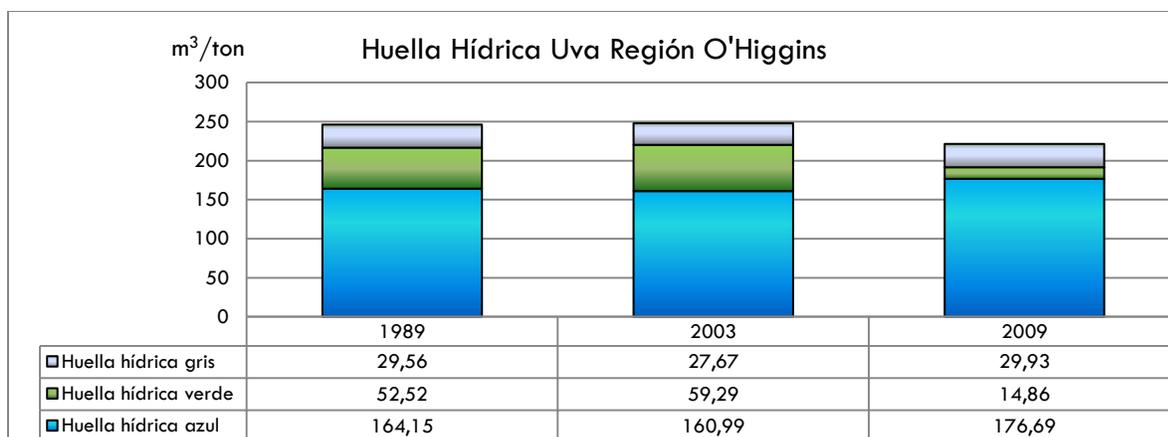


Figura A-A-10: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la Uva en la región del Libertador Bernardo O'Higgins.

A.1.6. Huella Hídrica Región del Maule

En la Región del Maule la superficie destinada a Uva fue 1.783 ha y no se cuenta con información del rendimiento. Para el año 2001 la superficie fue de 397,4ha y el rendimiento de 18,3ton/ha. El último año estudiado, el 2007 tuvo una superficie de 257,1ha y un rendimiento de 13,8ton/ha.

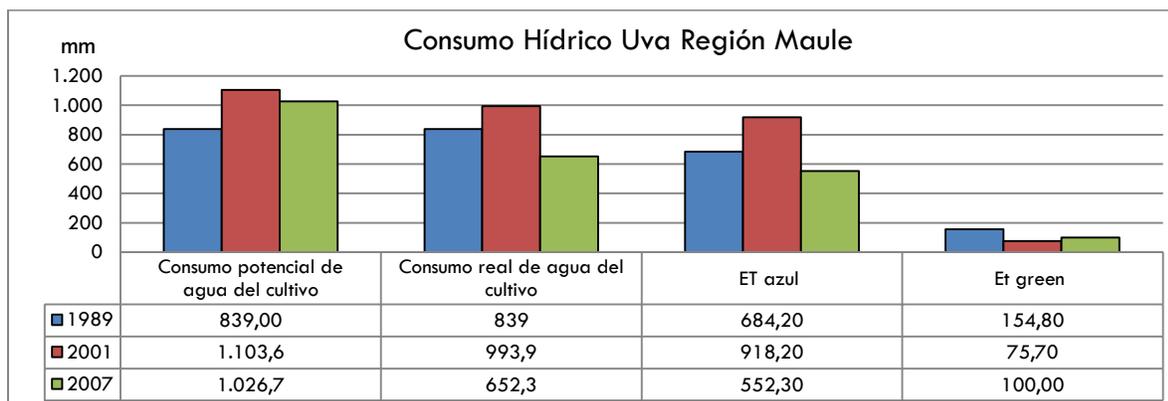


Figura A-A-11: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región del Maule.

El consumo real de agua aumento en 15,6% del año 1989 a 2001, y disminuyó en 34,4% del año 2001 a 2007.

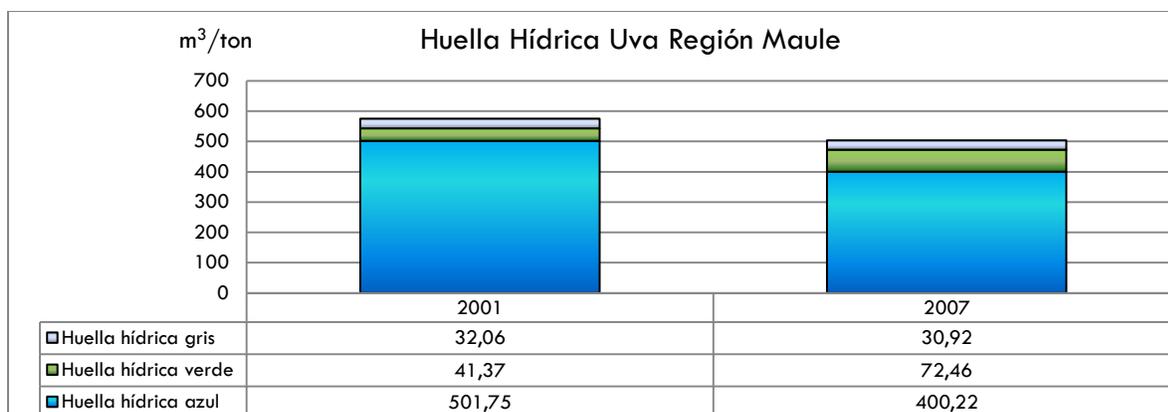


Figura A-A-12: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la Uva en la región del Maule.

La huella hídrica total para el año 2001 es de 575,18m³/ton y 503,6m³/ton el año 2007, produciéndose una disminución en la huella de 12,4%.

A.1.7. Huella Hídrica Región Biobío

La superficie de la Uva en la Región de Biobío disminuye en relación a otras regiones, el año 1989 se obtuvieron 33ha, el 2000 de 7,4ha y el 2006 de 0,9ha. Con respecto a los rendimientos el año 1989 se obtuvieron 2,12ton/ha y el año 2006, 2,5ton/ha, en relación al año 2000 no existe información en este aspecto.

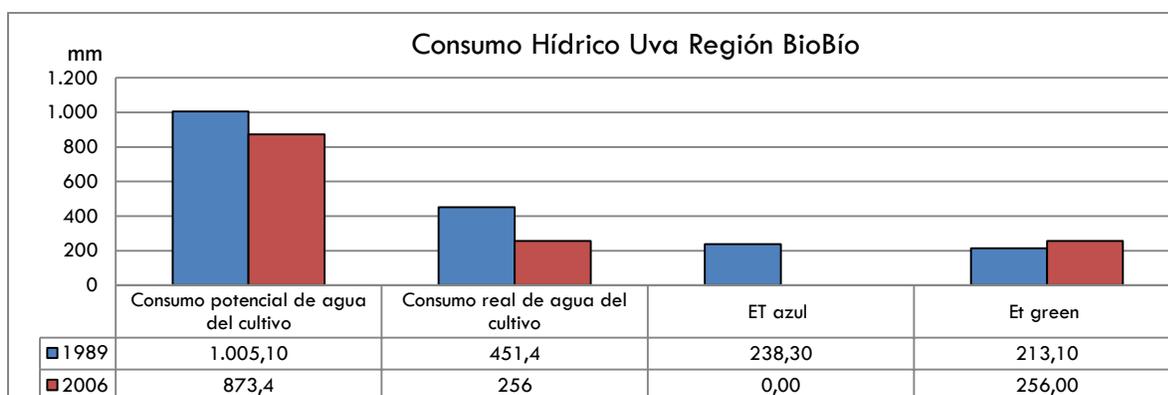


Figura A-A-13: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Uva en la región del Biobío

En esta región toma importancia la evapotranspiración verde, siendo bastante similar a la azul el año 1989 y siendo muy superior el año 2006, en el cual la evapotranspiración azul pasa a ser nula.

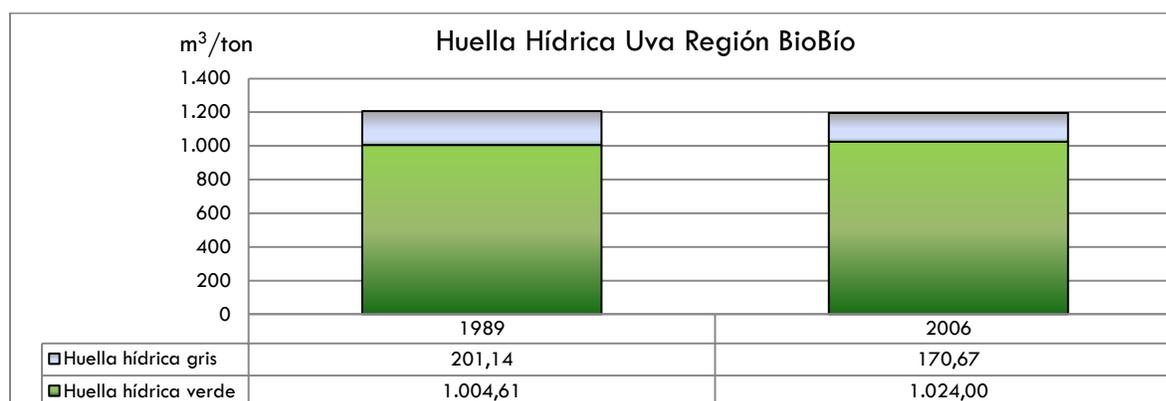


Figura A-A-14: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la Uva en la región del Biobío

La huella hídrica en 1989 es de 1.205,75m³/ha, muy similar a la del 2006 de 1.194,67m³/ha debido a que los rendimientos no cambian mucho a pesar del paso de los años.

De manera paralela se estimó la huella hídrica de la Uva de mesa en el 2007 para realizar un análisis comparativo de las huellas hídricas de cultivos y frutales, estableciendo un parámetro temporal determinado. Para el estudio de huella hídrica de la Uva de mesa se considera desde la Región de Atacama hasta la Región de O'Higgins, debido a que solo en esas regiones se concentra el 99,4% de la producción de la Uva de mesa de Chile. La superficie total de Chile en producción de la Uva de mesa el año 2007 fue de 53.094,86ha, de las cuales 52.796,37ha se encuentran en las regiones estudiadas. En la Figura siguiente, se aprecia como esa superficie es distribuida entre las regiones estudiadas.

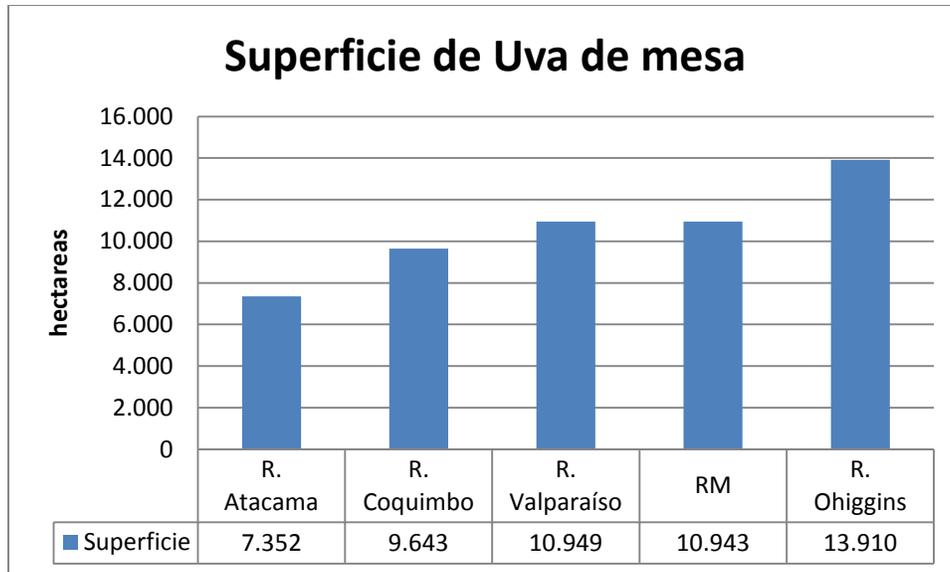


Figura A-A-15: Superficie de la Uva de mesa en las regiones con producción de Chile.

En la Figura A-A-16, se aprecia los rendimientos obtenidos en la Uva de mesa para cada región estudiada, así se puede indicar que la Región de Coquimbo presenta el menor rendimiento en Uva de mesa y la Región de O'Higgins y Metropolitana el mayor rendimiento.

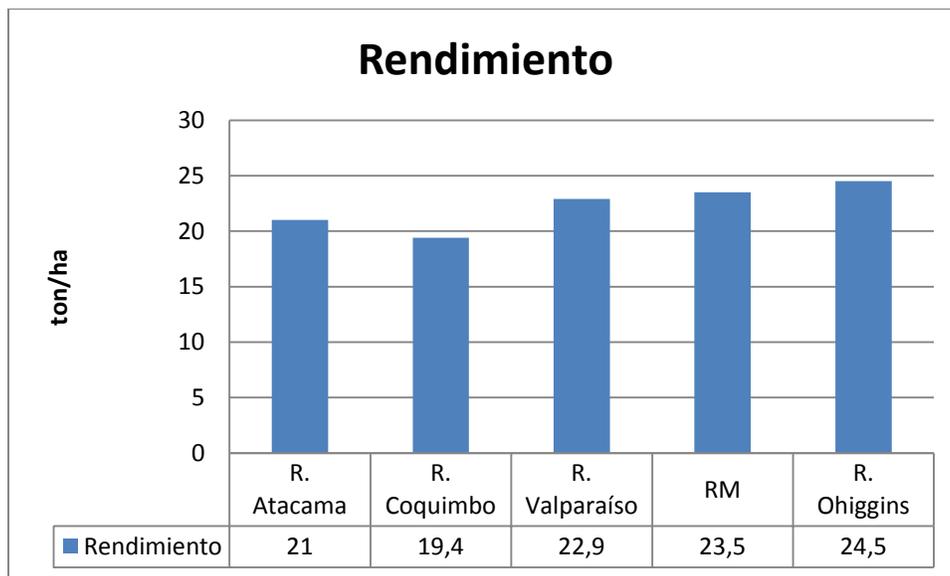


Figura A-A-16: Rendimiento de la Uva de mesa en las regiones con producción de Chile

En la Figura A-A-17, se aprecia que los consumos potenciales y reales de la Uva de mesa son similares en todas las regiones estudiadas el año 2007 y que de acuerdo a las condiciones del cultivo en cada región, el porcentaje de consumo representado por agua azul y verde varía en cada región. De acuerdo a la Figura, se desprende que en la Región de Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins el agua azul corresponde al 99,5%, al 96,6%, al 89,9%, al 86,5 y al 87% respectivamente, por lo tanto para las mismas regiones el agua verde representa el 0,5%, 3,4%, el 10,1%, 13,5% y el 13% respectivamente.

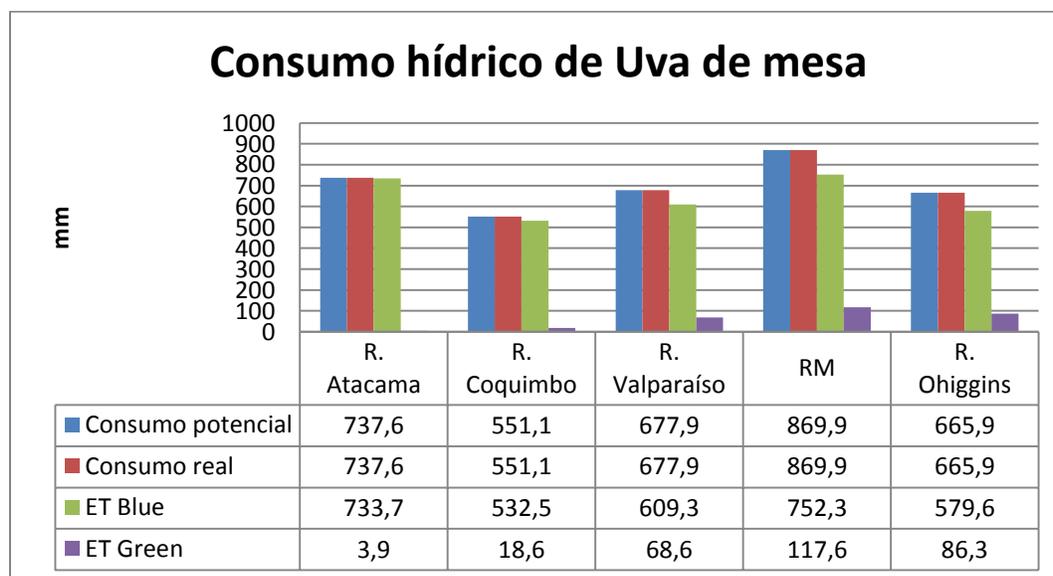


Figura A-A-17: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde.

Se estimó que la huella hídrica de la Uva de mesa varía en cada región, adquiriendo mayor o menor importancia la participación del agua verde, azul y gris. Como se aprecia en la Figura, el mayor valor de huella hídrica lo presenta la Región Metropolitana donde el consumo de agua azul representa el 80% de la huella, el agua verde el 12,5% y el agua gris el 7,5%, sin embargo el mayor valor de huella hídrica azul lo posee la producción de la Región de Atacama, donde el agua azul representa el 91,8% de la huella. A su vez el menor valor o menor volumen de agua utilizada en la producción de la Uva de mesa corresponde a la Región de O'Higgins así como el menor valor de agua azul.

Los mayores y menores valores de huella hídrica obtenidos en las distintas regiones para la Uva de mesa indica los volúmenes de agua utiliza y el tipo de agua utilizada en la región, para reconocer si una huella hídrica es mejore respecto a otra se debe conocer los recursos hídricos disponibles en la zona.

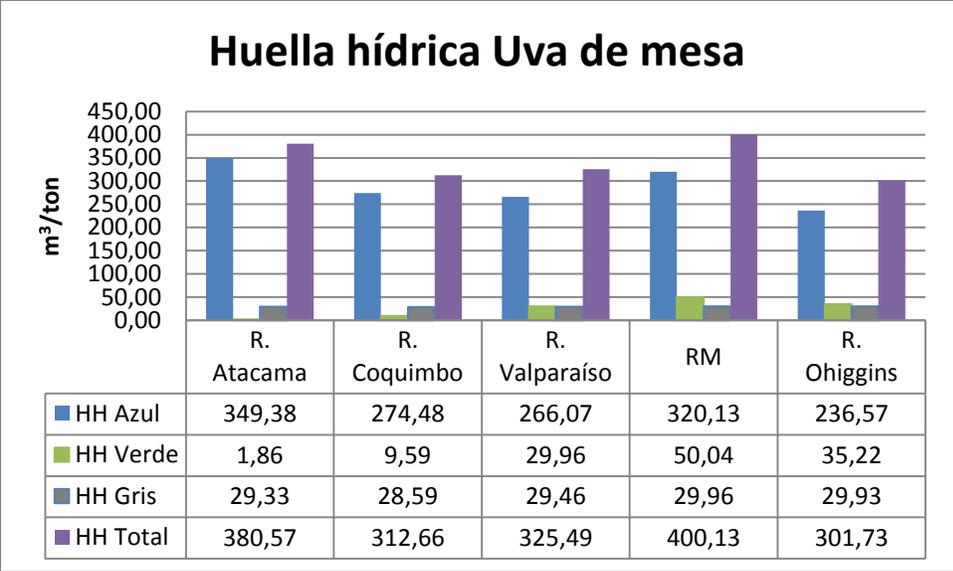


Figura A-A-18: Huella hídrica total, azul, verde y gris de la Uva de mesa, para cada región de Chile

De acuerdo a los valores de huella hídrica estimados se obtuvo un promedio de huella hídrica de la Uva de mesa en Chile, el cual corresponde a $344,12\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor $289,33\text{m}^3/\text{ton}$ representan la huella hídrica azul, $25,33\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica verde y $29,46\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica gris. Por otro lado, Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), indican que la huella hídrica de la Uva de mesa a nivel mundial corresponde a $506\text{m}^3/\text{ton}$, valor del cual $85\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $367\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $54\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. Como se aprecia en la Figura A-A-19, la huella hídrica de la Uva de mesa en Chile corresponde al 68% de la huella hídrica mundial, a su vez la huella hídrica azul de Chile sobrepasa en un 240% a la huella hídrica azul mundial y la huella hídrica verde y gris de Chile corresponden al 6,9% y 54,5% respectivamente del valor mundial.

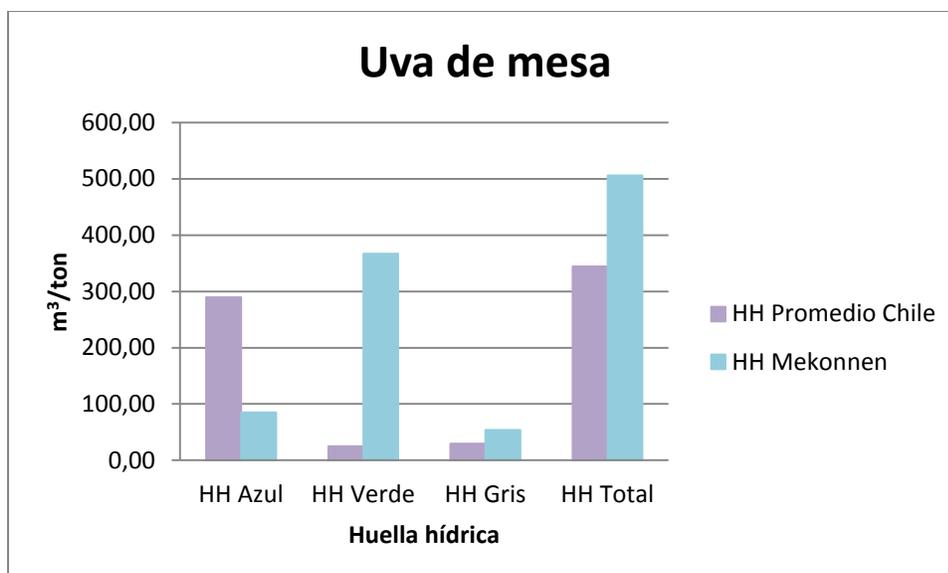


Figura A-A-19: Comparación entre la huella hídrica de la Uva de Mesa en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).

A.2. Duraznero (*Prunus Persica*).

Especie frutal caducifolia cuyo fruto denominado drupa posee un mesocarpio carnoso, un endocarpio leñoso con una semilla en su interior, piel aterciopelada para el caso del durazno y lisa para el caso del nectarino, ambos pueden presentar un fruto con pulpa separada del hueso o estar adherida al mismo, estos últimos son utilizados preferentemente por la industria (INIA, 2007).

Según los datos analizados de CIREN la producción de durazno se concentra en las regiones de Valparaíso, O'Higgins y Metropolitana; para el año 2006 más del 95% de la superficie plantada a nivel nacional se encontraba en dichas regiones, alcanzando las 7.326 hectáreas para ese año (INIA, 2007).

El duraznero es una especie frutal que requiere climas con inviernos lluviosos y de bajas temperaturas para su acumulación de horas frío (600-800 horas), como también de veranos secos y calurosos para un correcto desarrollo productivo, donde las temperaturas óptimas para un buen crecimiento se encuentran entre los 21 a 27°C. Es en los inicios de la primavera donde aparecen las necesidades hídricas iniciales de la especie frutal, debido al desarrollo de follaje y a la mayor demanda evaporativa de la atmósfera, los requerimientos de agua generados por la evapotranspiración se incrementan progresivamente, en función de las variables climáticas, llegando un máximo durante la fructificación (Lemus, 1993).

Dependiendo de la localidad en la cual se encuentren las plantaciones de durazno, los requerimientos netos de agua de un huerto adulto fluctúan entre los 6.652 m³/ha hasta los

11.406 m³/ha en un año productivo, estas necesidades hídricas fueron obtenidas en función de la evapotranspiración real de la especie durante su ciclo productivo (Lemus, 1993).

La información de la superficie en producción del durazno para fresco y los rendimientos por hectárea están a nivel regional, los resultados de la huella hídrica total y de sus distintos componentes se hará a continuación para cada región estudiada.

A.2.1 Huella Hídrica Región de Atacama

Para la Región de Atacama la superficie sembrada con Durazno en el año 1989 fue de 32ha, el año 1999 se tenían 3,6ha y el año 2005 subieron a 1,2ha. En relación a los rendimientos obtenidos el año 1989 se obtuvo 9,38ton/ha, para el año 1999 se obtuvo 11,8ton/ha, mientras que en el año 2005 se consiguió 16,7ton/ha. Los resultados de la huella hídrica total y de sus distintos componentes se presentan a continuación.

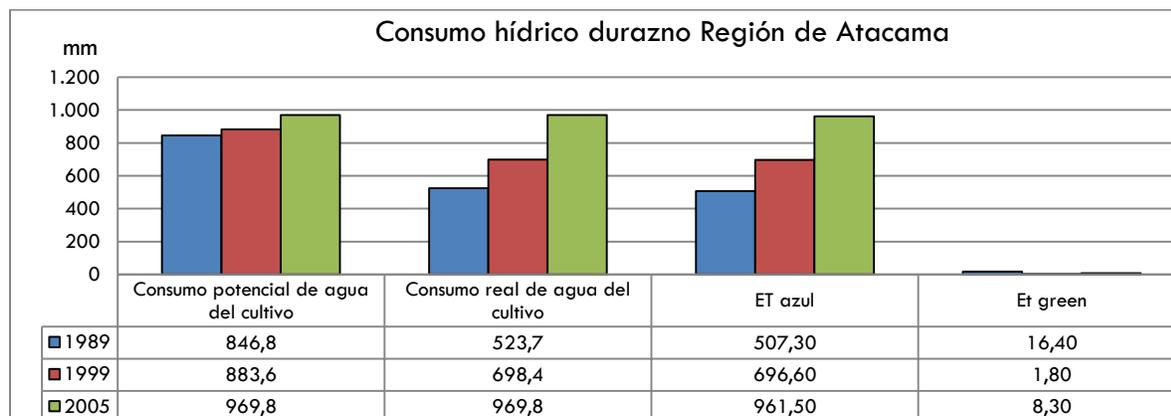


Figura A-A-20: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región de Atacama

En la Figura se aprecia un incremento en el consumo potencial y real del cultivo, el primero se debe a una mayor demanda evaporativa de la atmósfera, mientras que el segundo se debe a aumentos en el consumo hídrico debido a incrementos en la producción. Para esta región los requerimientos de agua se abastecen fundamentalmente con agua de riego que corresponde al agua azul, el agua verde corresponde solo al 3% del consumo real para 1989, mientras que para los años 1999 y 2005 no alcanza el 1%.

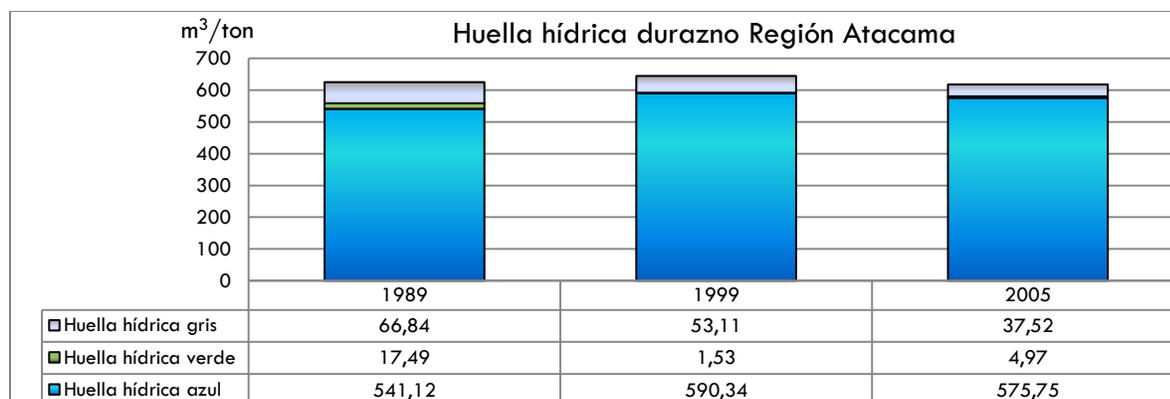


Figura A-A-21: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del durazno en la región de Atacama.

La huella hídrica del durazno para los años 1989, 1999 y 2005 fue de 625,45 m³/ton, 644,98 m³/ton y 618,24 m³/ton respectivamente. A pesar de que el año 2005 posee el mayor consumo real de agua para la especie frutal (446,1 mm más que 1989), es el año con menor huella hídrica, esto se debe principalmente al incremento en los rendimientos por hectárea (de 9,38 ton/ha en 1989 a 16,7 ton/ha para el año 2005), lo que redundó en un aumento en la productividad en el uso del agua por tonelada de producto generado.

Para la huella hídrica gris se consideró una dosis referencial de nitrógeno de 94 kg/ha para un rendimiento esperado de 15ton/ha³⁸, con una eficiencia de fertilización del 65% (Rodríguez, 1992). Esta dosis fue para los 3 años estudiados, sin embargo es de esperar que a menores rendimientos menores dosis de fertilizante son usadas siempre y cuando la productividad este en los rangos estándares de producción.

A.2.2 Huella Hídrica Región de Coquimbo

En esta región las superficies para los años 1989, 1999 y 2005 fueron 140ha, 115,1ha y 47,9 ha respectivamente. Sin embargo los rendimientos obtenidos fue de 9,29ton/ha, 10,6ton/ha y 12,9ton/ha para los mismo años.

³⁸ Dada la bibliografía consultada 15 ton/ha corresponde al rendimiento mínimo esperado y por ende a la dosis mínima aplicada. Valores inferiores a 15 ton/ha tendrán para este estudio, la dosis de referencia mínima que corresponde a 94 Kg/ha.

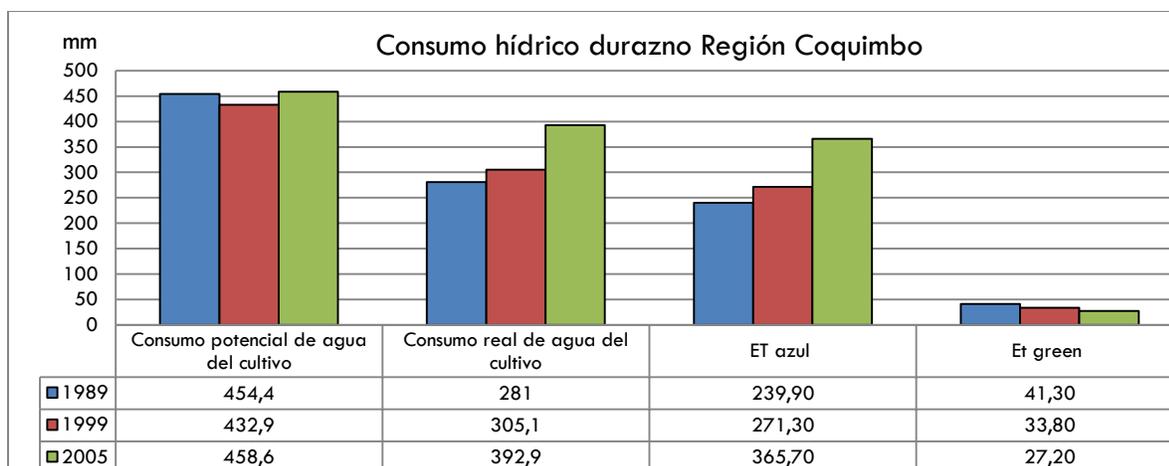


Figura A-A-22: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región de Coquimbo.

Para la región de Coquimbo se observa un consumo potencial estable y sin cambios significativos, la reducción experimentada en 1999 es de un 4,7% si se compara con 1989 y de un 5,6% si se compara con el año 2005. Sin embargo para el consumo real de agua se experimenta una tendencia alcista donde el incremento para el año 2005 es de un 28,7% si se compara con 1999, esto es debido a un incremento en la evapotranspiración de referencia que se asocia a mayores demandas evaporativas de agua por la atmósfera, como también al incremento en los rendimientos por hectárea que pasaron de 10,6 ton/ha en 1999 a 12,9 ton/ha para el año 2005.

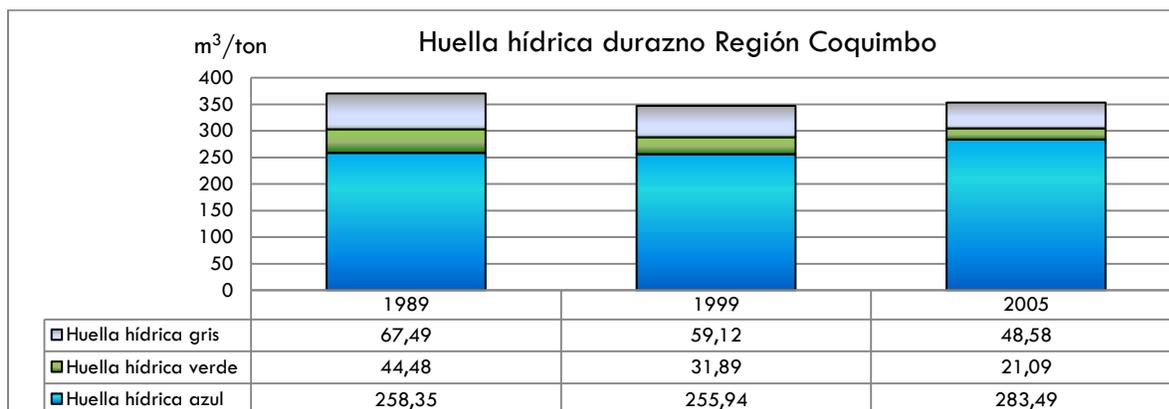


Figura A-A-23: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del durazno en la región de Coquimbo.

La huella hídrica total para los años 1989, 1999 y 2005 fue de 370,32 m³/ton, 346,95 m³/ton y 353,16 m³/ton respectivamente. En el gráfico se expone una tendencia alcista en el consumo de agua azul, como también una disminución progresiva del agua verde cuyo valor para el año 2005 es un 50% si se compara con el año 1989. El incremento en el consumo real en el 2005

es debido a una mayor producción pero este se compensa por un incremento en los rendimientos por hectárea para ese año.

Para el valor de la huella hídrica gris se consideró una dosis de nitrógeno de 94 kg/ha para un rendimiento de 9,29 ton/ha, con una eficiencia de fertilización del 65%. La dosis utilizada corresponde al valor referencial requerido para un rendimiento mínimo esperado de 15 ton/ha, como la dosis es proporcionalmente mayor a la necesaria dado los rendimientos reales, el valor de la huella hídrica gris para 1989 tiene el mayor valor de todos los años estudiados. Para los años 1999 y 2005 ocurre lo mismo pero en menor proporción, debido a que los rendimientos obtenidos (10,6 ton/ha y 12,9 ton/ha) no alcanzan las 15 ton/ha que es el rendimiento para la dosis mínima referencial. Finalmente es importante agregar que debido a que imprecisiones en la dosis de referencia utilizada, no es posible hacer un análisis que asocie mayores rendimientos a una mayor huella gris, esta relación era observable en el cultivo de avena, sin embargo se contaban con valores más precisos de dosis referenciales por rendimientos esperados.

Si se comparan estos valores con la Región de Atacama se observa que son aproximadamente un 40% más bajos, esto es debido a la estación meteorológica utilizada, su localización y a las variables climáticas que determinan la evapotranspiración de referencia simulada. Estos factores son determinantes en el cálculo de la huella hídrica y sus distintos componentes, debido a que las variables climáticas utilizadas determinarán la demanda evaporativa de la atmósfera que está directamente relacionada con el consumo hídrico del cultivo o especie frutal por evapotranspiración. Sin embargo como se estudian años distintos usando la misma fuente de datos climáticos para cada región en particular, no es posible hacer un análisis de tendencia y comparar los distintos valores de huella hídrica estimados.

A.2.3 Huella Hídrica Región de Valparaíso

La Región de Valparaíso durante los años 1989, 2002 y 2008 destino como superficie para el durazno 858ha, 436,6ha y 406,1ha respectivamente con un rendimiento de 11,71ton/ha, 21,7ton/ha y 19,5ton/ha.

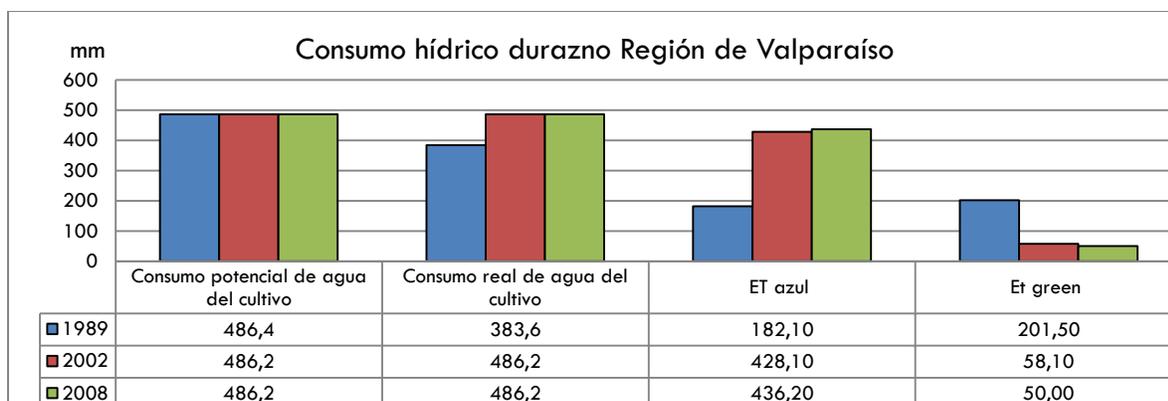


Figura A-A-24: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región de Valparaíso.

Para la Región de Valparaíso se observa un consumo potencial sin cambios para los 3 años estudiados, esto se debe principalmente a la fuente de los datos climáticos utilizados para determinar la evapotranspiración de referencia, cuya procedencia a excepción de la temperatura y precipitaciones, corresponde a la base de datos CLIMWAT 2.0 de FAO. El consumo real de agua para la especie frutal se debe a que en los años de estudio existe un incremento en la producción, lo que lleva a un mayor consumo de agua azul en desmedro del agua verde que disminuye su participación.

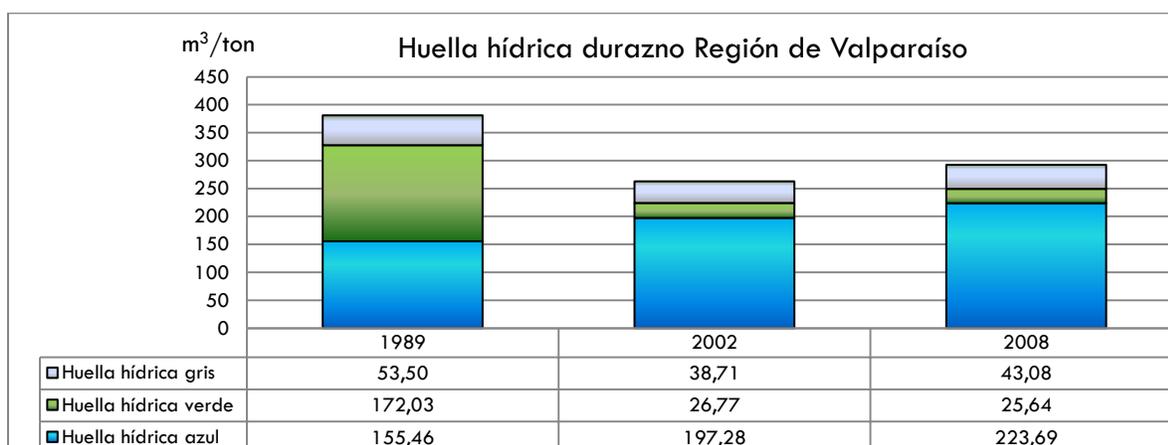


Figura A-A-25: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del durazno en la región de Valparaíso.

La huella hídrica total para los años 1989, 2002 y 2008 fue de 380,99 m³/ton, 262,76 m³/ton y 292,41 m³/ton respectivamente. Estos valores calculados están muy subestimados y por debajo de los esperados para la región, debido fundamentalmente a los datos climáticos utilizados provenientes de CLIMWAT 2.0 (FAO). La estimación de la evapotranspiración de referencia cuantifica la demanda evaporativa de agua de la atmósfera y repercute directamente en el valor

de la huella hídrica (FAO, 2006). Como referencia se entregan datos de evapotranspiración del durazno para Quillota y La Ligua, cuyo valor durante la temporada corresponde a 8.647 m³/ha y 6.562 m³/ha respectivamente (Lemus, 1993). Si se transforman los m³/ha a mm obtenemos 864,7 mm para Quillota y 656,2 mm para La Ligua.

Como se estudian años distintos usando la misma fuente de datos climáticos, es posible hacer un análisis de tendencia y comparar los distintos valores de huella hídrica estimados. Para los años 2002 y 2008 existe una importante reducción del agua verde que es compensada con agua azul, esto indica que la producción pasó a ser fundamentalmente suministrada con agua de riego en vez de agua lluvia. El mayor abastecimiento de agua azul en comparación con el año 1989 tiene una directa relación con los rendimientos por hectárea obtenidos en dichos años. Para el primer año de estudio la producción alcanzó el valor de 11,7 ton/ha, el abastecimiento hídrico sin considerar el agua gris, fue de un 47,4% de agua azul y de un 52,6% de agua verde, para el 2002 se obtuvieron 21,7 ton/ha con un 88% de agua azul y un 12% de agua verde, mientras que para el año 2008 se alcanzaron los 19,5 ton/ha con un 89,7% de agua azul y un 10% de agua verde. Finalmente el menor valor de huella hídrica obtenido para el año 2002 se debe principalmente a una mayor productividad en los rendimientos por hectárea, lo que redundó en un menor volumen de agua por tonelada de producto generada.

En los años 1989, 2002 y 2008 se obtuvo un valor de huella hídrica gris de 53,5 m³/ton, 38,71 m³/ton y 43,08 m³/ton respectivamente. Si bien en los 2 últimos años existió un aumento en la producción lo que redundó en una mayor dosis referencial de nitrógeno aplicada, el incremento en los rendimientos por hectárea fue proporcionalmente mayor a la misma, especialmente para el año 2002 que posee la misma dosis que el año 2008, cuyo valor referencial correspondiente a 20 ton/ha es de 126 kilogramos de nitrógeno por hectárea (Rodríguez, 1992).

A.2.4 Huella Hídrica Región Metropolitana

La Región Metropolitana durante los años 1989, 1997, 2004 y 2010 destinó como superficie para el durazno 2655ha, 1335,7ha, 1701,7ha y 1000ha respectivamente con un rendimiento de 10,73ton/ha, 19,5ton/ha, 20,1ton/ha y 25,4ton/ha.

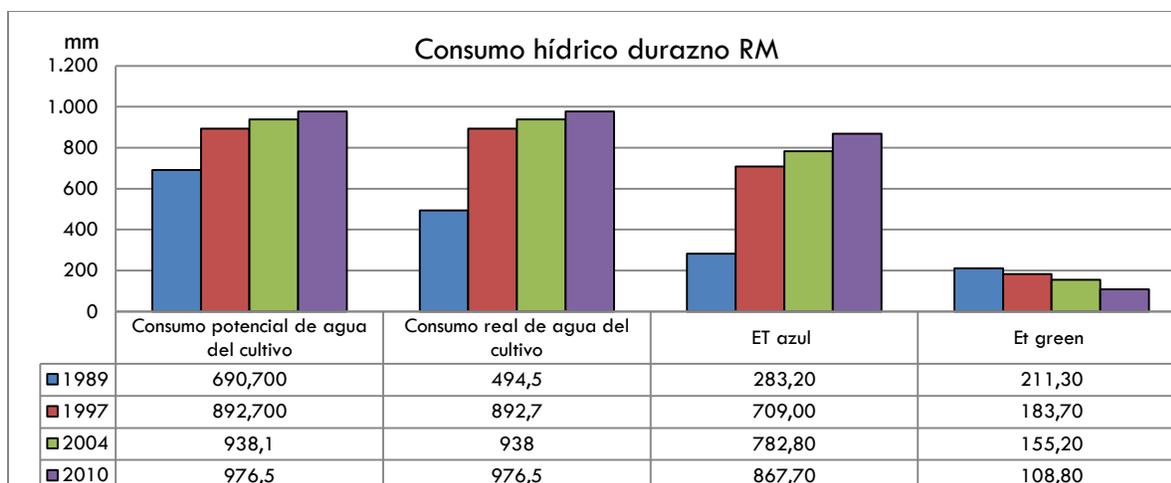


Figura A-A-26: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región Metropolitana.

Es interesante resaltar los datos y valores obtenidos de la región metropolitana de Santiago debido a su completa disponibilidad en todos los años estudiados. En relación a esto es claramente observable una tendencia creciente en los requerimientos potenciales de agua debido a un incremento sostenido en la evapotranspiración de referencia desde 1989 hacia adelante. El consumo real de agua para el durazno alcanza su máximo de acuerdo a la evapotranspiración de referencia, esto tiene relación directa con la producción alcanzada en dichos años. Además del crecimiento en los rendimientos por hectárea existe una mayor dependencia del agua azul y un decrecimiento del consumo de agua verde, por lo que la producción ha tendido a un mayor consumo de aguas superficiales o subterráneas en desmedro de agua provenientes de las precipitaciones anuales almacenadas en el suelo.

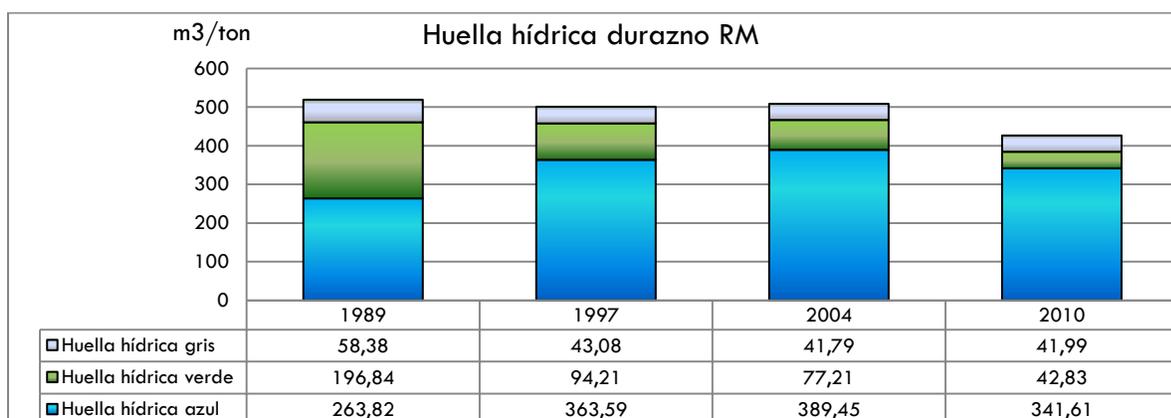


Figura A-A-27: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del durazno en la región Metropolitana.

La huella hídrica total para los años 1989, 1997, 2004 y 2010 fue de 519,04 m³/ton, 500,88 m³/ton, 508,45 m³/ton y 426,43 m³/ton respectivamente. El aumento progresivo de huella hídrica azul, se debe a una mayor utilización de aguas superficiales o subterráneas en el riego, ya que al aumentar la producción es necesario tener un mayor control y entrega de los recursos hídricos para abastecer las demandas de agua de los cultivos y especies frutales. Es interesante señalar que el crecimiento constante en el consumo real de agua (expuesto en la Figura de consumo hídrico), no se ve reflejado en los resultados de huella hídrica total, esto es debido principalmente a que el mayor consumo hídrico experimentado en los años estudiados, estuvo acompañado de mayores rendimientos por hectárea alcanzados, el volumen de agua utilizado generó una mayor cantidad de producto obteniéndose así huellas hídricas relativamente constantes, a excepción del año 2010 cuyo aumento en los rendimientos fue en magnitud mucho mayor los consumos reales de agua, esto generó una disminución en la huella hídrica que se puede asociar a una mayor productividad en el uso del agua, ya que se produce más con menos cantidad de agua por unidad de producto.

La huella hídrica gris para 1989, 1997, 2004 y 2010 fueron de 58,38 m³/ton, 43,08 m³/ton, 41,79 m³/ton y 41,99 m³/ton respectivamente, cuyo valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para 1989 se utilizó la dosis mínima de la bibliografía, cuyo valor es de 94 kg/ha de nitrógeno para un rendimiento esperado de 15 ton/ha (Rodríguez, 1992), sin embargo en ese mismo año, los rendimientos alcanzados fueron de 10,7 ton/ha, lo que implicó en un mayor valor de huella hídrica por tonelada asociado a la fertilización. Para los años 1997 y 2004 se obtuvieron 19,5 ton/ha y 20,1 ton/ha respectivamente, por lo que se utilizó una dosis referencial de 126 kg/ha para un rendimiento esperado de 20 ton/ha. Finalmente para el año 2010 se alcanzó un rendimiento de 25,4 ton/ha, la dosis referencial de nitrógeno utilizada fue de 160 kg/ha para 25 ton/ha.

A.2.5 Huella Hídrica Región de O'Higgins

La Región de O'Higgins durante los años 1989 y 2009 destino como superficie para el durazno 2026ha y 1665,6ha respectivamente con un rendimiento de 10,32ton/ha, y 29,4ton/ha.

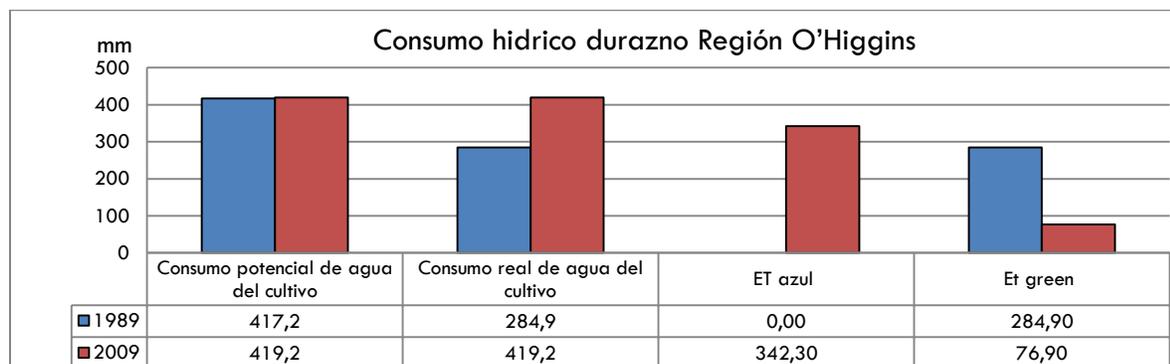


Figura A-A-28: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región de O'Higgins.

Para la Región de O'Higgins se observa un consumo potencial sin cambios para los 2 años estudiados, esto se debe principalmente a la fuente de los datos climáticos utilizados para determinar la evapotranspiración de referencia, cuya procedencia a excepción de la temperatura y precipitaciones, corresponde a la base de datos CLIMWAT 2.0 de FAO. El consumo real de agua para el año 2009 experimentó un incremento del 47,1% si se compara con 1989, este crecimiento esta explicado principalmente por un aumento en la producción que pasó de 10,37 ton/ha en 1989 a 29,4 ton/ha en el año 2009.

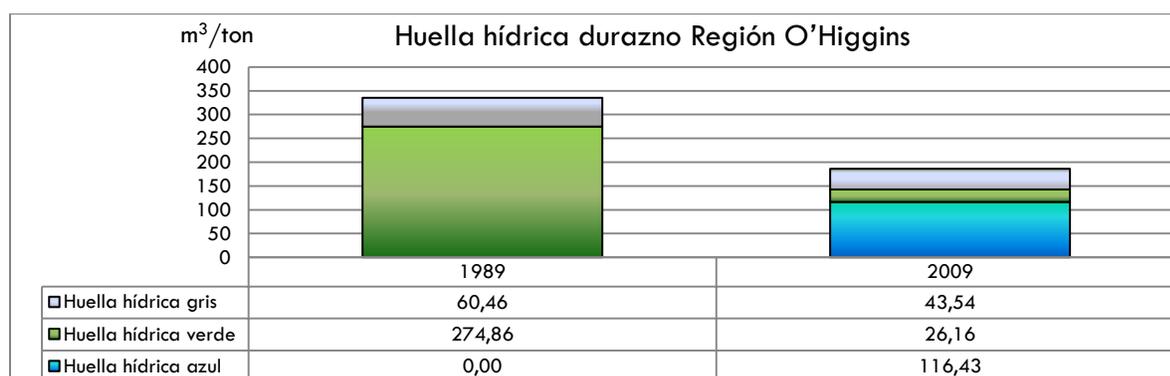


Figura A-A-29: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del durazno en la región O'Higgins.

La huella hídrica total para los años 1989 y 2009 fue de 335,32 m³/ton y 186,13 m³/ton respectivamente. Tales valores calculados están muy subestimados y por debajo de los esperados para la región, debido fundamentalmente a los datos climáticos utilizados provenientes de CLIMWAT 2.0 (FAO). La estimación de la evapotranspiración de referencia cuantifica la demanda evaporativa de agua de la atmósfera y repercute directamente en el valor de la huella hídrica y sus componentes azul y verde. Como referencia se entregan datos de evapotranspiración del durazno para San Fernando y Rancagua correspondientes a 7.832 m³/ha y 9.762 m³/ha respectivamente (Lemus, 1993). Si dichos valores se transforman a mm obtenemos 783,2 mm para San Fernando y 976,2 mm para Rancagua.

Como se estudian años distintos usando la misma fuente de datos climáticos, es posible hacer un análisis de tendencia y comparar los distintos valores de huella hídrica estimados. Para 1989 obtenemos una huella hídrica principalmente de agua verde con ausencia de agua azul, esto puede ser explicado por la baja evapotranspiración de referencia que determina un bajo consumo real de la especie vegetal estudiada, esto sumado a los bajos rendimientos por hectárea obtenidos en el año (10,4 ton/ha), da como resultado que los requerimientos hídricos simulados alcanzan a ser abastecidos por el agua proveniente de las precipitaciones y que queda almacenada en el suelo, que por definición corresponde al agua verde. Para el año 2009 en cambio, la única diferencia está en que los rendimientos por hectárea alcanzaron el valor de 29,4 ton/ha, tal nivel de productividad depende de requerimientos hídricos en etapas críticas

para ser alcanzado, por lo que la simulación entrega un volumen de agua azul y una menor cantidad de agua verde en función de tal nivel de productividad.

La huella hídrica gris para 1989, y 2009 fue de 60,46 m³/ton, 43,54 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para 1989 se utilizó la dosis mínima de la bibliografía, cuyo valor es de 94 kg/ha de nitrógeno para un rendimiento esperado de 15 ton/ha (Rodríguez, 1992), sin embargo en ese mismo año, los rendimientos alcanzados fueron de 10,4 ton/ha, lo que implicó en un mayor valor de huella hídrica por tonelada asociado a la fertilización. Para el año 2009 se obtuvo un rendimiento de 29,4 ton/ha, por lo que se utilizó una dosis referencial de 192 kg/ha para un rendimiento esperado de 30 ton/ha.

A.2.6 Huella Hídrica Región del Maule

La Región del Maule durante los años 1989, 2001 y 2008 destino como superficie para el durazno 58ha, 30,8ha y 14,2ha respectivamente con un rendimiento de 8,97ton/ha, 22ton/ha y 8,8ton/ha.

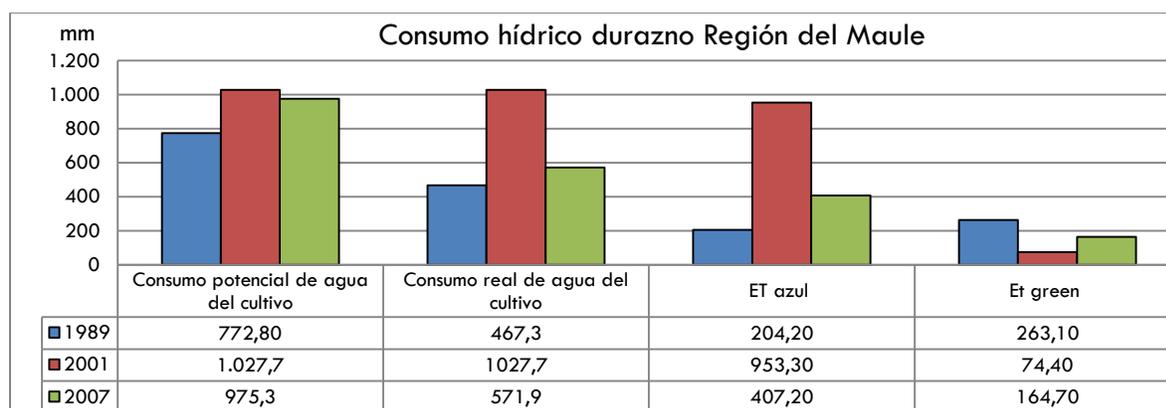


Figura A-A-30: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del durazno en la región del Maule.

Para la Región del Maule es posible observar un aumento en los consumos potenciales como también en los consumos reales de agua en los 2 últimos años, especialmente en el año 2001. Para este año en comparación con los demás existe un consumo real muy elevado influenciado principalmente por la producción alcanzada cuyo rendimiento fue de 22 ton/ha, muy por sobre 8,97 ton/ha y 8,8 ton/ha para los años 1989 y 2007 respectivamente. Al existir una mayor producción que demanda un mayor consumo real de agua, se puede apreciar también que el agua azul incrementa proporcionalmente su importancia relativa, a diferencia del agua verde que disminuye su participación. Mayores rendimientos por hectárea requieren un suministro de agua que cubra sus necesidades hídricas de manera eficiente en todas sus etapas críticas productivas, lo que redundará en un incremento en el consumo de agua superficial o subterránea

por medio del riego (agua azul), en detrimento del agua almacenada en el suelo proveniente de las precipitaciones (agua verde), cuya disponibilidad posee una variabilidad relativamente mayor.

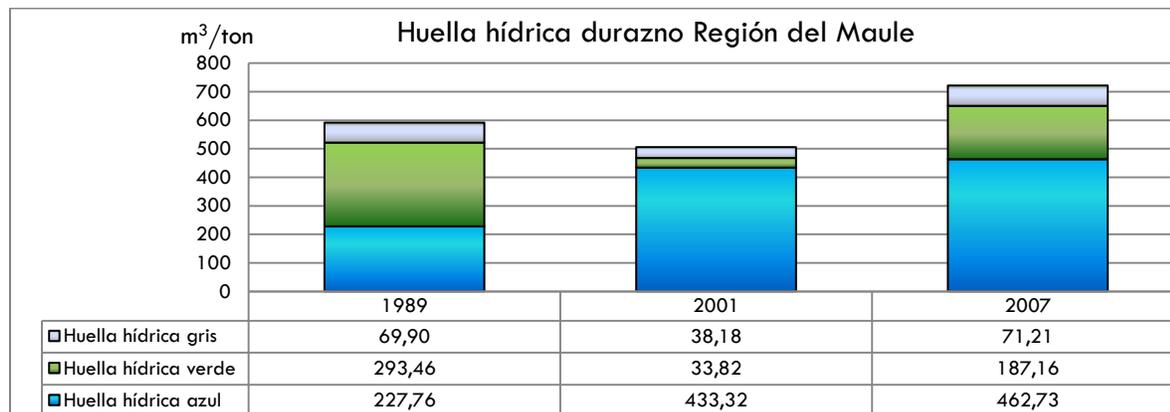


Figura A-A-31: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del durazno en la región del Maule.

La huella hídrica total para los años 1989, 2001, y 2007 fue de 591,12 m³/ton, 505,32 m³/ton y 721,1 m³/ton respectivamente. Para el primer año se distingue un importante abastecimiento de agua verde correspondiente al 49,6% de la huella hídrica y el más bajo de los consumos reales de agua expuesto en el gráfico anterior. Esto puede ser explicado por la menor demanda de agua de la atmósfera y los rendimientos por hectárea alcanzados en ese año (8,97 ton/ha), la especie frutal utilizó un menor volumen de agua en su producción por lo que tal abastecimiento fue principalmente suplido por las precipitaciones de la región. Para el año 2001 el consumo de agua verde se reemplaza casi completamente con agua azul, este último corresponde al 85,7% de la huella hídrica total. Para este año se obtuvo el mayor consumo real de agua y a la vez la menor huella hídrica entre los años estudiados, esto se debe fundamentalmente a los rendimientos por hectárea cuyo valor de fue de 22 ton/ha, tal factor redundó en un menor volumen de agua consumido por tonelada generada, reflejando con esto una mayor productividad en el uso del agua por unidad de masa producida y por ende una menor huella hídrica. Finalmente para el año 2007 existe un incremento en el valor de la huella hídrica en comparación con el año 2001, influenciada por los rendimientos obtenidos (8,8 ton/ha), como también en el valor del consumo real de agua asociado a la evapotranspiración del frutal en las etapas productivas, si bien existe un consumo importante de agua azul (64,1%), también hay una cantidad importante de agua verde en el abastecimiento hídrico (26%) cuya disponibilidad depende exclusivamente de las precipitaciones presentes en la temporada.

La huella hídrica gris para 1989, 2001 y 2007 fue de 69,9 m³/ton, 38,18 m³/ton 71,21 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para 1989 y 2007 se utilizó la dosis mínima de la bibliografía, cuyo valor es de 94 kg/ha de nitrógeno para un rendimiento esperado de 15 ton/ha

(Rodríguez, 1992), sin embargo en tales años, los rendimientos alcanzados fueron de 8,9 ton/ha y 8,8 ton/ha respectivamente, lo que implicó en un mayor valor de huella hídrica por tonelada asociado a la fertilización.

De manera paralela se estimó la huella hídrica del Durazno en el 2007 para realizar un análisis comparativo de las huellas hídricas de cultivos y frutales, estableciendo un parámetro temporal determinado. Para el estudio de huella hídrica del Durazno se considera desde la Región de Coquimbo hasta la Región del Maule, debido a que solo en esas regiones se concentra el 99,28% de la producción de Duraznos de Chile. La superficie total de Chile en producción de Durazno el año 2007 fue de 19.672,61ha, de las cuales 19.530,67ha se encuentran en las regiones estudiadas. En la Figura siguiente, se aprecia como esa superficie es distribuida entre las regiones estudiadas.

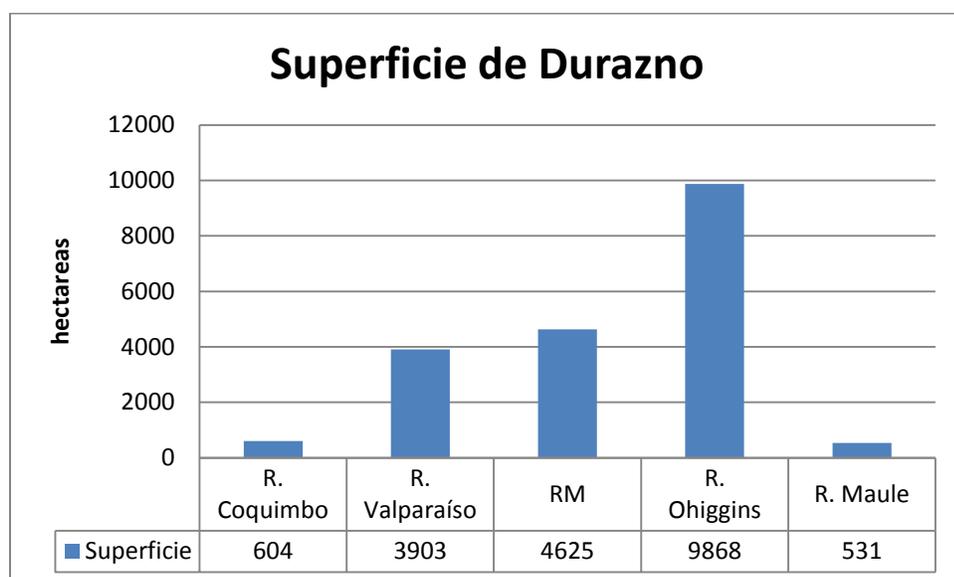


Figura A-A-32: Superficie de Durazno en las regiones con producción de Chile.

En la Figura A-A-33, se aprecia los rendimientos obtenidos en el Durazno para cada región estudiada, así indicar que la Región Coquimbo presenta el menor rendimiento en Palto y la Región de O'Higgins el mayor rendimiento.

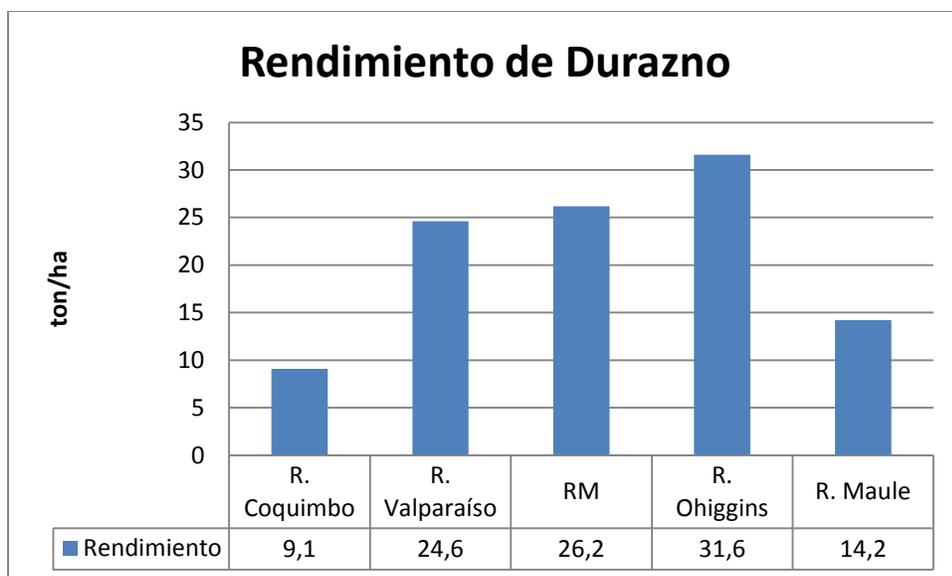


Figura A-A-33: Rendimiento del Durazno en las regiones con producción de Chile.

En la Figura A-A-34, se aprecia que los consumos potenciales y reales del Durazno son similares en todas las regiones estudiadas el año 2007 y que de acuerdo a los condiciones del cultivo en cada región, el porcentaje de consumo representado por agua azul y verde varía en cada región. De acuerdo a la Figura, se observa que en la Región de Coquimbo, de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y el Maule el agua azul corresponde al 97,3%, al 82,8%, al 92,3%, al 89,3% y al 85,5% respectivamente, por lo tanto para las mismas regiones el agua verde representa el 2,7%, el 17,2%, 7,7%, 10,7% y el 14,5% respectivamente.

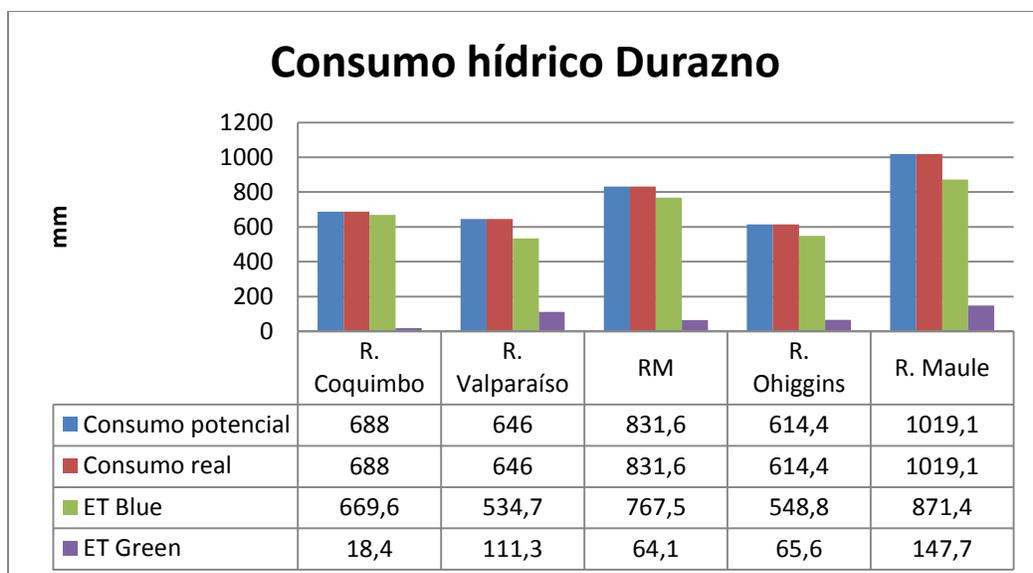


Figura A-A-34: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde

Se estimó que la huella hídrica del Durazno varía en cada región, adquiriendo mayor o menos importancia la participación del agua verde, azul y gris. Como se desprende de la Figura, el mayor valor de huella hídrica lo presenta la Región Coquimbo donde el consumo de agua azul representa el 92,3% de la huella, el agua verde el 2,5% y el agua gris el 5,1%, estos altos valores de huella hídrica están asociados a que esta región posee el peor rendimiento de 9,1ton/ha. A su vez el menor valor de huella hídrica o menor volumen de agua utilizada en la producción de Durazno se da en la Región de O'Higgins; por último la Región del Maule posee el mayor volumen de agua verde.

Es importante destacar de la Figura A-A-35 que los valores de huella hídrica en el Durazno varían drásticamente entre una región y otra, independiente si la región se encuentre en el norte o sur del país.

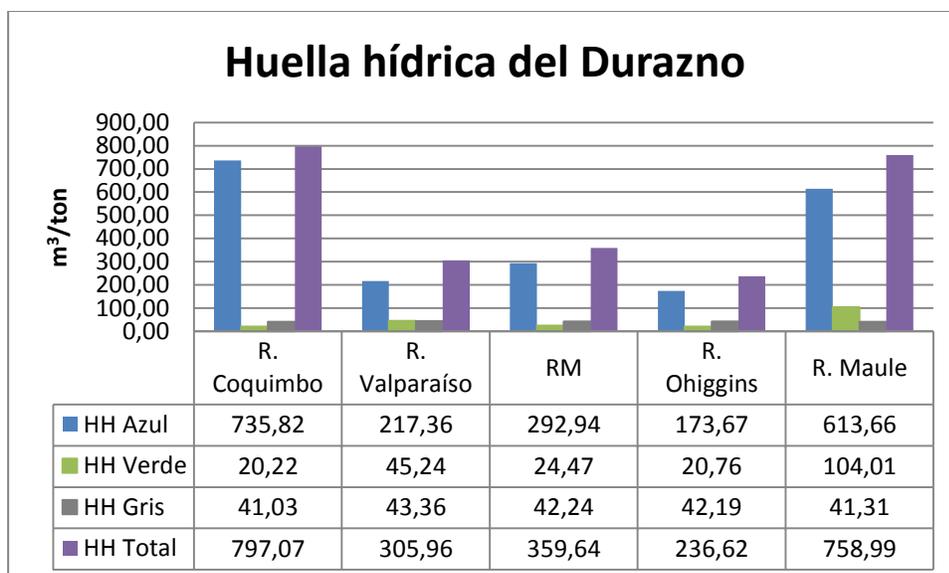


Figura A-A-35: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Durazno, para cada región de Chile.

De acuerdo a los valores de huella hídrica estimados se obtuvo un promedio de huella hídrica del Durazno en Chile, el cual corresponde a $491,66\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor $406,69\text{m}^3/\text{ton}$ representan la huella hídrica azul, $42,94\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica verde y $42,03\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica gris. Por otro lado, Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), indican que la huella hídrica del Durazno a nivel mundial corresponde a $910\text{m}^3/\text{ton}$, valor del cual $188\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $583\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $139\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. Como se aprecia en la Figura A-A-36, la huella hídrica del Durazno en Chile corresponde al 54% de la huella hídrica mundial, a su vez la huella hídrica azul de Chile sobrepasa en un 116% a la huella hídrica azul mundial y la huella hídrica verde y gris de Chile corresponden al 7,4% y 30% respectivamente del valor mundial.

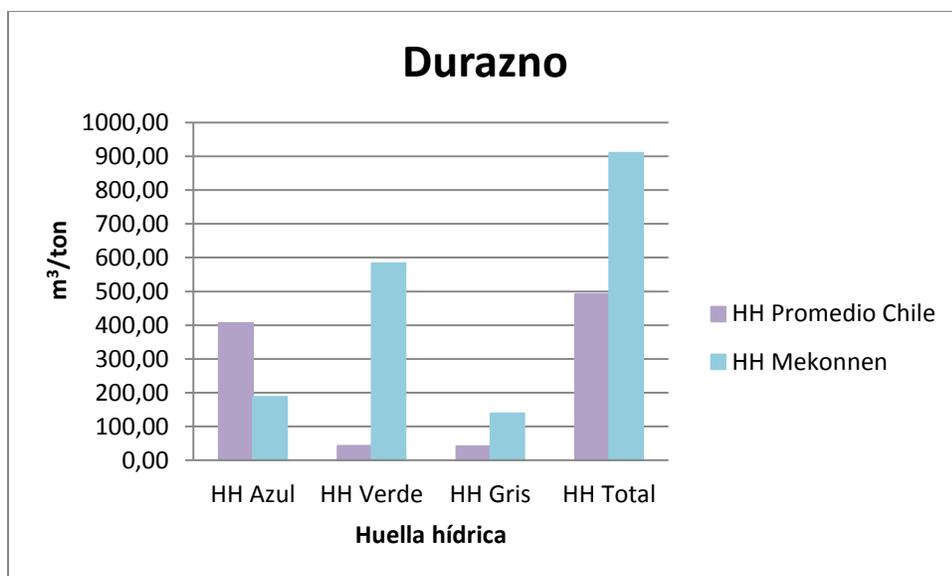


Figura A-A-36: Comparación entre la huella hídrica del Durazno en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).

A.3. Olivo (*Olea europaea*)

El cultivo del olivo está asociado, en general, a zonas de clima mediterráneo que se caracteriza por inviernos, primaveras y veranos calurosos. El requerimiento de frío invernal para florecer se basa en una suave fluctuación de temperaturas entre 2°C y 12,5°C.

El olivo necesita suelos bien drenados y aireados. Es capaz de crecer y producir mejor que otros frutales con pH superior a 7,5 y con altos contenidos de sodio, cloro y boro.

En riego se comporta bien en condiciones de sequía, pues dispone de mecanismos apropiados para ello. Sin embargo, se ha comprobado que la aplicación de agua de riego aumenta considerablemente el rendimiento. Así mismo, el exceso de agua es perjudicial, ya que las raíces son muy sensibles al encharcamiento, especialmente en plantas jóvenes. En un olivar moderno con riego por goteo se requiere de 4000 a 5000 m³/ha de agua en la temporada.

A.3.1 Huella Hídrica Región de Atacama

En la Región de Atacama para los años 1989, 1999 y 2005 las superficies consideradas de Olivo fueron 1215ha, 1080,6ha, 1541,3ha respectivamente y los rendimientos 3,13ton/ha, 3,7ton/ha, 5,5ton/ha.

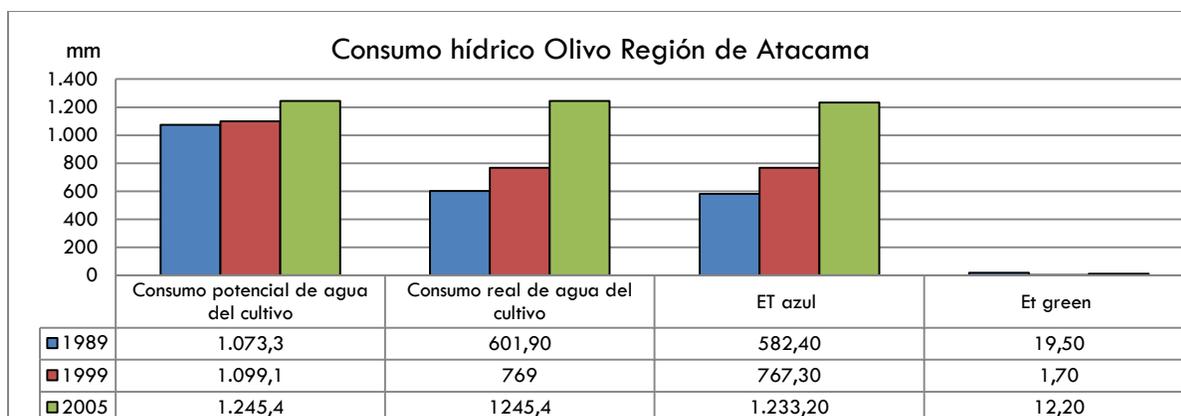


Figura A-A-37: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región de Atacama.

El consumo real del agua ha experimentado un fuerte aumento de un año a otro, muy similar a los aumentos en la evapotranspiración azul, debido al aumento de los rendimientos para los periodos estudiados. Sin embargo el consumo potencial se ha mantenido más o menos estable, salvo para el último año, en que experimento un leve aumento.

Las huellas hídricas obtenidas de 1924,5m³/ton, 2078,37m³/ton y 2264,36m³/ton para los años estudiados, están en su mayoría determinadas por agua azul. Estos valores que presentan un aumento año a año, están asociados a los aumentos en los consumos reales y evapotranspiración azul; por otro lado, los valores de huella hídrica verde asociados a las precipitaciones muy bajas en el sector norte de Chile, presentan una disminución en el año 1999 a 4,59m³/ton, haciendo referencia a las disminución de la evapotranspiración verde ese mismo año.

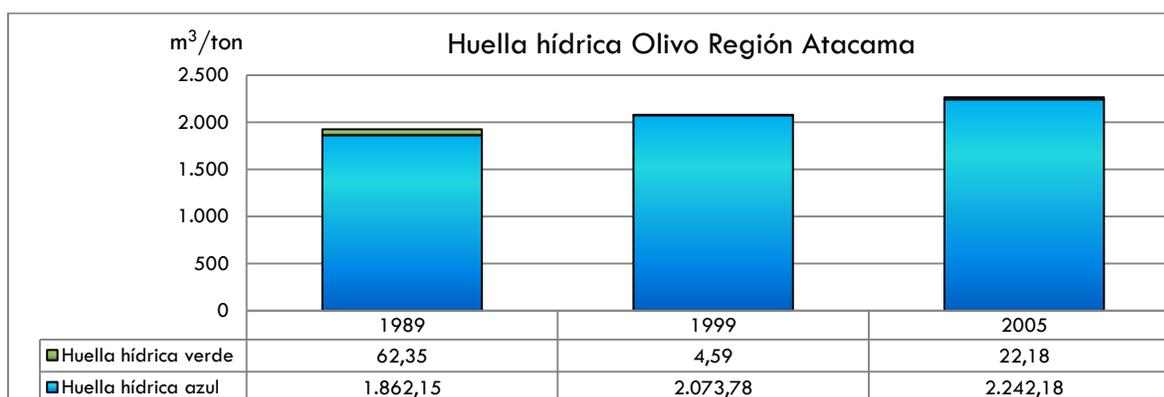


Figura A-A-38: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Olivo en la región de Atacama.

A.3.2 Huella Hídrica de la Región de Coquimbo

En la Región de Coquimbo, la superficie destinada al Olivo para el año 1989 corresponde a 340ha, para 1999 corresponden a 153ha y para el último año 2005 fue de 288,8ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 1,41ton/ha, 5,8ton/ha y 4,5ton/ha para los años 1989, 1999 y 2005 respectivamente.

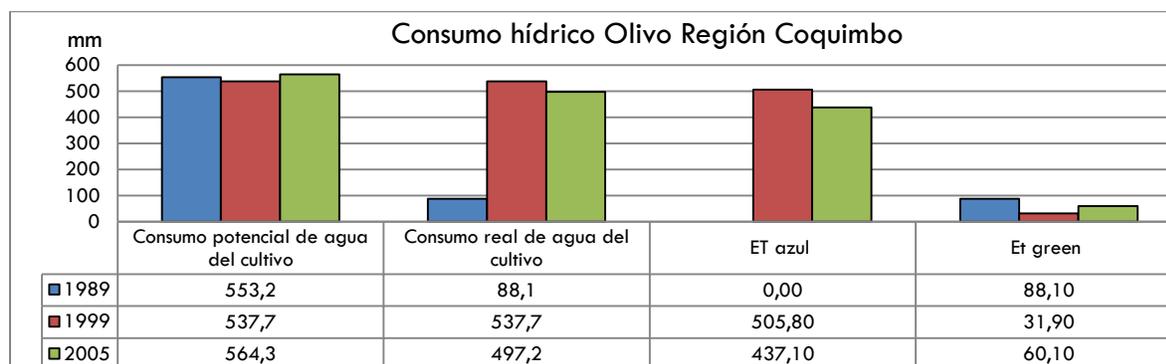


Figura A-A-39: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región de Coquimbo

El consumo potencial del Olivo en esta región para los años estudiados es bastante parejo, sin embargo el consumo real aumento en un 510% desde el año 1989 a 1999, disminuyendo nuevamente para el año 2005 en un 7,5%.

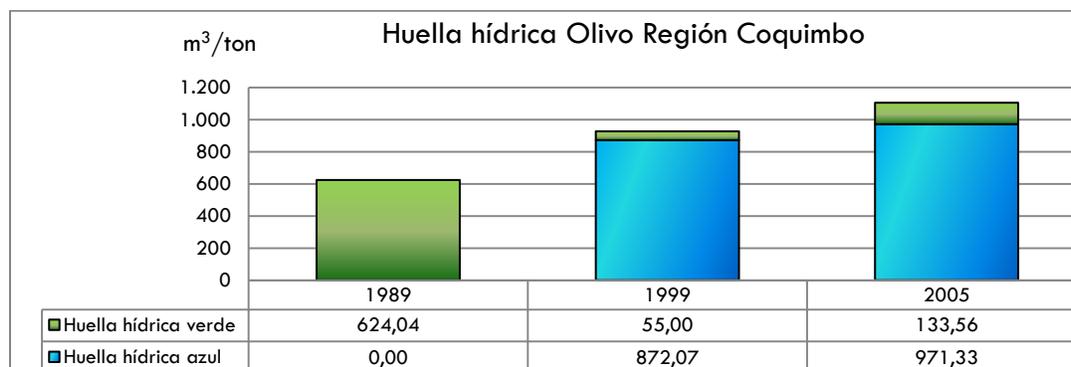


Figura A-A-40: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Olivo en la región de Coquimbo.

La huella hídrica para los años estudiados fue aumentando de 624,04m³/ton, 927,07m³/ton hasta 1104,89m³/ton. De estos valores, el año 1989 corresponde totalmente a huella hídrica verde, debido a tratarse de un año lluvioso en ese sector.

A.3.3 Huella hídrica en la Región de Valparaíso

En la Región de Valparaíso la superficie destinada a Olivo fue de 217ha en el año 1989, 222,1ha en el 2002 y 702ha el 2008. Para los mismos periodos los rendimientos obtenidos fueron de 0,6ton/ha, 5,6ton/ha y 4ton/ha.

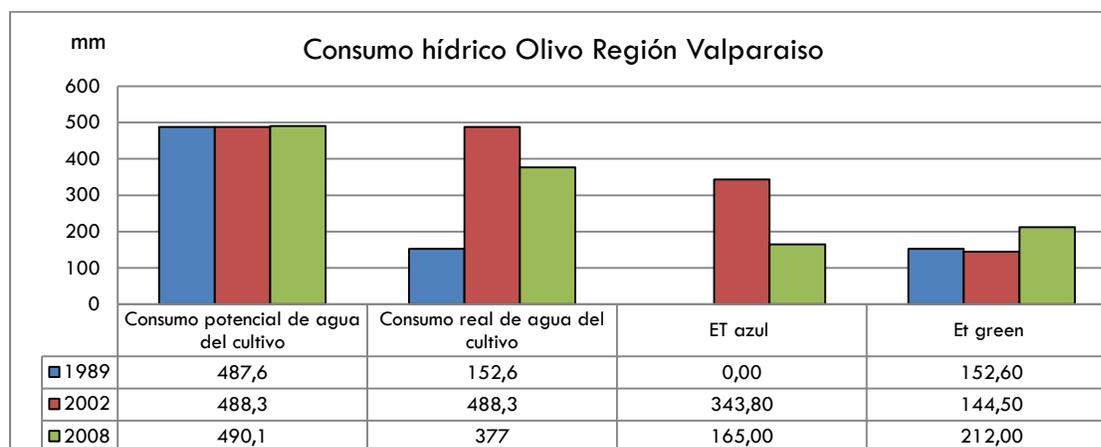


Figura A-A-41: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región de Valparaíso

El consumo real del agua varía en 220% debido probablemente a la alta demanda hídrica que constituye el aumento de los rendimientos de 0,6ton/ha a 5,6ton/ha. Para el año 2008, el consumo real de agua nuevamente disminuye debido probablemente a la disminución de rendimiento. En el año 1989, todo el consumo real de agua corresponde a evapotranspiración verde, la cual se mantiene más o menos constante en el año 2002, sin embargo se incrementa considerablemente la participación de la evapotranspiración azul en el consumo real de agua ese año. En el 2008 la evapotranspiración azul disminuye en un 52% y la verde aumenta en un 46,7% en relación al 2002.

El valor de huella hídrica para el año 1989 de 2547,25m³/ton, corresponde totalmente a agua verde, debido a que la evapotranspiración azul para ese periodo es nula. Para los años 2002 y 2008 la huella hídrica corresponde a aguas proveniente de lluvias como de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, y constituye 871,97m³/ton y 942,5m³/ton respectivamente. La fuerte disminución en el valor de la huella hídrica para el año 2002 se debe al aumento del rendimiento de 5 ton/ha para ese periodo.

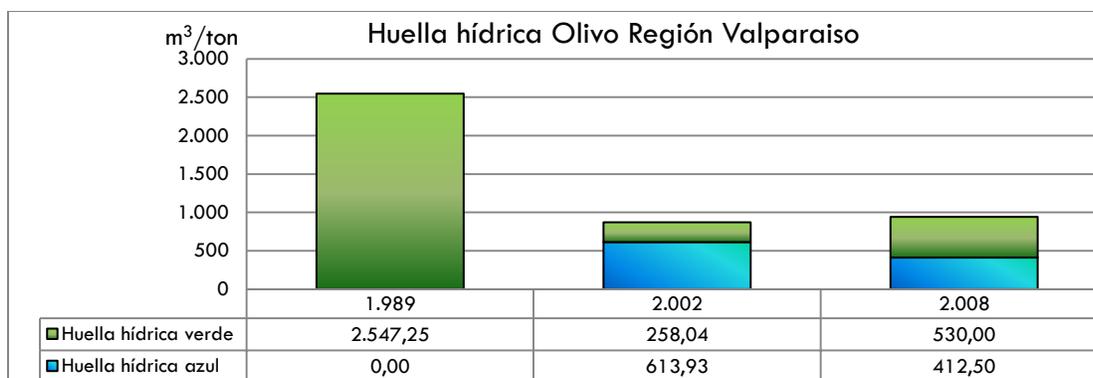


Figura A-A-42: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Olivo en la región de Valparaíso

A.3.4 Huella hídrica Región Metropolitana

La superficie destinada a Olivo en la Región Metropolitana fue de 139ha en el año 1989, 153,6ha en 1997, 302,3ha en el 2004 y 940ha en el 2010. Los rendimientos obtenidos en esta zona fueron de 0,79ton/ha en 1989, 4,5ton/ha en 1997, 3,6ton/ha el 2004 y 6,4ton/ha el 2010.

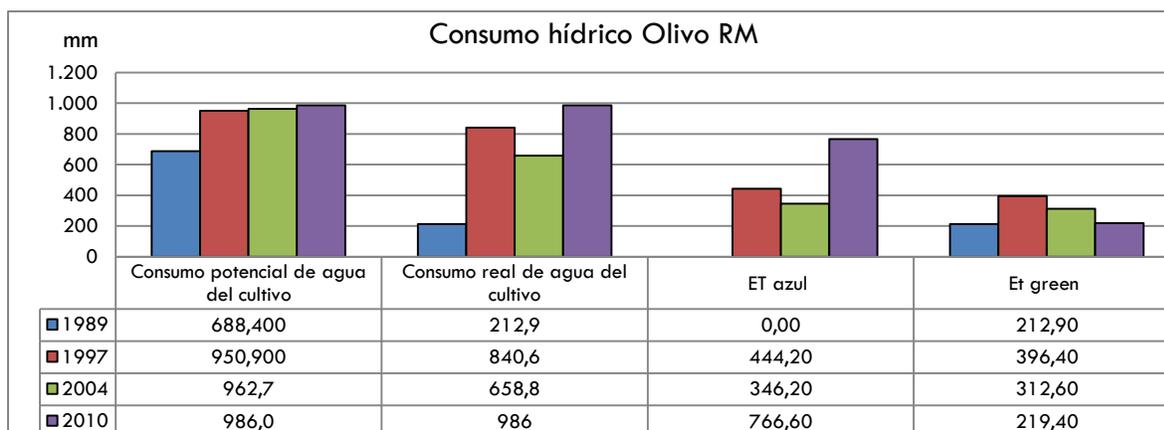


Figura A-A-43: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región Metropolitana

Los consumos reales del cultivo son un claro reflejo de los aumentos y disminuciones en los rendimientos para los distintos periodos estudiados. La evapotraspiración azul y verde en esta zona es muy similar en los años 1997 y 2004. Sin embargo durante el 2010 la evapotranspiración azul se incrementa, correspondiendo al 77,7% del consumo real de agua.

Las huellas hídricas para los años estudiados fue disminuyendo año a año, especialmente en el caso de la huella hídrica verde, sin embargo en relación a la huella hídrica azul ocurre la situación contraria, existe un aumento de estos valores. La huella hídrica en 1989 corresponde a 2690,28m³/ton, en 1997 a 1868m³/ton, el 2004 de 1830m³/ton y el 2010 de 1540,62m³/ton.

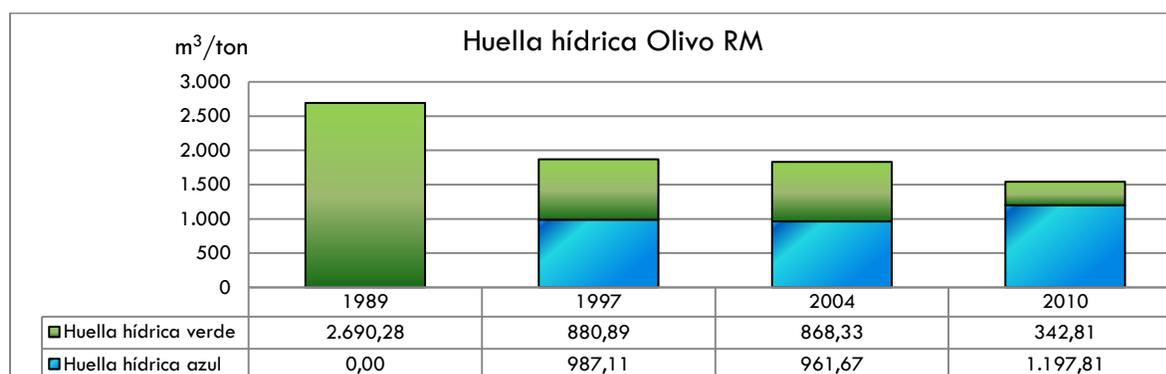


Figura A-A-44: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Olivo en la región Metropolitana.

A.3.5 Huella hídrica Región de O'Higgins

La superficie en 1989 fue de 114ha, en el 2003 fue de 169,5ha y en el 2009 fue de 596,1ha; en relación a los rendimientos en 1989 se obtuvieron 1,93ton/ha, en el 2003 se obtuvo 1,3ton/ha y en el 2009 el rendimiento fue de 4,7ton/ha.

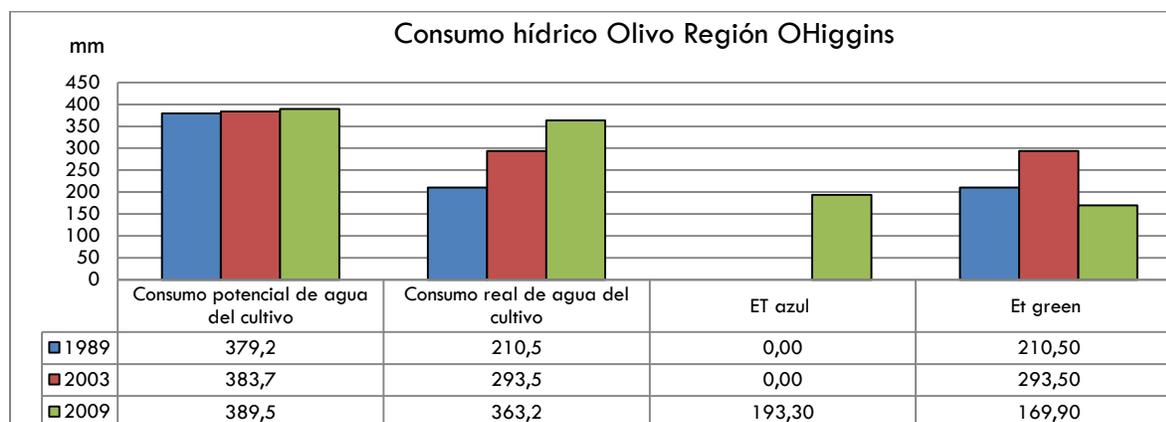


Figura A-A-45: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región de O'Higgins.

En esta región la importancia de la evapotranspiración azul disminuye, siendo nula para dos periodos estudiados y aumentando para el último periodo, debido a la variación en las precipitaciones durante el 2009. Por otro lado el consumo real del agua en los años 1989 y 2003 es menor al consumo potencial de agua, debido a los bajos niveles de producción.

En esta región la evapotranspiración verde constituye en 1989 y en el 2003 el 100% del consumo real de agua, y en el 2009 el 46,8%.

La huella hídrica del Olivo para 1989 y 2003 fue de 1090,77m³/ton, 2257,69m³/ton respectivamente correspondiendo ambas a huella hídrica verde. El 2009, sin embargo la huella hídrica disminuye debido a que si bien aumenta un poco el consumo real de agua, el aumento en el rendimiento fue mucho mayor, además en este caso el agua azul adquiere importancia, generando una huella hídrica total de 772,74m³/ton.

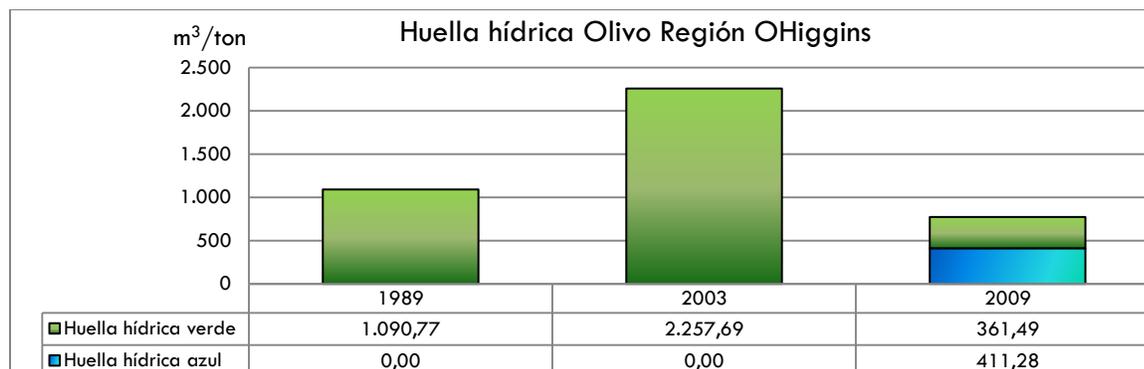


Figura A-A-46: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Olivo en la región de O'Higgins.

A.3.6 Huella hídrica en la Región del Maule

La superficie destinada en 1989 al Olivo fue de 84ha, en el 2001 de 81,5ha y en el 2007 de 129,7ha. El rendimiento fue en 1989 de 2,38m³/ton, en el 2001 de 2,5m³/ton y el 2007 de 8,2m³/ton.

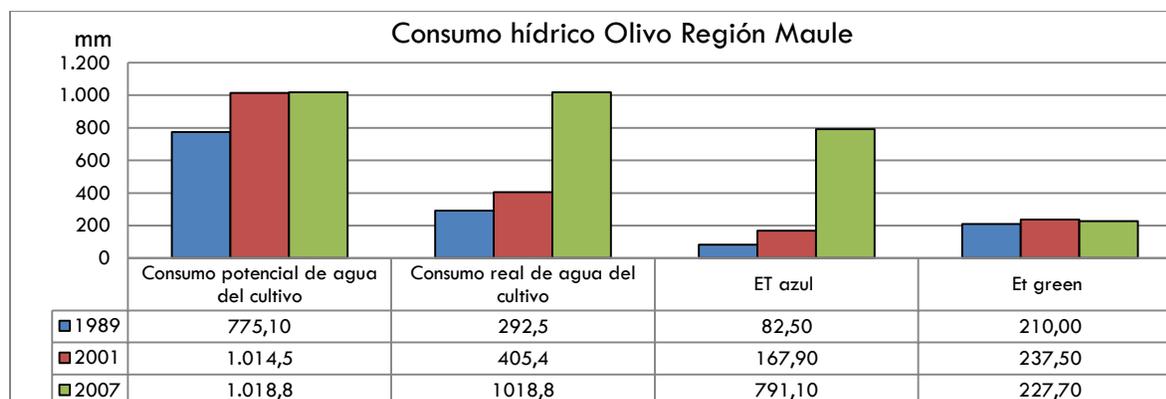


Figura A-A-47: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región del Maule.

En esta zona, la evapotranspiración verde adquiere mayor importancia, siendo mayor a la azul en todos los años estudiados. Por otro lado, el consumo real del agua para los años 1989 y 2001, es muy menor al consumo potencial del agua, igualándose los valores en el 2007.

La huella hídrica obtenida en la Región del Maule, en 1989 corresponde a 1228,5m³/ton siendo el 72% agua verde. En el 2001, la huella hídrica aumenta a 1621,6m³/ton, manteniendo la importancia del agua verde, sin embargo en el 2007, la huella hídrica disminuye a 1242,44m³/ton, y así también disminuye la participación del agua verde a 22,3%.

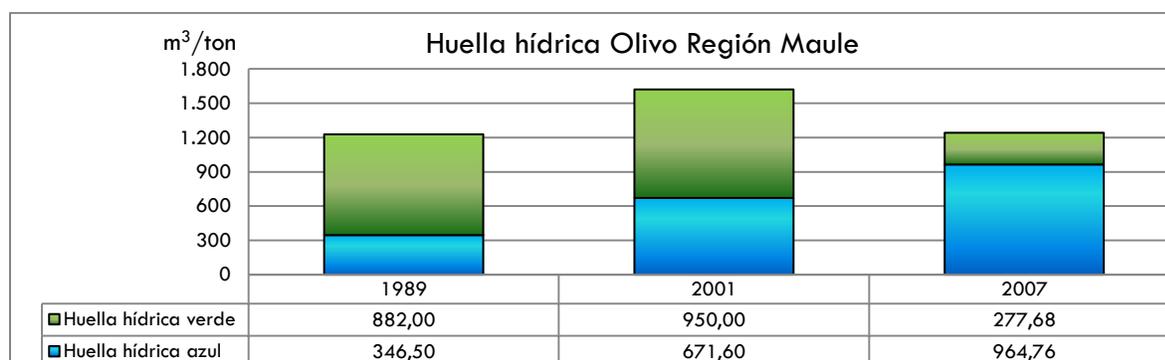


Figura A-A-48: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Olivo en la región del Maule.

A.3.7 Huella hídrica en la Región del Biobío

En la región del Biobío la superficie cultivada de Olivo en el año 1989 corresponde a 22ha, en el 2000 a 25,5ha y en el 2006 a 26,3ha, por otro lado los rendimientos del Olivo en el 1989, 2000 y 2006 corresponden a 2,73ton/ha, 5,9ton/ha y 2,7ton/ha.

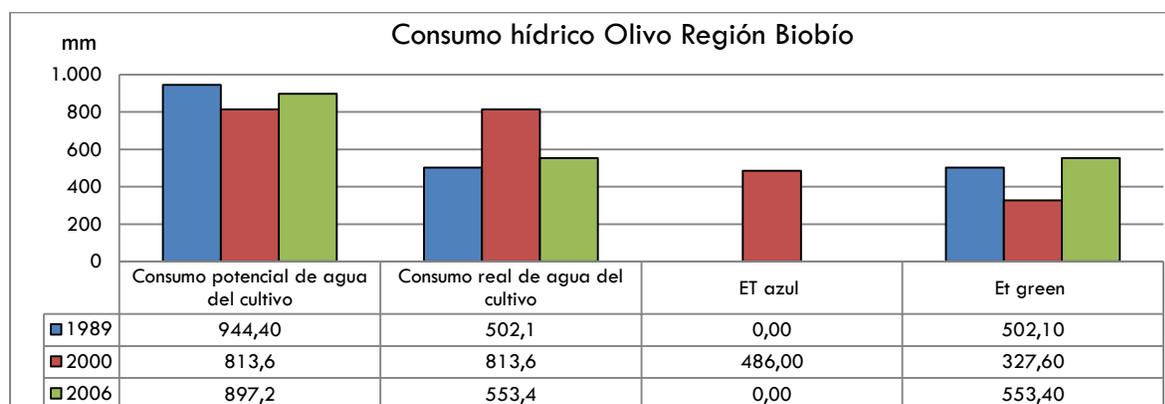


Figura A-A-49: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Olivo en la región del Biobío

En esta región, salvo para el año 2000, la evapotranspiración corresponde al agua verde. Por otra parte, el consumo real del agua en 1989 y el 2006 es bastante menor al consumo potencial del agua debido a la producción obtenida en esos años.

La huella hídrica obtenida en 1989 y 2006, corresponde en su totalidad a agua verde al igual que la evapotranspiración, y es equivalente a 1841,03m³/ton y 2049,63m³/ton respectivamente, sin embargo en el 2000, además de obtenerse la menor huella hídrica debido al mayor rendimiento obtenido durante ese periodo, el agua azul adquiere importancia, obteniendo una huella hídrica total de 3220,01m³/ton.

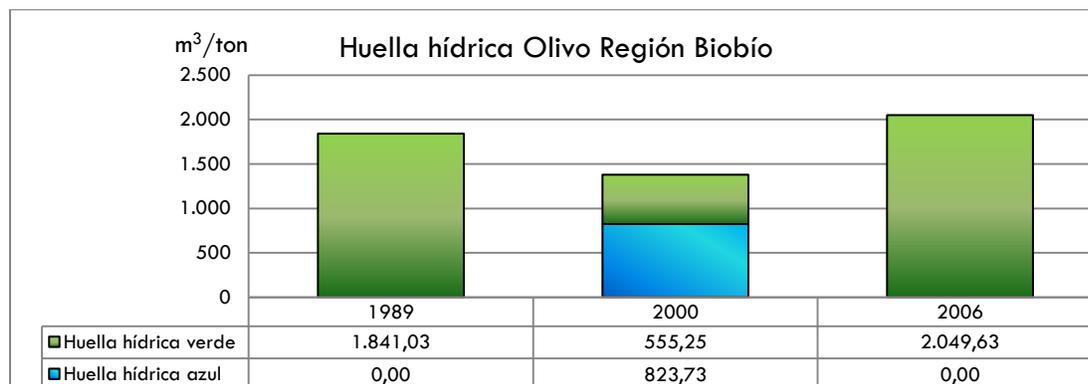


Figura A-A-50: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Olivo en la región del Biobío.

De manera paralela se estimó la huella hídrica del Olivo en el 2007 para realizar un análisis comparativo de las huellas hídricas de cultivos y frutales, estableciendo un parámetro temporal determinado. Para el estudio de huella hídrica del Olivo se considera desde la Región de Coquimbo hasta la Región de O'Higgins, debido a que solo en esas regiones se concentra el 99,6% de la producción de Olivos de Chile. La superficie total de Chile en producción de Olivo el año 2007 fue de 9.661,76ha, de las cuales 9.623,03ha se encuentran en las regiones estudiadas. En la Figura siguiente, se aprecia como esa superficie es distribuida entre las regiones estudiadas.

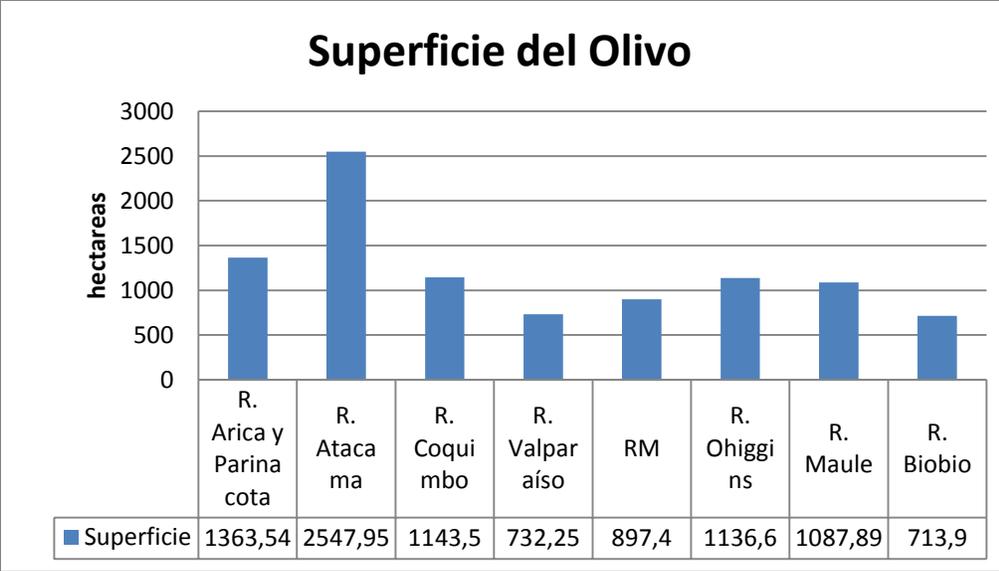


Figura A-A-51: Superficie de Olivo en las regiones con producción de Chile.

En la Figura A-A-52, se aprecia los rendimientos obtenidos en el Olivo para cada región estudiada, excepto la Región de Arica y Parinacota de donde no se tiene información, así se indica que la Región del Biobío presenta el menor rendimiento con 2,7ton/ha en Olivo y la Región del Maule el mayor rendimiento con 8,2ton/ha.

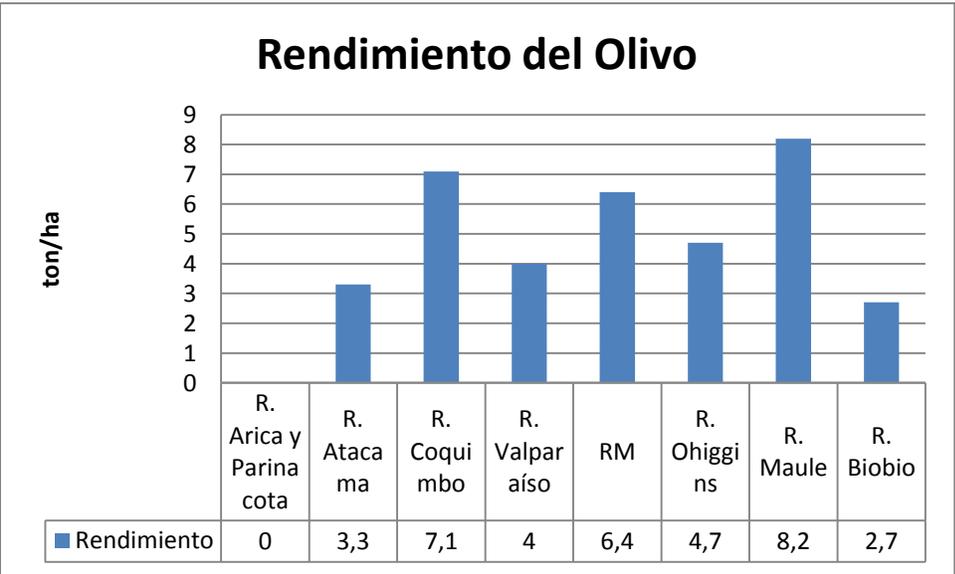


Figura A-A-52: Rendimiento del Olivo en las regiones con producción de Chile.

En la Figura A-A-53, se presentan los consumos potenciales y reales del Olivo, los cuales son similares en todas las regiones estudiadas el año 2007 y que de acuerdo a las condiciones del cultivo en cada región, el porcentaje de consumo representado por agua azul y verde varía en cada región. De acuerdo a la Figura, se aprecia que en la Región de Arica y Parinacota, Atacama, Coquimbo, de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule y Biobío el agua azul corresponde al 100%, al 99,2%, al 94%, al 79,7%, al 74,6%, al 51,1%, al 67,1% y al 42,4% respectivamente, por lo tanto para las mismas regiones el agua verde representa el 0%, el 0,8%, el 6%, 20,3%, el 25,4%, el 48,9%, 32,9% y el 57,6% respectivamente. De acuerdo a la Figura, el valor del agua verde se va incrementando de norte a sur.

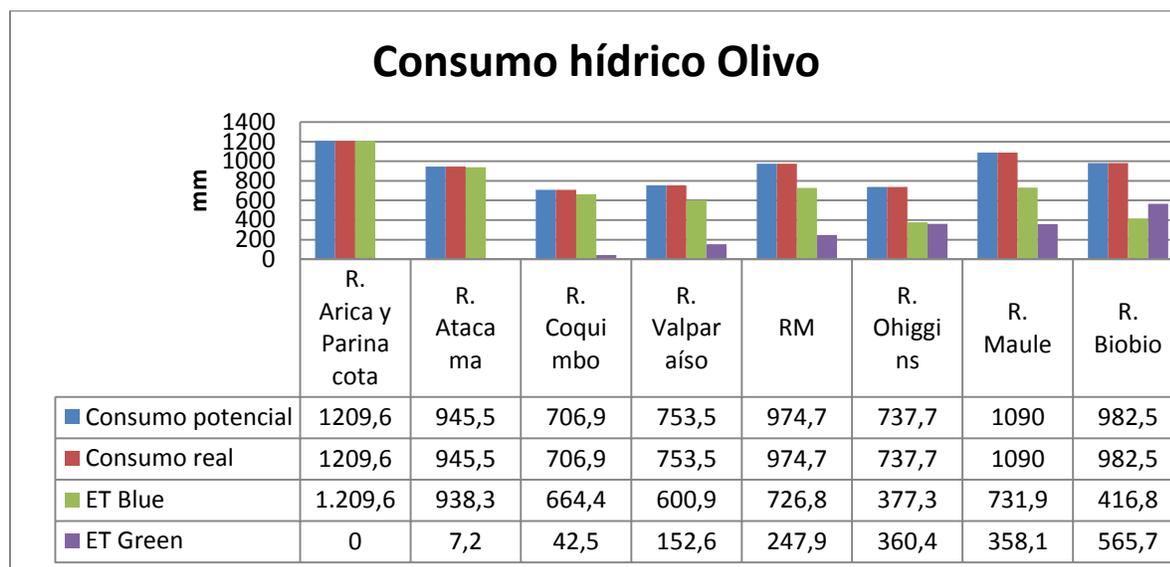


Figura A-A-53: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde

Se estimó que la huella hídrica del Olivo varía en cada región, adquiriendo mayor o menos importancia la participación del agua verde, azul y gris. De la Figura se deduce que el mayor valor de huella hídrica lo presenta la Región del Biobío donde el consumo de agua azul representa el 42,2% de la huella, el agua verde el 57,6% y del agua gris no se posee información, este alto valor de huella hídrica está asociado a que esta región posee el menor rendimiento del Olivo. A su vez el menor valor o menor volumen de agua utilizada en la producción de Olivo corresponde a la Región de Coquimbo.

En la Región de Atacama, se presenta el mayor volumen de agua azul, la cual representa el 93,9% de la huella hídrica de la región.

No se consideró en este análisis la huella hídrica del Olivo en la Región de Arica y Parinacota, debido a que no se contaba con información sobre el rendimiento promedio en la zona durante el 2007.

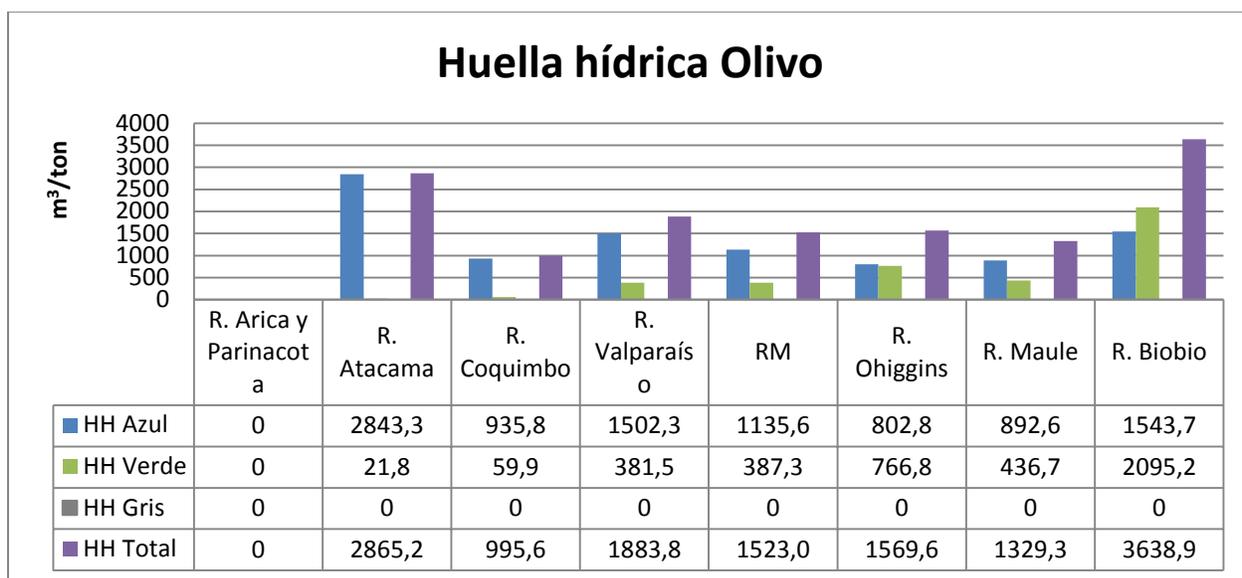


Figura A-A-54: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Olivo, para cada región de Chile.

De acuerdo a los valores de huella hídrica estimados se obtuvo un promedio de huella hídrica del Olivo en Chile, el cual corresponde a $1.972,18\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor $1.379,43\text{m}^3/\text{ton}$ representan la huella hídrica azul, $592,75\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica verde y respecto a la huella hídrica gris no se posee información. Por otro lado, Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), indican que la huella hídrica del Olivo a nivel mundial corresponde a $3.015\text{m}^3/\text{ton}$, valor del cual $499\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $2.470\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $45\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. Como se aprecia en la Figura A-A-55, la huella hídrica del Olivo en Chile corresponde al 65,4% de la huella hídrica mundial, a su vez la huella hídrica azul de Chile sobrepasa en un 176% a la huella hídrica azul mundial y la huella hídrica verde de Chile corresponden al 24% del valor mundial.

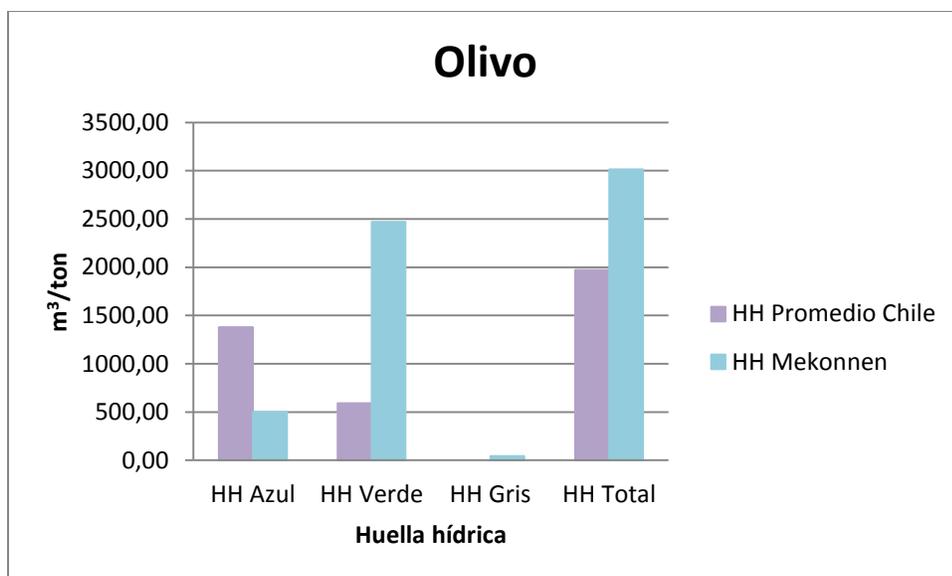


Figura A-A-55: Comparación entre la huella hídrica del Olivo en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).

A.4. Palta (Persea Americana)

La temperatura es el factor climático más importante en la producción de paltas al afectarse la cuaja y los daños de producción debido a las heladas. Por ser un árbol de hoja persistente, que no entra en receso profundo en invierno, el palto es sensible a las heladas. En cuanto al daño que se produce, inciden en el palto no solo las temperaturas que se alcanzan, sino que también la duración de estas. Las heladas que se producen son de radiación, las cuales se deben a una rápida pérdida de temperatura desde el suelo en noches despejadas, sin viento y con baja humedad relativa y las de advección o polares son provocadas por masas de aire frío que se desplazan por zonas puntuales. Estas últimas son menos frecuentes pero más peligrosas.

Los paltos presentan una dicogamia protóginea, lo que significa que la flor abre primero en estado femenino, luego cierra, para abrir posteriormente en estado masculino.

Otros efectos de las bajas temperaturas en floración, que ocurre en casos de temperaturas diurnas inferiores a 17°C, es el porcentaje reducido de flores que abre al estado femenino, las cuales en su mayoría abren en la noche. Asimismo con temperaturas inferiores a 14°C la actividad de las abejas es mínima, lo que dificulta la polinización. Finalmente las temperaturas afectan las temperaturas del tubo polínico, esto puede afectar su desarrollo y evitar la fecundación del ovulo, lo que lleva a una caída del fruto en los primeros estados de desarrollo o producción de frutas sin semillas llamados “paltines”.

Las temperaturas mínimas para tener fecundación para cultivares del tipo b (abren al estado femenino en la tarde, cierran en la noche y abren nuevamente al estado masculino en la

mañana siguiente, estas pueden ser Edranol, Bacon, Negra de la cruz) son de 25°C de día, seguidas de noches con temperaturas superiores a 10°C. En el caso de cultivares del grupo A (dicogamia en variedad tipo A, abren en la mañana en estado femenino, luego cierran y abren nuevamente en la tarde del día siguiente al estado masculino, Hass, Esther, Mexicola) los requerimientos no son tan altos, bastando temperaturas diurnas entre 23 a 27°C seguidas de noche con más de 10°C.

Los periodos más importantes respecto a necesidades de agua, en los cuales no debe presentarse escasez para evitar afectar la producción son los procesos de floración y cuaja en primavera; y durante el verano, cuando la fruta está en los primeros estados de desarrollo y la demanda atmosférica es máxima.

Los paltos son muy sensibles a la asfixia radicular y poseen un sistema radicular muy superficial. Estos factores, junto con el estado fenológico y la demanda atmosférica, son muy importantes de considerar al definir el sistema y programa de riego que se usen, debido a que no se puede controlar bien la cantidad de agua que se aplica y que es fácil producir asfixia radicular. Aunque sea por periodos reducidos, los sistemas de riego tradicionales no son muy efectivos para maximizar la producción en paltos.

A.4.1 Huella hídrica en la Región de Atacama

La superficie destinada a Palto en la región de Atacama el año 1989 fue de 87ha, en 1999 de 49,4ha y en el 2005 fue de 67,3ha. Los rendimientos en esta zona son de 2,53ton/ha en 1989, 13ton/ha en 1999 y de 9,1ton/ha en el 2005.

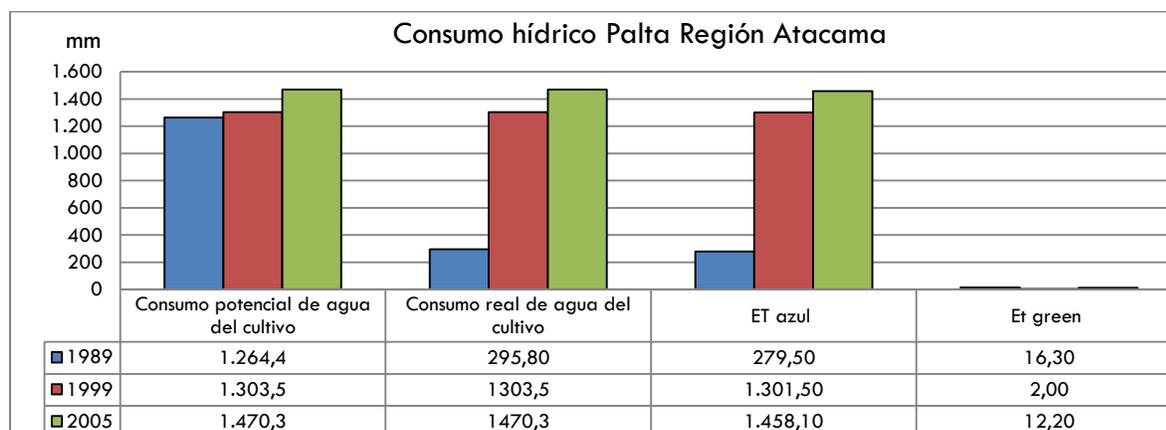


Figura A-A-56: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región de Atacama.

Conociendo los datos de rendimientos obtenidos en los periodos estudiados, se puede justificar las variaciones presentadas en el consumo real de agua del Palto; el cual difiere en gran medida entre los años 1989 y 1999, produciéndose un aumento de 340%. Por otro lado, en su

mayoría el consumo real de agua proviene de agua azul y solo el 5,5% en 1989, el 0,2% en 1999 y el 0,8% en el 2005 corresponde a agua verde. El consumo real del agua en 1989 alcanzó a representar solo un 23,4% del consumo potencial de ese año, debido a los bajos rendimientos obtenidos en 1989.

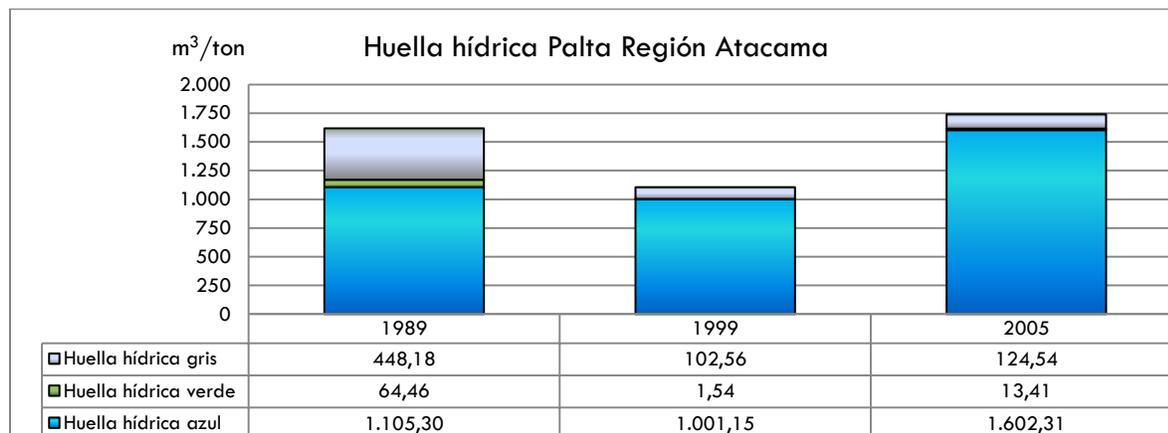


Figura A-A-57: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Palto en la región de Atacama.

La huella hídrica del Palto en la Región de Atacama disminuye en 1999, por el aumento del rendimiento de 2,5ton/ha a 13ton/ha. Además en 1989 el valor de la huella hídrica gris es mayor a los otros años, debido a que la misma dosis de fertilizante fue distribuido en un menor valor de producción. A su vez la huella hídrica azul en el 2005 aumentó, en conjunto con la evapotranspiración azul y el consumo real del agua. Los valores de huella hídrica obtenidos para los años 1989, 1999 y 2005 fueron de 1617,94m³/ton, 1105,25m³/ton y 1740,26m³/ton respectivamente.

A.4.2 Huella hídrica en la Región de Coquimbo

La superficie destinada a Palto en 1989 fue de 455ha, en 1999 fue de 455,4ha y durante el 2005 se destinaron 1443,8ha. Los rendimientos durante los mismos años fueron de 4,18ton/ha, 8ton/ha y 7,6ton/ha.

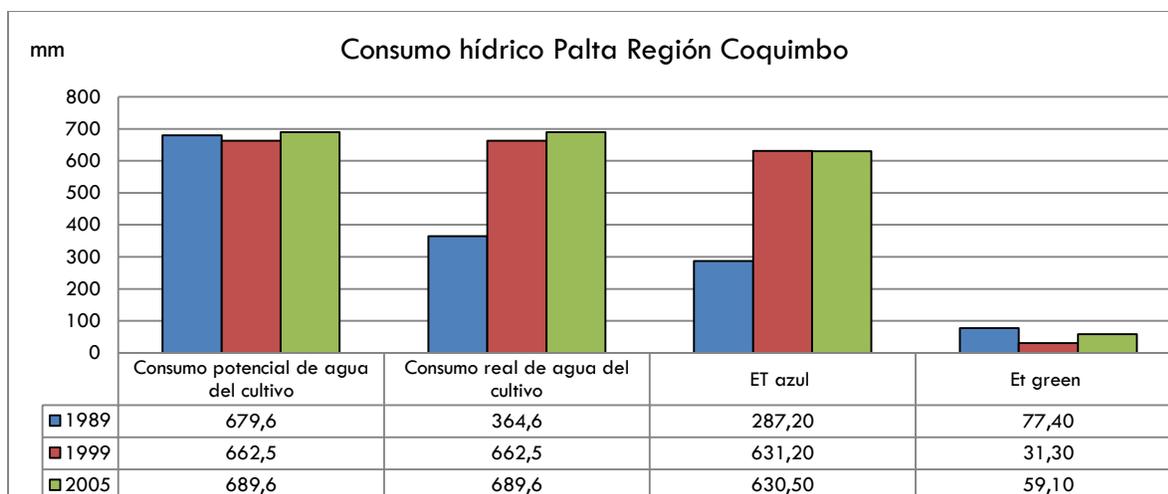


Figura A-A-58: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región de Coquimbo

El consumo potencial de agua es bastante similar en todos los periodos, sin embargo la situación real, fue muy diferente. El consumo real del agua en 1989 corresponde al 53,6% del consumo potencial ese año, debido al bajo rendimiento obtenido, que equivale a la mitad del rendimiento obtenido en 1999, manteniendo la superficie constante.

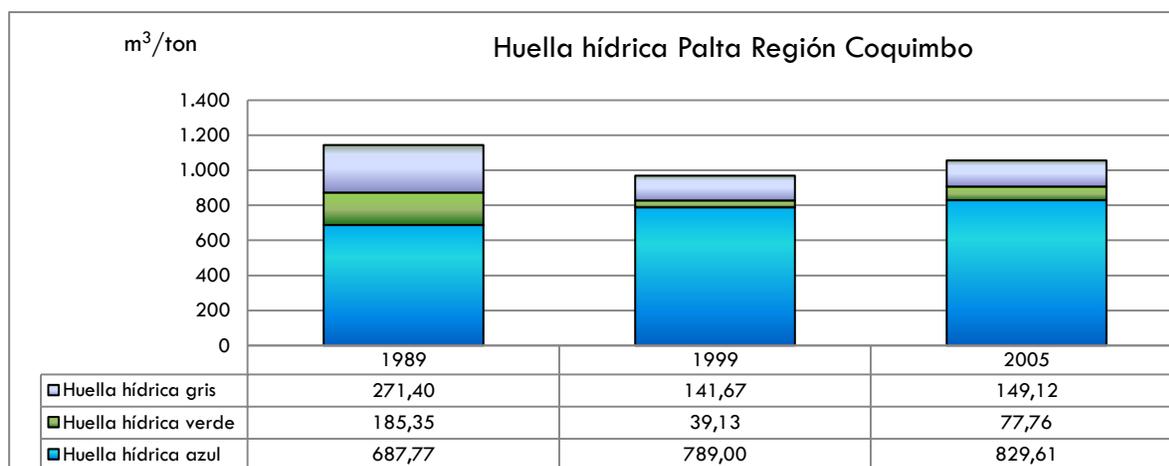


Figura A-A-59: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Palto en la región de Coquimbo.

Los valores de huella hídrica difieren año a año, siendo para los años 1989, 1999 y 2005 de 1144,52m³/ton, 969,8m³/ton y 1056,49m³/ton respectivamente. En 1989, la participación de la huella gris es mayor, correspondiendo al 23,7% de la huella hídrica de ese año y disminuyendo alrededor de 47,8% para los años posteriores. La huella hídrica azul se ha incrementado año a año al igual que la evapotranspiración azul, esto no ha significado una disminución de la huella hídrica verde para todos los periodos, sino que al contrario en el 2005, el valor de la huella hídrica verde aumento en comparación a la del año 1999 en un 98,7%.

A.4.3 Huella hídrica en la Región de Valparaíso

La superficie del Palto en la Región de Valparaíso corresponde en el año 1989 a 4485ha en el 2002 a 8649,6ha y en el año 2008 a 19228,5ha; los rendimientos para los mismos años fueron de 4,01ton/ha, 9,4ton/ha y 9,3ton/ha respectivamente.

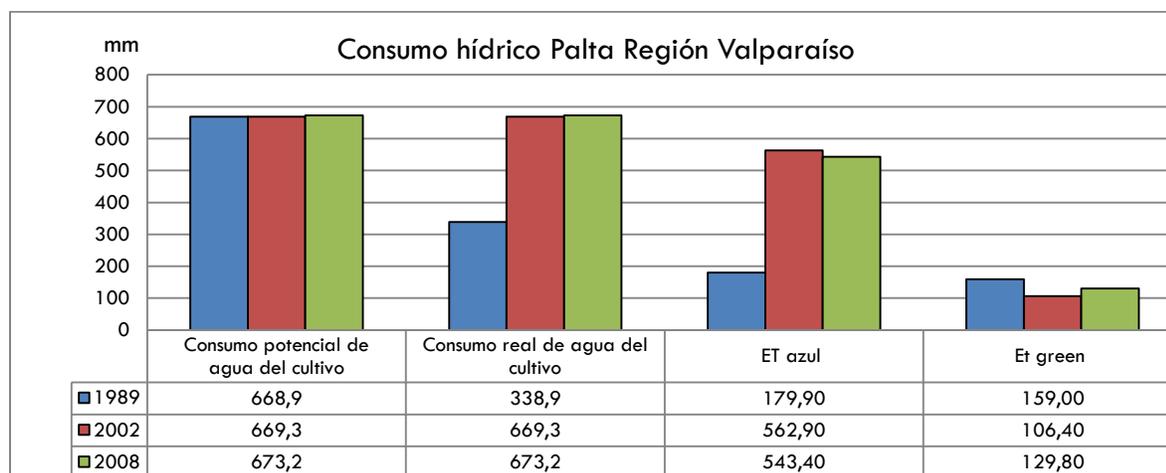


Figura A-A-60: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región de Valparaíso.

El consumo potencial de agua del Palto en la Región de Valparaíso casi no ha variado en los distintos periodos estudiados, sin embargo en 1989, el consumo real de agua representa solo el 50,7% del consumo potencial; este bajo valor se atribuye a la menor producción obtenida en ese periodo. Por otro lado, en esta zona, la evapotranspiración azul representa el mayor consumo del agua en el 2002 y 2008, sin embargo en 1989 el consumo del agua real del Palto es bastante similar en agua verde y azul, representando la evapotranspiración verde el 46,9% del consumo real de ese año.

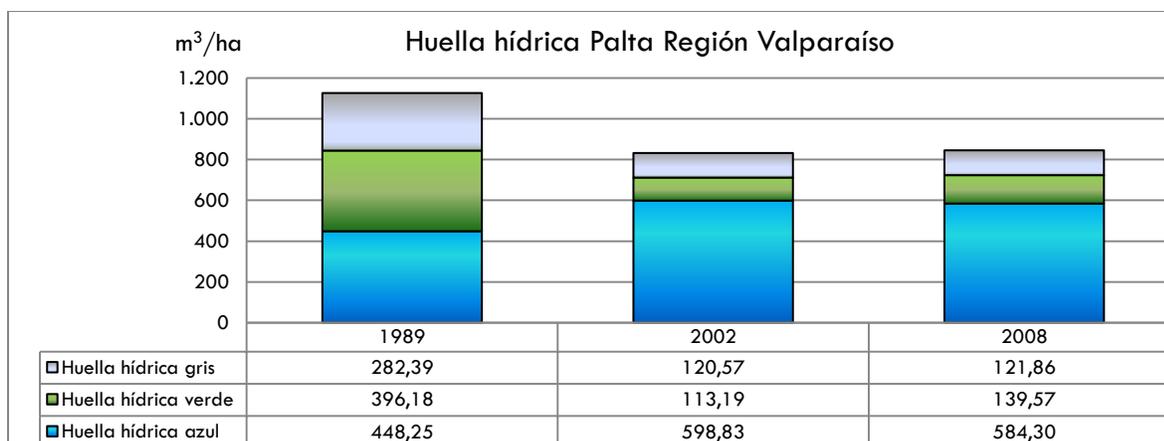


Figura A-A-61: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Palto en la región de Valparaíso.

La huella hídrica obtenida en 1989, 2002 y 2008 fue de 1126,82m³/ton, 832,59m³/ton y 845,73m³/ton respectivamente. Si bien los valores en el 2002 y 2008 descendieron en comparación a 1989, durante el último periodo el valor aumento debido a un mayor consumo real de agua y a un rendimiento un poco menor. A su vez, los valores de huella hídrica verde y azul en 1989 son bastante similares, sin embargo el problema en este año esta relacionado a la alta participación de la huella hídrica gris en la huella hídrica total, correspondiendo al 25%. En el 2005, el agua azul corresponde al 69% del total, disminuyendo importancia al agua verde que equivale al 16,5% de la huella total, y la huella hídrica gris equivale al 14,4%.

A.4.4 Huella hídrica en la Región Metropolitana

La superficie destinada a Palto en la Región Metropolitana fue de 1898ha en 1989, de 2587ha en 1997, de 3898,6ha en el 2004 y de 5724,4ha en el 2010. Los rendimientos obtenidos en los años 1989, 1997, 2004 y 2010 fueron de 5,56ton/ha, 8,4ton/ha, 7,6ton/ha y 6,2ton/ha respectivamente.

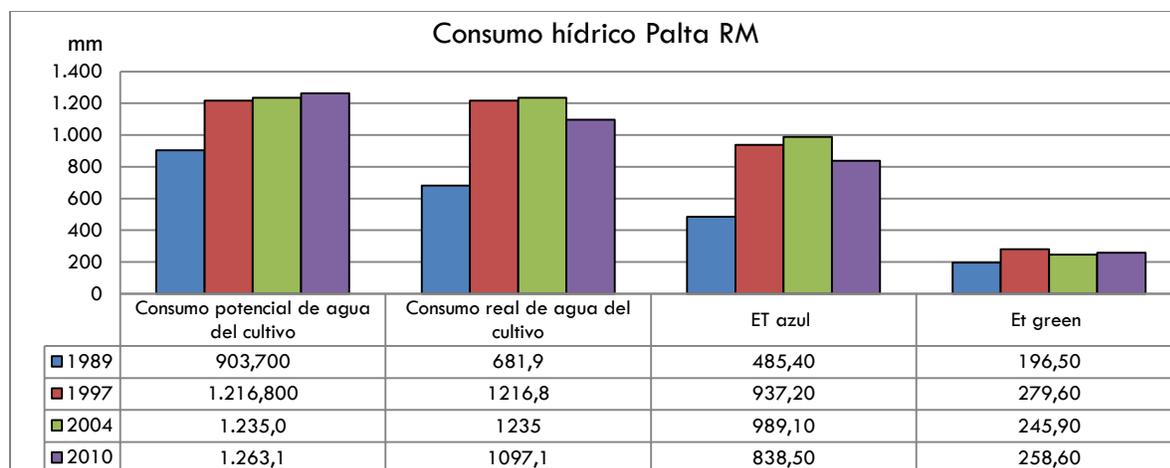


Figura A-A-62: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región Metropolitana.

El consumo real del agua durante 1997 y el 2004 es igual al consumo potencial de esos años, sin embargo en 1989 y en el 2010 disminuyen los consumos reales, representando el 75,5% y el 86,9% de los consumos potenciales respectivamente. La evapotranspiración azul del Palto representa los mismos aumentos y disminuciones que el consumo real del agua en los años estudiados. Sin embargo la evapotranspiración verde presento el mayor valor en el 2004 disminuyendo los años posteriores en comparación a ese periodo de estudio.

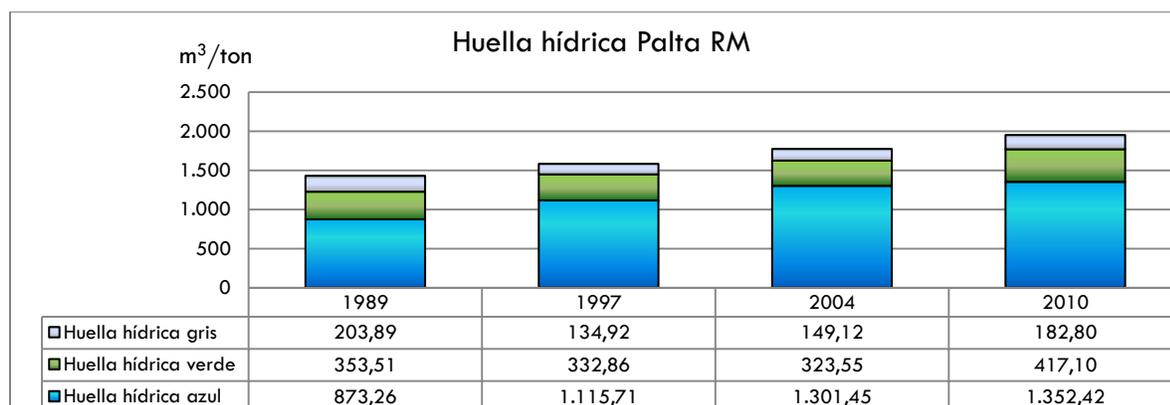


Figura A-A-63: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Palto en la región Metropolitana

La huella hídrica para los años 1989, 1997, 2004 y 2010 fue de 1430,66m³/ton, 1583,49m³/ton, 1774,12m³/ton, 1952,32m³/ton respectivamente. Como se puede apreciar en la figura, existe un aumento progresivo de las huellas hídricas en la Región Metropolitana, a diferencia de los que ocurre en otras regiones donde tiene a disminuir estos valores debido a los incrementos en los rendimientos debido a mejores tecnologías o nuevas variedades con el paso del tiempo. En

este caso, existe una disminución de los rendimientos desde 1997 en adelante y además un aumento de la superficie cultivada con palto en esta zona. A su vez, la huella hídrica azul sigue representando la mayor parte de la huella hídrica del Palto en la Región Metropolitana; por último en el año 2010 la huella hídrica azul, verde y gris corresponden al 69,3%, 21,4% y 9,4% respectivamente de la huella hídrica total.

A.4.5 Huella hídrica en la Región de O'Higgins

La superficie destinada al Palto en el año 1989 fue de 1011ha y el rendimiento de 6,77ton/ha. Para el 2003 la superficie fue de 1367,4ha y no se cuenta con información del rendimiento. Durante el 2009 la superficie del Palto en la región fue de 1603,6ha y el rendimiento de 9,3ton/ha.

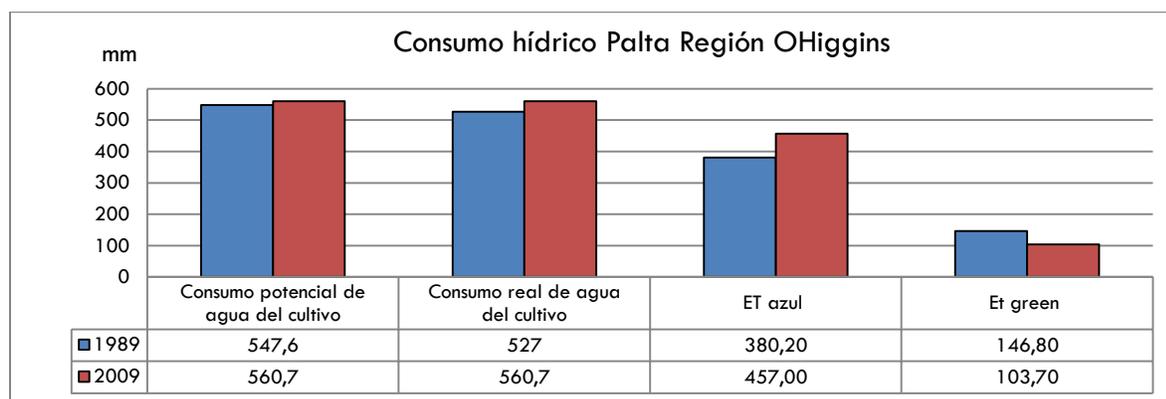


Figura A-A-64: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región de O'Higgins.

En el 2009 el consumo real de agua del Palto alcanza el consumo potencial, sin embargo en 1989 la situación fue diferente siendo el consumo real un tanto menor. En relación a la evapotranspiración verde, se puede apreciar una disminución de esta en el año 2009, sin embargo existe un aumento de la evapotranspiración azul ese mismo año.

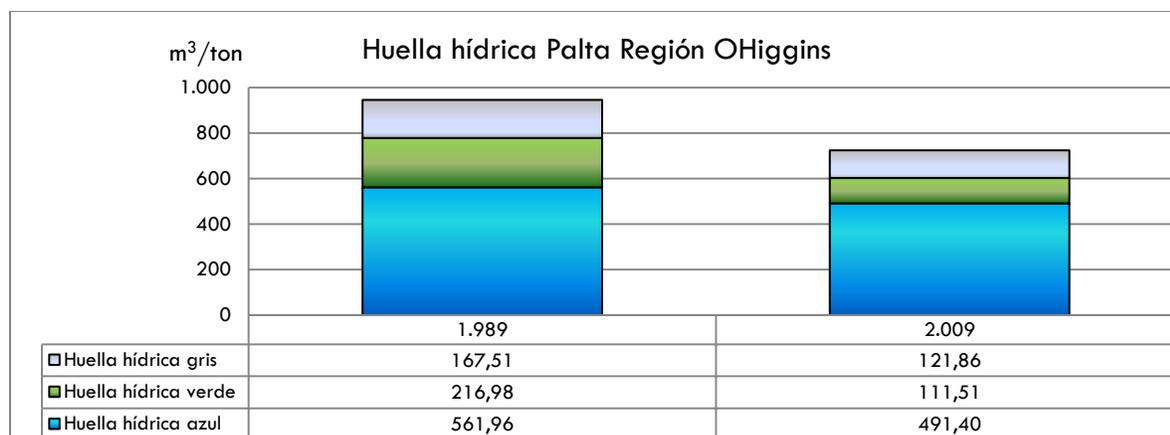


Figura A-A-65: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Palto en la región de O'Higgins.

La huella hídrica fue calculada para aquellos años en que se contaba con información de los rendimientos. En 1989, el valor de huella hídrica obtenido fue de 946,45m³/ton y corresponde en 59,4% a agua azul, 22,9% a agua verde y en 17,7% a huella gris. En el año 2009 la huella hídrica azul, verde y gris disminuyeron, siendo la huella hídrica total 23,4% menor a 1989, equivalente a un valor de huella hídrica de 724,77m³/ton.

A.4.6 Huella hídrica en la Región del Maule

La superficie en 1989 fue de 31ha y el rendimiento de 1,45ton/ha, durante el 2001 la superficie fue de 8,5ha y el rendimiento de 12,5ton/ha. Por último en el 2007 la superficie fue de 10,6ha y el rendimiento de 7,4ton/ha.

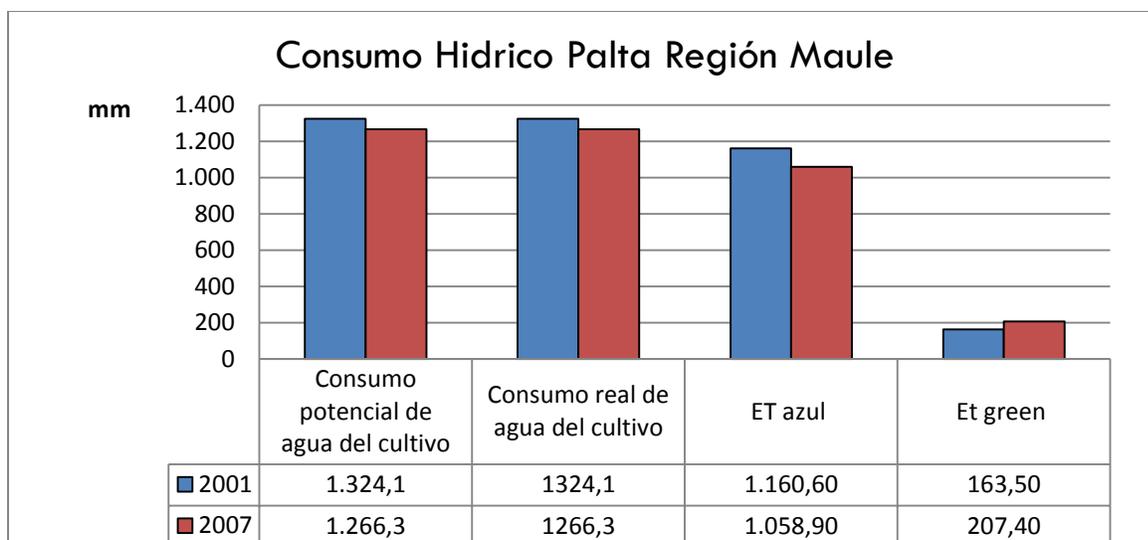


Figura A-A-66: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región del Maule.

El consumo real de agua es igual al consumo potencial del Palto en la Región del Maule para ambos periodos, sin embargo ambos consumos disminuyen en el 2007 debido a una menor producción alcanzada. Por otro lado la evapotranspiración azul disminuye para el 2007, y la verde aumenta ese mismo año. Aun así, la evapotranspiración verde representa el 12,3% del consumo real de agua en el 2007 y el 16,4% en el 2001.

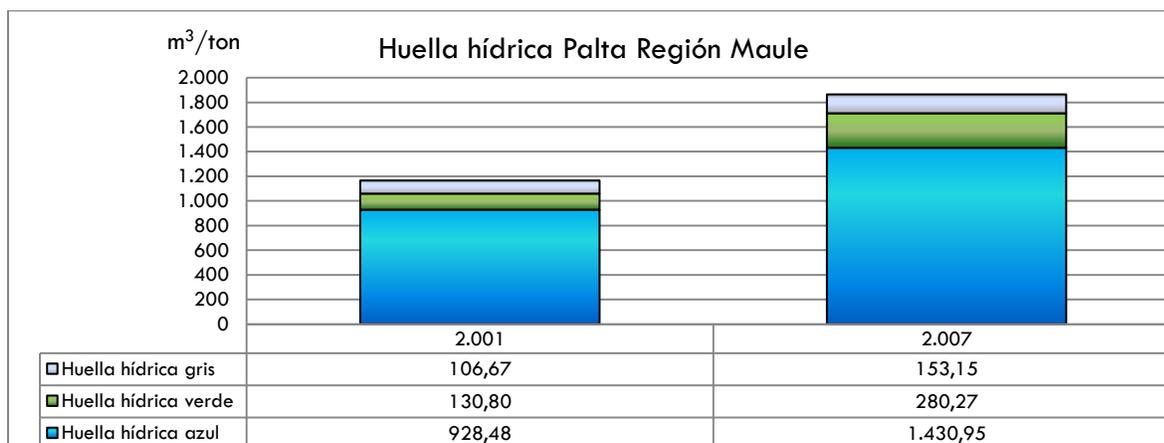


Figura A-A-67: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Palto en la región del Maule.

La huella hídrica del Palto en el 2001 fue 1165,95m³/ton y 1864,37m³/ton en el 2007, lo cual indica un aumento de 59,9% para el último año. En este caso, todos los componentes de la huella hídrica aumentaron, debido a la disminución en el rendimiento de 12,5ton/ha en el 2001

a 7,4ton/ha en el 2007, y a su vez al aumento en la superficie destinada a Palto en la región. El valor de huella hídrica azul aumento para el año 2007 en un 54,1%, el de huella hídrica verde en un 114,3% y el de huella hídrica gris en 43,6%.

A.4.7 Huella hídrica en la Región del Biobío

La superficie destinada al Palto en la región de Biobío para los años 1989, 2000 y 2006, fue de 1ha, 2,1ha y 7,1ha respectivamente. Los rendimientos para los mismos periodos fueron de 1ton/ha, 8,6ton/ha y 7,4ton/ha.

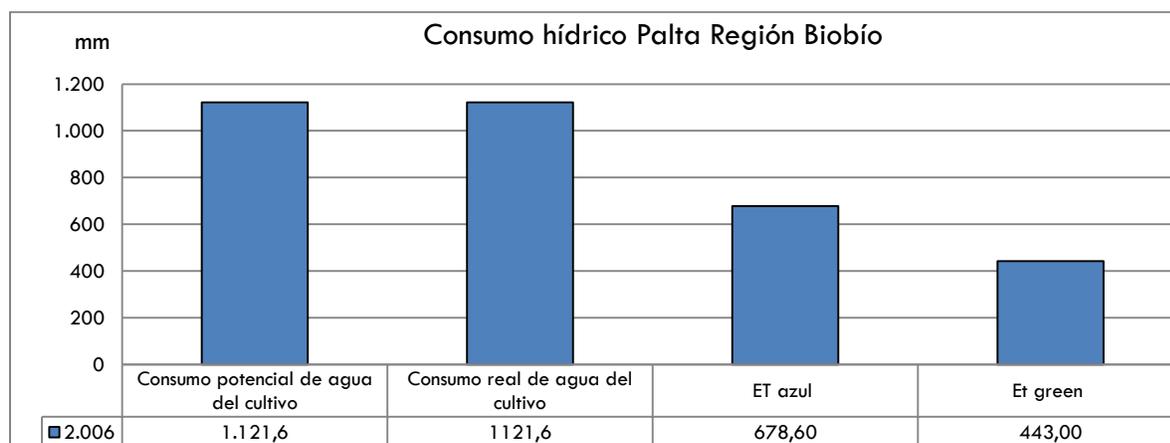


Figura A-A-68: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Palto en la región del Biobío.

En el 2006 en consumo real del agua esta constituido en 60,5% por la evapotranspiración azul y 39,5% por la verde.

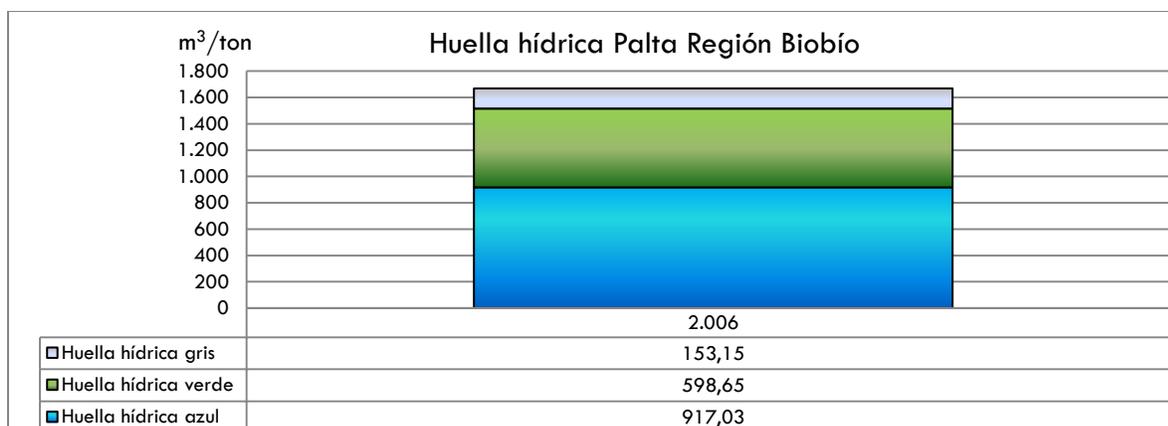


Figura A-A-69: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Palto en la región del Biobío

La huella hídrica del Palto determinada para la Región del Biobío en el 2006, fue de 1668,83m³/ton, de la cual el 55% corresponde a agua azul, 35,9% a agua verde y el 9,2% a huella gris.

De manera paralela se estimó la huella hídrica del Palto en el 2007 para realizar un análisis comparativo de las huellas hídricas de cultivos y frutales, estableciendo un parámetro temporal determinado. Para el estudio de huella hídrica del Palto se considera desde la Región de Coquimbo hasta la Región de O'Higgins, debido a que solo en esas regiones se concentra el 98,54% de la producción de Paltos de Chile. La superficie total de Chile en producción de Palto el año 2007 fue de 30.888,03ha, de las cuales 30.438,31ha se encuentran en las regiones estudiadas. En la Figura siguiente, se aprecia como esa superficie es distribuida entre las regiones estudiadas.

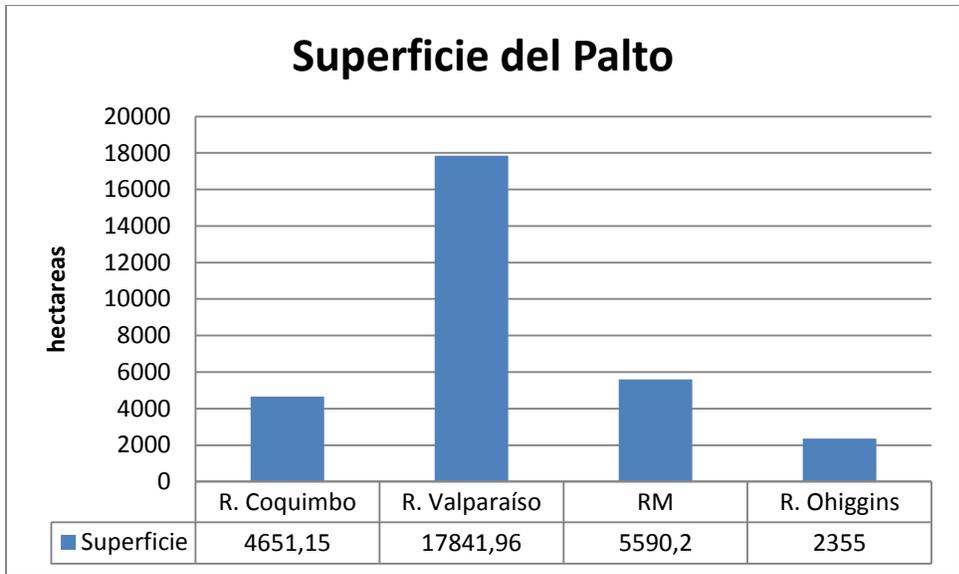


Figura A-A-70: Superficie de Palto en las regiones con producción de Chile.

En la Figura A-A-71, se aprecia los rendimientos obtenidos en el Palto para cada región estudiada, así se puede indicar que la Región Metropolitana presenta el menor rendimiento en Palto y la Región de Coquimbo el mayor rendimiento.

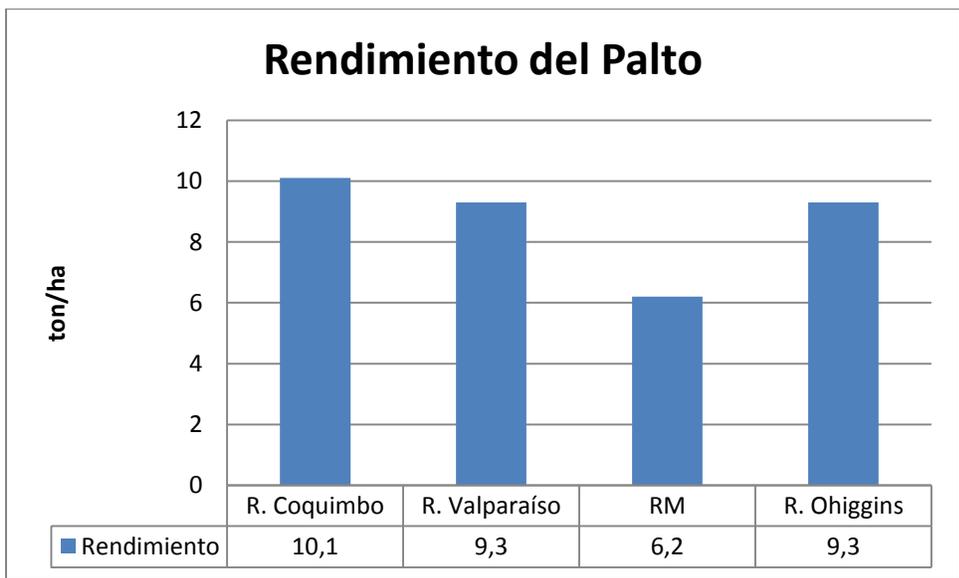


Figura A-A-71: Rendimiento del Palto en las regiones con producción de Chile.

En la Figura A-A-172, se aprecia que los consumos potenciales y reales del Palto son similares en todas las regiones estudiadas el año 2007 y que de acuerdo a las condiciones del cultivo en cada región, el porcentaje de consumo representado por agua azul y verde varía en cada región. De acuerdo a la Figura, se aprecia que en la Región de Coquimbo, de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins el agua azul corresponde al 96,6%, al 72,7%, al 75,5% y al 70,4% respectivamente, por lo tanto para las mismas regiones el agua verde representa el 3,4%, el 27,3%, 24,5% y el 29,6% respectivamente.

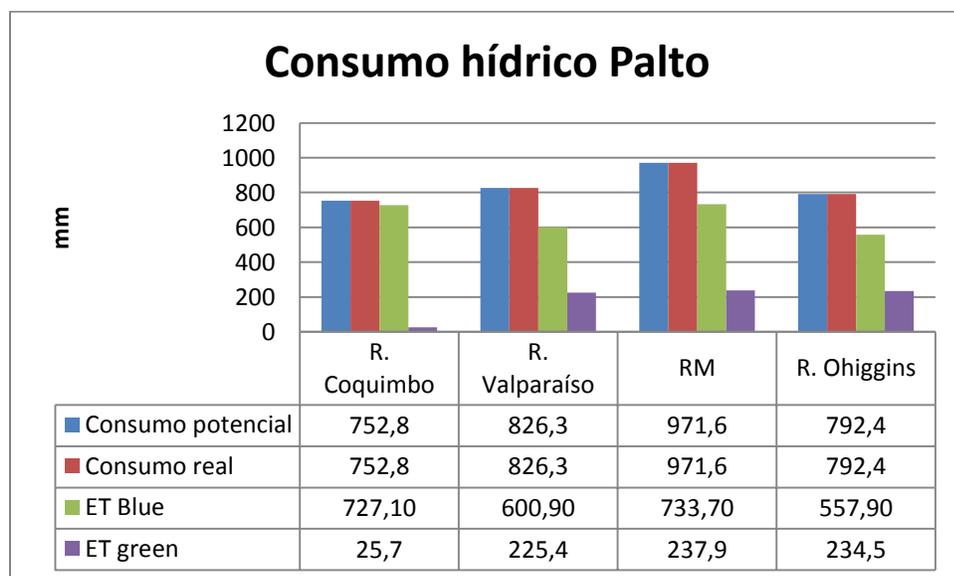


Figura A-A-72: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde.

Se estimó que la huella hídrica del Palto varía en cada región, adquiriendo mayor o menos importancia la participación del agua verde, azul y gris. Como se aprecia en la Figura, el mayor valor de huella hídrica lo presenta la Región Metropolitana donde el consumo de agua azul representa el 70,5% de la huella, el agua verde el 22,8% y el agua gris el 6,7%, estos altos valores de huella hídrica están asociados a que esta región posee el peor rendimiento. A su vez el menor valor o menor volumen de agua utilizada en la producción de Palto corresponde a la Región de Coquimbo así como la menor participación de agua verde en el consumo de agua.

Los mayores y menores valores de huella hídrica obtenidos en las distintas regiones para Palto, indica los volúmenes de agua utiliza y el tipo de agua utilizada en la región, para reconocer si una huella hídrica es mejor respecto a otra se debe conocer los recursos hídricos disponibles en la zona.

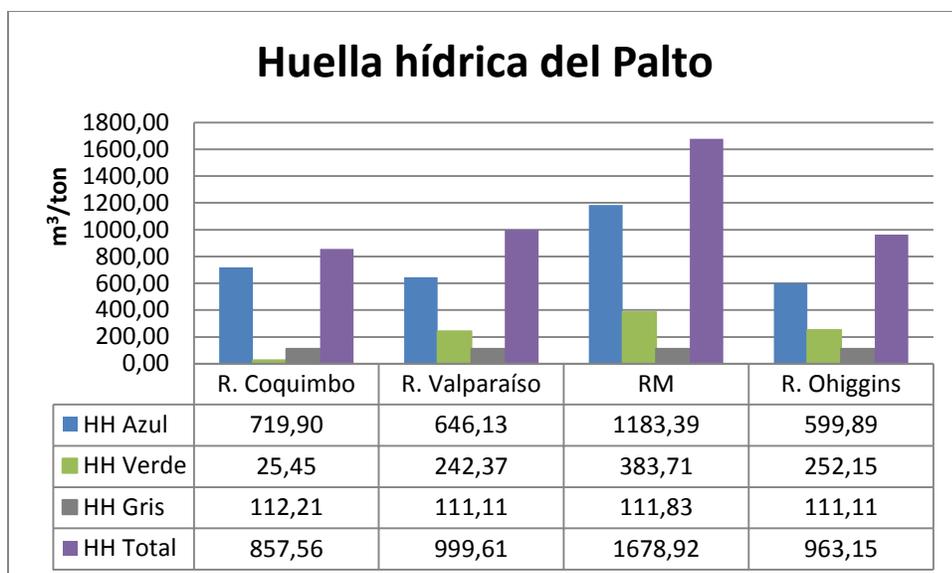


Figura A-A-73: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Palto, para cada región de Chile.

De acuerdo a los valores de huella hídrica estimados se obtuvo un promedio de huella hídrica del Palto en Chile, el cual corresponde a $1.124,81\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor $787,33\text{m}^3/\text{ton}$ representan la huella hídrica azul, $225,95\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica verde y $111,57\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica gris. Por otro lado, Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), indican que la huella hídrica del Palto a nivel mundial corresponde a $1981\text{m}^3/\text{ton}$, valor del cual $283\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $849\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $849\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. Como se aprecia en la Figura A-A-74, la huella hídrica del Palto en Chile corresponde al 56,7% de la huella hídrica mundial, a su vez la huella hídrica azul de Chile sobrepasa en un 178% a la huella hídrica azul mundial y la huella hídrica verde y gris de Chile corresponden al 26,6% y 13,1% respectivamente del valor mundial.

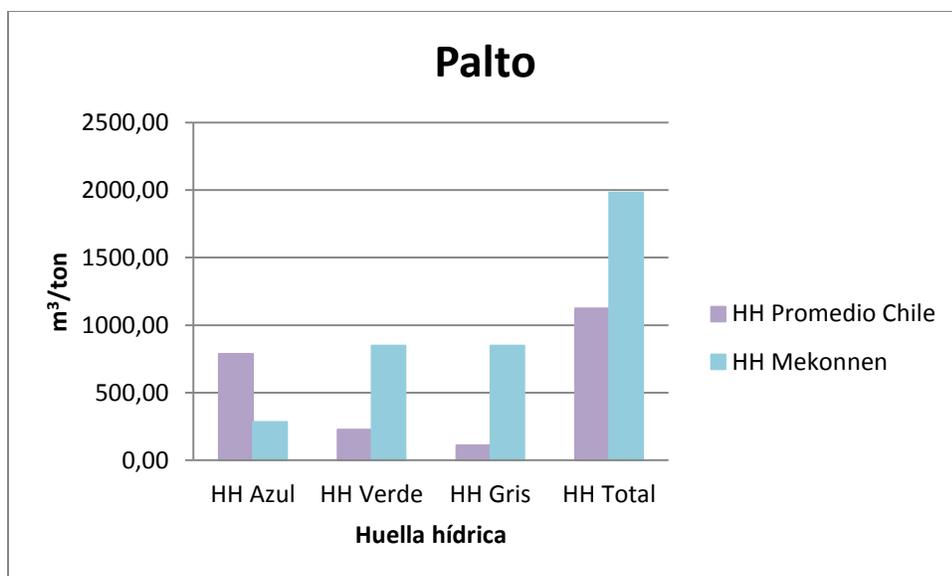


Figura A-A-74: Comparación entre la huella hídrica del Palto en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).

A.5. Huella Hídrica Almendra (*Prunus Amygdalus*)

El Almendro es un frutal de zonas cálidas, requiere entre 200 a 550 horas fríos y entre 1.000 a 2.000 GD como suma térmica entre yema hinchada y cosecha.

La temperatura óptima de crecimiento para el Almendro se encuentra entre los 20 y 25°C, la temperatura mínima de crecimiento se produce entre los 7 y 10°C y la temperatura crítica de daño por heladas es a los -1°C. Como el Almendro corresponde a una especie autoincompatibles, las abejas juegan un rol primordial en relación a la polinización, por ello es importante considerar que en el periodo de floración las abejas requieren de 15 a 16°C para lograr una efectiva polinización, decreciendo su actividad alrededor de los 10 a 12°C.

El Almendro se puede producir en secano de 300 mm e incluso en sequía, sin embargo su condición adecuada corresponde a alrededor de 600 mm. A su vez existen dos etapas fundamentales en el riego del Almendro. La primera es el periodo inicial de brotación, floración, polinización y cuaja y el segundo periodo es el de crecimiento rápido del fruto, donde la falta de agua puede causar aumento de la caída de los frutos cuajados o reducción del tamaño de la semilla.

Se consideran para el estudio de huella hídrica del Almendro desde la Región de Coquimbo hasta la Región de O'Higgins, debido a que solo en esas regiones se concentra el 98,2% de la producción de Almendros de Chile. La superficie total de Chile en producción de Almendro el año 2007 fue de 5.553,5ha, de las cuales 5.451,96ha se encuentran en las regiones estudiadas.

A.5.1 Huella hídrica Región de Coquimbo

El Almendro en la Región de Coquimbo en el año 2007 presenta una superficie de 404,7ha y un rendimiento promedio de 1,3ton/ha.

En la Figura A-A-75, se puede apreciar que el consumo potencial y real del Almendro el año 2007 es similar y que de acuerdo a los condiciones del cultivo en la región estudiada, el 97,2% del consumo de agua corresponde a evapotranspiración azul, siendo la evapotranspiración verde solo el 2,8% del consumo ese año.

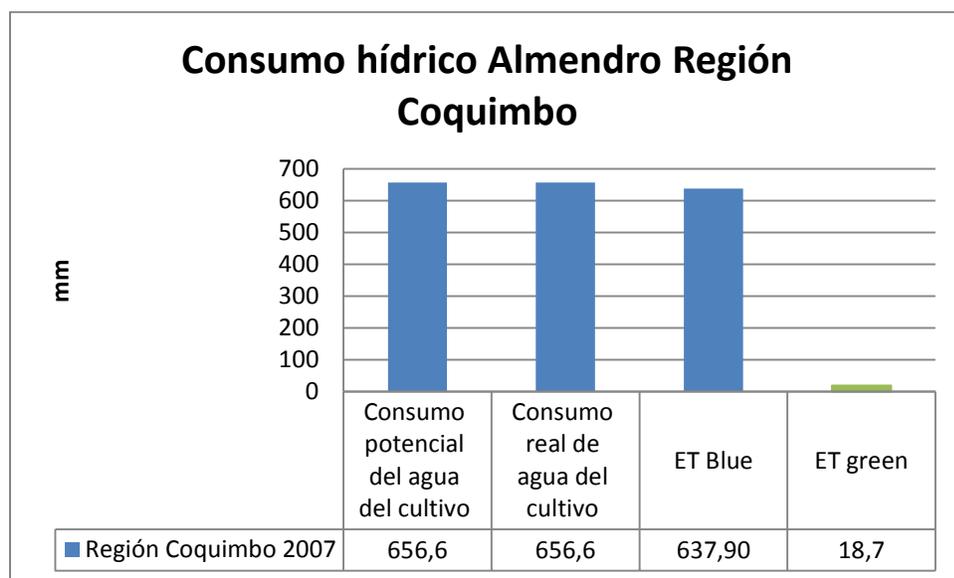


Figura A-A-75: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Almendro en la Región de Coquimbo

De acuerdo a la información de evapotranspiración del Almendro entregada, la huella hídrica total en esta región corresponde a 5.666, 15m³/ton, de la cual el 87% esta representado por la huella hídrica azul con un valor de 4.906,92m³/ton, el 11% por la huella hídrica gris equivalente a 615,4m³/ton y el 2% por la huella hídrica verde que corresponde a 143,9m³/ton.

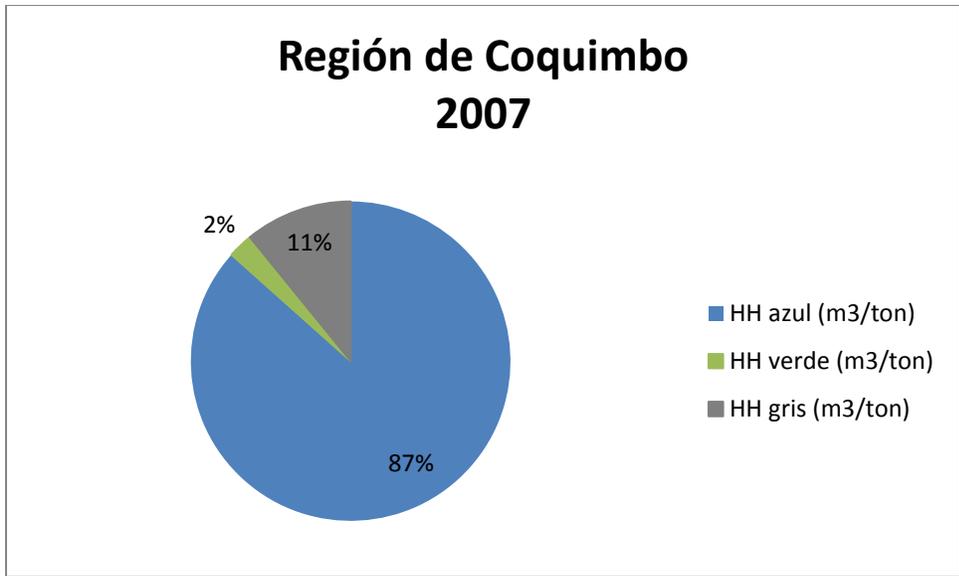


Figura A-A-76: Huella hídrica azul, verde y gris del Almendro en la Región de Coquimbo.

A.5.2 Huella hídrica Región Valparaíso

La superficie destinada al Almendro en la Región de Valparaíso fue de 578,1 ha en el 2007 y el rendimiento fue de 3,6 ton/ha. De acuerdo a estas condiciones la Figura A-A-77, indica los valores de consumo potencial y real del agua del Almendro y la proporción correspondiente a agua azul como ha agua verde.

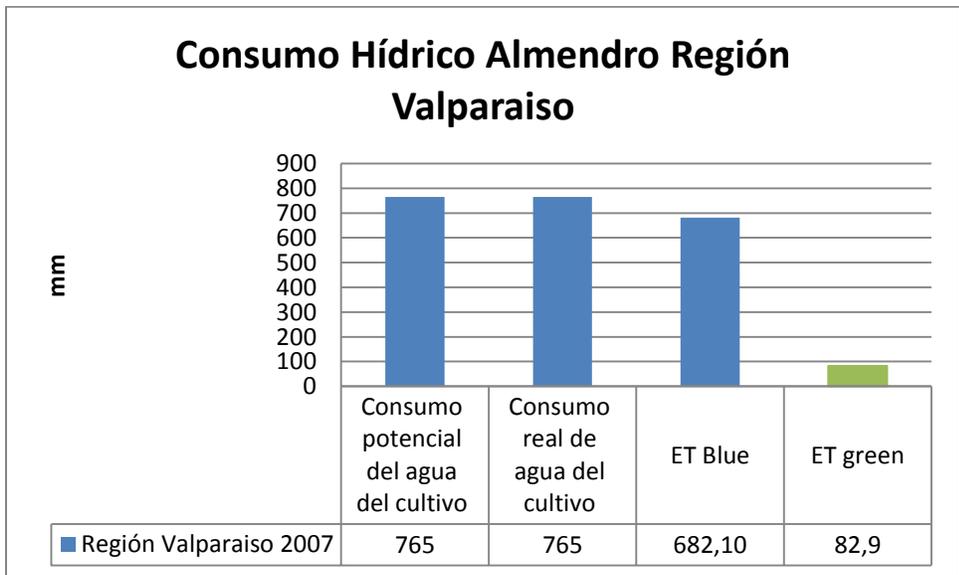


Figura A-A-77: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Almendro en la Región de Valparaíso.

En la región de Valparaíso el consumo real del agua es equivalente al consumo potencial del agua, de estos valores el 89,2% corresponde al evapotranspiración azul y solo el 10,8% a evapotranspiración verde.

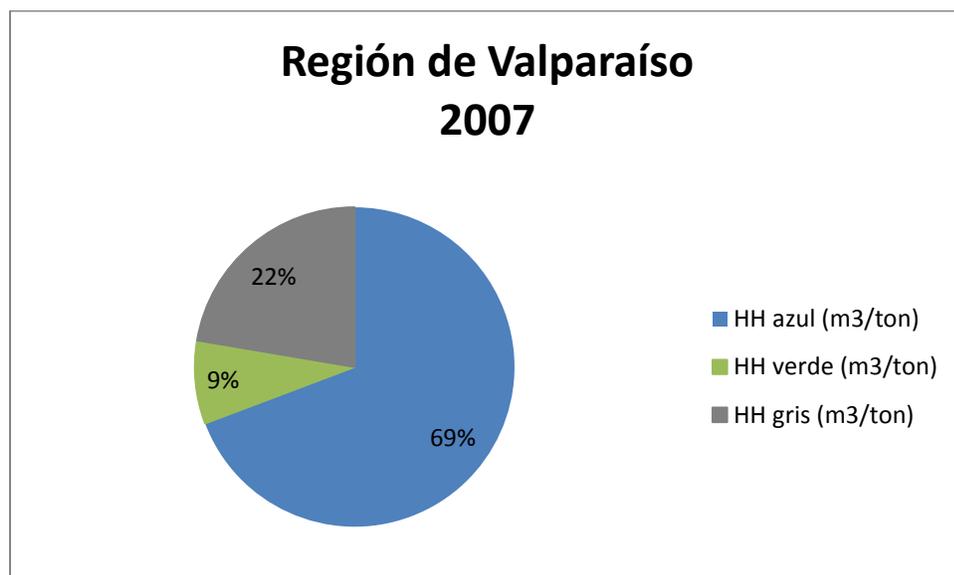


Figura A-A-78: Huella hídrica azul, verde y gris del Almendro en la Región de Valparaíso.

La huella hídrica del Almendro en la Región de Valparaíso corresponde a 2.736,11m³/ton, de la cual el 69% corresponde a huella hídrica azul con un valor de 1894,71m³/ton, el 22% a huella hídrica gris con un valor de 611,1m³/ton, debido a la dosis de nitrógeno utilizada en esta zona de 120kg/ha, y por último el 9% de la huella que equivale a 230,208m³/ton corresponde a agua verde.

A.5.3 Huella hídrica Región Metropolitana

La superficie destinada en la Región Metropolitana al Almendro en el año 2007 corresponde 2578,7ha y el rendimiento promedio fue de 2,4ton/ha.

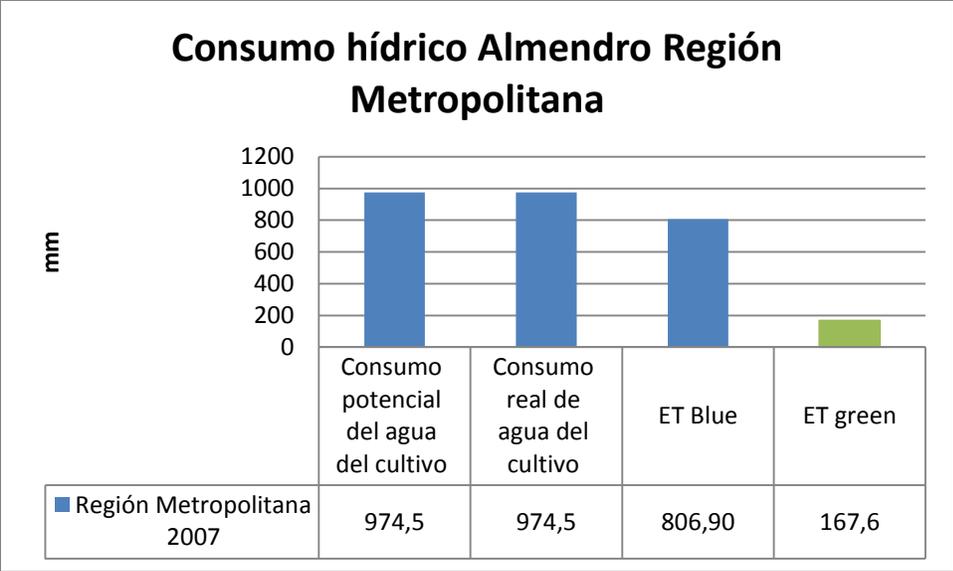


Figura A-A-79: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Almendro en la Región Metropolitana.

En la Figura A-A-79, se aprecia que el consumo potencial y real de agua en la zona corresponde a 974,5mm para el Almendro, de los cuales el 82,8% esta determinado por el agua azul y el 17,2% por el agua verde.

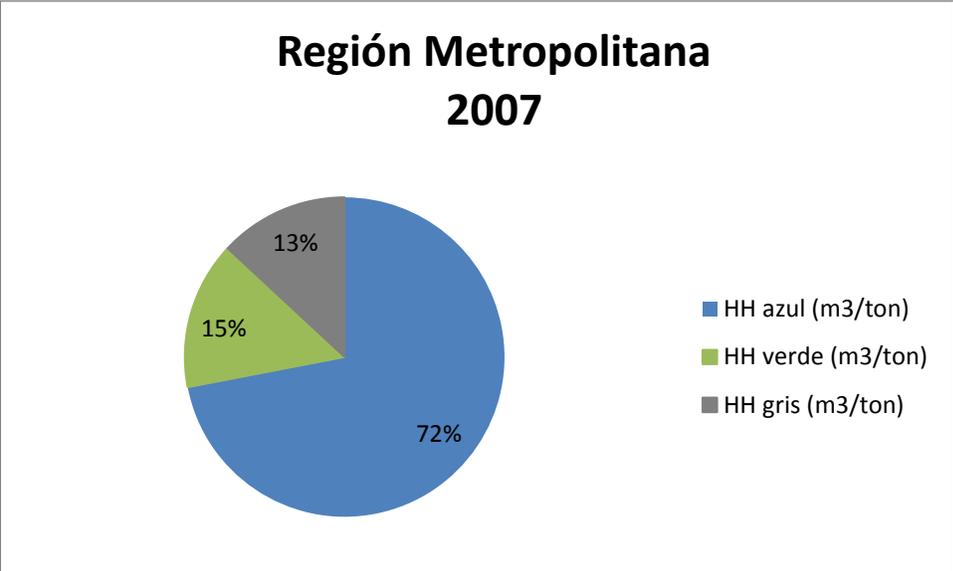


Figura A-A-80: Huella hídrica azul, verde y gris del Almendro en la Región Metropolitana.

La huella hídrica del Almendro en la Región Metropolitana corresponde a 4.671,53m³/ton, de la cual el 72% representa la huella hídrica azul con un valor de 3.362,08m³/ton, el 15% corresponde a la huella hídrica verde equivalente a 698,33m³/ton y el 13% restante corresponde a la huella hídrica gris con un valor de 611,1m³/ton.

A.5.4 Huella hídrica Región O'Higgins

La superficie destinada a Almendro corresponde a 1.890,4ha en la Región de O'Higgins y el rendimiento a 3,9ton/ha en el año 2007.

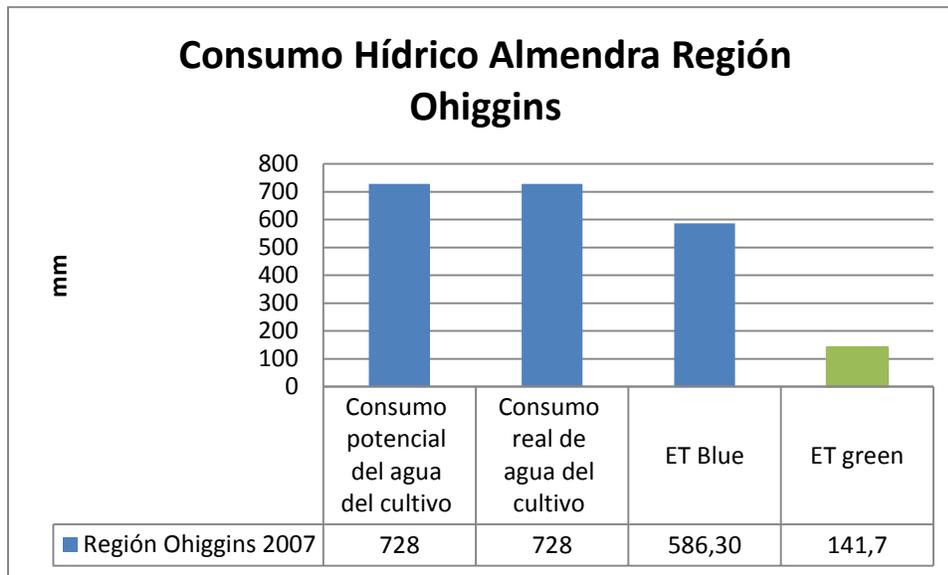


Figura A-A-81: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Almendro en la Región de O'Higgins

Del consumo real del agua el 80,5% corresponde a agua azul y el 19,5% a agua verde. A su vez, el consumo real del agua del Almendro en la Región de O'Higgins alcanzó el consumo potencial del agua en esa zona, el cual corresponde al 728mm.

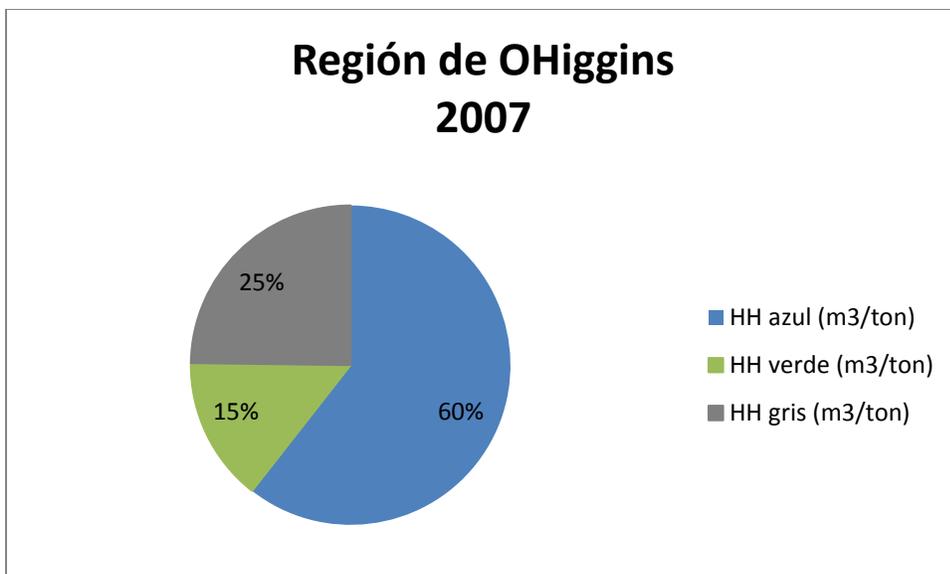


Figura A-A-82: Huella hídrica azul, verde y gris del Almendro en la Región de O'Higgins

En la Figura A-A-82, se aprecia que la huella hídrica del Almendro en la Región de O'Higgins es de 2.482,05m³/ton de la cual el 60% corresponde a agua azul con 1.503,33m³/ton, el 25% a agua gris con un valor de 615,4m³/ton, y un 15% a agua verde con 363,33m³/ton.

De acuerdo a los datos obtenidos para todas las regiones de Chile que presentan producción de Almendro, se puede indicar que aquellas regiones con mayores valores de huella hídrica son las regiones de Coquimbo y Metropolitana debido a los menores rendimientos promedios obtenidos en aquellas zonas. A su vez como la producción del Almendro se concentra en la zona central de Chile, desde la región de Coquimbo a la región de O'Higgins, esta principalmente determinada por el consumo de agua azul del frutal. En relación a la huella hídrica gris los mayores valores se presentan en la región de Coquimbo y la región de O'Higgins, en la primera el alto valor está relacionado a los bajos rendimientos obtenidos, mientras que en la segunda se debe a la mayor dosis utilizada en la región correspondiente a 360kg/ha. En relación a la huella hídrica azul se puede indicar que los mayores valores, lo cual no significa que sean los peores valores, se dan en las regiones de Coquimbo y Metropolitana, a su vez el menor valor de huella hídrica lo tiene la Región de O'Higgins debido a una menor evapotranspiración azul así como al mayor rendimiento promedio alcanzado en Chile en el Almendro. Por último la Región Metropolitana presenta el mayor uso de agua proveniente de precipitaciones, debido a una mayor evapotranspiración verde como a un rendimiento promedio (Figura A-A-83).

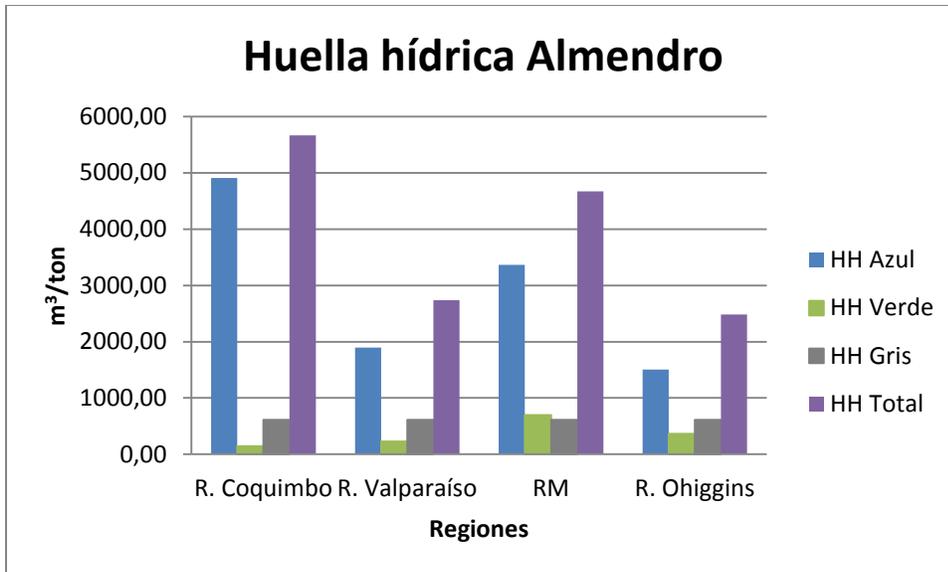


Figura A-A-83: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Almendro, para cada región de Chile.

La huella hídrica del Almendro, según Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), corresponde a 8.047m³/ton, de la cual 4.632m³/ton corresponde a huella hídrica verde, 1.908m³/ton a huella hídrica azul y 1.507m³/ton a huella hídrica gris (Figura A-A-84).

Si comparamos la huella hídrica promedio del Almendro en Chile, se indica que la huella hídrica nacional del Almendro corresponde al 48,3% de la huella hídrica mundial. En relación a la huella hídrica azul, esta sobrepasa en un 52,9% a la huella hídrica mundial, sin embargo la huella hídrica verde y gris corresponde respectivamente al 7,8% y al 40,7%.

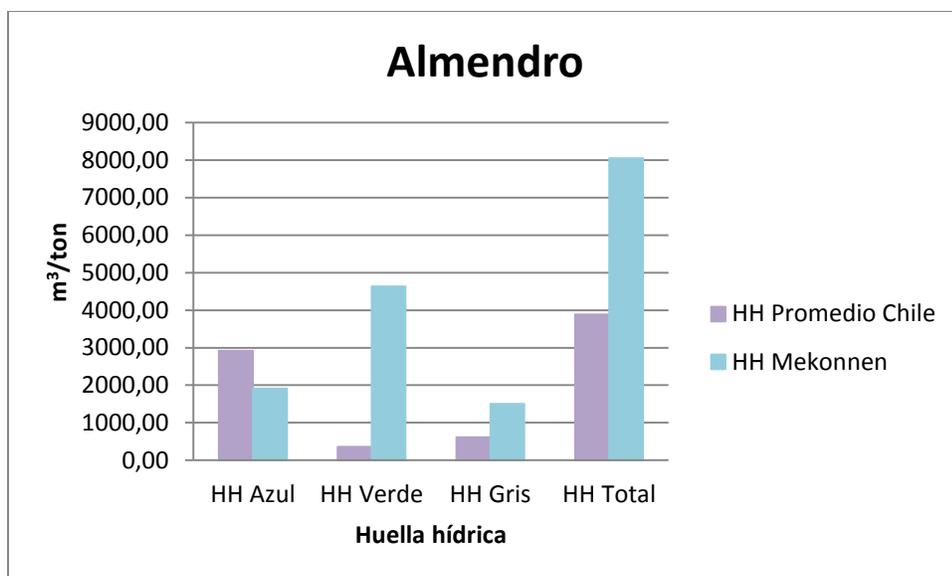


Figura A-A-84: Comparación entre la huella hídrica del Almendo en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.6. Berries (Arándano y Frambuesa)

Se consideró dentro del grupo Berries la Frambuesa y el Arándano porque corresponden al 82,3% de la superficie destinada a Berries en Chile.

El Arándano (*Vaccinium sp*), concentra su producción en el sector sur de Chile, en donde existen recursos hídricos disponibles para su desarrollo.

El agua es fundamental en esta especie, pues se trata de una especie sensible a periodos de sequía estival, al no presentar pelos absorbentes en sus raíces, siendo muy propensas a deshidratarse.

A su vez, el tamaño del fruto depende en gran medida del nivel y oscilación de la humedad en el suelo. Por ejemplo, en plantaciones maduras, las mayores necesidades de agua se presentan en la etapa de engrosamiento y maduración del fruto; por otro lado, si se presenta un periodo de escasez en el proceso de formación de yemas florales, el número de yemas puede verse fuertemente disminuido.

El riego en el Arándano se debe realizar de manera tal, que se mantengan los primeros 15 a 20 cm del suelo húmedos, ya que en esa zona se concentra gran parte de las raíces.

La Frambuesa (*Rubus idaeus*) también concentra la mayor parte de su producción en el sector sur de Chile. Los requerimientos hídricos de esta especie son necesarios para determinar el tamaño de la fruta, la falta de agua podría afectar negativamente este aspecto, por otro lado, lluvias demasiado frecuentes durante la maduración del fruto aumentan la incidencia de enfermedades como botrytis y la pérdida de la firmeza del fruto.

Se considera la Frambuesa una planta bastante resistente a la sequía. Por otro lado la Frambuesa requiere de 750 y 1.700 horas frías para su adecuado crecimiento, resiste heladas de invierno, pero heladas primaverales pueden perjudicar la producción.

Se consideran para el estudio de huella hídrica de Berries desde la Región de O'Higgins hasta la Región de los Lagos, debido a que solo en esas regiones se concentra el 98,05% de la producción de Berries de Chile. La superficie total de Chile en producción de Berries el año 2007 fue de 11.619,52ha, de las cuales 11.392,86ha se encuentran en las regiones estudiadas.

Como se mencionó con anterioridad para el estudio de Berries se consideraran las superficies y rendimientos obtenidos del Arándano y de la Frambuesa.

A.6.1 Huella hídrica Región O'Higgins

La superficie destinada en la Región de O'Higgins a los Berries corresponde a 512ha y el rendimiento promedio a 7,05ton/ha.

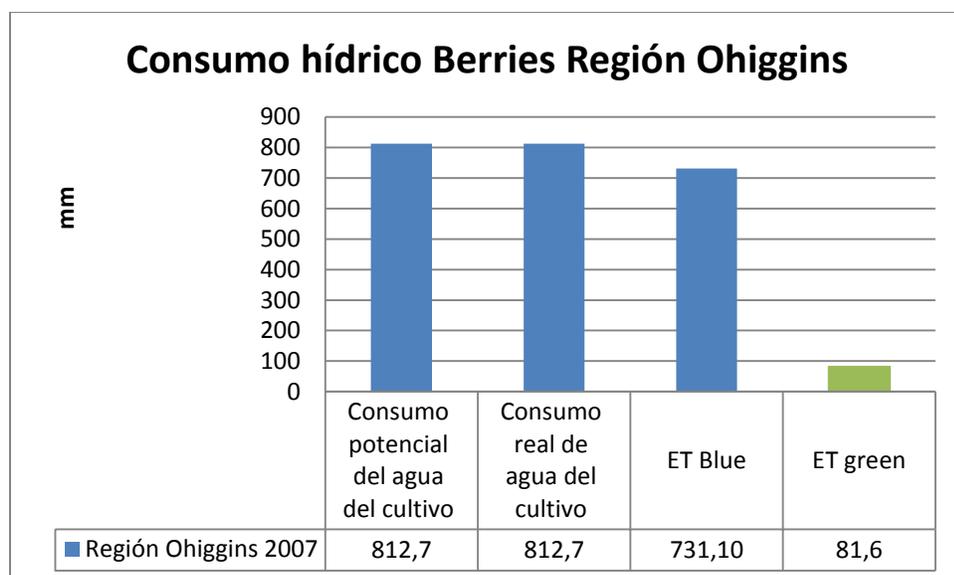


Figura A-A-85: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región de O'Higgins

De acuerdo a la Figura A-A-85, el consumo potencial y real son similares y equivalen a 812,7mm, de que la evapotranspiración azul corresponde al 89,96% del consumo y la evapotranspiración verde al 10,04%.

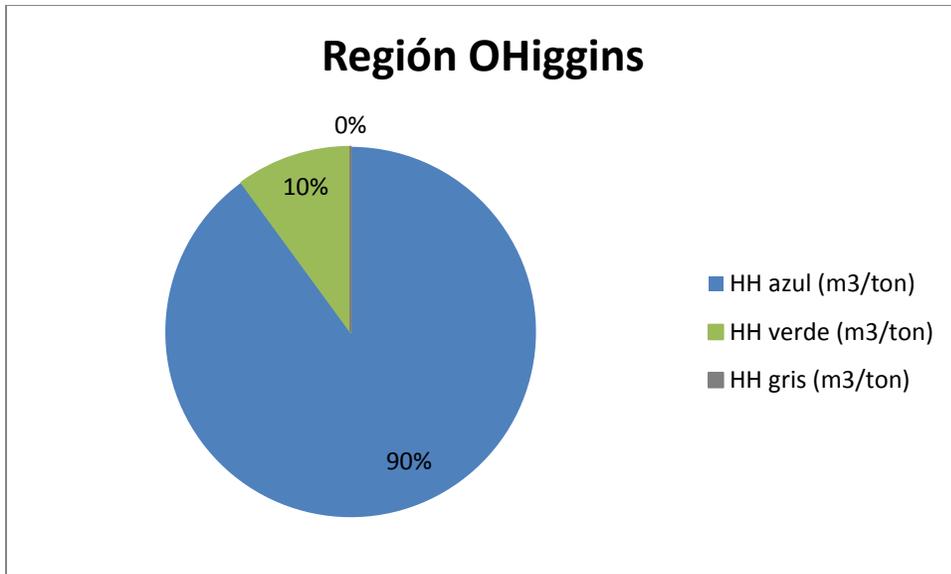


Figura A-A-86: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región de O'Higgins.

La huella hídrica de los Berries en la Región de O'Higgins es de $1.152,77\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor el 90% corresponde a la huella hídrica azul, equivalente a $1.037,02\text{m}^3/\text{ton}$ y el 10% a la huella hídrica verde con un valor de $115,74\text{m}^3/\text{ton}$.

A.6.2 Huella hídrica Región del Maule

La superficie destinada en la Región de O'Higgins a los Berries corresponde a 5.466ha y el rendimiento promedio a $7,53\text{ton}/\text{ha}$.

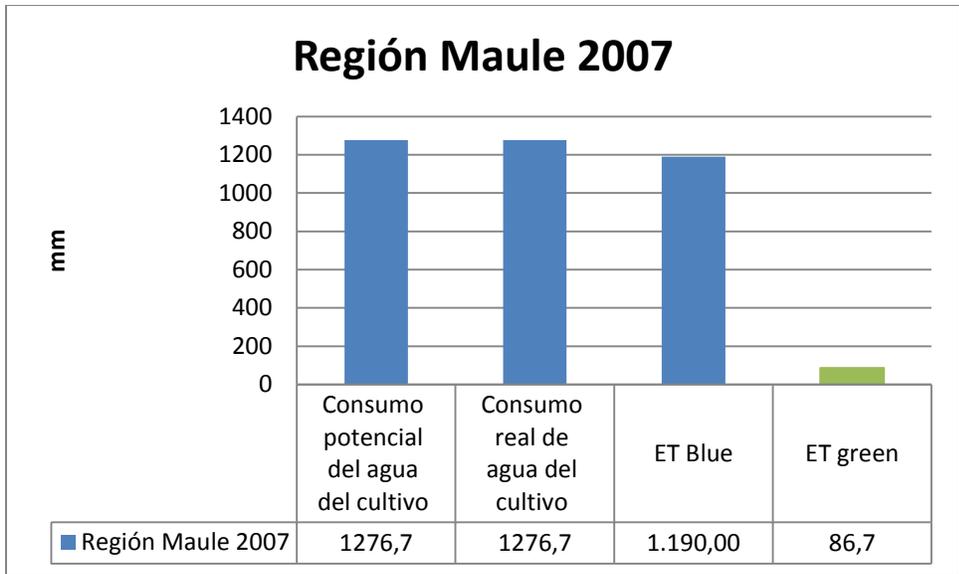


Figura A-A-87: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región del Maule.

De acuerdo a la Figura A-A-87, el consumo potencial y real son similares y equivalen a 1.276,7mm, de que la evapotranspiración azul corresponde al 93,2% del consumo y la evapotranspiración verde al 6,8%.

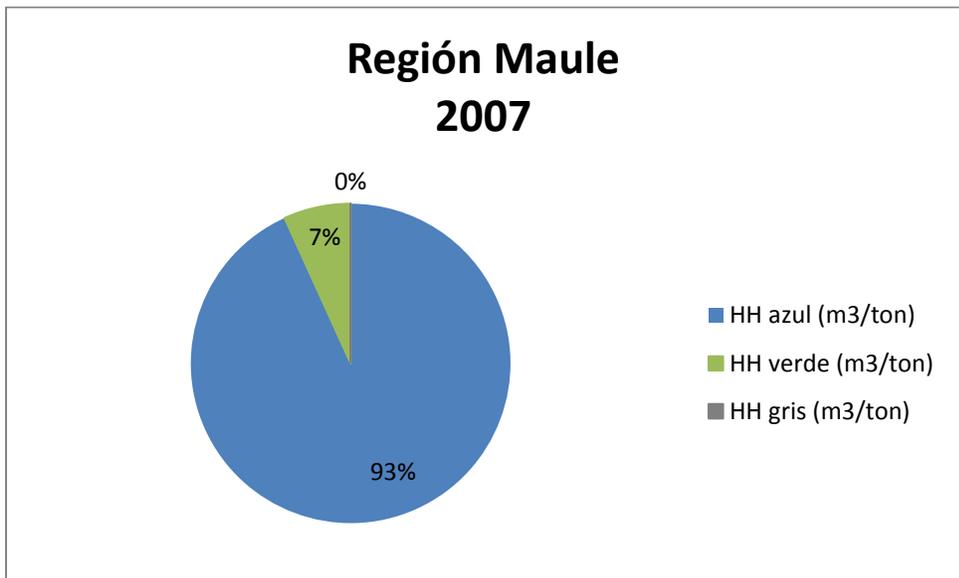


Figura A-A-88: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región del Maule.

La huella hídrica de los Berries en la Región del Maule es de 1.695,48m³/ton, de este valor el 93% corresponde a la huella hídrica azul, equivalente a 1.580,35m³/ton, y el 7% a la huella hídrica verde con un valor de 115,14m³/ton.

A.6.3 Huella hídrica Región del Biobío

La superficie destinada en la Región del Biobío a los Berries corresponde a 2.465ha y el rendimiento promedio a 7,15ton/ha.

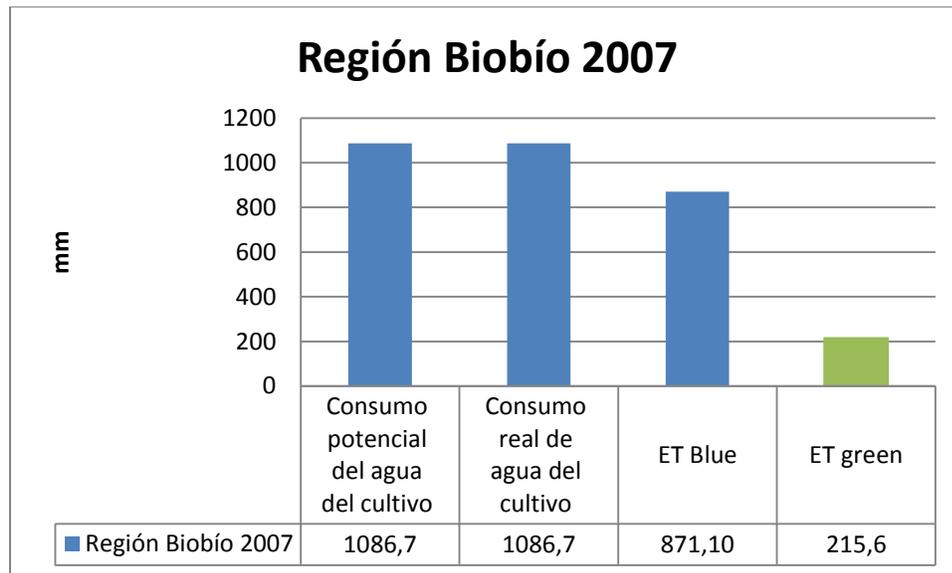


Figura A-A-89: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región del Biobío.

De acuerdo a la Figura A-A-89, el consumo potencial y real son similares y equivalen a 1.086,7mm, de que la evapotranspiración azul corresponde al 80,2% del consumo y la evapotranspiración verde al 9,8%.

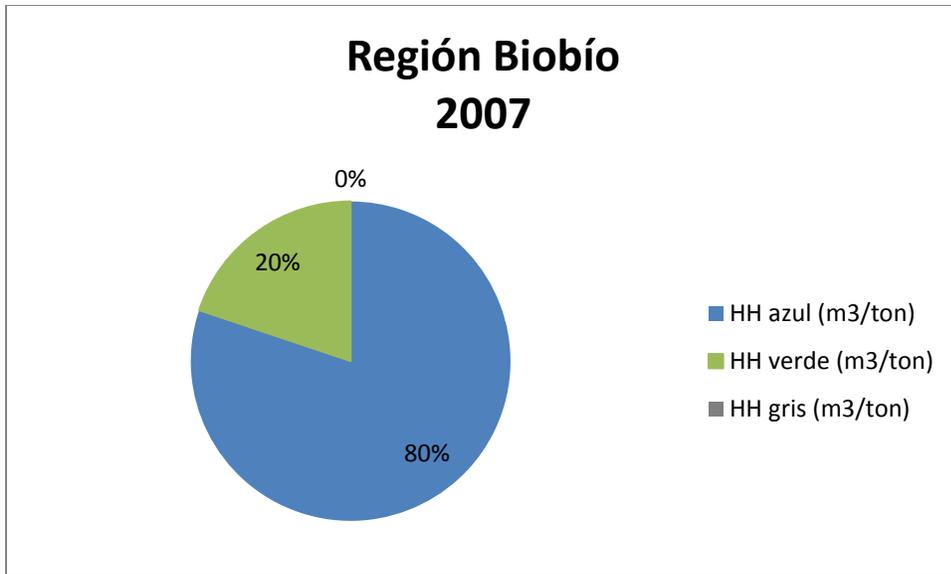


Figura A-A-90: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región del Biobío.

La huella hídrica de los Berries en la Región del Biobío es de 1.519,86m³/ton, de este valor el 80% corresponde a la huella hídrica azul, equivalente a 1.218,32m³/ton, y el 20% a la huella hídrica verde con un valor de 301,54m³/ton.

A.6.4 Huella hídrica Región Araucanía

La superficie destinada en la Región de la Araucanía a los Berries corresponde a 1.122ha y el rendimiento promedio a 5,9ton/ha.

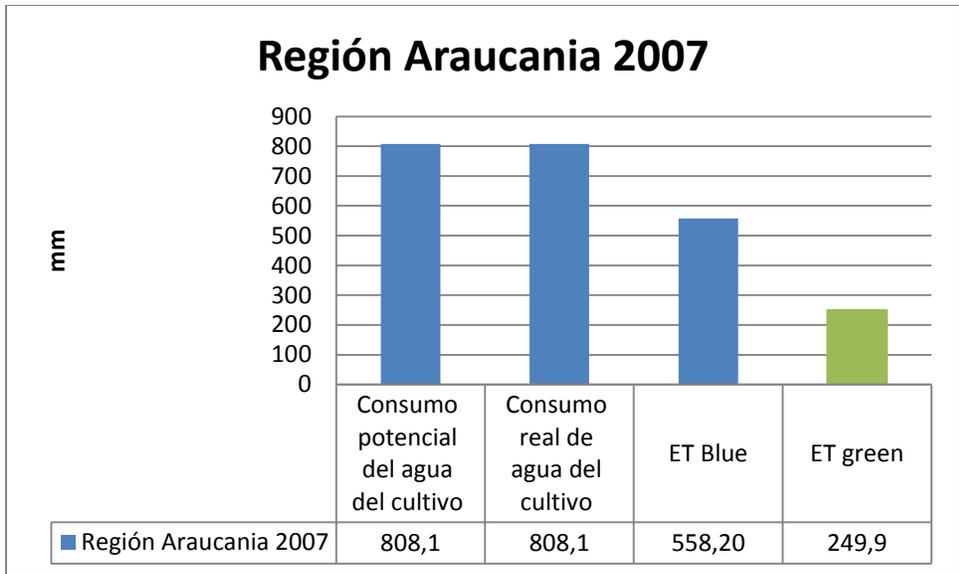


Figura A-A-91: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región de la Araucanía.

De acuerdo a la Figura A-A-91, el consumo potencial y real son similares y equivalen a 808,1mm, de que la evapotranspiración azul corresponde al 69,1% del consumo y la evapotranspiración verde al 30,9%.

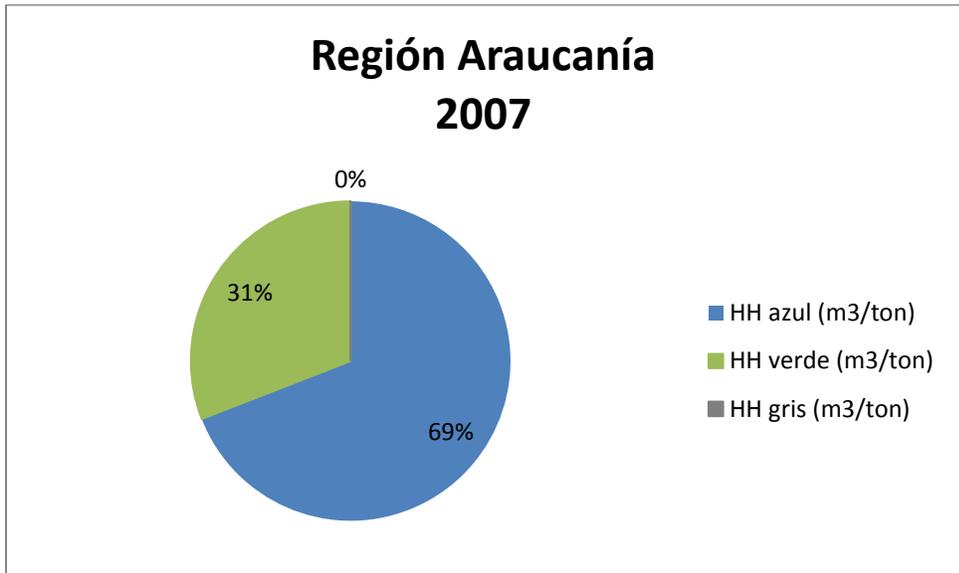


Figura A-A-92: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región de la Araucanía.

La huella hídrica de los Berries en la Región de la Araucanía es de 1.369,66m³/ton, de este valor el 69% corresponde a la huella hídrica azul, equivalente a 946,1m³/ton, y el 31% a la huella hídrica verde con un valor de 423,56m³/ton.

A.6.5 Huella hídrica Región de los Ríos

La superficie destinada en la Región de los Ríos a los Berries corresponde a 779ha y el rendimiento promedio a 7,3ton/ha.

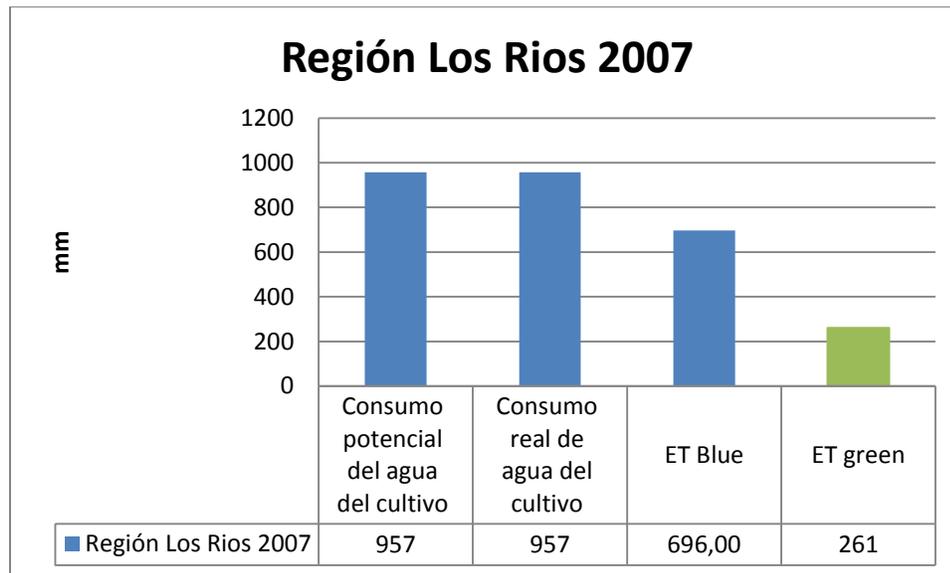


Figura A-A-93: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región de los Ríos.

De acuerdo a la Figura A-A-93, el consumo potencial y real son similares y equivalen a 957mm, de que la evapotranspiración azul corresponde al 72,7% del consumo y la evapotranspiración verde al 27,3%.

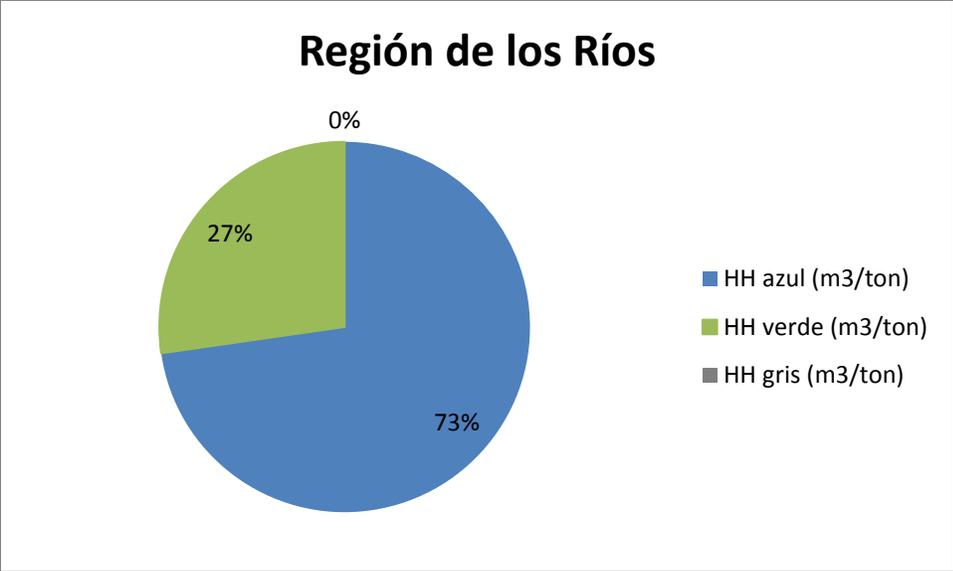


Figura A-A-94: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región de los Ríos.

La huella hídrica de los Berries en la Región de los Ríos es de 1.310,96m³/ton, de este valor el 73% corresponde a la huella hídrica azul, equivalente a 953,42m³/ton, y el 27% a la huella hídrica verde con un valor de 357,53m³/ton.

A.6.6 Huella hídrica Región los Lagos

La superficie destinada en la Región de los Lagos a los Berries corresponde a 762ha y el rendimiento promedio a 7,3ton/ha.

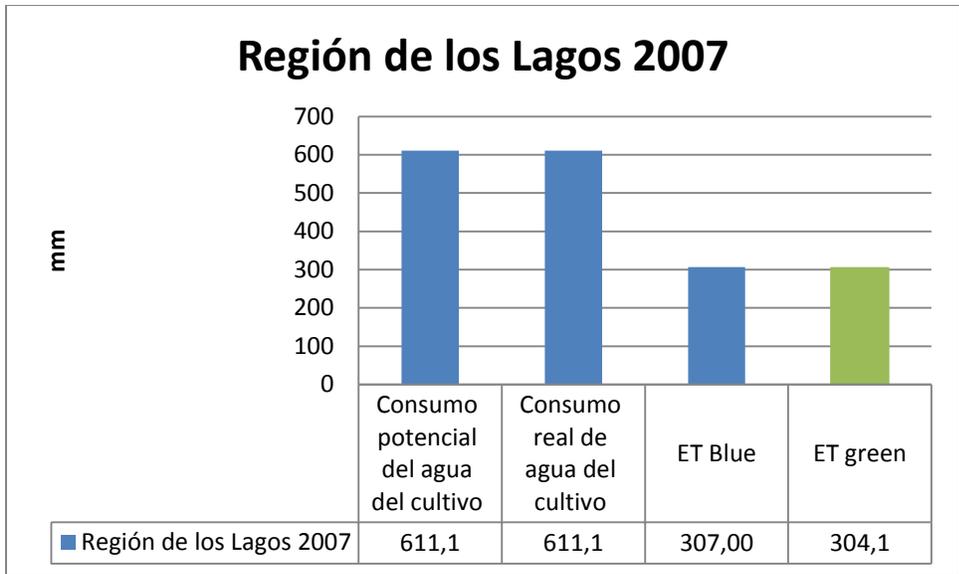


Figura A-A-95: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Berries en la Región de los Lagos.

De acuerdo a la Figura A-A-95, el consumo potencial y real son similares y equivalen a 611,1mm, de que la evapotranspiración azul corresponde al 50,2% del consumo y la evapotranspiración verde al 49,8%.

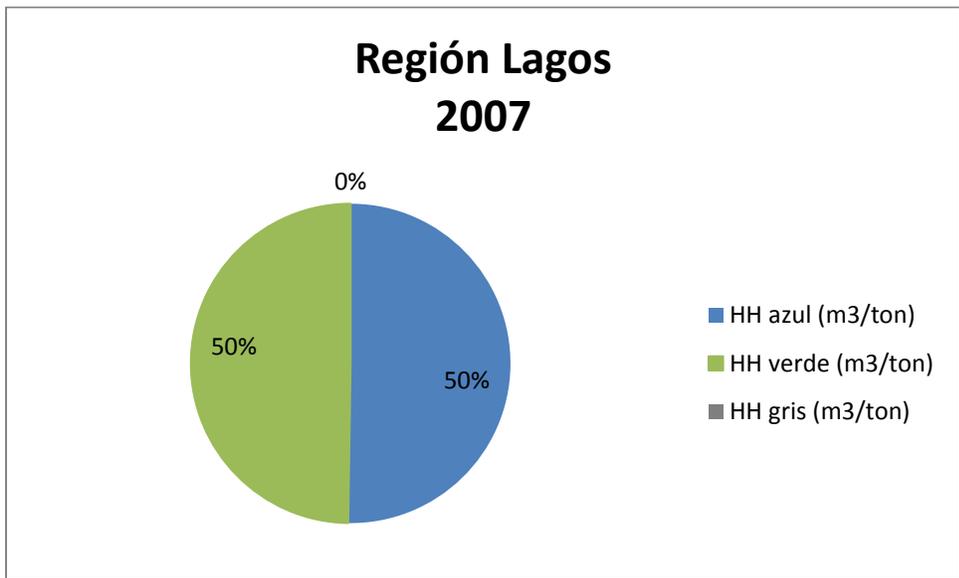


Figura A-A-96: Huella hídrica azul, verde y gris de los Berries en la Región de los Lagos.

La huella hídrica de los Berries en la Región de los Lagos es de 837,12m³/ton, de este valor el 50% corresponde a la huella hídrica azul, equivalente a 420,55m³/ton y el 50% a la huella hídrica verde con un valor de 416,58m³/ton.

De acuerdo a la medición de huella hídrica realizada en las Berries para cada región de Chile, se puede indicar que el mayor consumo de agua se produce en la Región del Maule, representado por la mayor huella hídrica obtenida tanto total como de agua azul. Hacia el sur el valor de la huella hídrica va disminuyendo y a su vez el valor de la huella hídrica verde va aumentando, hasta adquirir la misma importancia que la huella hídrica azul en la Región de los Lagos, como se puede apreciar en la Figura A-A-97.

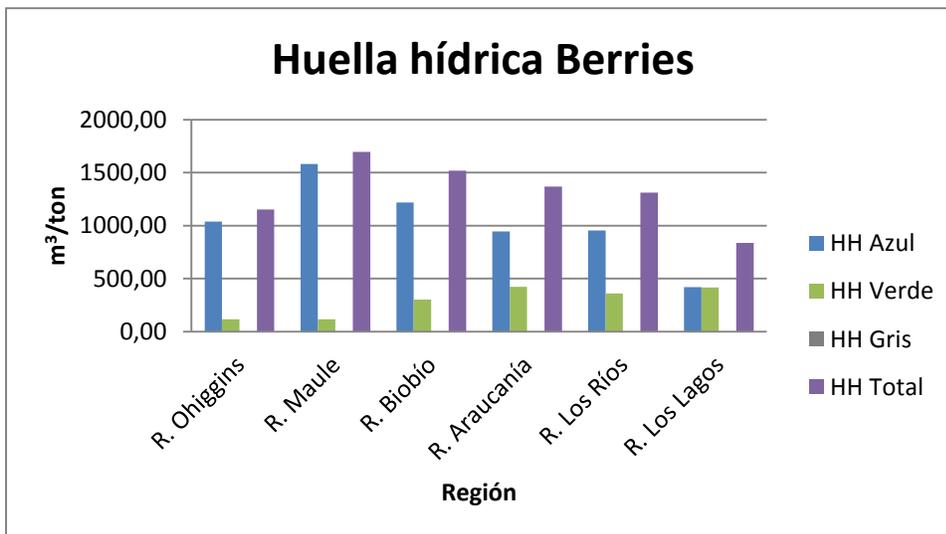


Figura A-A-97: Huella hídrica total, azul, verde y gris de Berries, para cada región de Chile.

En la Figura A-A-98, se aprecia la huella hídrica de las Berries estimada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011) corresponde a 629m³/ton, de la cual 193,5m³/ton provienen de agua azul, 317m³/ton de agua verde y 118,5m³/ton de agua gris. A su vez, si realizamos un promedio nacional de la huella hídrica de los Berries, obtenemos un valor de 1.314,13m³/ton, valor que sobrepasa en 108,9% al valor mundial. De este valor 1.025,96m³/ton corresponde a agua azul que también es muy superior a su equivalente mundial, y la huella hídrica verde corresponde 288,35m³/ton, que representa el 91% de la huella hídrica verde mundial de los Berries.

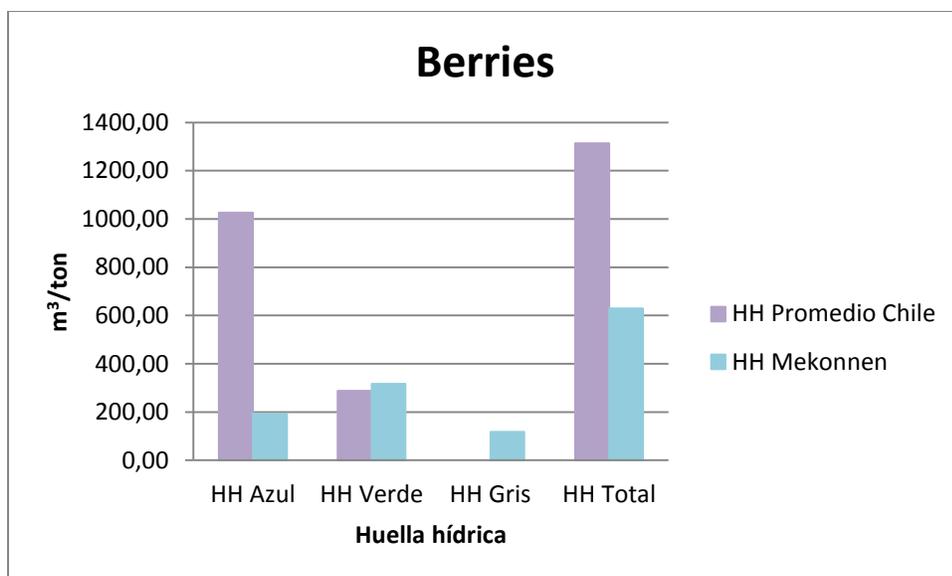


Figura A-A-98: Comparación entre la huella hídrica de los Berries en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).

A.7. Huella hídrica Cerezo (*Prunus Avium*)

El Cerezo es una especie más bien adaptada a la zona centro sur y sur de Chile, debido a los requerimientos de frío entre 700 a 1.000 horas, a los suelos ácidos, como a sus necesidades hídricas.

En el Cerezo debido a que la fecha de cosecha es bastante temprana en comparación a otros carozos en Chile, el crecimiento del fruto es coincidente con el crecimiento vegetativo, por lo tanto es necesario mantener una disponibilidad hídrica durante todo el periodo en que el fruto se encuentre en el árbol, asegurando de esta manera que el tamaño del fruto sea el óptimo. Por otro lado, al disminuir el suministro después de la cosecha y en la etapa de diferenciación floral, no se afecta la producción del año siguiente, sin embargo puede incrementar el porcentaje de frutos dobles.

Se consideran para el estudio de huella hídrica del Cerezo desde la Región de Valparaíso hasta la Región del Biobío, debido a que solo en esas regiones se concentra el 95,9% de la producción de Cerezos de Chile. La superficie total de Chile en producción de Cerezo el año 2007 fue de 9.177,29ha, de las cuales 8796,6ha se encuentran en las regiones estudiadas.

A.7.1 Huella hídrica Región Valparaíso

La superficie destinada en la Región de Valparaíso al Cerezo corresponde a 117,8ha y el rendimiento promedio a 4,9ton/ha.

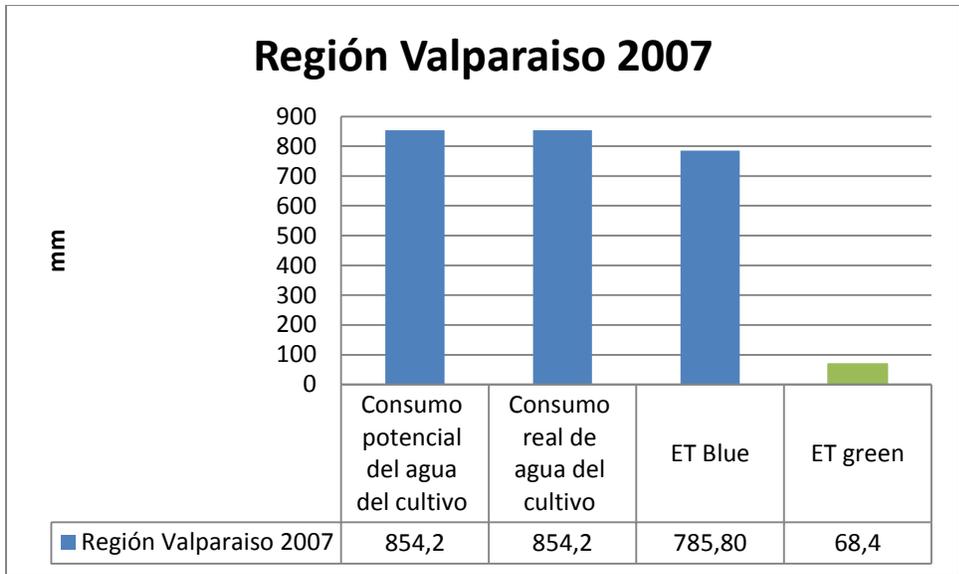


Figura A-A-99: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región de Valparaíso.

De acuerdo a la Figura A-A-99, el consumo potencial y real son similares y equivalen a 854,2mm, de que la evapotranspiración azul corresponde al 92% del consumo y la evapotranspiración verde al 8%.

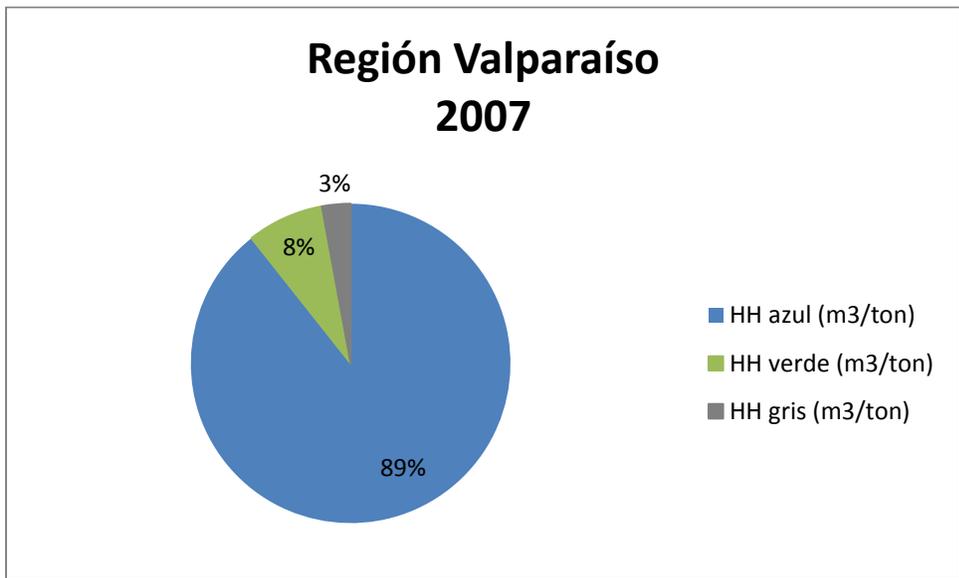


Figura A-A-100: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región de Valparaíso

La huella hídrica del Cerezo en la Región de Valparaíso es de 1.794,97m³/ton, de este valor el 87% corresponde a la huella hídrica azul, equivalente a 1.603,67m³/ton, el 8% a la huella hídrica verde con un valor de 139,59m³/ton y el 3% a huella hídrica gris, con 51,7m³/ton.

A.7.2 Huella hídrica Región Metropolitana

La Región Metropolitana presenta en el 2007 497,4ha de Cerezo, con un rendimiento promedio de 6,4ton/ha. El consumo real del Cerezo iguala el consumo potencial del Cerezo en la Región Metropolitana, en la cual el 77% corresponde a evapotranspiración azul y el 22,9% a evapotranspiración verde.

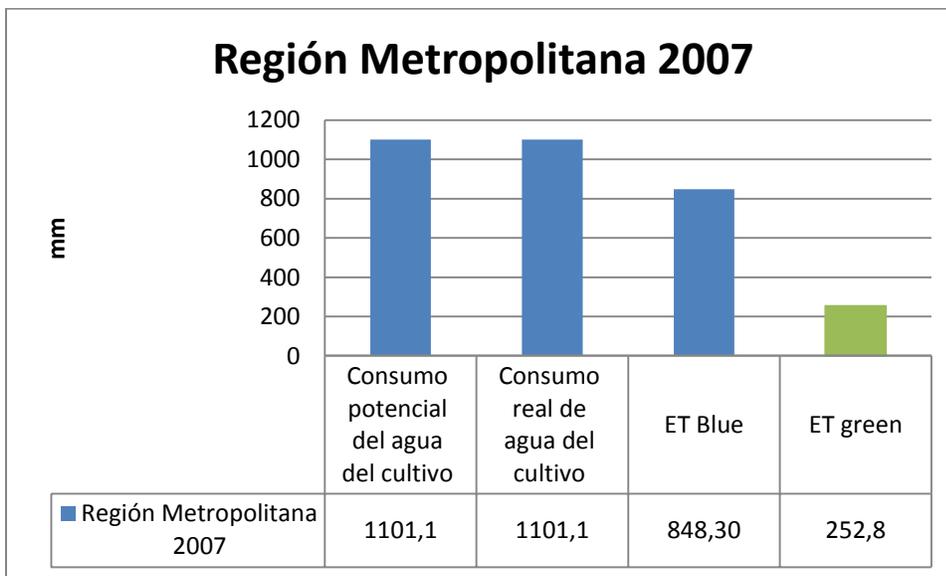


Figura A-A-101: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región Metropolitana.

En la Figura A-A-102, se aprecia que la huella hídrica total del Cerezo el año 2007 en la Región Metropolitana es 1.772,75m³/ton, correspondiendo el 75% a huella hídrica azul con un valor de 1325,47m³/ton, en un 22% a huella hídrica verde equivalente a 395m³/ton y en un 3% a huella hídrica gris con 52,08m³/ton.

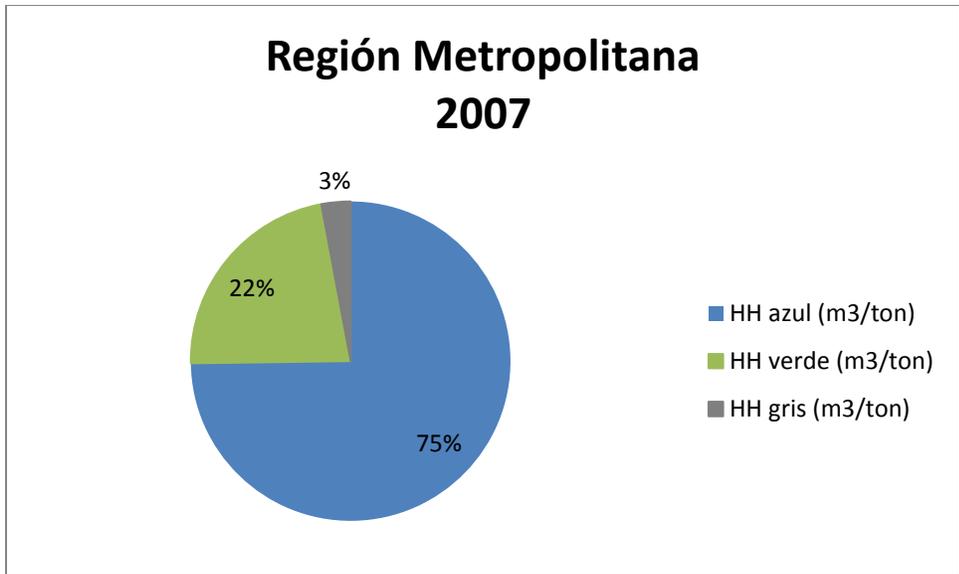


Figura A-A-102: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región Metropolitana

A.7.3 Huella hídrica Región de O'Higgins

En la Región de O'Higgins, la superficie destinada a Cerezo el año 2007 es de 2.837,3ha y el rendimiento promedio de 9,3ton/ha.

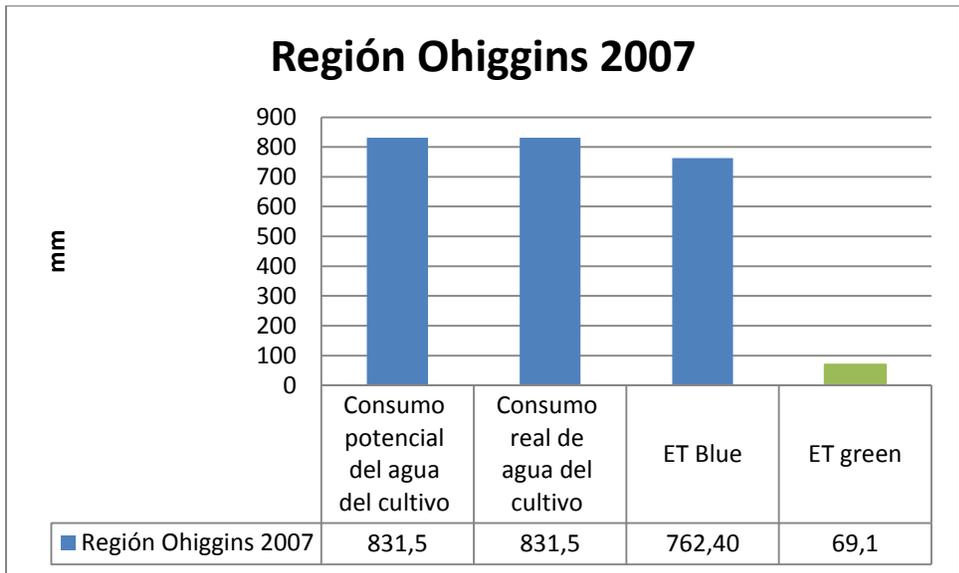


Figura A-A-103: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región de O'Higgins

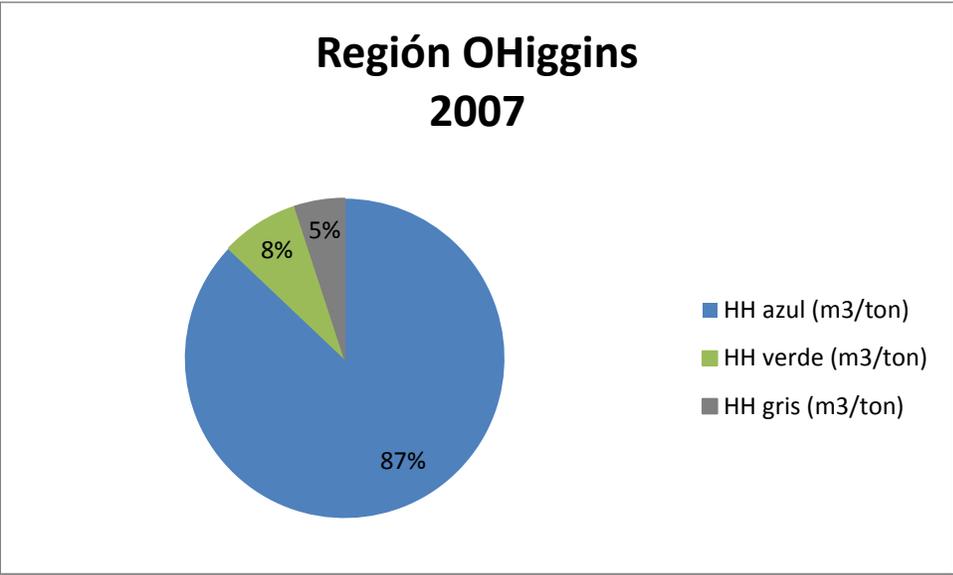


Figura A-A-104: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región de O'Higgins.

La huella hídrica obtenida para el Cerezo el año 2007 es de 941,4m³/ton, de la cual 819,78m³/ton provienen de agua azul, correspondiendo al 87% de la huella hídrica; 74,3m³/ton provienen del agua verde que representa el 8% del consumo y 47,1m³/ton que equivalen al 5% de la huella corresponde a la huella hídrica gris.

A.7.4 Huella hídrica Región del Maule

En la Región del Maule, la superficie destinada a Cerezo el año 2007 es de 4.353,4ha y el rendimiento promedio de 7,7ton/ha.

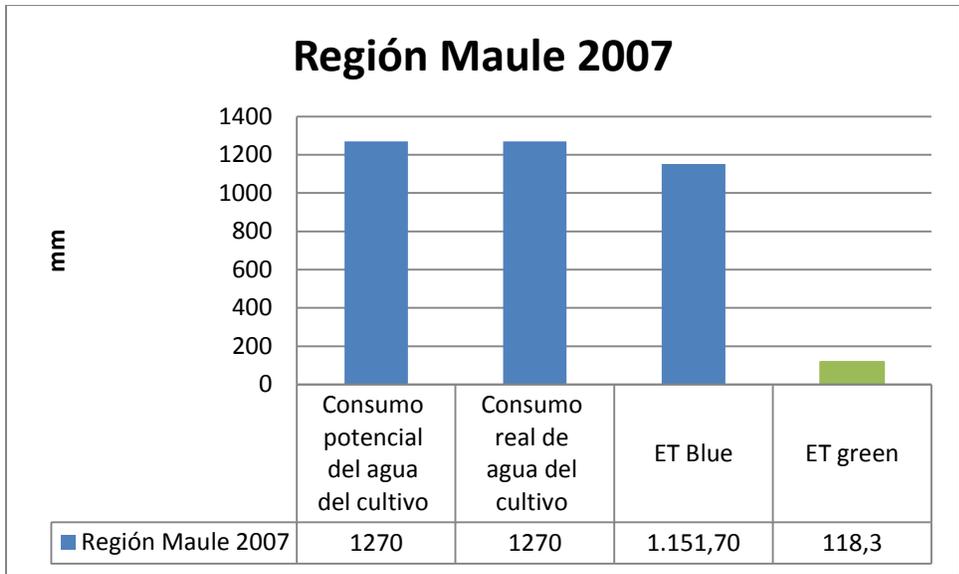


Figura A-A-105: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región del Maule.

De acuerdo a esta información se aprecia en la Figura A-A-105, que la evapotranspiración azul corresponde al 90,7% del consumo real del agua, y la evapotranspiración verde al 9,3% del consumo. A su vez el consumo real de agua que corresponde a 1.270mm es equivalente al consumo potencial del agua del Cerezo.

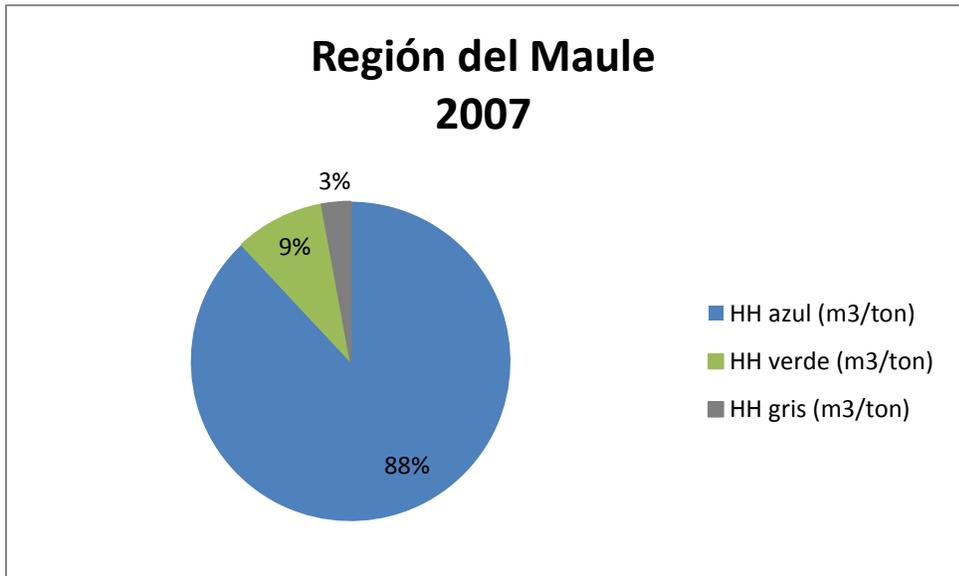


Figura A-A-106: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región del Maule

De acuerdo a la información presentada, se obtuvo que la huella hídrica del Cerezo en la Región del Maule corresponde a 1.698,7m³/ton, de la cual la huella hídrica azul representa el 88% con un valor de 1.495,71m³/ton, la huella hídrica verde representa el 9% con un valor de 153,64m³/ton y por último el 3% restante corresponde a la huella hídrica gris, que en este caso es de 49,35m³/ton.

A.7.5 Huella hídrica Región del Biobío

En la Región del Biobío la superficie destinada a Cerezo el 2007 es de 990,7ha y el rendimiento promedio de 4,2ton/ha.

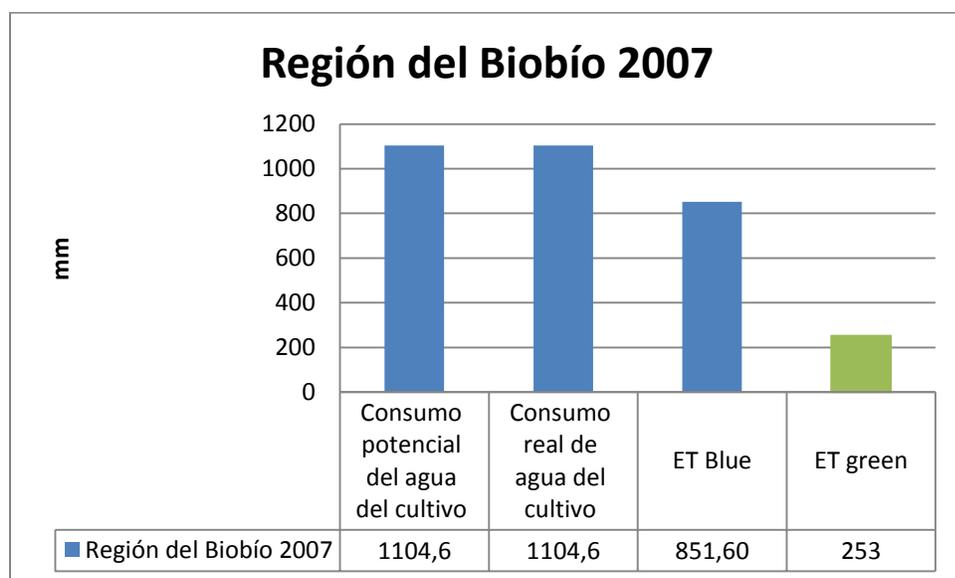


Figura A-A-107: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Cerezo en la Región del Biobío.

En esta región la evapotranspiración verde del Cerezo corresponde al 22,9% del consumo real del agua, predominando aún la evapotranspiración azul del Cerezo, al representar el 77% del consumo real de agua del Cerezo.

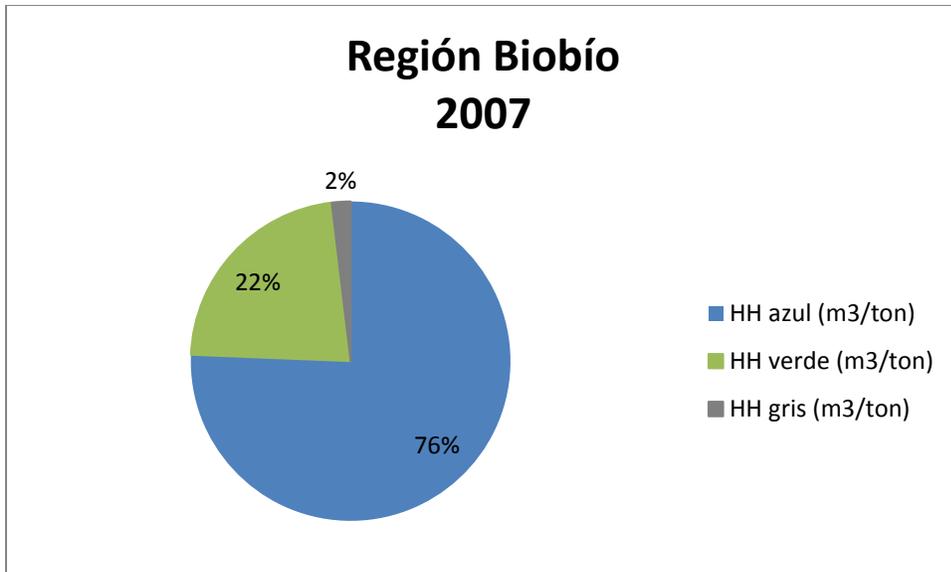


Figura A-A-108: Huella hídrica azul, verde y gris del Cerezo en la Región del Biobío.

En la Figura A-A-108, se aprecia que la huella hídrica total del Cerezo en la Región del Biobío es de 2.680,79m³/ton, de la cual el 76% corresponde a agua azul, debido al alto nivel de consumo representado por la evapotranspiración azul del Cerezo. El valor de la huella hídrica azul en esta región es de 2027,62m³/ton; el valor de la huella hídrica verde es de 602,38m³/ton equivalente al 22% de la huella y el 2% restante que corresponde a la huella hídrica gris posee un valor de 50,79m³/ton.

De acuerdo a estos valores de huella hídrica obtenidos para cada región con producción de Cerezos de Chile, se realiza un análisis de magnitudes del consumo de agua en cada región; el cual indica que la región con mayor valor de huella hídrica obtenida en Chile, fue la Región del Biobío, debido al bajo rendimiento del frutal en esta zona, así como al mayor consumo de agua azul tanto como verde (Figura A-A-109). Por otro lado, la Región de O'Higgins representa el menor valor de huella hídrica del Cerezo en Chile, asociado principalmente al alto rendimiento obtenido en la zona.

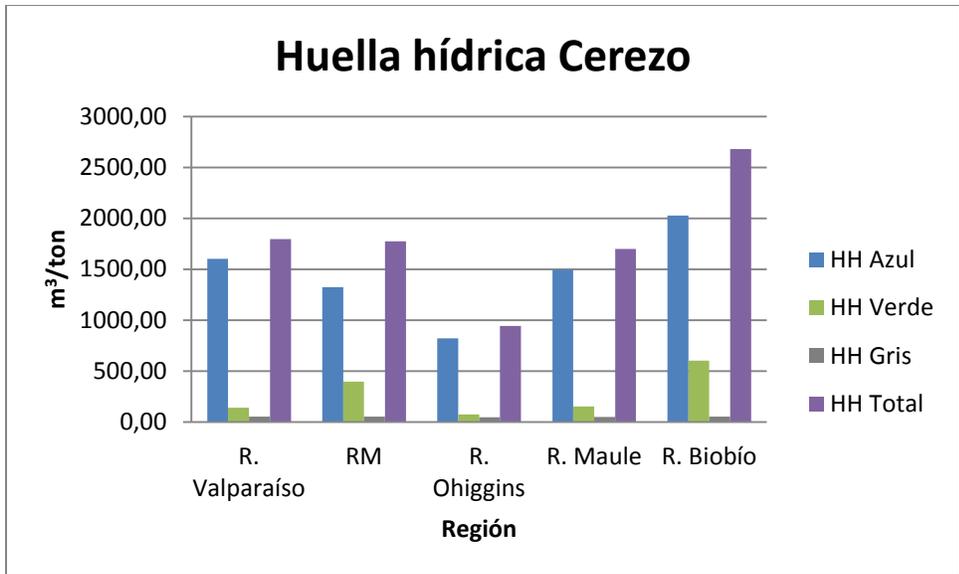


Figura A-A-109: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Cerezo, para cada región de Chile.

De acuerdo a Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), la huella hídrica del Cerezo es de $1.604\text{m}^3/\text{ton}$ de las cuales $531\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $961\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $112\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. En relación a estos valores, se indica que la huella hídrica promedio del Cerezo en Chile, sobrepasa en un 10,8% a la huella hídrica promedio mundial debido a que adquiere un valor promedio en Chile de $1.777,68\text{m}^3/\text{ton}$, situación que se agrava o disminuye de acuerdo a la región de estudio. La misma situación ocurre en el caso de la huella hídrica azul promedio de Chile, sobrepasando en 173,9% al agua azul promedio mundial utilizada por el Cerezo; sin embargo en relación al uso de agua verde y gris por el Cerezo, Chile representa el 28,4% y 44,9% de los usos mundiales del Cerezo respectivamente (Figura A-A-110).

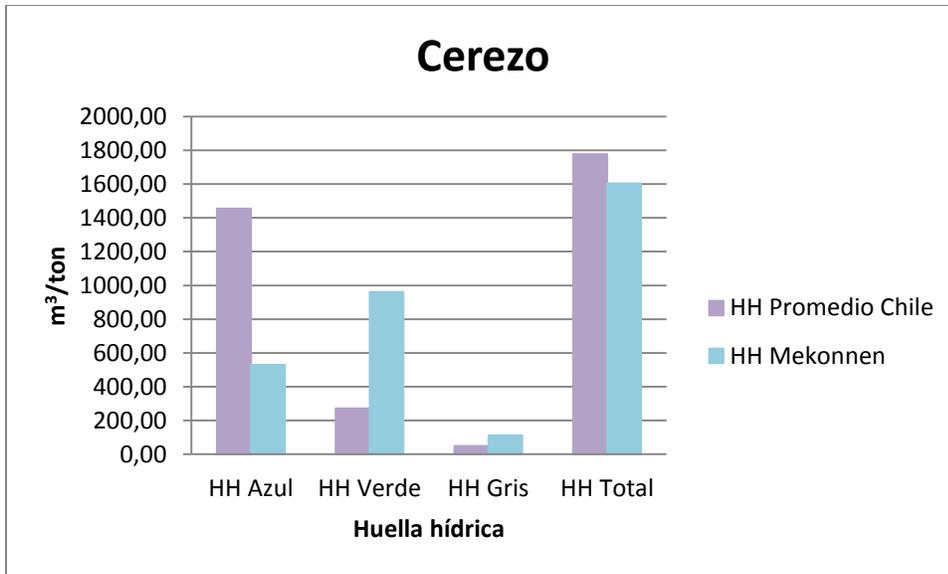


Figura A-A-110: Comparación entre la huella hídrica del Cerezo en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).

A.8. Huella hídrica Ciruelo (*Prunus domestica*)

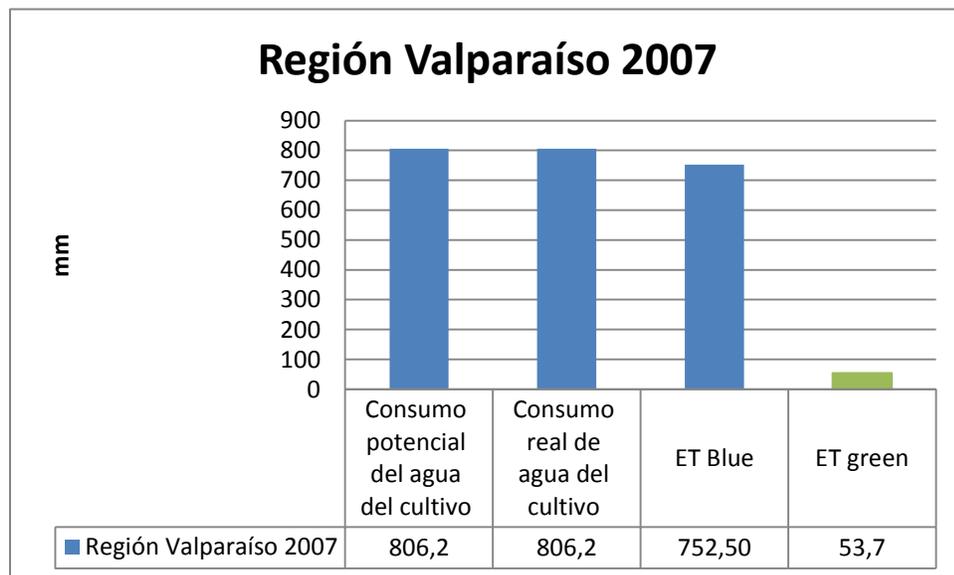
El Ciruelo es una especie que se adapta con facilidad a diferentes condiciones, sin embargo requiere de una humedad atmosférica entre 60 a 70%, para que en época de reposo mantenga frescas las yemas y en la floración el estigma permanezca húmedo y se pueda polinizar la flor.

El déficit hídrico al tratarse de un carozo tardío no es muy determinante en la fase de endurecimiento del carozo y desarrollo del embrión, sin embargo déficit en la fase de termino de endurecimiento del carozo hasta maduración del fruto puede provocar una fuerte disminución de la producción como del tamaño del fruto, por otro lado, el déficit hídrico en la poscosecha no afecta mucho el rendimiento del Ciruelo. Para plantar el Ciruelo en determinada zona, uno de los parámetros a considerar es una precipitación anual entre 1.000 a 1.200 milímetros repartidos dentro del ciclo vegetativo.

En el estudio de huella hídrica del Ciruelo se considera la producción establecida desde la Región de Valparaíso hasta la Región del Maule, debido a que solo en esas regiones se concentra el 99,31% de la producción de Ciruelos de Chile. La superficie total de Chile en producción de Ciruelo el año 2007 fue de 13.098,22ha, de las cuales 13.007,7ha se encuentran en las regiones estudiadas.

A.8.1 Huella hídrica Región Valparaíso

En la Región de Valparaíso la superficie destinada a Ciruelo el año 2007 corresponde a 420,5ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 37,2ton/ha.



Fuente: Elaboración propia

Figura 178. Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Ciruelo en la Región de Valparaíso.

En la Figura A-A-178, se aprecia que el consumo de agua real del Ciruelo es equivalente al consumo de agua potencial que alcanza un valor de 806,2mm. De este valor, la evapotranspiración azul represente el 93,3% y la evapotranspiración verde el 6,7%.

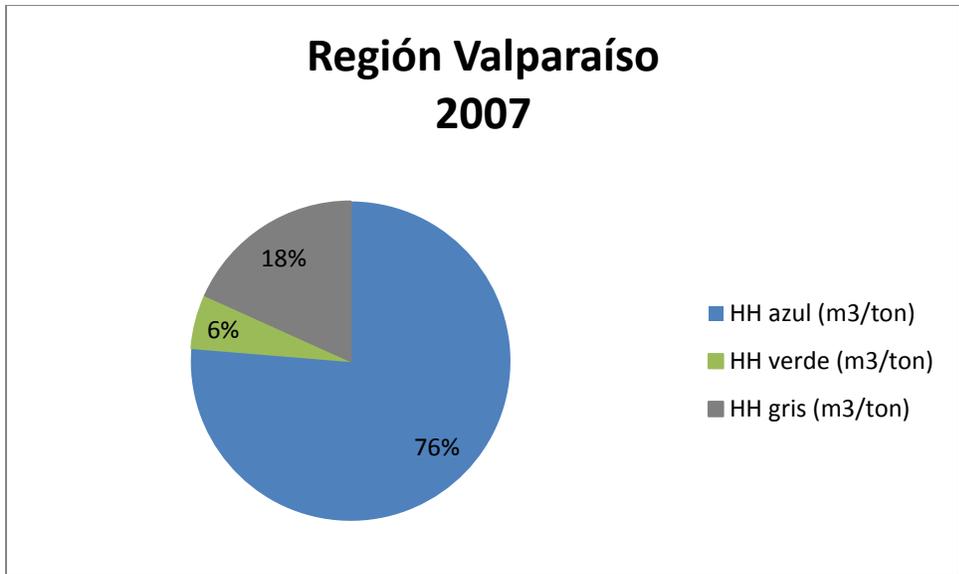


Figura A-A-111: Huella hídrica azul, verde y gris del Ciruelo en la Región de Valparaíso

De acuerdo a esta información, se obtuvo que la huella hídrica del Ciruelo en la Región de Valparaíso el año 2007 corresponde a $265,11\text{m}^3/\text{ton}$, de la cual el 76% es agua azul con un valor de $202,28\text{m}^3/\text{ton}$, el 6% a agua verde con $14,44\text{m}^3/\text{ton}$ y el 18% restante a huella hídrica gris con un valor de $48,39\text{m}^3/\text{ton}$.

A.8.2 Huella hídrica Región Metropolitana

En la Región Metropolitana la superficie destinada a Ciruelo el año 2007 corresponde a 4.798ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 21,85ton/ha.

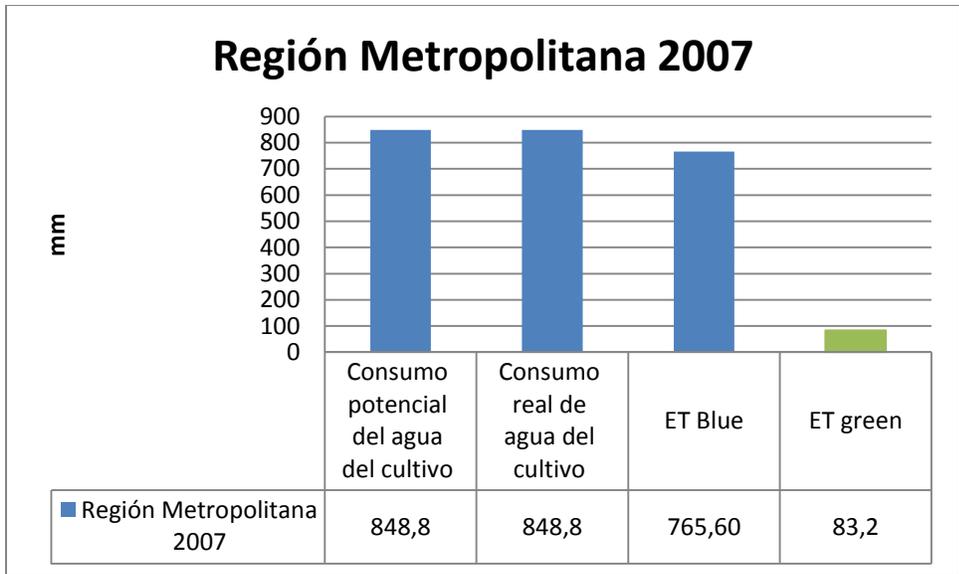


Figura A-A-112: . Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Ciruelo en la Región Metropolitana.

En la Figura A-A-112, se aprecia que el consumo de agua real del Ciruelo es equivalente al consumo de agua potencial que alcanza un valor de 848,8mm. De este valor, la evapotranspiración azul represente el 90,2% y la evapotranspiración verde el 9,8%.

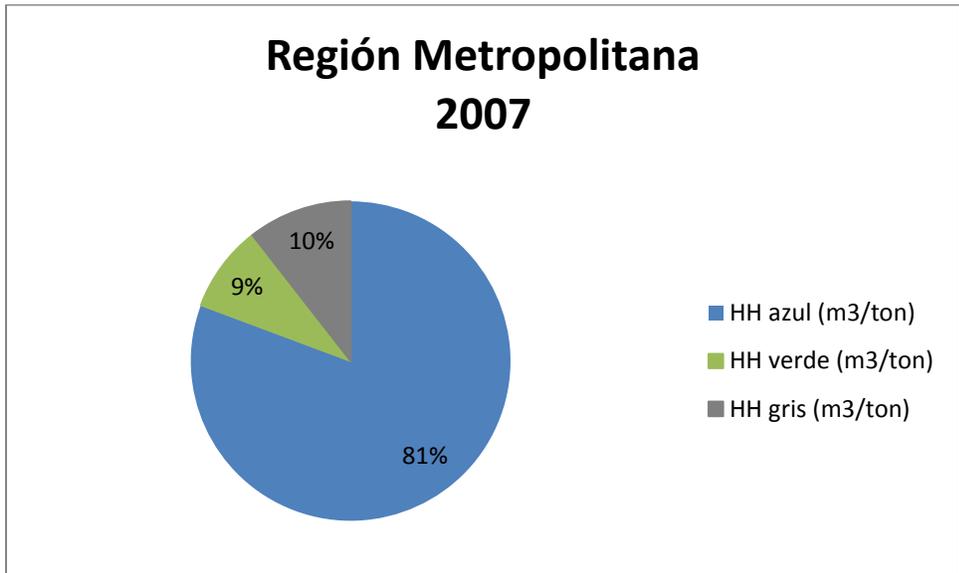


Figura A-A-113: Huella hídrica azul, verde y gris del Ciruelo en la Región Metropolitana

De acuerdo a esta información, se obtuvo que la huella hídrica del Ciruelo en la Región de Metropolitana el año 2007 corresponde a 434,23m³/ton, de la cual el 81% es agua azul con un valor de 350,39m³/ton, el 9% a agua verde con 38,08m³/ton y el 10% restante a huella hídrica gris con un valor de 45,77m³/ton.

A.8.3 Huella hídrica Región O'Higgins

En la Región de O'Higgins la superficie destinada a Ciruelo el año 2007 corresponde a 6.595ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 24,5ton/ha.

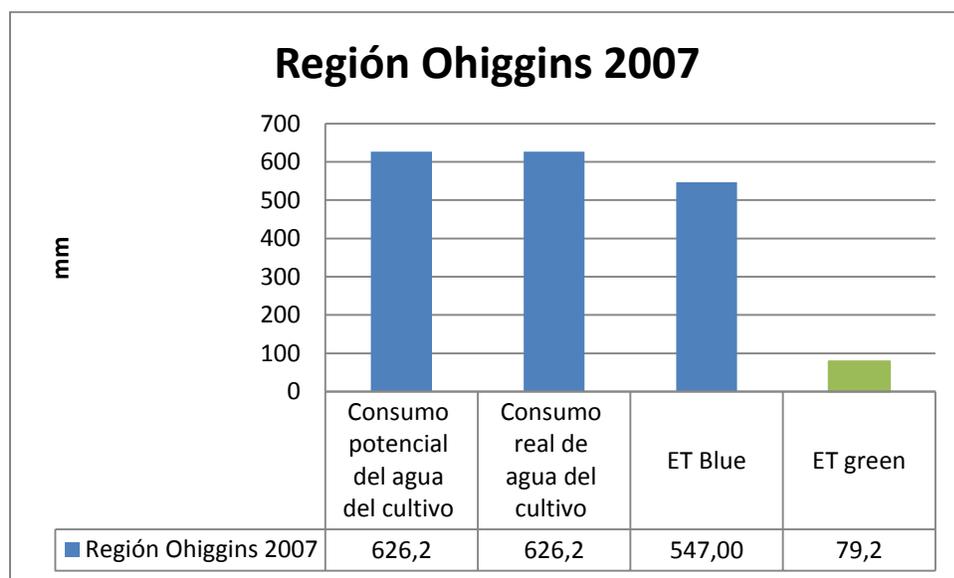


Figura A-A-114: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Ciruelo en la Región de O'Higgins.

En la Figura A-A-114, se aprecia que el consumo de agua real del Ciruelo es equivalente al consumo de agua potencial que alcanza un valor de 626,2mm. De este valor, la evapotranspiración azul representa el 87,4% y la evapotranspiración verde el 12,6%.

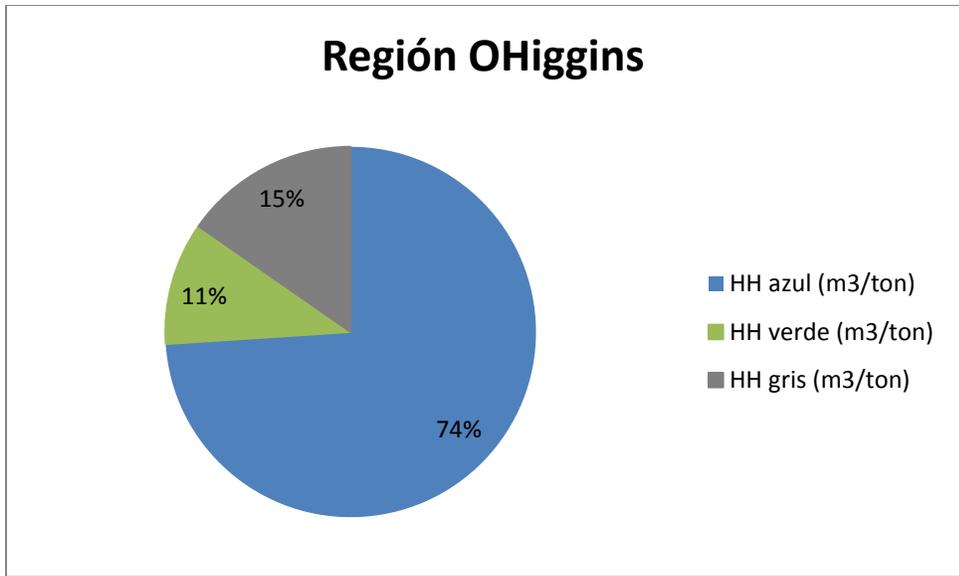


Figura A-A-115: Huella hídrica azul, verde y gris del Ciruelo en la Región de O'Higgins.

De acuerdo a esta información, se obtuvo que la huella hídrica del Ciruelo en la Región de O'Higgins el año 2007 corresponde a $301,85\text{m}^3/\text{ton}$, de la cual el 74% es agua azul con un valor de $223,27\text{m}^3/\text{ton}$, el 11% a agua verde con $32,33\text{m}^3/\text{ton}$ y el 15% restante a huella hídrica gris con un valor de $46,26\text{m}^3/\text{ton}$.

A.8.4 Huella hídrica Región del Maule

En la Región del Maule la superficie destinada a Ciruelo el año 2007 corresponde a 1.194ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a $27,86\text{ton}/\text{ha}$.

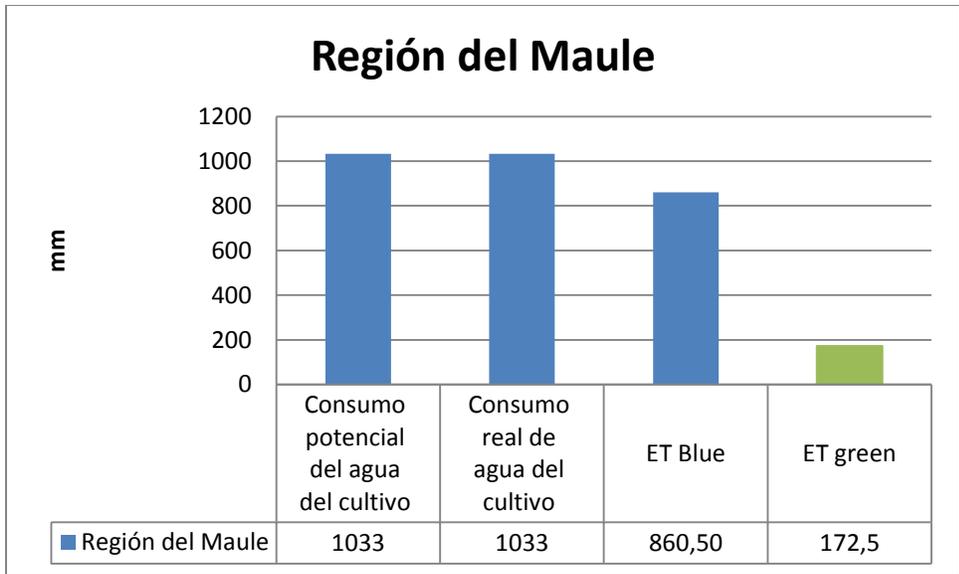


Figura A-A-116: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Ciruelo en la Región de Maule.

En la Figura A-A-116, se aprecia que el consumo de agua real del Ciruelo es equivalente al consumo de agua potencial que alcanza un valor de 1.033mm. De este valor, la evapotranspiración azul represente el 83,3% y la evapotranspiración verde el 16,7%.

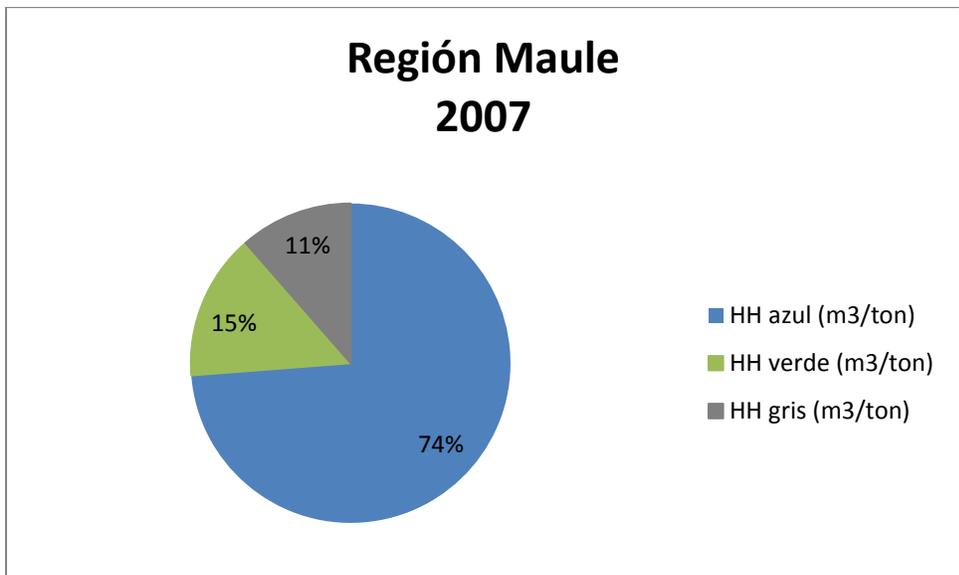


Figura A-A-117: Huella hídrica azul, verde y gris del Ciruelo en la Región del Maule

De acuerdo a esta información, se obtuvo que la huella hídrica del Ciruelo en la Región del Maule el año 2007 corresponde a 418,64m³/ton, de la cual el 74% es agua azul con un valor de

308,87m³/ton, el 15% a agua verde con 61,92m³/ton y el 11% restante a huella hídrica gris con un valor de 47,86m³/ton.

Analizando los valores de las huellas hídricas de las regiones estudiadas se puede indicar que la Región Metropolitana representa el mayor valor de huella hídrica determinada principalmente por el agua azul, a su vez, este valor se debe a que esta región presenta el menor rendimiento y el mayor consumo real de agua. La situación inversa se produce en la Región de Valparaíso, la cual representa el menor valor de huella hídrica total y azul debido al buen rendimiento obtenido en esa zona (Figura A-A-118). El menor o mayor valor de huella hídrica obtenido por una región indica el agua utilizada por la región para ese frutal.

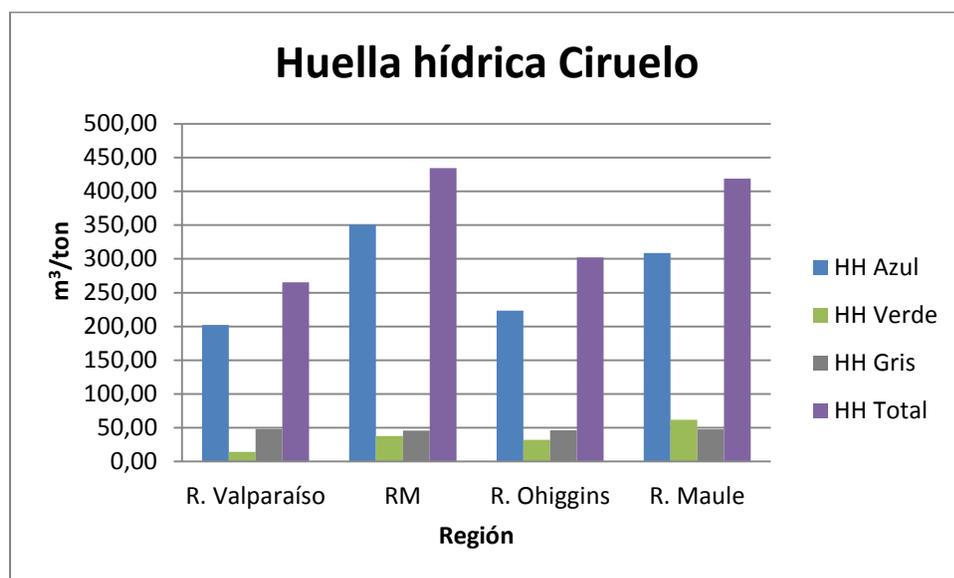


Figura A-A-118: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Ciruelo, para cada región de Chile.

Si realizamos una huella hídrica promedio del Ciruelo en Chile, obtenemos un valor total de 354,96m³/ton, de este valor, 271,2m³/ton corresponden a huella hídrica azul, 36,69m³/ton a huella hídrica verde y 47,07m³/ton a huella hídrica gris. Si se comparan estos valores con los estimados por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011) a nivel mundial, que indica un valor de huella hídrica total de 2.180m³/ton, un valor de huella hídrica azul de 188m³/ton, un valor de huella hídrica verde de 1.570m³/ton y un valor de huella hídrica gris de 422m³/ton. Se aprecia que Chile posee una huella hídrica total que corresponde al 16,3% de la huella hídrica mundial, lo mismo ocurre en el caso del agua verde y gris, representando el 2,3% y el 11,2% respectivamente; sin embargo en el Ciruelo, Chile presenta un consumo de agua azul 44% mayor al consumo de agua azul del Ciruelo a nivel mundial.

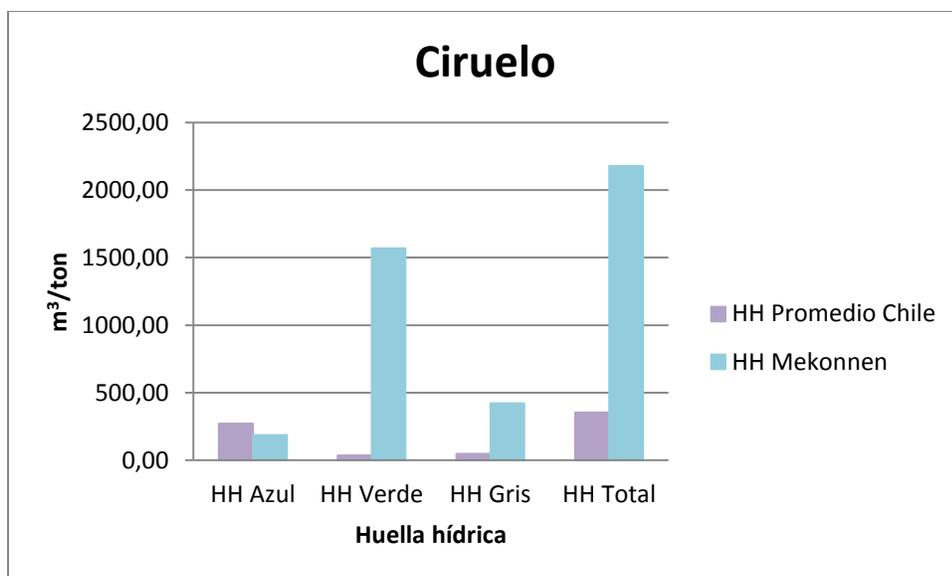


Figura A-A-119: Comparación entre la huella hídrica del Ciruelo en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011).

A.9. Huella hídrica Cítricos

Se consideró dentro del grupo Cítricos al Naranja, Clementina, Limón de pica y Limón porque representan el 98% de la superficie destinada a cítricos.

El Naranja (*Citrus sinensis*) es una especie sensible a la anoxia radicular, por ello es necesario cultivarlo en sectores con suelo livianos, con buen drenaje y sin napas freáticas a poca profundidad o si exceso precipitaciones.

El Limón (*Citrus limón*) es uno de los frutales de hoja persistente más importantes en términos de superficie en Chile, en general se cultiva en áreas con mesoclima porque son mucho más sensibles al frío, por presentar floración casi todo el año. A su vez se adaptan a un gran rango de humedades relativas; son necesarias lluvias otoñales para mejorar el tamaño del fruto y su calidad de jugo. En el caso del Limón también el déficit hídrico en periodo de crecimiento y desarrollo del fruto puede determinar su tamaño, influyendo negativamente.

La inducción y el desarrollo floral están controlados por el estrés hídrico y de temperaturas.

El Clementina (*Citrus unshiu*), en general es una especie más resistente al frío y más tolerante a la sequía que el Naranja. También se ve afectada por el déficit hídrico, especialmente en el tamaño del fruto.

Se consideran para el estudio de huella hídrica de los Cítricos la producción del Naranja, Clementina, Limón de pica y Limón, desde la Región de Atacama a hasta la Región de O'Higgins, debido a que solo en esas regiones se concentra el 96,75% de la producción de Cítricos de Chile. La superficie total de Chile en producción de Cítricos el año 2007 fue de 16.604,36ha, de las cuales 16.064,79ha se encuentran en las regiones estudiadas.

A.9.1 Huella hídrica Región de Atacama

En la Región de Atacama la superficie destinada a Cítricos el año 2007 corresponde a 382ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 26,6ton/ha.

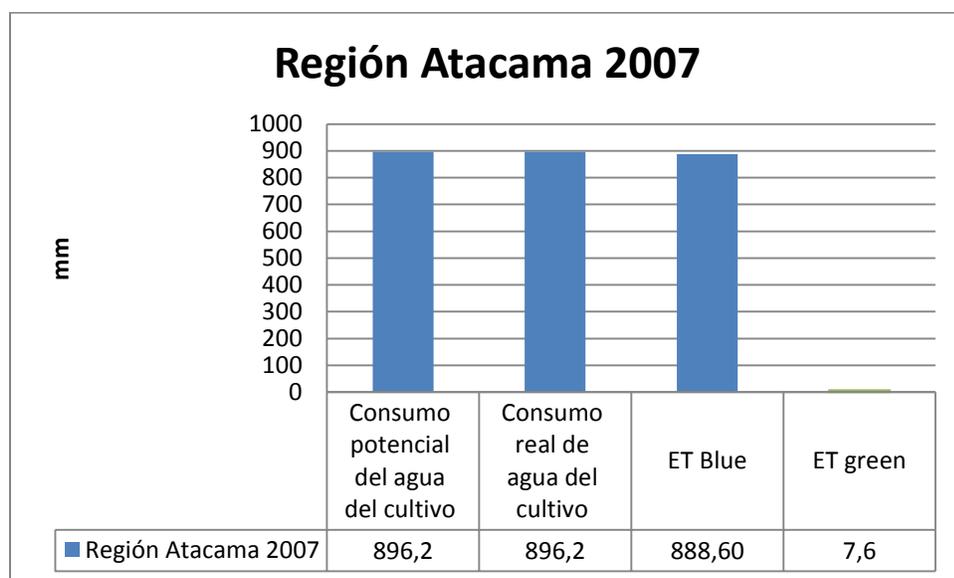
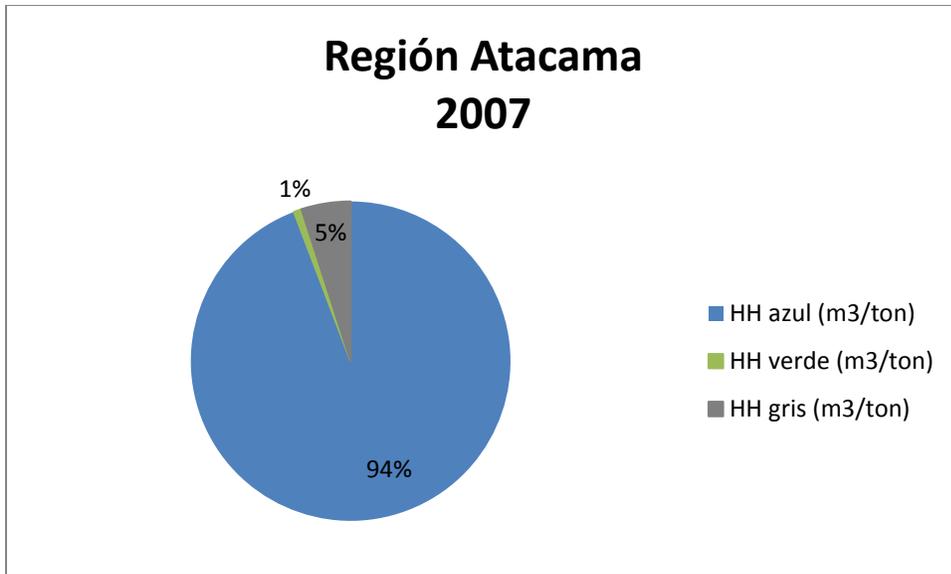


Figura A-A-120: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región de Atacama

En la Figura A-A-120, se aprecia que el consumo de agua real de los Cítricos es equivalente al consumo de agua potencial que alcanza un valor de 896,2mm. De este valor, la evapotranspiración azul representa el 99,2% y la evapotranspiración verde el 0,8%.



Fuente: Elaboración propia

Figura 189. Huella hídrica azul, verde y gris de los Cítricos en la Región de Atacama.

De acuerdo a esta información, se obtuvo que la huella hídrica de los Cítricos en la Región de Atacama el año 2007 corresponde a $354,56\text{m}^3/\text{ton}$, de la cual el 94% es agua azul con un valor de $334,06\text{m}^3/\text{ton}$, el 1% a agua verde con $2,86\text{m}^3/\text{ton}$ y el 5% restante a huella hídrica gris con un valor de $17,6\text{m}^3/\text{ton}$.

A.9.2 Huella hídrica Región Coquimbo

En la Región de Coquimbo la superficie destinada a Cítricos el año 2007 corresponde a 3.389ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a $36,4\text{ton}/\text{ha}$.

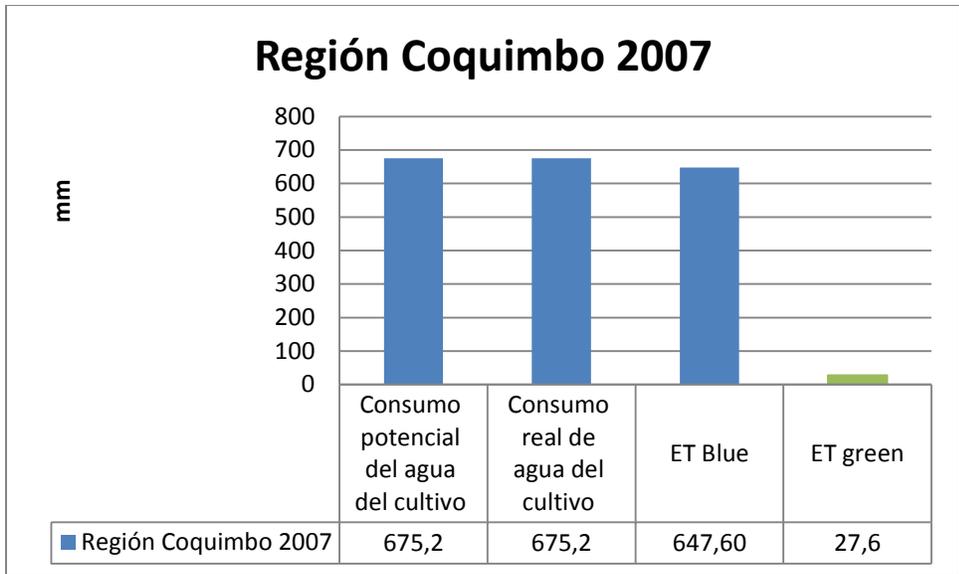


Figura A-A-121: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región de Coquimbo.

En la Figura A-A-121, se aprecia que el consumo de agua real de los Cítricos es equivalente al consumo de agua potencial que alcanza un valor de 675,2mm. De este valor, la evapotranspiración azul representa el 95,9% y la evapotranspiración verde el 4,1%.

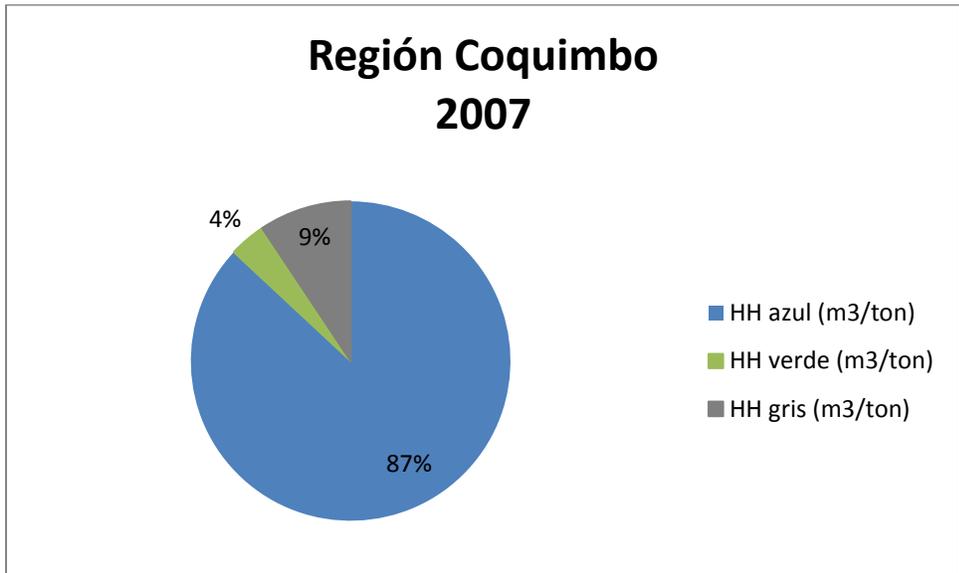


Figura A-A-122: Huella hídrica azul, verde y gris de los Cítricos en la Región de Coquimbo.

De acuerdo a esta información, se obtuvo que la huella hídrica de los Cítricos en la Región de Coquimbo el año 2007 corresponde a 204,62m³/ton, de la cual el 87% es agua azul con un valor de 177,91m³/ton, el 4% a agua verde con 7,58m³/ton y el 9% restante a huella hídrica gris con un valor de 19,12m³/ton.

A.9.3 Huella hídrica Región de Valparaíso

En la Región de Valparaíso la superficie destinada a Cítricos el año 2007 corresponde a 3.552ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 28,8ton/ha.

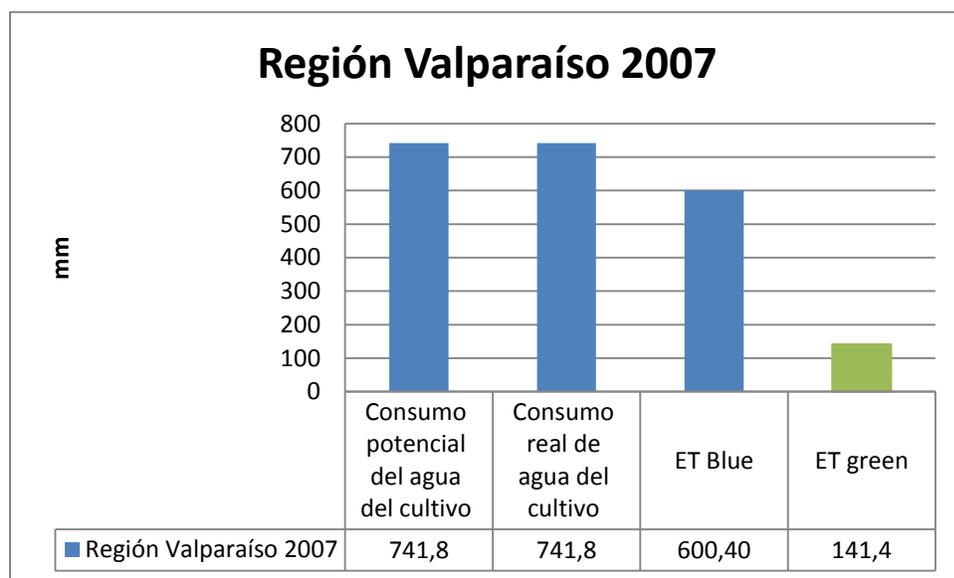


Figura A-A-123: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región de Valparaíso

En la Figura A-A-123, se aprecia que el consumo de agua real de los Cítricos es equivalente al consumo de agua potencial que alcanza un valor de 741,8mm. De este valor, la evapotranspiración azul representa el 80,9% y la evapotranspiración verde el 19,1%.

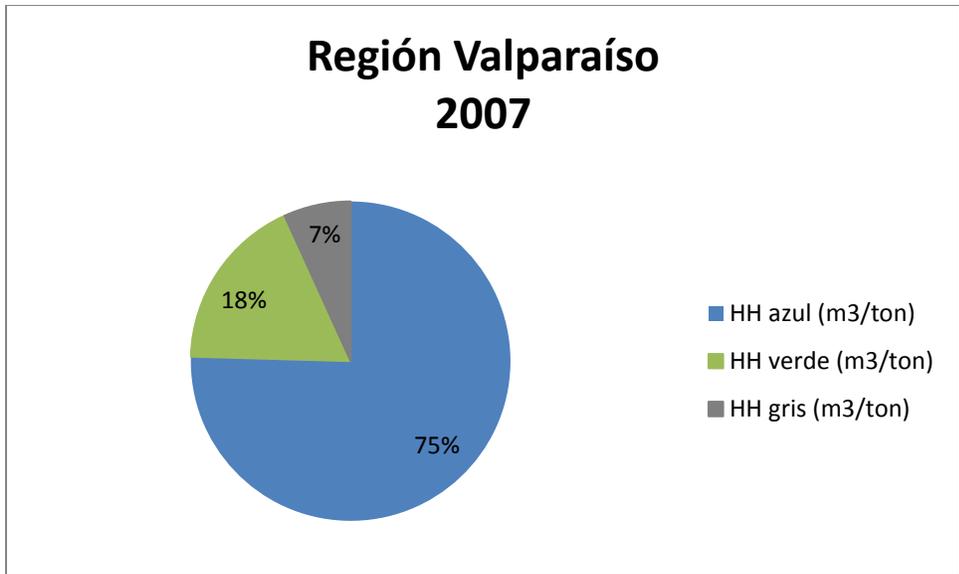


Figura A-A-124: Huella hídrica azul, verde y gris de los Cítricos en la Región de Valparaíso.

De acuerdo a esta información, se obtuvo que la huella hídrica de los Cítricos en la Región de Valparaíso el año 2007 corresponde a $276,32\text{m}^3/\text{ton}$, de la cual el 75% es agua azul con un valor de $208,47\text{m}^3/\text{ton}$, el 18% a agua verde con $49,1\text{m}^3/\text{ton}$ y el 7% restante a huella hídrica gris con un valor de $18,75\text{m}^3/\text{ton}$.

A.9.4 Huella hídrica Región Metropolitana

En la Región Metropolitana la superficie destinada a Cítricos el año 2007 corresponde a 4.812ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 33,1ton/ha.

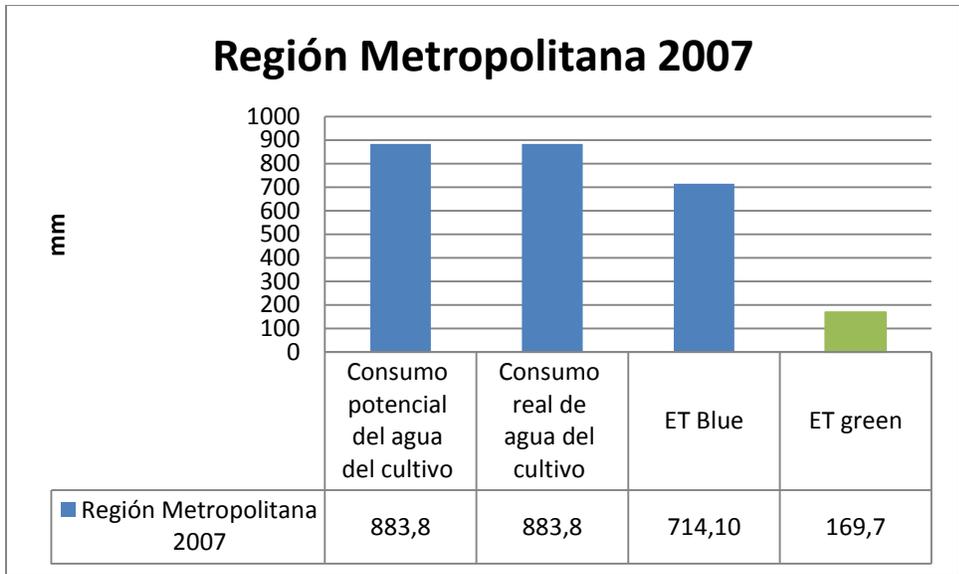


Figura A-A-125: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región Metropolitana.

En la Figura A-A-125, se aprecia que el consumo de agua real de los Cítricos es equivalente al consumo de agua potencial que alcanza un valor de 883,8mm. De este valor, la evapotranspiración azul representa el 80,8% y la evapotranspiración verde el 19,2%.

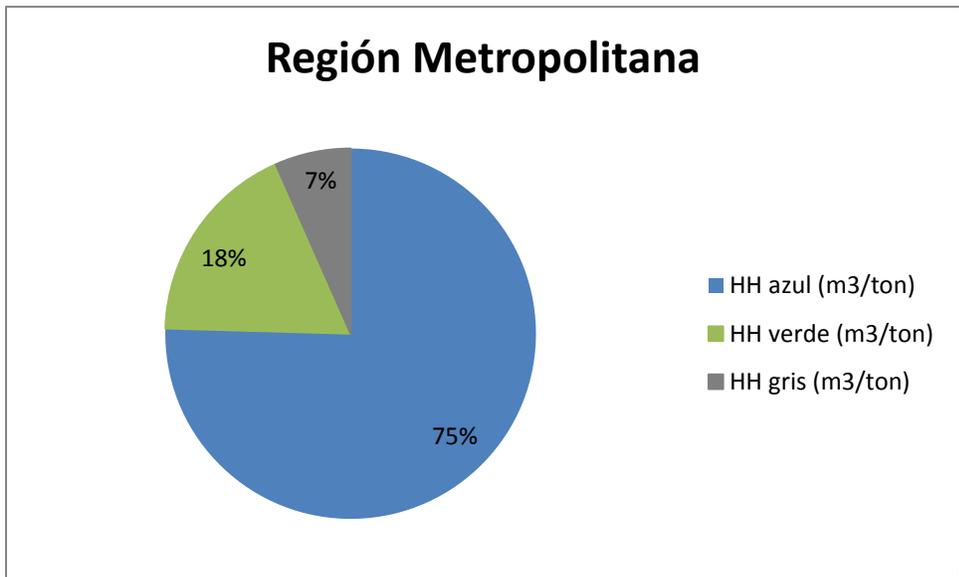


Figura A-A-126: Huella hídrica azul, verde y gris de los Cítricos en la Región Metropolitana

De acuerdo a esta información, se obtuvo que la huella hídrica de los Cítricos en la Región Metropolitana el año 2007 corresponde a 285,94m³/ton, de la cual el 75% es agua azul con un

valor de 215,74m³/ton, el 18% a agua verde con 51,27m³/ton y el 7% restante a huella hídrica gris con un valor de 18,9m³/ton.

A.9.5 Huella hídrica Región de O'Higgins

En la Región de O'Higgins la superficie destinada a Cítricos el año 2007 corresponde a 3.928ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 27,9ton/ha.

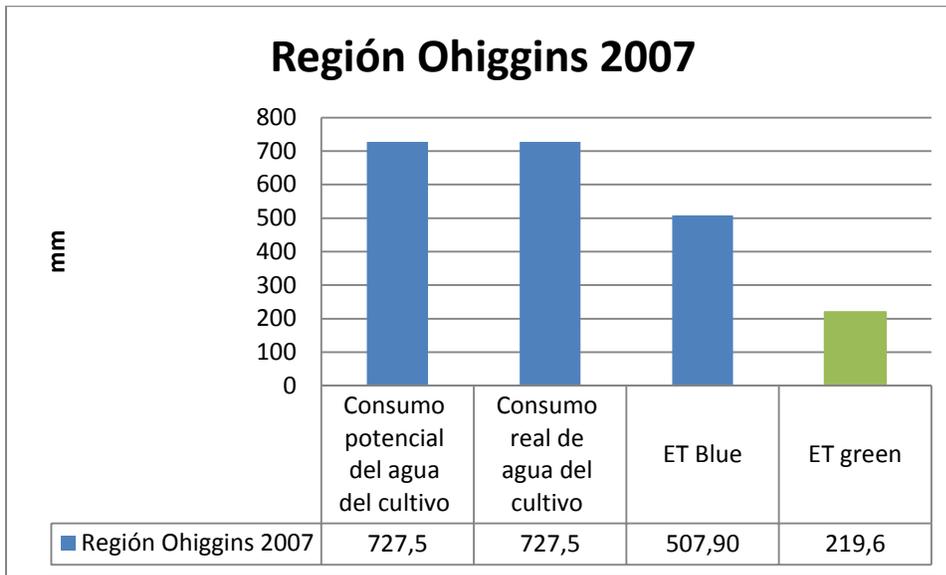


Figura A-A-127: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de los Cítricos en la Región de O'Higgins

En la Figura A-A-127, se aprecia que el consumo de agua real de los Cítricos es equivalente al consumo de agua potencial que alcanza un valor de 727,5mm. De este valor, la evapotranspiración azul represente el 69,8% y la evapotranspiración verde el 30,2%.

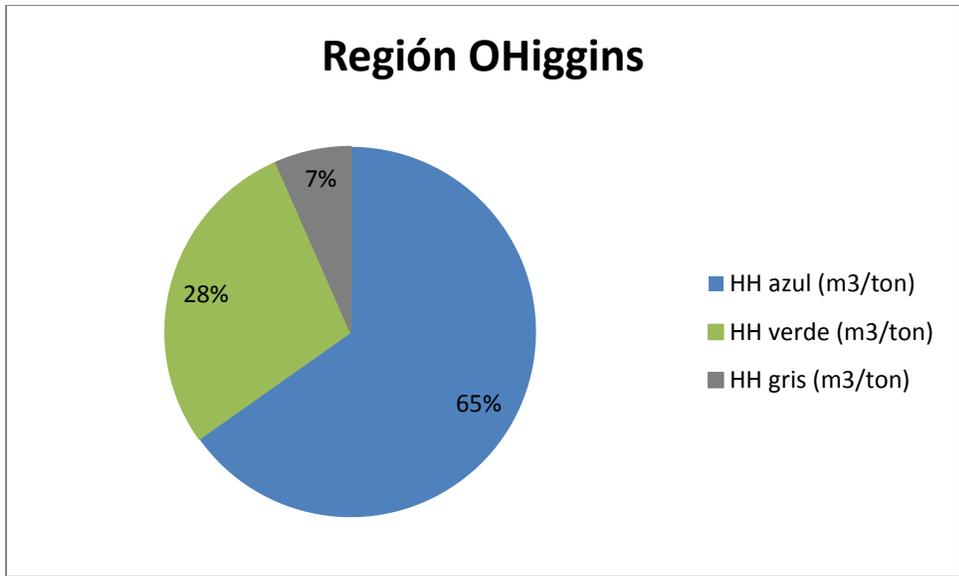


Figura A-A-128: Huella hídrica azul, verde y gris de los Cítricos en la Región de O’Higgins.

De acuerdo a está información, se obtuvo que la huella hídrica de los Cítricos en la Región de O’Higgins el año 2007 corresponde a 279,15m³/ton, de la cual el 65% es agua azul con un valor de 182,04m³/ton, el 28% a agua verde con 78,71m³/ton y el 7% restante a huella hídrica gris con un valor de 18,4m³/ton.

Analizando los valores de las huellas hídricas de las regiones estudiadas se puede indicar que la Región de Atacama representa el mayor valor de huella hídrica determinada principalmente por el agua azul, a su vez, este valor se debe a que esta región presenta el menor rendimiento y el mayor consumo real de agua. La situación inversa se produce en la Región de Coquimbo, la cual representa el menor valor de huella hídrica total y azul debido al buen rendimiento obtenido en esa zona. El menor o mayor valor de huella hídrica obtenido por una región indica el agua utilizada por la región para ese frutal (Figura A-A-129).

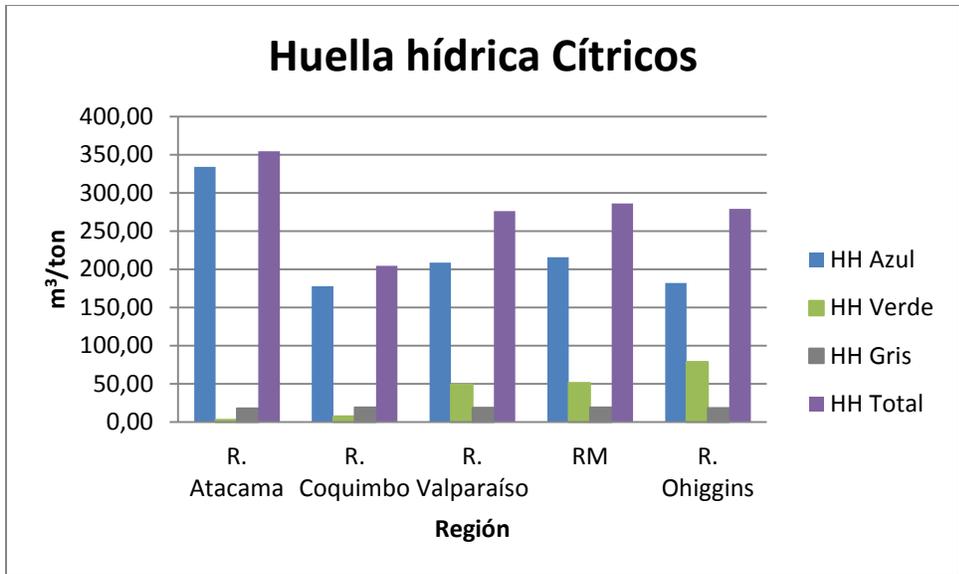


Figura A-A-129: Huella hídrica total, azul, verde y gris de los Cítricos, para cada región de Chile.

Si realizamos una huella hídrica promedio de los Cítricos en Chile, obtenemos un valor total de $280,12\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor, $223,65\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $37,9\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $18,57\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. Si se comaran estos valores con los estimados por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011) a nivel mundial, que indica un valor de huella hídrica total de $650\text{m}^3/\text{ton}$, un valor de huella hídrica azul de $126,67\text{m}^3/\text{ton}$, un valor de huella hídrica verde de $437,33\text{m}^3/\text{ton}$ y un valor de huella hídrica gris de $86,33\text{m}^3/\text{ton}$. Se aprecia que Chile posee una huella hídrica total que corresponde al 43,09% de la huella hídrica mundial, lo mismo ocurre en el caso del agua verde y gris, representando el 8,7% y el 21,5% respectivamente; sin embargo, como se puede apreciar en la Figura A-A-130, la huella hídrica azul de los Cítricos en Chile sobrepasa en la huella hídrica azul de los Cítricos a nivel mundial.

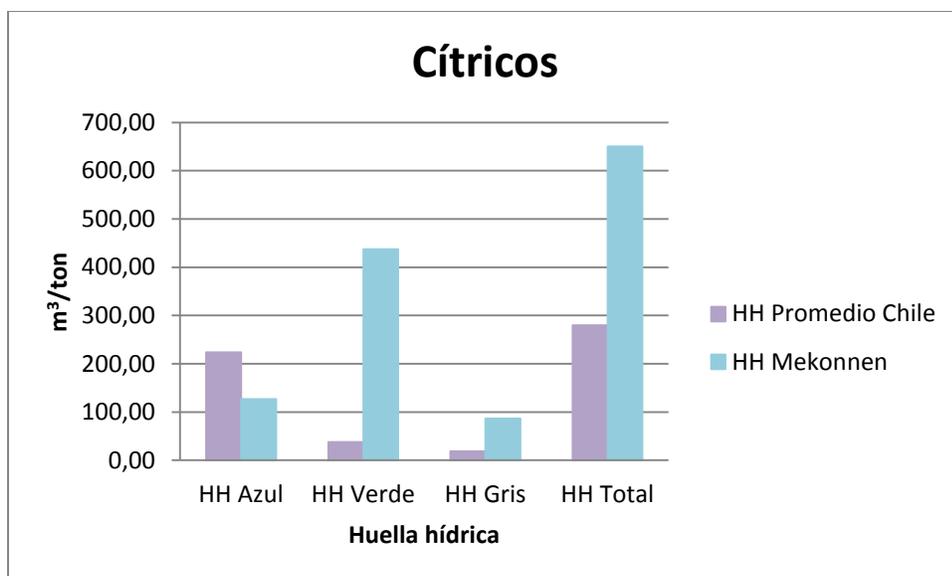


Figura A-A-130: Comparación entre la huella hídrica de los Cítricos en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.10. Huella hídrica Kiwi (*Actinidia deliciosa*)

El Kiwi requiere de riego cada 1 a 3 días, si son plantas de hasta 4 años y cada 4 a 7 días del quinto año en adelante. De hecho, no soporta la sequía en el periodo vegetativo. El Kiwi es el frutal más exigente en agua y el que mejor responde al riego frecuente y de buena calidad, incluso las lluvias de verano e invierno son beneficiosas. A su vez, el Kiwi es una planta que pierde mucha agua por evapotranspiración por lo tanto requiere de humedad relativas mayores a 50%, por que en 40% el crecimiento vegetativo del Kiwi tiende a detenerse.

Se consideran para el estudio de huella hídrica del Kiwi desde la Región de Valparaíso hasta la Región del Biobío, debido a que solo en esas regiones se concentra el 99,2% de la producción del Kiwi de Chile. La superficie total de Chile en producción de Kiwi el año 2007 fue de 6.876,93ha, de las cuales 6.820,93ha se encuentran en las regiones estudiadas.

A.10.1 Huella hídrica Región de Valparaíso

La superficie destinada a Kiwi en la Región de Valparaíso en el año 2007 corresponde a 229,9ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 26,6ton/ha.

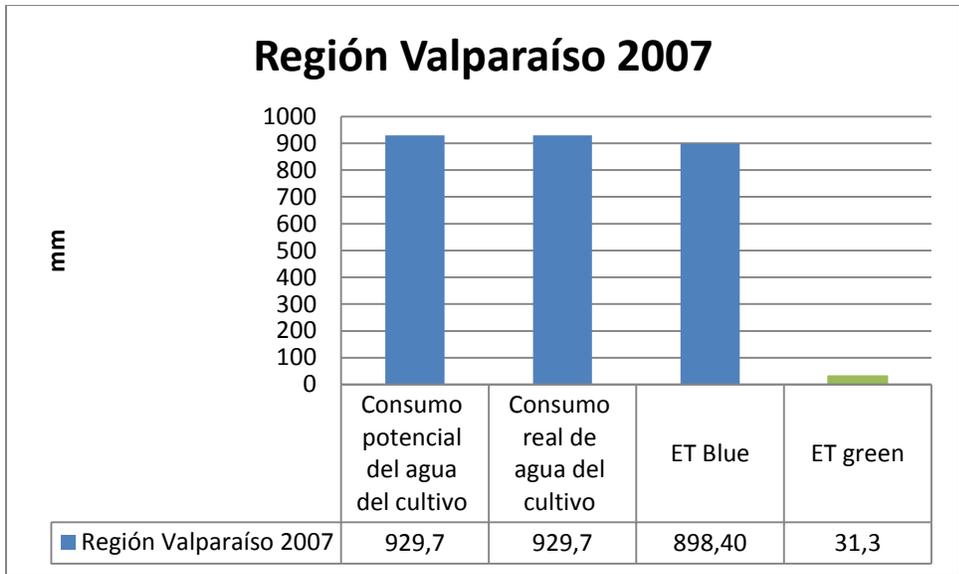


Figura A-A-131: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región de Valparaíso.

El consumo real de agua en el Kiwi es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Valparaíso y como se aprecia en la Figura A-A-131, corresponde a 929,7mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 96,6% y el agua verde a 3,4%.

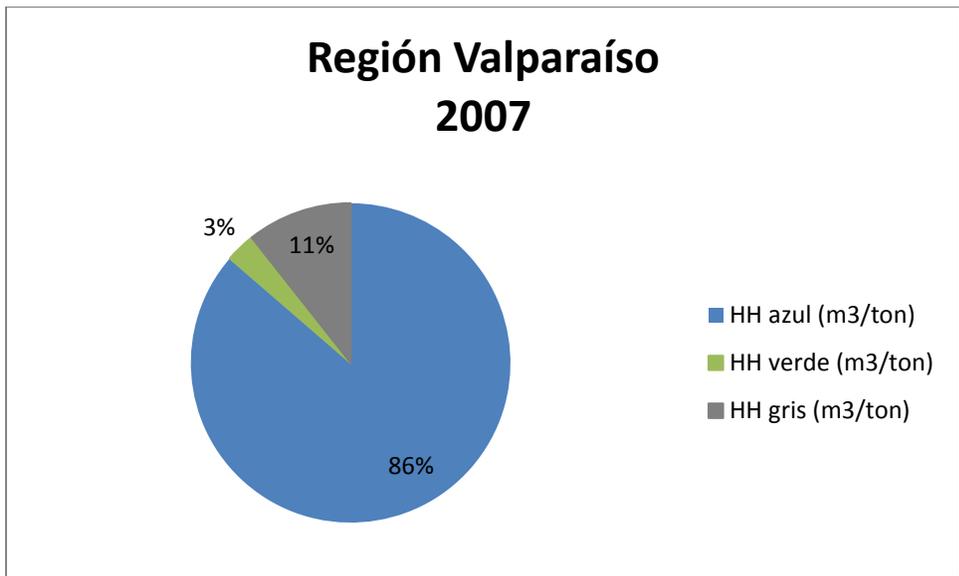


Figura A-A-132: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región de Valparaíso

La huella hídrica obtenida en la Región de Valparaíso para el Kiwi el año 2007, corresponde a 391,12m³/ton, de ese valor el 86% lo representa el agua azul con un valor de 337,74m³/ton, el 3% corresponde a agua verde con 11,77m³/ton y el 11% restante a huella hídrica gris con un valor de 41,6m³/ton.

A.10.2 Huella hídrica Región Metropolitana

La superficie destinada a Kiwi en la Región Metropolitana en el año 2007 corresponde a 712,2ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 25,9ton/ha.

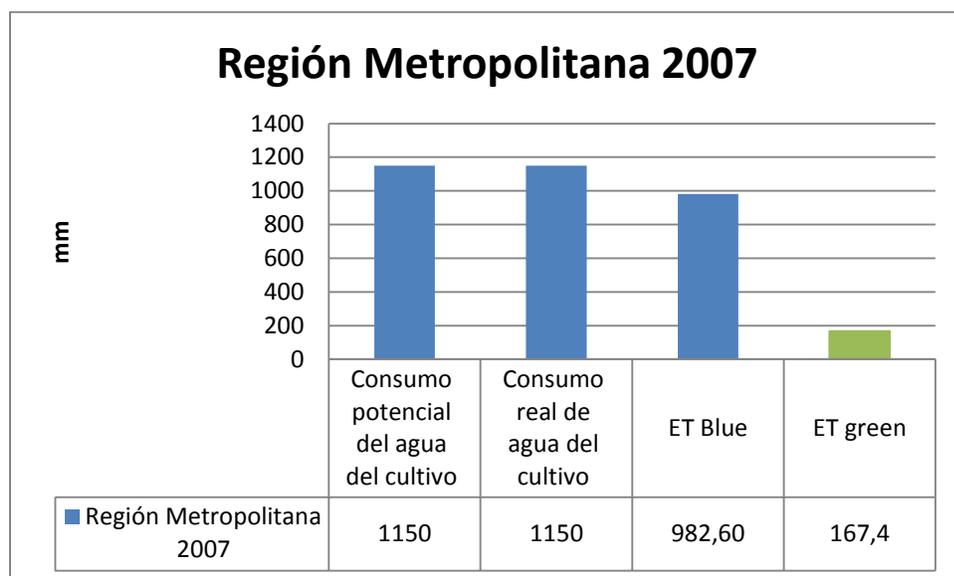


Figura A-A-133: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región Metropolitana.

El consumo real de agua en el Kiwi es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Valparaíso y como se aprecia en la Figura A-A-133, corresponde a 1.150mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 85,4% y el agua verde a 14,6%.

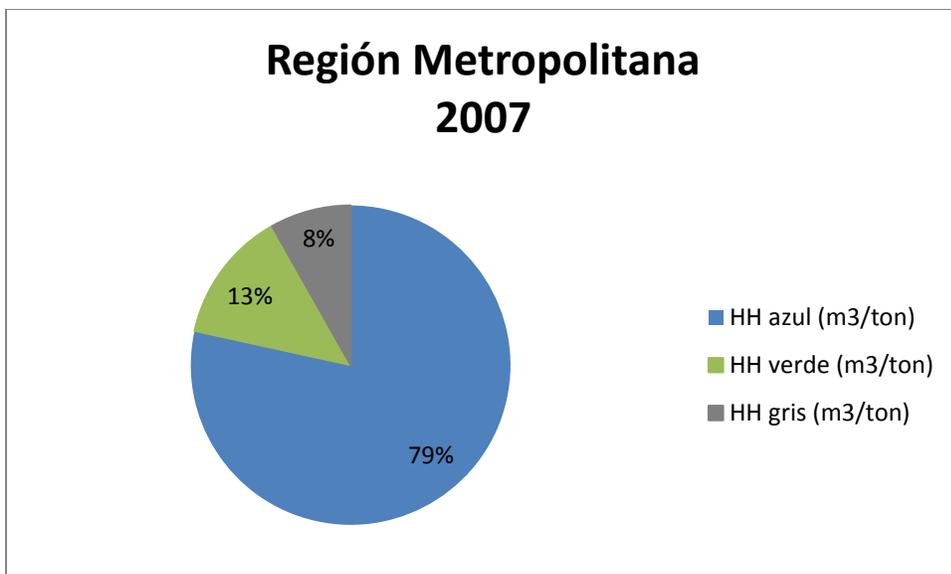


Figura A-A-134: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región Metropolitana

La huella hídrica obtenida en la Región Metropolitana para el Kiwi el año 2007, corresponde a 483,66m³/ton, de ese valor el 79% lo representa el agua azul con un valor de 379,38m³/ton, el 13% corresponde a agua verde con 64,63m³/ton y el 8% restante a huella hídrica gris con un valor de 39,6m³/ton.

A.10.3 Huella hídrica Región O'Higgins

La superficie destinada a Kiwi en la Región de O'Higgins en el año 2007 corresponde a 1999,1ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 32,1ton/ha.

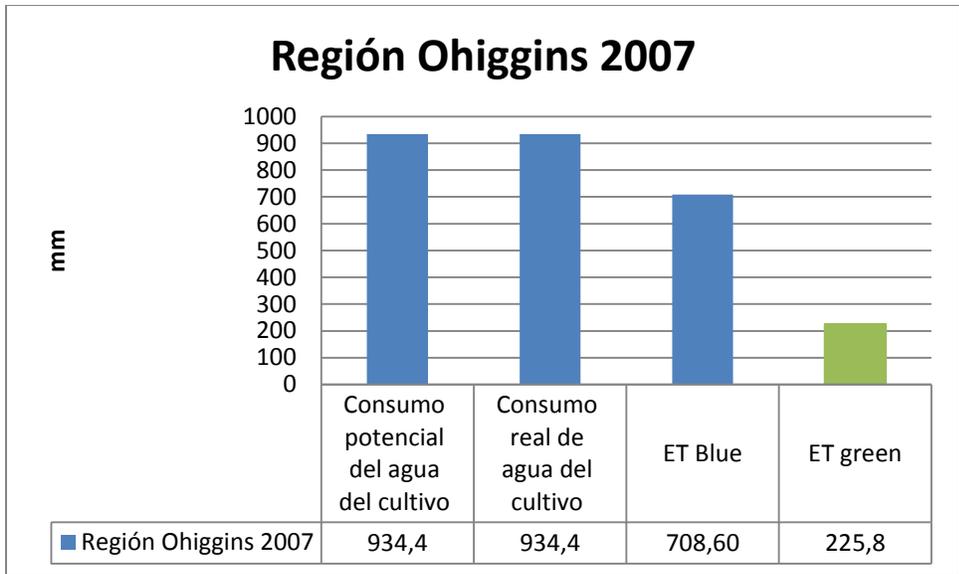


Figura A-A-135: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región O'Higgins

El consumo real de agua en el Kiwi es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de O'Higgins y como se aprecia en la Figura A-A-135, corresponde a 934,4mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 75,8% y el agua verde a 24,2%.

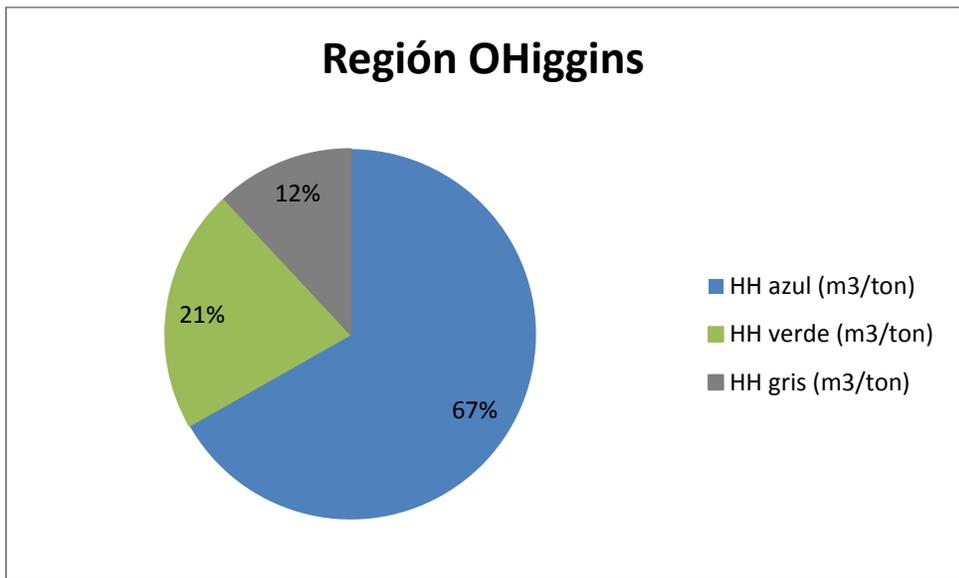


Figura A-A-136: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región de O'Higgins

La huella hídrica obtenida en la Región de O'Higgins para el Kiwi el año 2007, corresponde a 330,55m³/ton, de ese valor el 67% lo representa el agua azul con un valor de 220,75m³/ton, el 21% corresponde a agua verde con 70,34m³/ton y el 12% restante a huella hídrica gris con un valor de 39,46m³/ton.

A.10.4 Huella hídrica Región del Maule

La superficie destinada a Kiwi en la Región del Maule en el año 2007 corresponde a 3.555ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 33,27ton/ha.

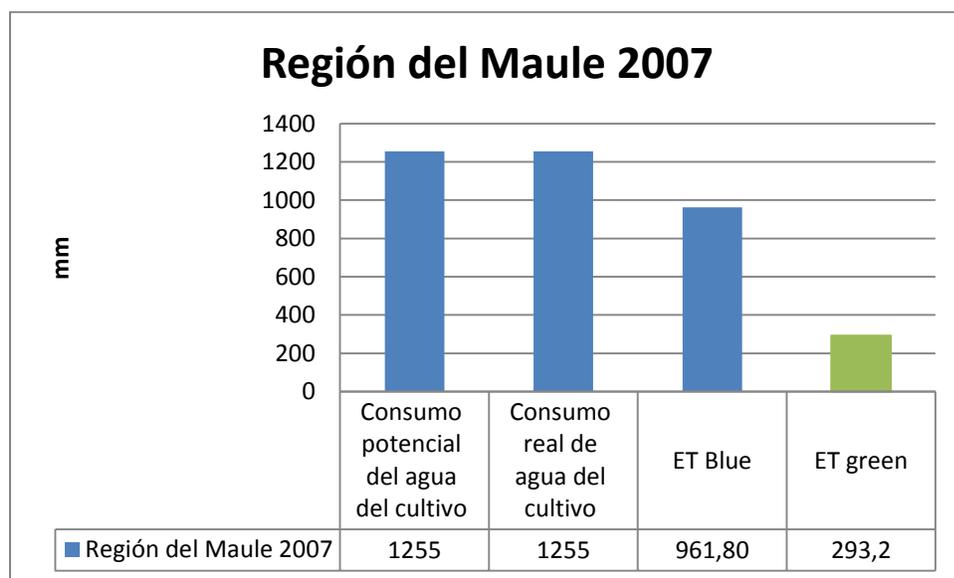


Figura A-A-137: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región del Maule.

El consumo real de agua en el Kiwi es equivalente al consumo potencial de agua en la Región del Maule y como se aprecia en la Figura A-A-137, corresponde a 1.255mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 76,6% y el agua verde a 23,4%.

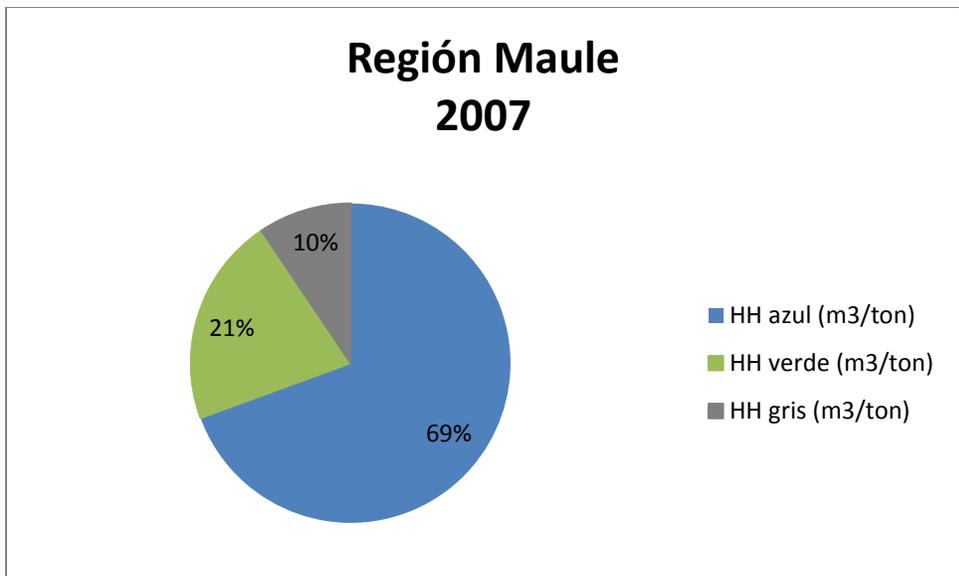


Figura A-A-138: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región del Maule.

La huella hídrica obtenida en la Región del Maule para el Kiwi el año 2007, corresponde a $416,49\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 69% lo representa el agua azul con un valor de $289,09\text{m}^3/\text{ton}$, el 21% corresponde a agua verde con $88,13\text{m}^3/\text{ton}$ y el 10% restante a huella hídrica gris con un valor de $39,3\text{m}^3/\text{ton}$.

A.10.5 Huella hídrica Región Biobío

La superficie destinada a Kiwi en la Región del Biobío en el año 2007 corresponde a 324,5ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a $20,6\text{ton}/\text{ha}$.

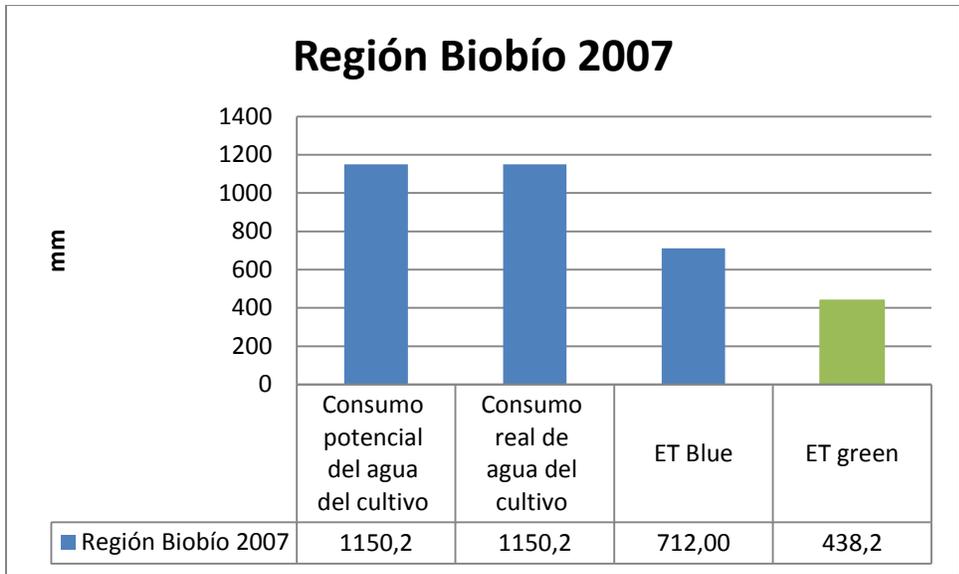


Figura A-A-139: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Kiwi en la Región de Valparaíso

El consumo real de agua en el Kiwi es equivalente al consumo potencial de agua en la Región del Biobío y como se aprecia en la Figura A-A-139, corresponde a 1.150,2mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 61,9% y el agua verde a 38,1%.

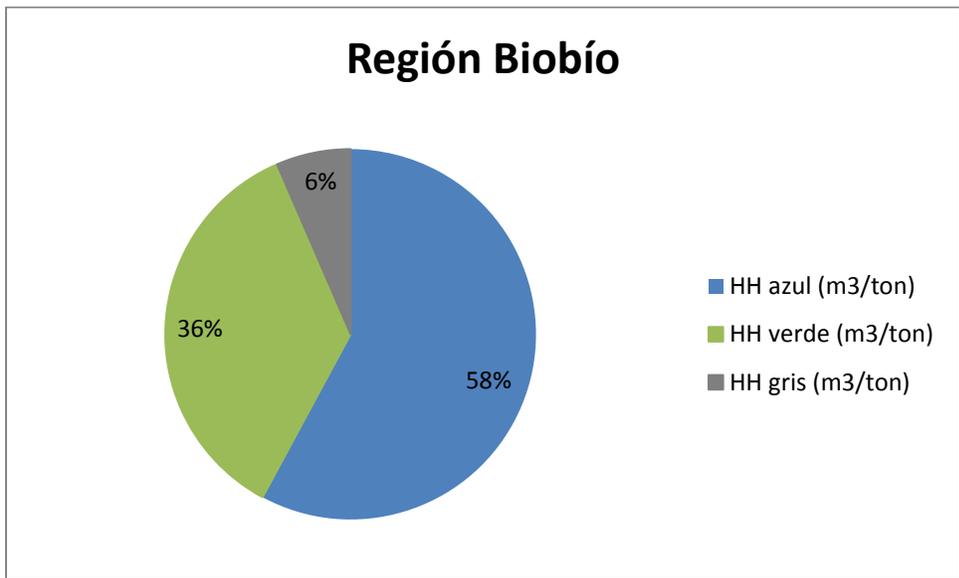


Figura A-A-140: Huella hídrica azul, verde y gris del Kiwi en la Región del Biobío.

La huella hídrica obtenida en la Región del Biobío para el Kiwi el año 2007, corresponde a 597,18m³/ton, de ese valor el 58% lo representa el agua azul con un valor de 345,63m³/ton, el 36% corresponde a agua verde con 212,72m³/ton y el 6% restante a huella hídrica gris con un valor de 38,8m³/ton.

La huella hídrica con más alto valor del Kiwi se produce en la Región del Biobío debido al incremento del valor de la huella hídrica verde, que corresponde al 61,5% de la huella hídrica azul en esta región. Por otro lado, la región de Valparaíso que constituye la región más al norte de Chile que presenta producción de Kiwi, posee el menor valor de huella hídrica verde, proveniente de precipitaciones, debido al menor valor de evapotranspiración verde obtenido en esa zona (Figura A-A-141).

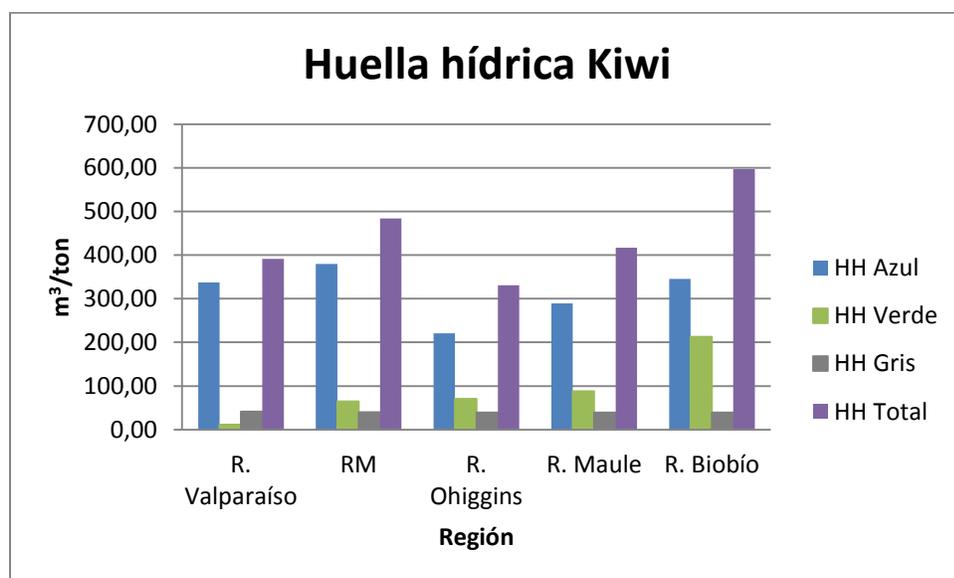


Figura A-A-141: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Kiwi, para cada región de Chile.

Si realizamos una estimación de la huella hídrica promedio del Kiwi en Chile, obtenemos un valor total de 443,8m³/ton, de este valor 314,52m³/ton corresponden a agua azul, 89,52m³/ton a agua verde y 39,76m³/ton a agua gris. Relacionando estos datos con los estimados por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), que indican que para Kiwi la huella hídrica es 514m³/ton, de la cual 168m³/ton es agua azul, 307m³/ton es agua verde, y 38m³/ton es agua gris. De acuerdo a estos, datos la huella hídrica de Chile indica que la producción de Kiwi en nuestro país consume menos volumen de agua que a nivel mundial, sin embargo el volumen de agua azul utilizado en Chile es 87% mayor al volumen mundial, lo cual no indica un escenario muy favorable (Figura A-A-142).

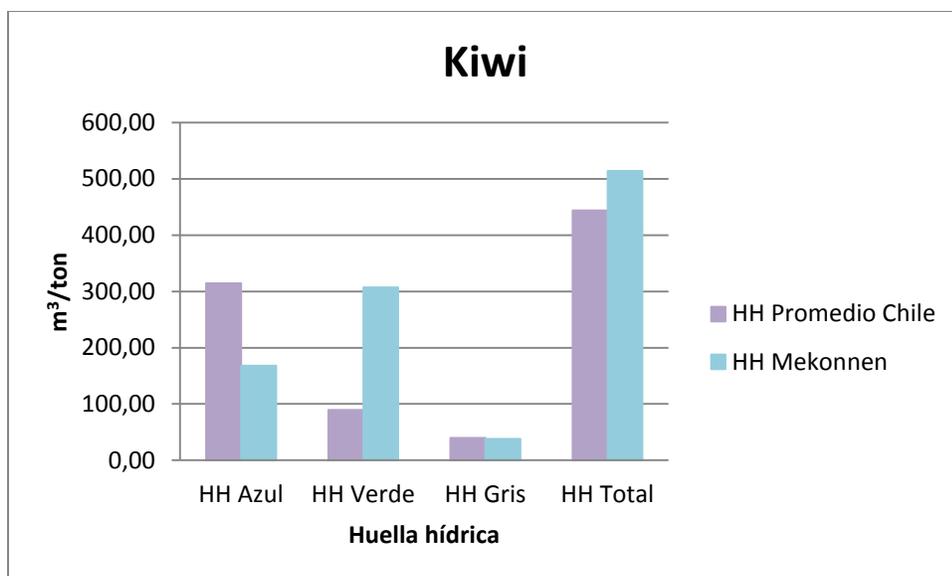


Figura A-A-142: Comparación entre la huella hídrica del Kiwi en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.11. Huella hídrica Manzano (*Malus domestica*)

El Manzano es un frutal adaptado a un amplio rango de condiciones edafoclimáticas, excepto a suelos anegados. Como se trata de un árbol de abundante y delgado follaje, en épocas calurosas transpira gran cantidad de agua, por ello se debe asegurar el recurso hídrico en esta época, ya que si sufre una ligera sequía, se puede producir caída de hojas viejas y frutos de manera prematura. A su vez, desde el inicio de la fase vegetativa los riegos deben ser frecuentes.

Se consideran para el estudio de huella hídrica del Manzano desde la Región Metropolitana hasta la Región de los Lagos, debido a que solo en esas regiones se concentra el 97,9% de la producción de Manzanos de Chile. La superficie total de Chile en producción de Manzanos el año 2007 fue de 32.050,74ha, de las cuales 31.124,42ha se encuentran en las regiones estudiadas.

A.11.1 Huella hídrica Región Metropolitana

La superficie destinada a Manzano en la Región Metropolitana en el año 2007 corresponde a 412ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 32,2ton/ha.

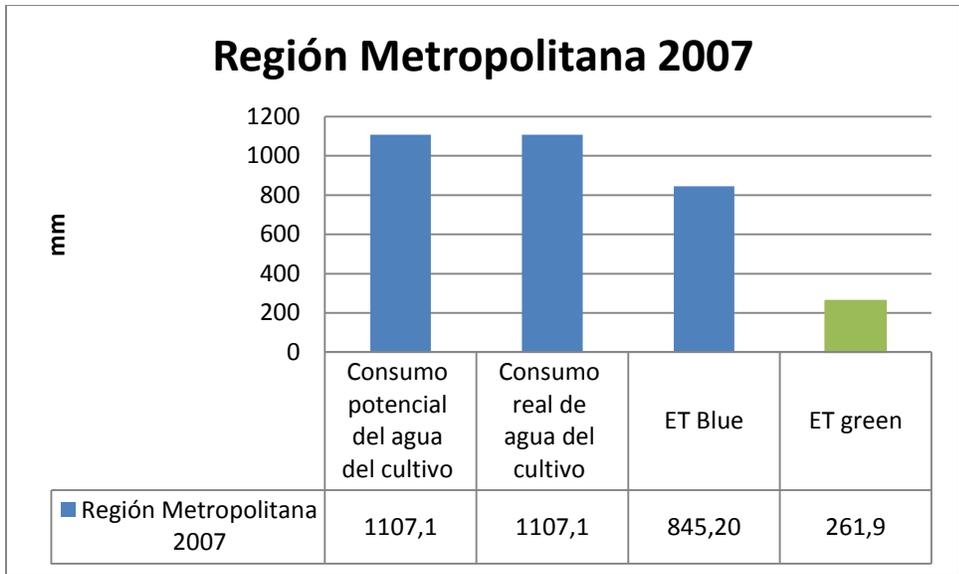


Figura A-A-143: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región Metropolitana

El consumo real de agua en el Manzano es equivalente al consumo potencial de agua en la Región Metropolitana y como se aprecia en la Figura A-A-143, corresponde a 1.107,1mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 76,3% y el agua verde a 23,7%.

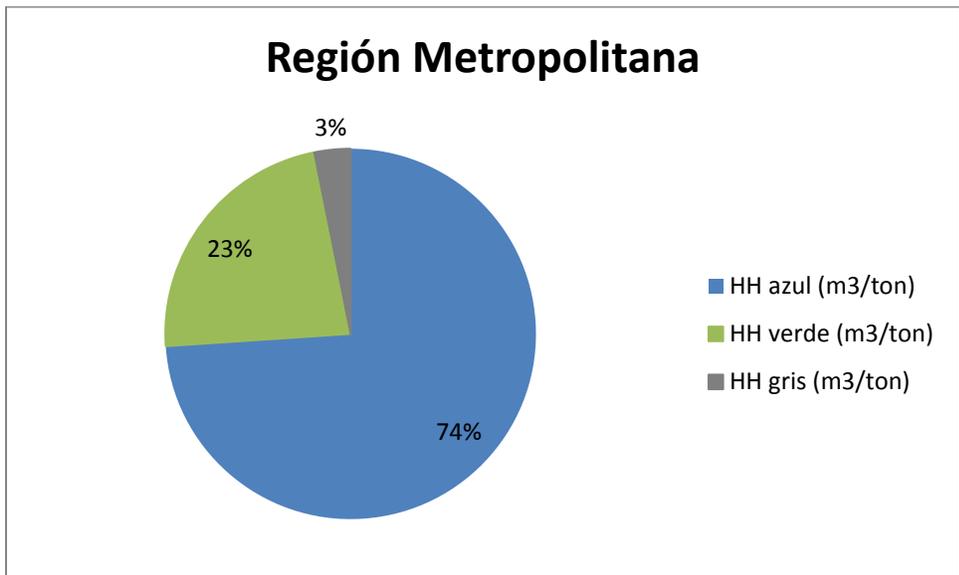


Figura A-A-144: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región Metropolitana

La huella hídrica obtenida en la Región Metropolitana para el Manzano el año 2007, corresponde a 355m³/ton, de ese valor el 74% lo representa el agua azul con un valor de 262,48m³/ton, el 23% corresponde a agua verde con 81,34m³/ton y el 3% restante a huella hídrica gris con un valor de 11,18m³/ton.

A.11.2 Huella hídrica Región O'Higgins

La superficie destinada a Manzano en la Región de O'Higgins en el año 2007 corresponde a 9.366,2ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 49,25ton/ha.

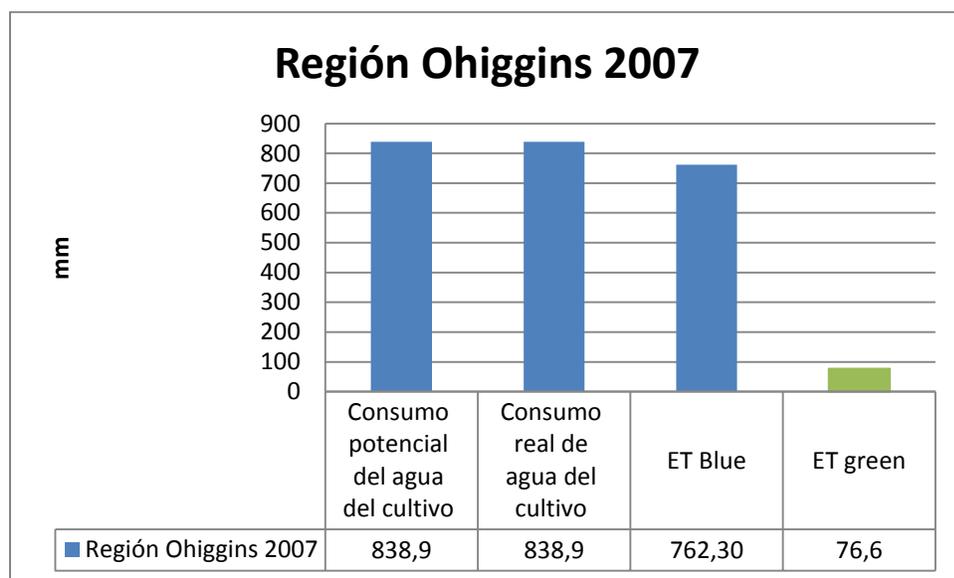


Figura A-A-145: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región de O'Higgins

El consumo real de agua en el Manzano es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de O'Higgins y como se aprecia en la Figura A-A-145, corresponde a 838,9mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 90,9% y el agua verde a 9,1%.

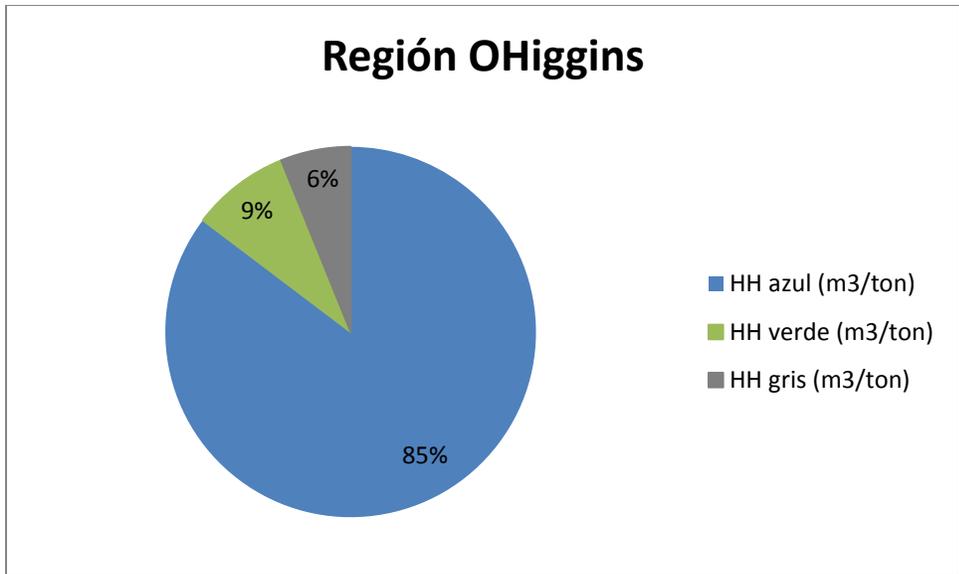


Figura A-A-146: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región de O'Higgins

La huella hídrica obtenida en la Región de O'Higgins para el Manzano el año 2007, corresponde a $181,43\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 85% lo representa el agua azul con un valor de $154,78\text{m}^3/\text{ton}$, el 9% corresponde a agua verde con $15,55\text{m}^3/\text{ton}$ y el 6% restante a huella hídrica gris con un valor de $11,1\text{m}^3/\text{ton}$.

A.11.3 Huella hídrica Región Maule

La superficie destinada a Manzano en la Región del Maule en el año 2007 corresponde a $174.763,32\text{ha}$ y el rendimiento promedio en la zona estudiada a $52,13\text{ton}/\text{ha}$.

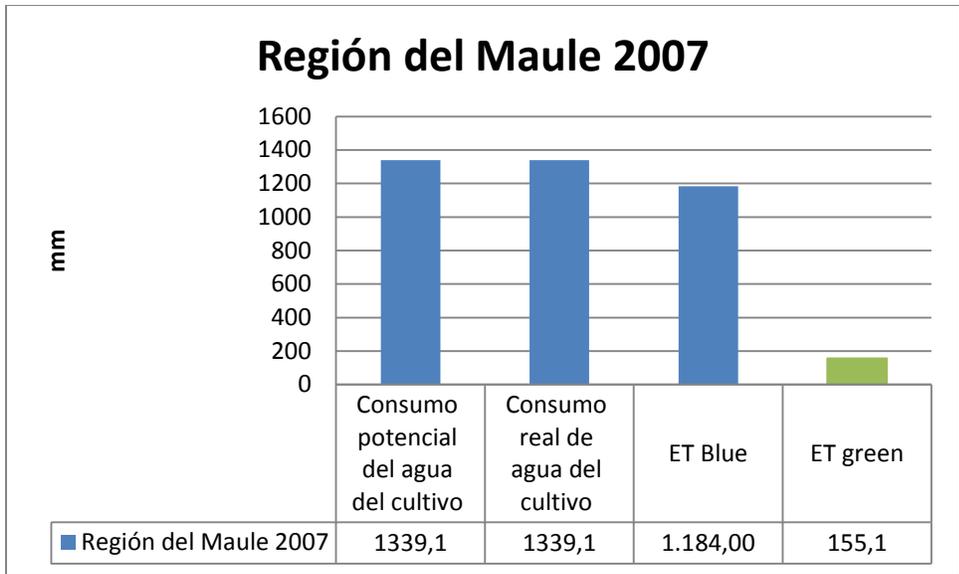


Figura A-A-147: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región del Maule

El consumo real de agua en el Manzano es equivalente al consumo potencial de agua en la Región del Maule y como se aprecia en la Figura A-A-147, corresponde a 1.339,1mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 88,4% y el agua verde a 11,6%.

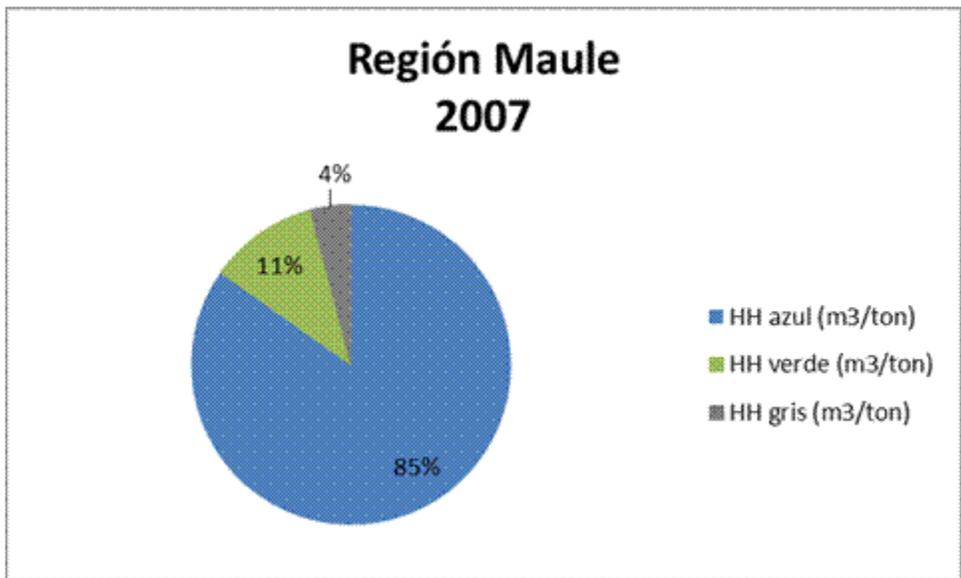


Figura. Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región del Maule.

La huella hídrica obtenida en la Región del Maule para el Manzano el año 2007, corresponde a $267,88\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 85% lo representa el agua azul con un valor de $227,12\text{m}^3/\text{ton}$, el

11% corresponde a agua verde con 29,75m³/ton y el 4% restante a huella hídrica gris con un valor de 11m³/ton.

A.11.4 Huella hídrica Región del Biobío

La superficie destinada a Manzano en la Región del Biobío en el año 2007 corresponde a 1.435ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 24,1ton/ha.

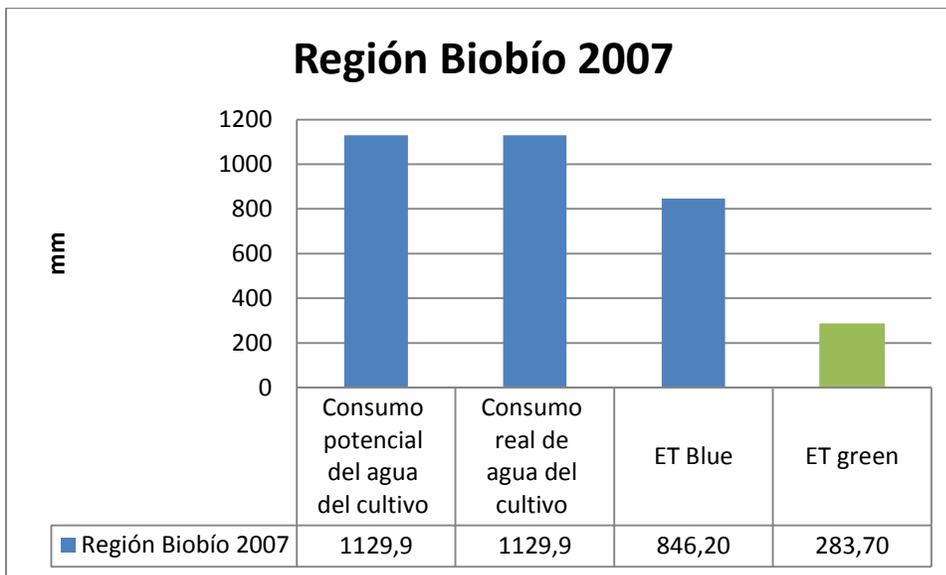


Figura A-A-148: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región del Biobío

El consumo real de agua en el Manzano es equivalente al consumo potencial de agua en la Región del Biobío y como se aprecia en la Figura A-A-148, corresponde a 1.129,9mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 74,9% y el agua verde a 25,1%.

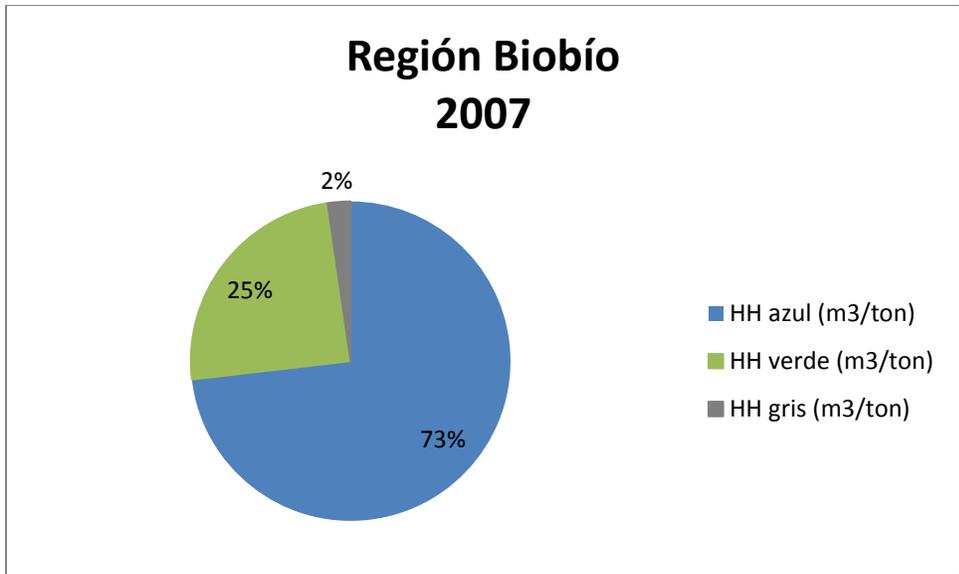


Figura A-A-149: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región del Biobío.

La huella hídrica obtenida en la Región del Biobío para el Manzano el año 2007, corresponde a $479,9\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 73% lo representa el agua azul con un valor de $351,12\text{m}^3/\text{ton}$, el 25% corresponde a agua verde con $117,72\text{m}^3/\text{ton}$ y el 2% restante a huella hídrica gris con un valor de $11,07\text{m}^3/\text{ton}$.

A.11.5 Huella hídrica Región de la Araucanía

La superficie destinada a Manzano en la Región de la Araucanía en el año 2007 corresponde a 1.822ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 22,5ton/ha.

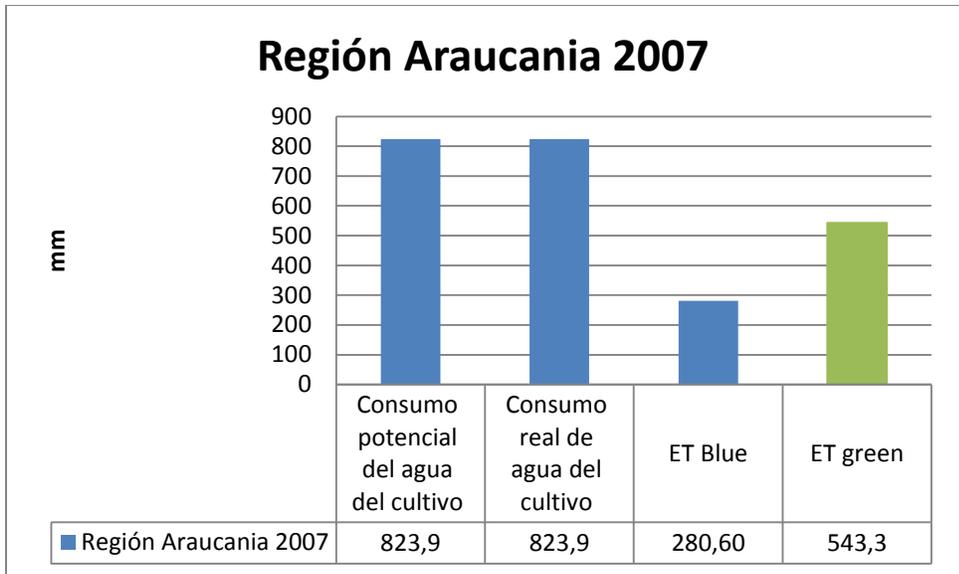


Figura A-A-150: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región de la Araucanía

El consumo real de agua en el Manzano es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de la Araucanía y como se aprecia en la Figura A-A-150, corresponde a 823,9mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 34,06% y el agua verde a 65,9%, por lo tanto en esta región la relación agua verde agua azul se invierte, adquiriendo mayor importancia el agua verde en la producción de Manzano.

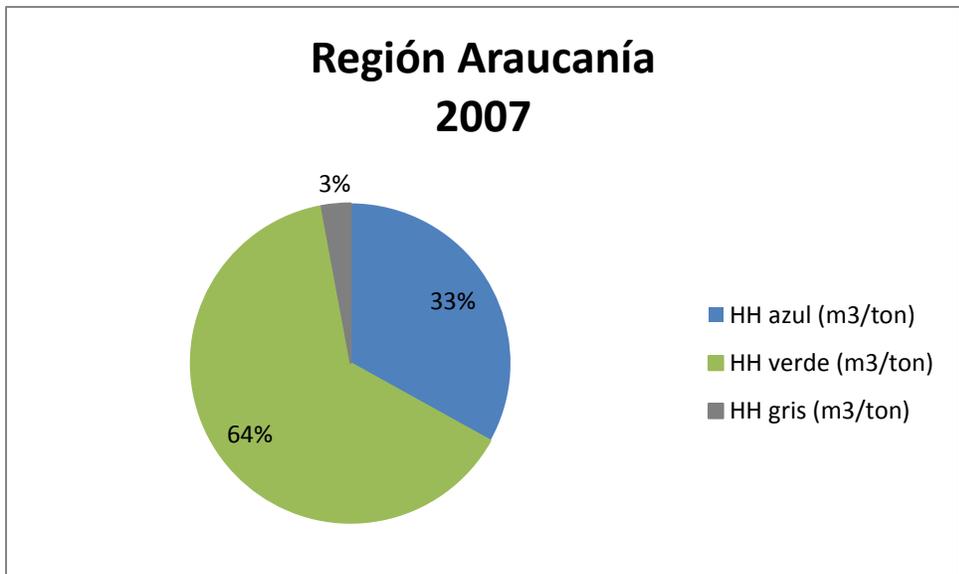


Figura A-A-151: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región de la Araucanía

La huella hídrica obtenida en la Región de la Araucanía para el Manzano el año 2007, corresponde a 377,2m³/ton, de ese valor el 33% lo representa el agua azul con un valor de 124,71m³/ton, el 64% corresponde a agua verde con 241,47m³/ton y el 3% restante a huella hídrica gris con un valor de 11,07m³/ton.

A.11.6 Huella hídrica Región de los Lagos

La superficie destinada a Manzano en la Región de los Lagos en el año 2007 corresponde a 613ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 22,4ton/ha.

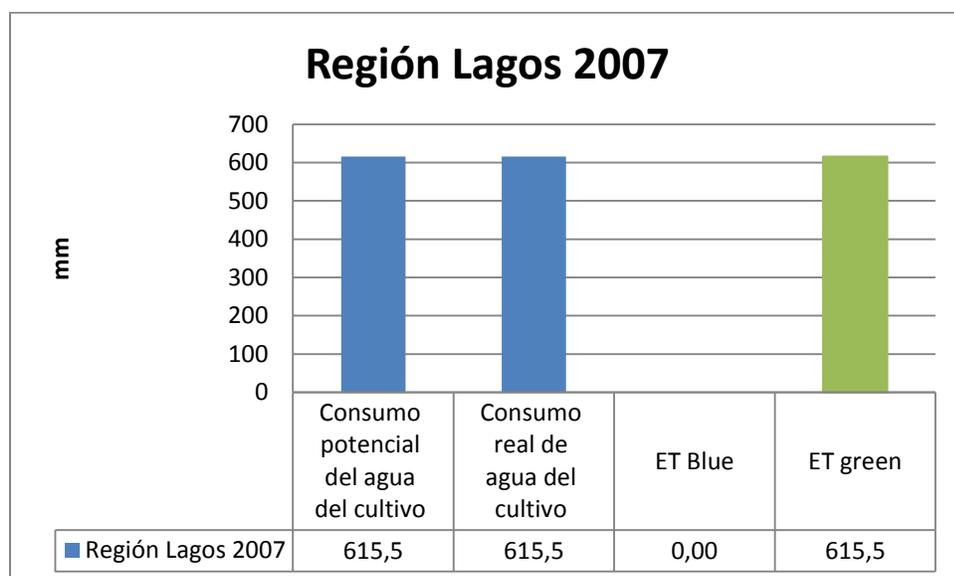


Figura A-A-152: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Manzano en la Región de los Lagos

El consumo real de agua en el Manzano es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de los Lagos y como se aprecia en la Figura A-A-152, corresponde a 615,5mm. De este consumo de agua para la producción de Manzano en la región estudiada, la totalidad corresponde a evapotranspiración verde.

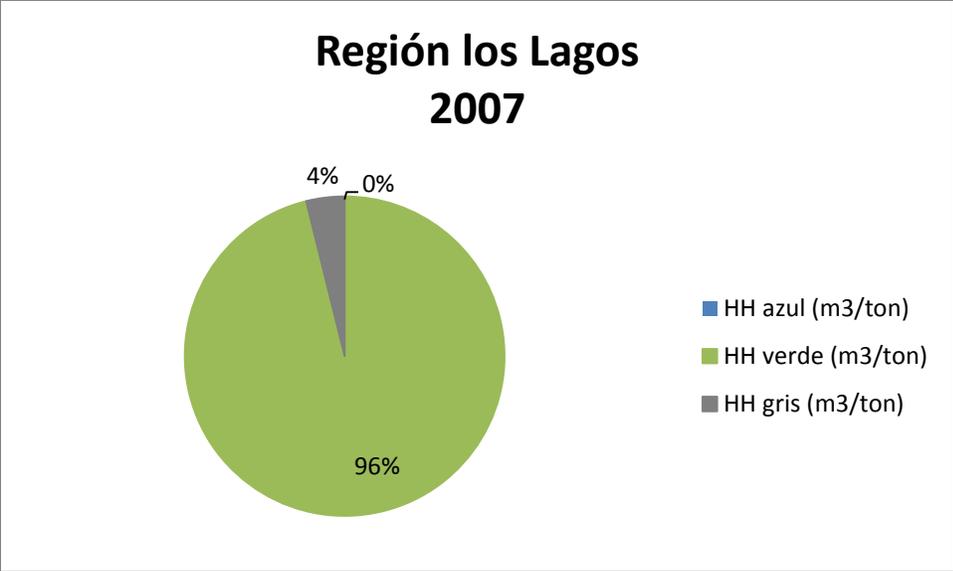


Figura A-A-153: Huella hídrica azul, verde y gris del Manzano en la Región de los Lagos

La huella hídrica obtenida en la Región de los Lagos para el Manzano el año 2007, corresponde a 285,85m³/ton, de ese valor, el 96% corresponde a agua verde con 274,78m³/ton y el 4% a huella hídrica gris con un valor de 11,07m³/ton; en este caso, no se utiliza agua azul para la producción de Manzano.

De acuerdo a la estimación realizada, se puede indicar que la zona que utiliza el mayor volumen de agua para la producción de Manzano es la Región del Biobío, a su vez, esta región posee el mayor consumo de agua azul; sin embargo a partir de esta región al sur, el consumo de agua azul disminuye, adquiriendo mayor importancia el uso del agua verde como se aprecia en la Figura A-A-154.

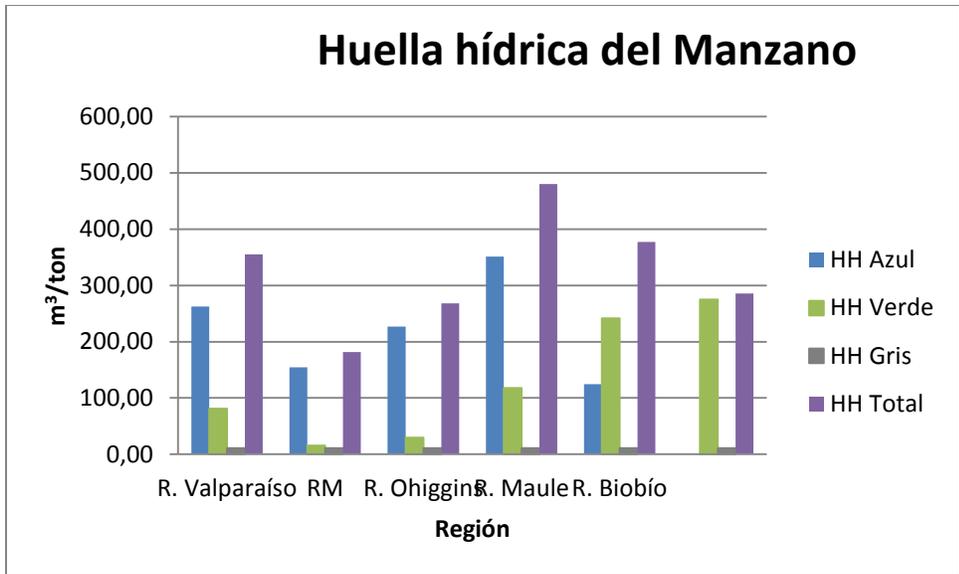


Figura A-A-154: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Manzano, para cada región de Chile

De acuerdo al estudio realizado, se estima la huella hídrica promedio del Manzano en Chile, la cual corresponde a 324,54m³/ton. De este valor, 186,7m³/ton corresponden a agua azul, 126,77m³/ton a agua verde y 11,07m³/ton a agua gris. Si se comparan estos valores, con los valores promedio entregados por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011) para Manzano, que indican una huella hídrica total de 822m³/ton, 133m³/ton de agua azul, 561m³/ton de agua verde y 127m³/ton de agua gris. Se indica de acuerdo a la Figura A-A-155, que la huella hídrica Chilena del Manzano equivale solo al 39,5% del promedio mundial, sin embargo la huella hídrica azul en Chile es mucho más alta, representando un valor 40,3% mayor al valor mundial. Por otro lado, la huella hídrica verde y gris corresponden al 22,6% y 8,7% respectivamente de las huellas hídricas mundiales del Manzano.

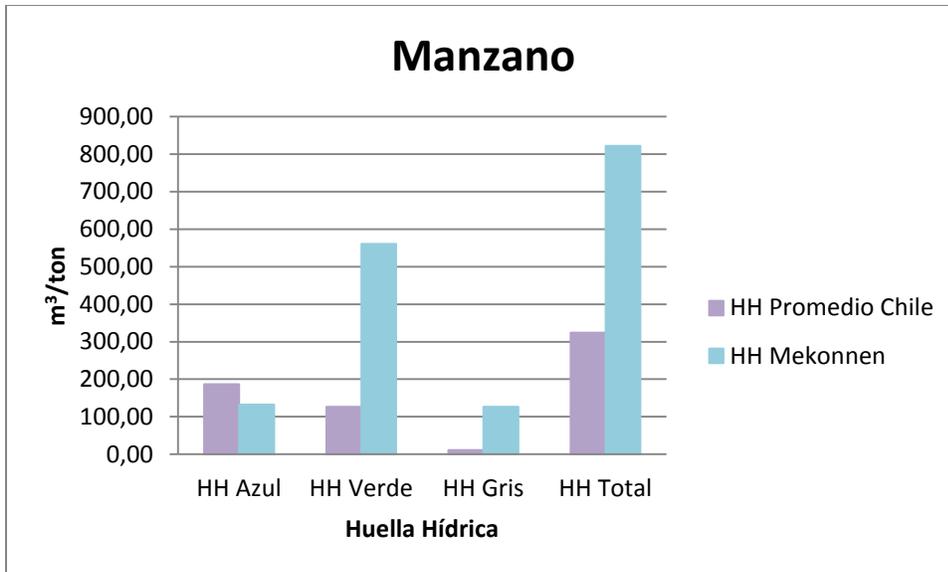


Figura A-A-155: Comparación entre la huella hídrica del Manzano en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.12 Huella hídrica Nogal (*Junglans regia*)

El Nogal es una especie exigente tanto en suelo, como clima. Extrae el agua principalmente de los primeros 90cm de suelo, sin embargo cuando el nivel freático está a 110cm de profundidad y el drenaje no es muy bueno, el crecimiento radicular del nogal será limitado, e nulo con niveles freáticos de 50cm o menos y con drenaje pobre. A su vez, es un frutal muy sensible a la sequía, siendo imposible de cultivar en seco.

Se consideran para el estudio de huella hídrica del Nogal desde la Región de Coquimbo hasta la Región de O'Higgins, debido a que solo en esas regiones se concentra el 95,37% de la producción de Nogal de Chile. La superficie total de Chile en producción de Nogal el año 2007 fue de 9.360,04ha, de las cuales 8.926,54ha se encuentran en las regiones estudiadas.

A.12.1 Huella hídrica Región de Coquimbo

La superficie destinada al Nogal en la Región de Coquimbo en el año 2007 corresponde a 1.065ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 2,3ton/ha.

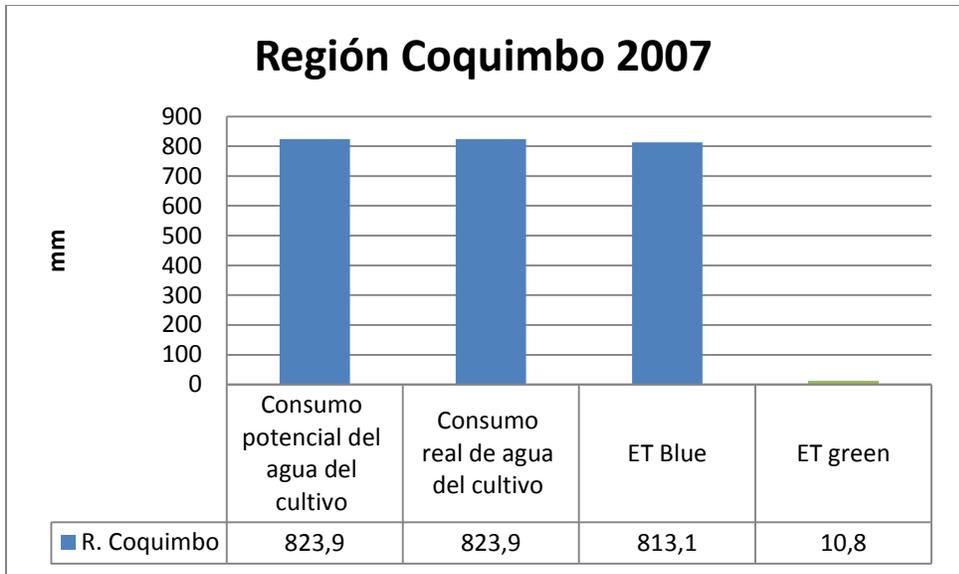


Figura A-A-156: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Nogal en la Región de Coquimbo

El consumo real de agua en el Nogal es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Coquimbo y como se aprecia en la Figura A-A-156, corresponde a 823,9mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 98,7% y el agua verde a 1,3%.

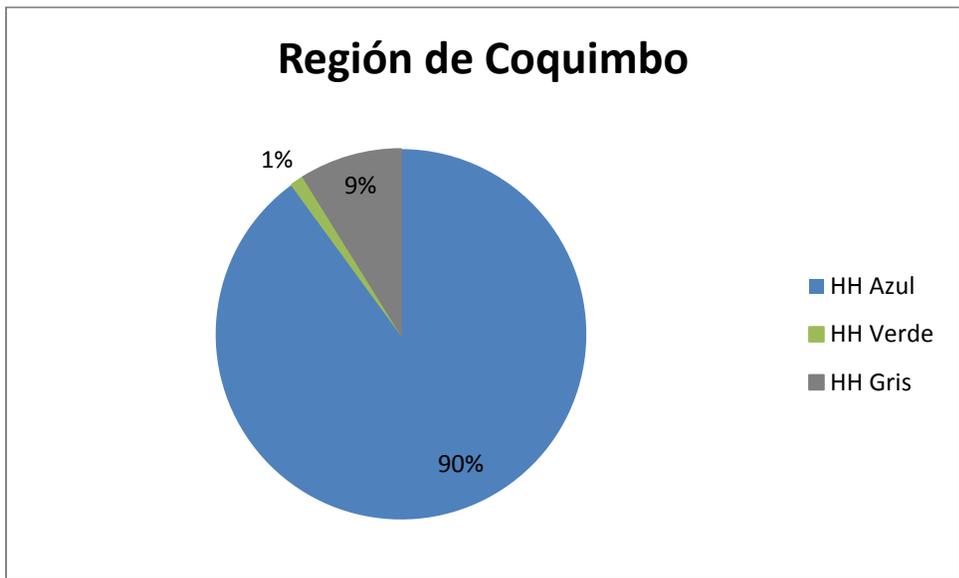


Figura A-A-157: Huella hídrica azul, verde y gris del Nogal en la Región de Coquimbo

La huella hídrica obtenida en la Región de Coquimbo para el Nogal el año 2007, corresponde a $3.930\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 90% lo representa el agua azul con un valor de $3.535,22\text{m}^3/\text{ton}$, el 1% corresponde a agua verde con $46,96\text{m}^3/\text{ton}$ y el 9% restante a huella hídrica gris con un valor de $347,83\text{m}^3/\text{ton}$.

A.12.2 Huella hídrica Región de Valparaíso

La superficie destinada a Nogal en la Región de Valparaíso en el año 2007 corresponde a 2.159,14ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 2,8ton/ha.

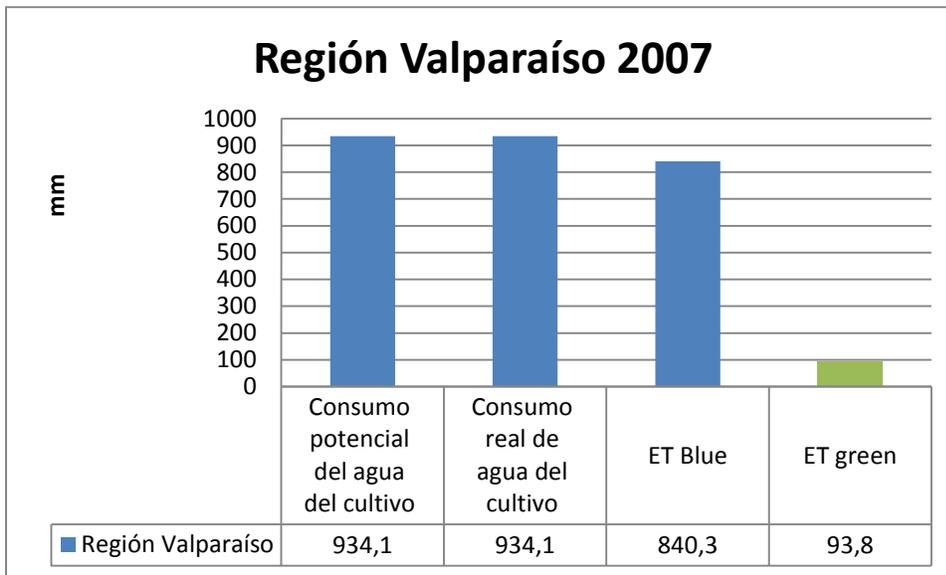


Figura A-A-158: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Nogal en la Región de Valparaíso

El consumo real de agua en el Nogal es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Valparaíso y como se aprecia en la Figura A-A-158, corresponde a 934,1mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 90% y el agua verde a 10%.

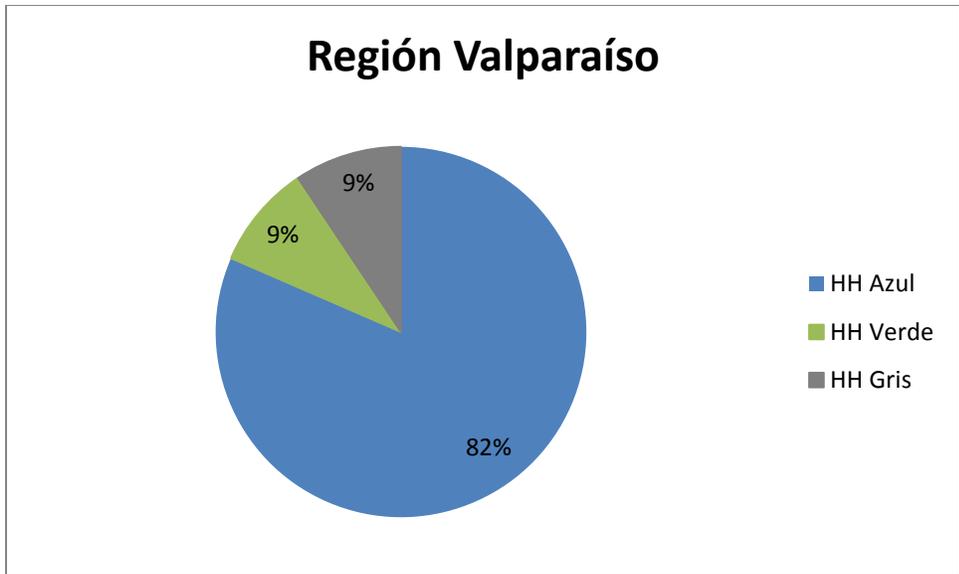


Figura A-A-159: Huella hídrica azul, verde y gris del Nopal en la Región de Valparaíso

La huella hídrica obtenida en la Región de Valparaíso para el Nopal el año 2007, corresponde a $3.681,31\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 82% lo representa el agua azul con un valor de $3.001,07\text{m}^3/\text{ton}$, el 9% corresponde a agua verde con $335\text{m}^3/\text{ton}$ y el 9% restante a huella hídrica gris con un valor de $345,24\text{m}^3/\text{ton}$.

A.12.3 Huella hídrica Región Metropolitana

La superficie destinada a Nopal en la Región Metropolitana en el año 2007 corresponde a 4.185,9ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 3,2ton/ha.

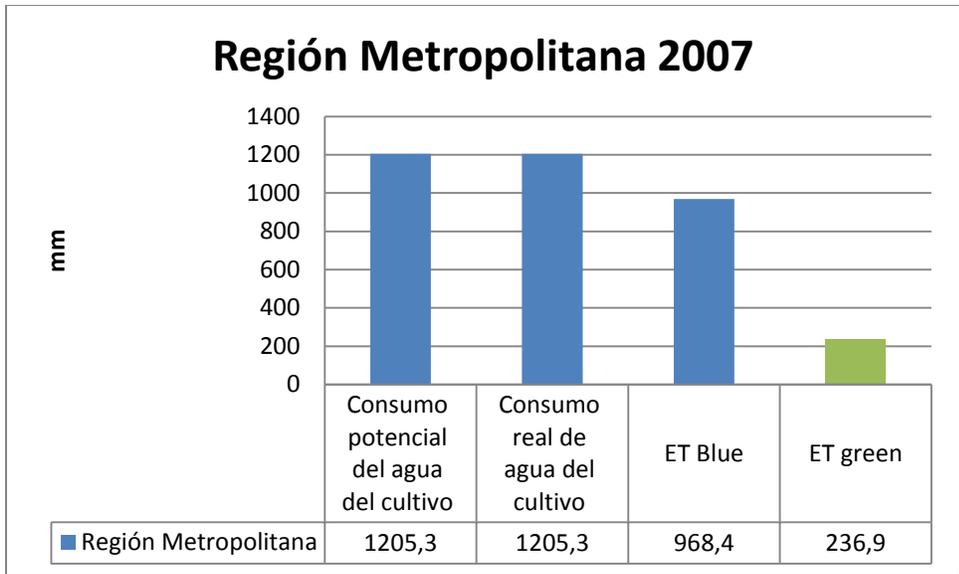


Figura A-A-160: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Nogal en la Región Metropolitana

El consumo real de agua en el Manzano es equivalente al consumo potencial de agua en la Región del Maule y como se aprecia en la Figura A-A-160, corresponde a 1.205,3mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 80,3% y el agua verde a 19,7%.

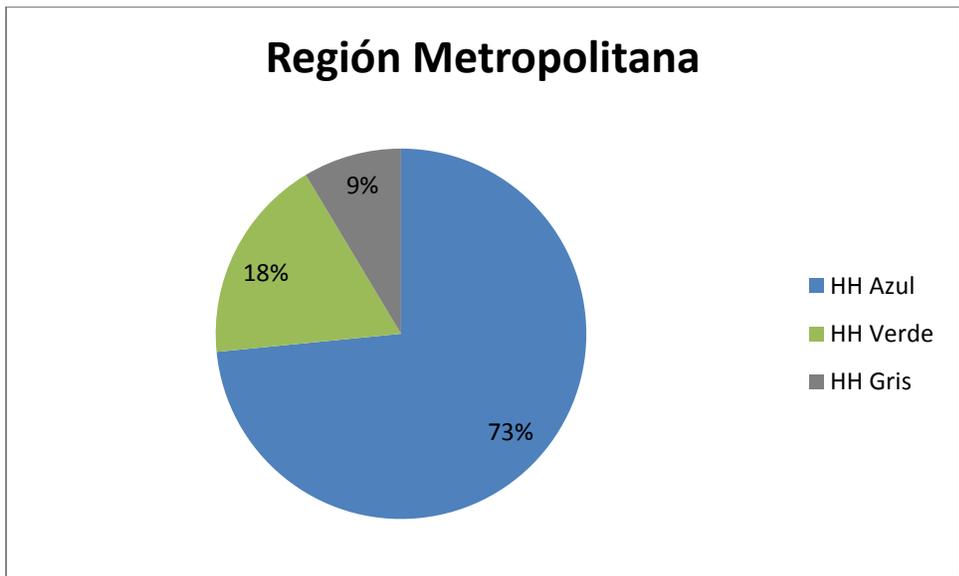


Figura A-A-161: Huella hídrica azul, verde y gris del Nogal en la Región Metropolitana

La huella hídrica obtenida en la Región Metropolitana para el Nogal el año 2007, corresponde a 4.120,73m³/ton, de ese valor el 73% lo representa el agua azul con un valor de 3.026,25m³/ton, el 18% corresponde a agua verde con 740,31m³/ton y el 9% restante a huella hídrica gris con un valor de 354,17m³/ton.

A.12.4 Huella hídrica Región de O'Higgins

La superficie destinada a Nogal en la Región de O'Higgins en el año 2007 corresponde a 1.516,5ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 2,2ton/ha.

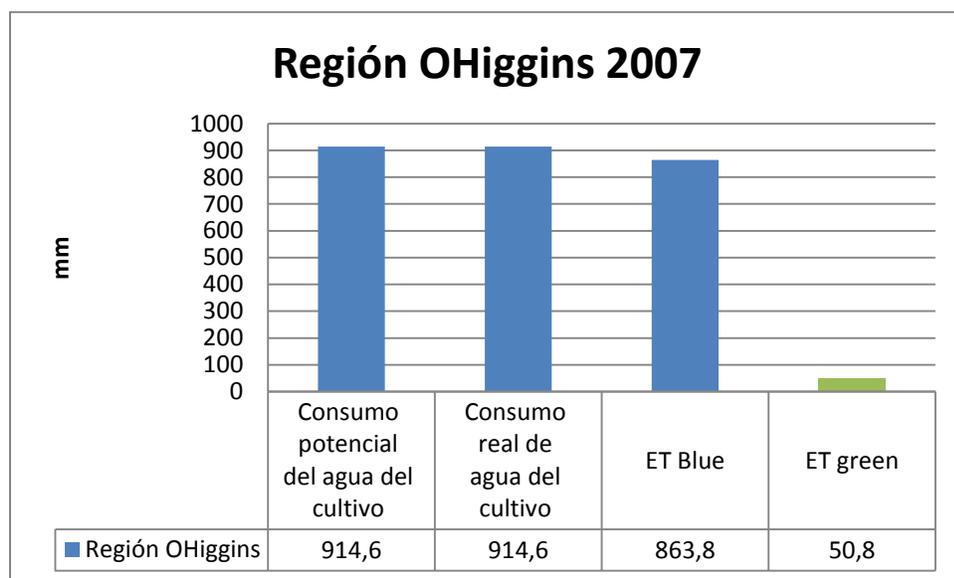


Figura A-A-162: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Nogal en la Región de O'Higgins

El consumo real de agua en el Nogal es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de O'Higgins y como se aprecia en la Figura A-A-162, corresponde a 914,6mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 94,4% y el agua verde a 5,6%.

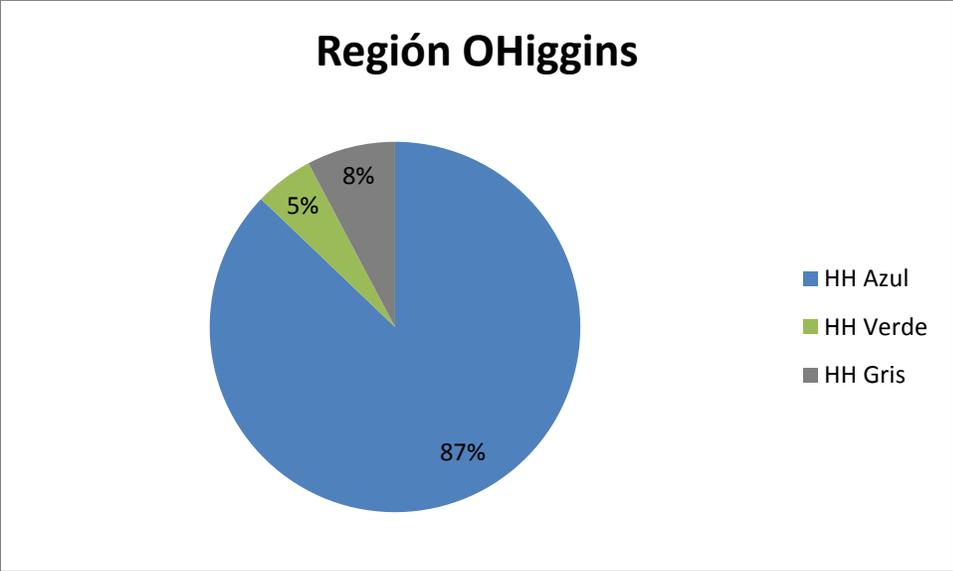


Figura A-A-163: Huella hídrica azul, verde y gris del Nopal en la Región de O'Higgins

La huella hídrica obtenida en la Región de O'Higgins para el Nopal el año 2007, corresponde a $4.505,76\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 87% lo representa el agua azul con un valor de $3.926,36\text{m}^3/\text{ton}$, el 5% corresponde a agua verde con $230,91\text{m}^3/\text{ton}$ y el 8% restante a huella hídrica gris con un valor de $348,48\text{m}^3/\text{ton}$.

De acuerdo a la estimación realizada, se indica que la zona que utiliza el mayor volumen de agua para la producción de Nopal es la Región de O'Higgins, a su vez, esta región posee el mayor consumo de agua azul. Por otro lado, el mayor valor de huella hídrica verde la posee la Región Metropolitana, así como el mayor valor de huella hídrica gris.

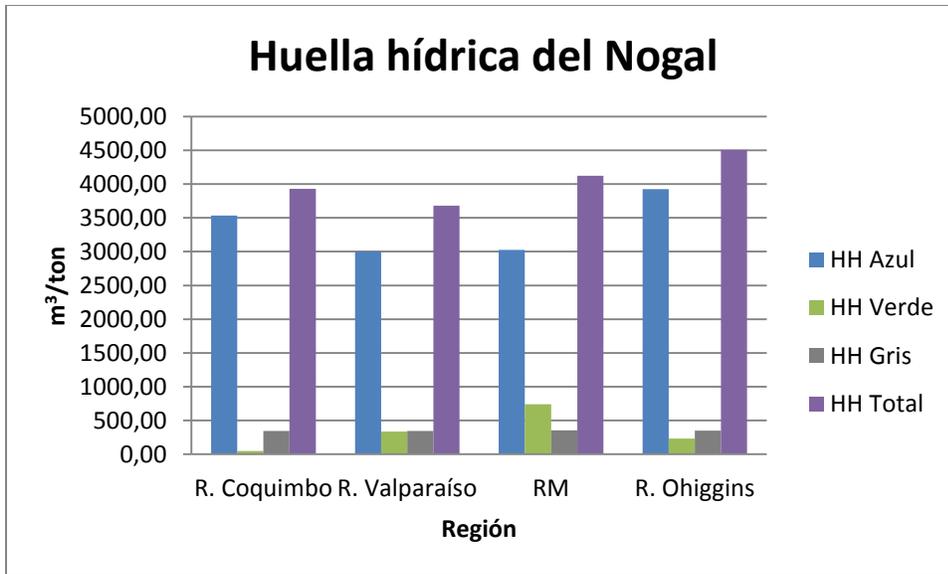


Figura A-A-164: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Nogal, para cada región de Chile

De acuerdo al estudio realizado, se puede estimar la huella hídrica promedio del Nogal en Chile, la cual corresponde a 4.059,45m³/ton. De este valor, 3.372,23m³/ton corresponden a agua azul, 338,29m³/ton a agua verde y 348,93m³/ton a agua gris. Si se comparan estos valores, con los valores promedio entregados por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011) para Nogal, que indican una huella hídrica total de 4918m³/ton, 1.299m³/ton de agua azul, 2.805m³/ton de agua verde y 814m³/ton de agua gris. Se indica de acuerdo a la Figura A-A-165, que la huella hídrica Chilena del Nogal equivale solo al 82,5% del promedio mundial, sin embargo la huella hídrica azul en Chile es mucho más alta, sobrepasando en 159,6% el valor mundial. Por otro lado, la huella hídrica verde y gris corresponden al 12% y 42,9% respectivamente de las huellas hídricas mundiales del Nogal.

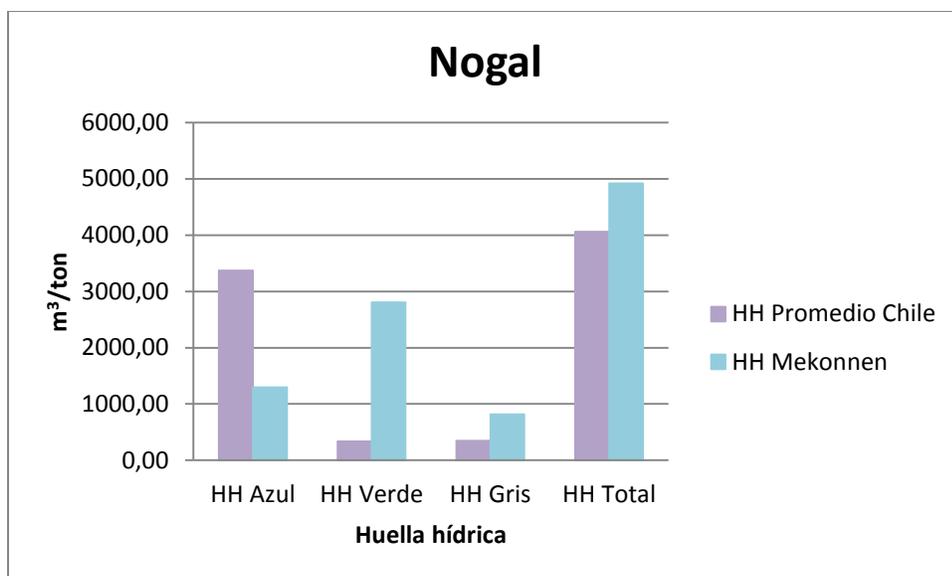


Figura A-A-165: Comparación entre la huella hídrica del Nogal en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.12. Huella hídrica Peral (*Pyrus communis*)

En Peral se adapta bien a climas templados y algo húmedos. Los veranos muy calurosos desecan sus frutos e incluso limitan su crecimiento. La floración se ve perjudicada por rocíos, nieblas y alta humedad. A su vez el Peral se ve afectado por excesiva humedad estacada en el terreno, sin embargo los suelos demasiado secos en verano tampoco le permiten desarrollarse de manera normal, generando masas esclerosas en la pulpa de los frutos.

El Peral requiere entre 700 a 800mm de agua para su buen desarrollo, evitando los déficit especialmente en los meses de verano, es decir antes de la recolección.

Se consideran para el estudio de huella hídrica del Peral desde la Región de Coquimbo hasta la Región del Maule, debido a que solo en esas regiones se concentra el 97,43% de la producción de Peral de Chile. La superficie total de Chile en producción de Peral el año 2007 fue de 6.144,88ha, de las cuales 5.987,1ha se encuentran en las regiones estudiadas.

A.13.1 Huella hídrica Región de Coquimbo

La superficie destinada al Peral en la Región de Coquimbo en el año 2007 corresponde a 285,3ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 32,9ton/ha.

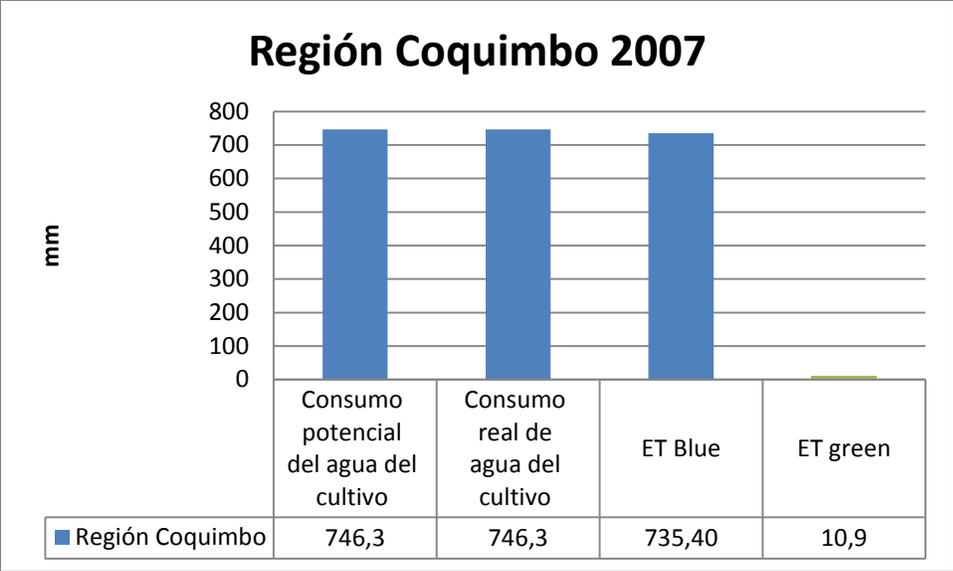


Figura A-A-166: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región de Coquimbo

El consumo real de agua en el Peral es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Coquimbo y como se aprecia en la Figura A-A-166, corresponde a 746,3mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 98,5% y el agua verde a 1,5%.

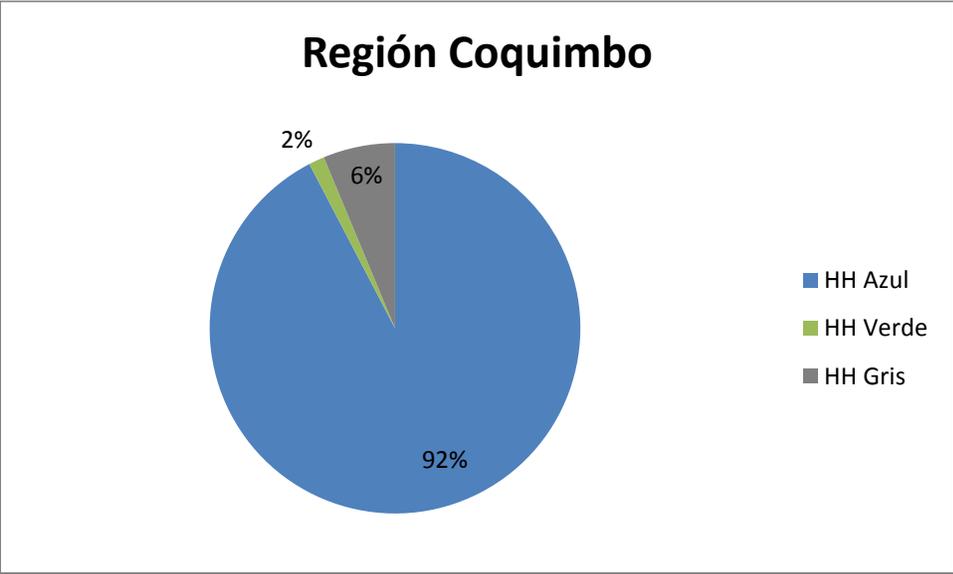


Figura A-A-167: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región de Coquimbo

La huella hídrica obtenida en la Región de Coquimbo para el Nogal el año 2007, corresponde a 242,04m³/ton, de ese valor el 92% lo representa el agua azul con un valor de 223,53m³/ton, el 2% corresponde a agua verde con 3,31m³/ton y el 6% restante a huella hídrica gris con un valor de 15,2m³/ton.

A.13.2 Huella hídrica Región de Valparaíso

La superficie destinada a Peral en la Región de Valparaíso en el año 2007 corresponde a 188,9ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 40,1ton/ha.

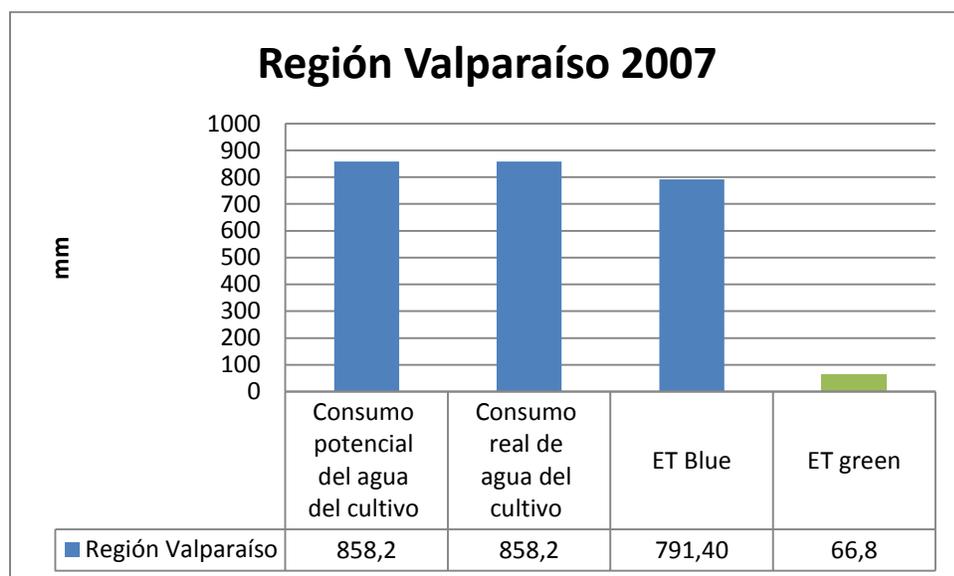


Figura A-A-168: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región de Valparaíso.

El consumo real de agua en el Peral es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Valparaíso y como se aprecia en la Figura A-A-168, corresponde a 858,2mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 92,2% y el agua verde a 7,8%.

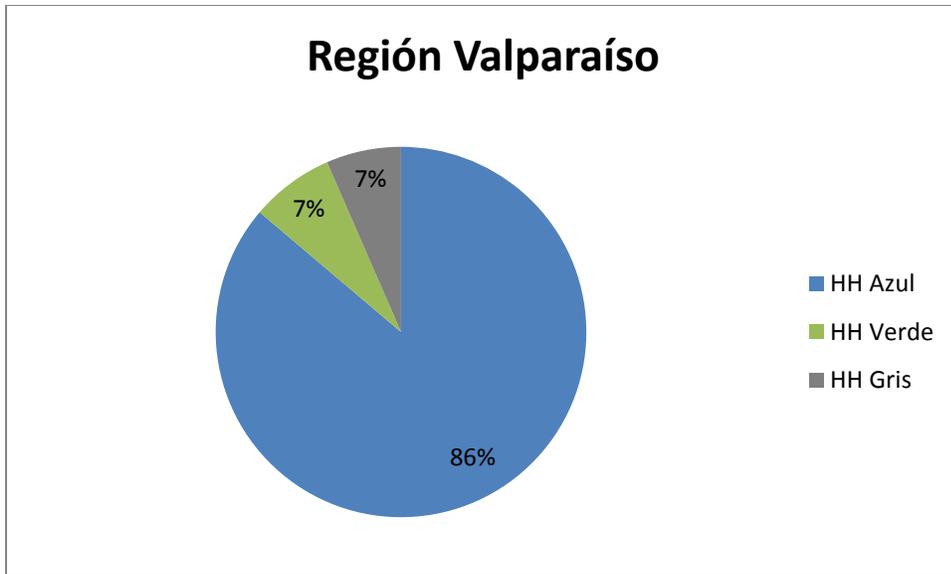


Figura A-A-169: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región de Valparaíso

La huella hídrica obtenida en la Región de Valparaíso para el Peral el año 2007, corresponde a $228,69\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 86% lo representa el agua azul con un valor de $197,11\text{m}^3/\text{ton}$, el 7% corresponde a agua verde con $16,64\text{m}^3/\text{ton}$ y el 7% restante a huella hídrica gris con un valor de $14,9\text{m}^3/\text{ton}$.

A.13.3 Huella hídrica Región Metropolitana

La superficie destinada a Peral en la Región Metropolitana en el año 2007 corresponde a 771ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a $39,1\text{ton}/\text{ha}$.

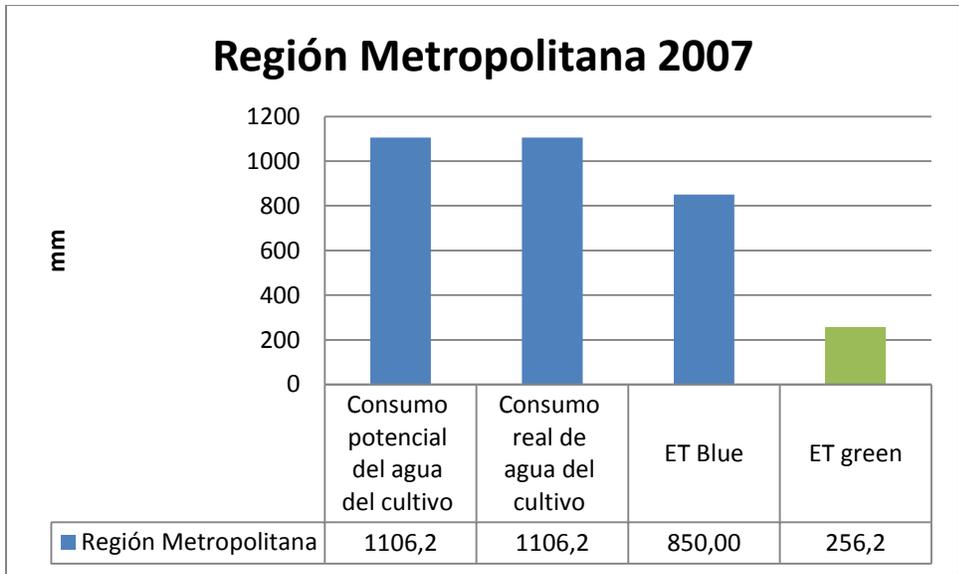


Figura A-A-170: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región Metropolitana

El consumo real de agua en el Manzano es equivalente al consumo potencial de agua en la Región del Maule y como se aprecia en la Figura A-A-170, corresponde a 1106,2mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 76,8% y el agua verde a 23,2%.

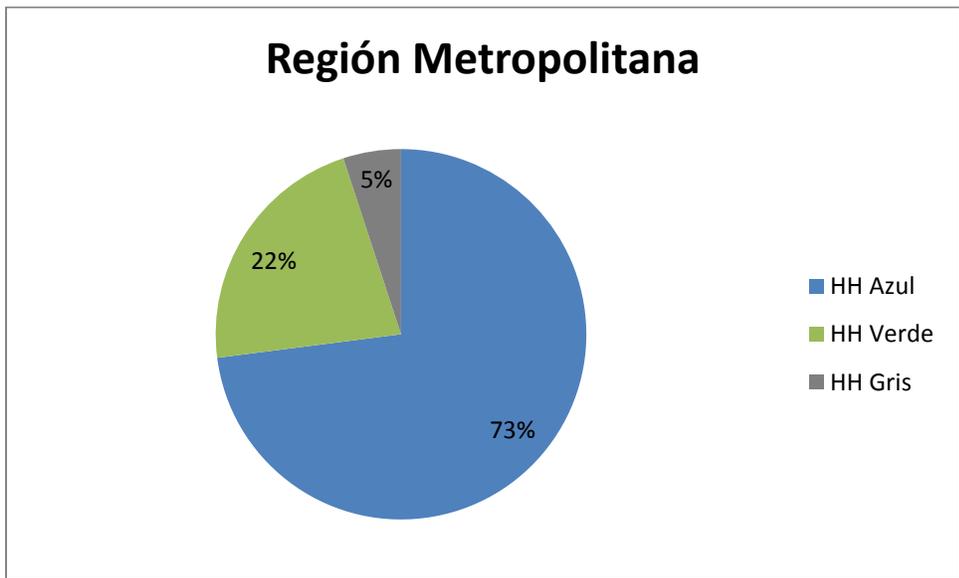


Figura A-A-171: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región Metropolitana

La huella hídrica obtenida en la Región Metropolitana para el Peral el año 2007, corresponde a 297,92m³/ton, de ese valor el 73% lo representa el agua azul con un valor de 217,39m³/ton, el 22% corresponde a agua verde con 65,52m³/ton y el 5% restante a huella hídrica gris con un valor de 15m³/ton.

A.13.4 Huella hídrica Región de O'Higgins

La superficie destinada a Peral en la Región de O'Higgins en el año 2007 corresponde a 3338ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 50,1ton/ha.

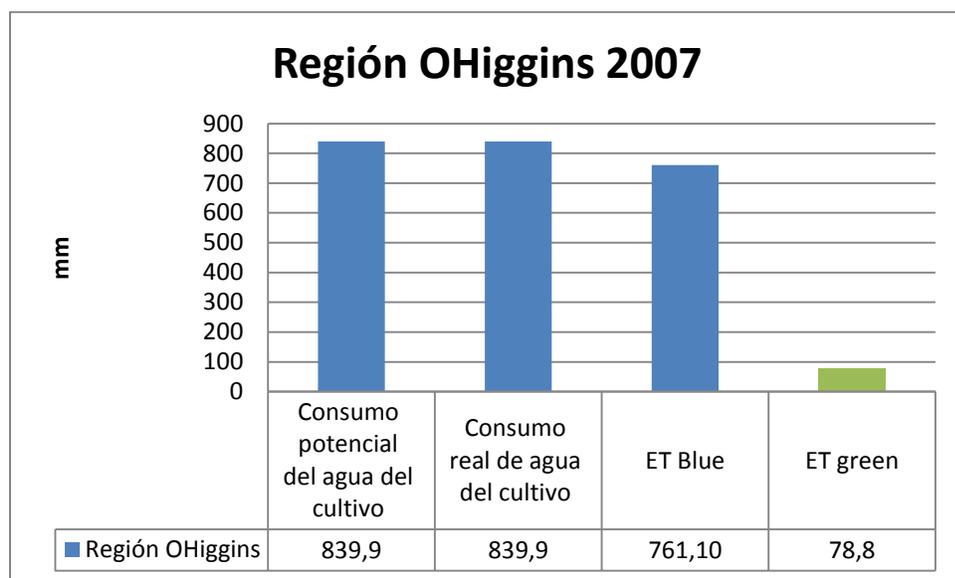


Figura A-A-172: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región de O'Higgins

El consumo real de agua en el Peral es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de O'Higgins y como se aprecia en la Figura A-A-172, corresponde a 839,9mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 90,6% y el agua verde a 9,4%.

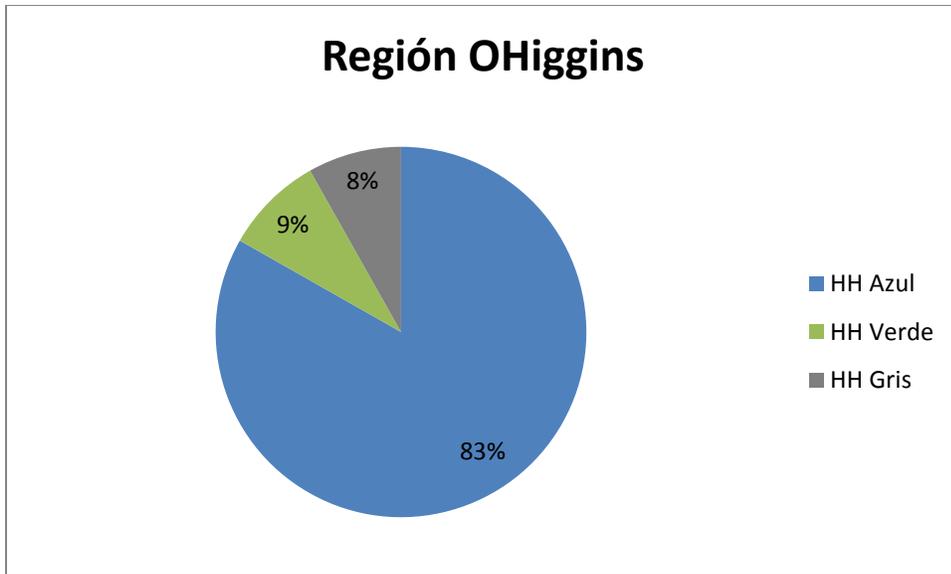


Figura A-A-173: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región de O'Higgins

La huella hídrica obtenida en la Región de O'Higgins para el Peral el año 2007, corresponde a $182,55\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 83% lo representa el agua azul con un valor de $151,92\text{m}^3/\text{ton}$, el 9% corresponde a agua verde con $15,73\text{m}^3/\text{ton}$ y el 8% restante a huella hídrica gris con un valor de $14,9\text{m}^3/\text{ton}$.

A.13.5 Huella hídrica Región del Maule

La superficie destinada a Peral en la Región del Maule en el año 2007 corresponde a 1.404ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a $43,3\text{ton}/\text{ha}$.

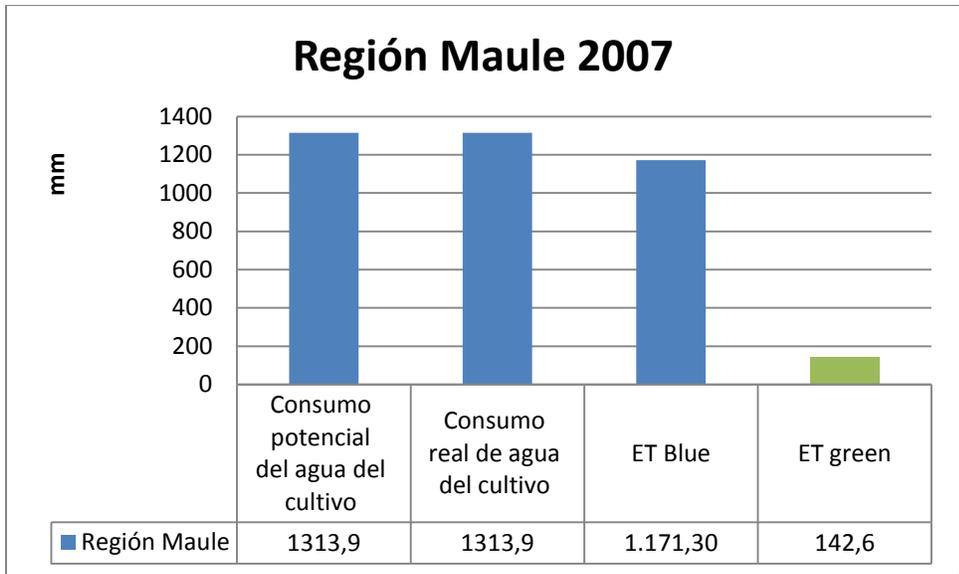


Figura A-A-174: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde del Peral en la Región del Maule

El consumo real de agua en el Peral es equivalente al consumo potencial de agua en la Región del Maule y como se aprecia en la Figura A-A-174, corresponde a 1313,9mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 89,1% y el agua verde a 10,9%.

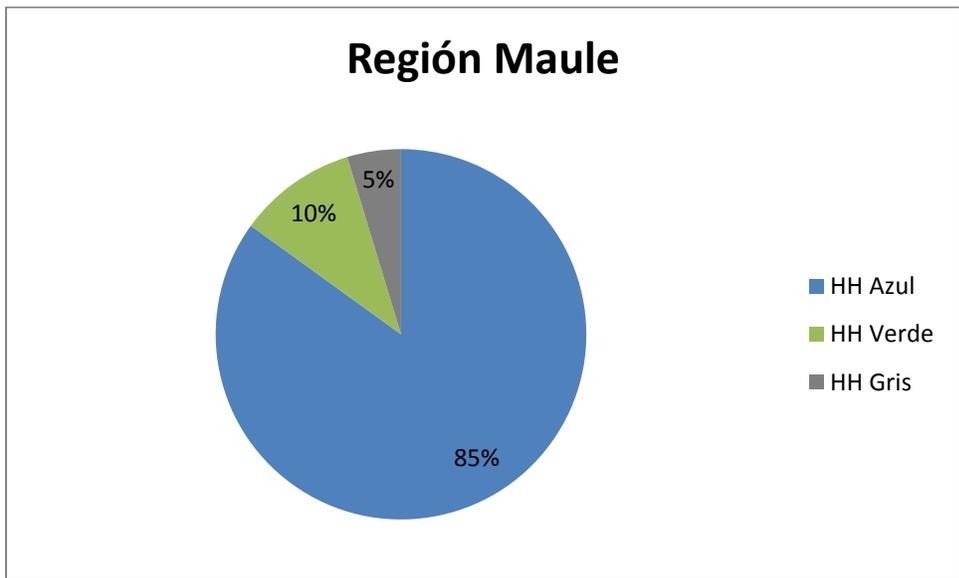


Figura A-A-175: Huella hídrica azul, verde y gris del Peral en la Región del Maule

La huella hídrica obtenida en la Región del Maule para el Peral el año 2007, corresponde a 318,38m³/ton, de ese valor el 85% lo representa el agua azul con un valor de 270,51m³/ton, el 10% corresponde a agua verde con 32,93m³/ton y el 5% restante a huella hídrica gris con un valor de 14,9m³/ton.

En la Figura A-A-176 se aprecia que las regiones que poseen los mayores valores de huella hídrica total son la Región del Maule y la Región Metropolitana, ambas con significativo consumo de agua azul, por otro lado, el consumo de agua verde representado por la huella hídrica verde, en ninguna región es tan relevante, sin embargo en la Región Metropolitana es donde mayor importancia adquiere alcanzando a ser el 73% de la huella hídrica. Por último el menor valor de huella hídrica se da en la Región de O'Higgins, donde nuevamente la huella hídrica azul presenta mayor relevancia que la verde.

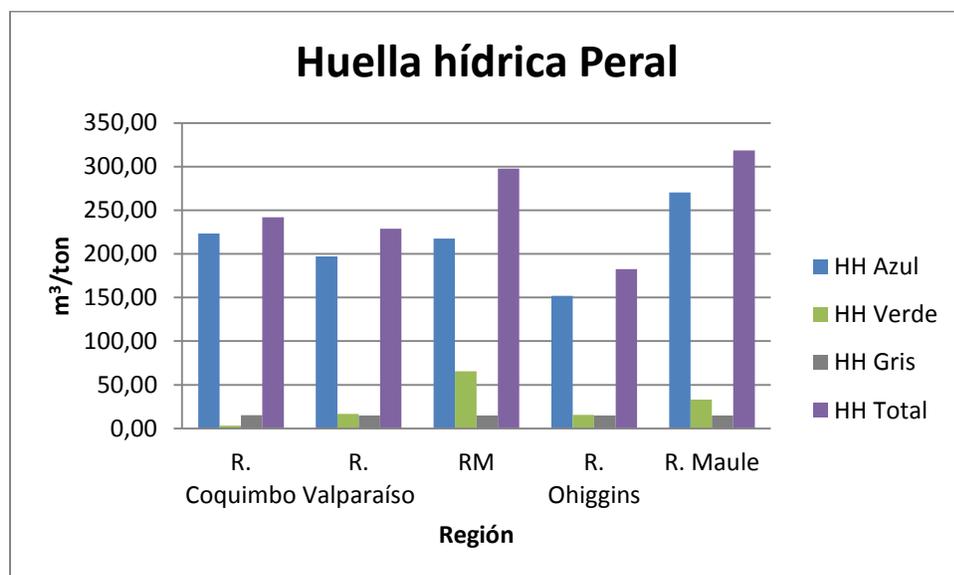


Figura A-A-176: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Peral, para cada región de Chile

De acuerdo al estudio realizado, se estima la huella hídrica promedio del Peral en Chile, la cual corresponde a 253,91m³/ton. De este valor, 212,09m³/ton corresponden a agua azul, 26,83m³/ton a agua verde y 15m³/ton a agua gris. Si se comparan estos valores, con los valores promedio entregados por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011) para Peral, que indican una huella hídrica total de 922m³/ton, 94m³/ton de agua azul, 645m³/ton de agua verde y 183m³/ton de agua gris. Se indica de acuerdo a la Figura A-A-177, que la huella hídrica Chilena del Peral equivale solo al 27,5% del promedio mundial, sin embargo la huella hídrica azul en Chile es mucho más alta, sobrepasando en 125,6% el valor mundial. Por otro lado, la huella hídrica verde y gris corresponden al 4,2% y 8,2% respectivamente de las huellas hídricas mundiales del Peral.

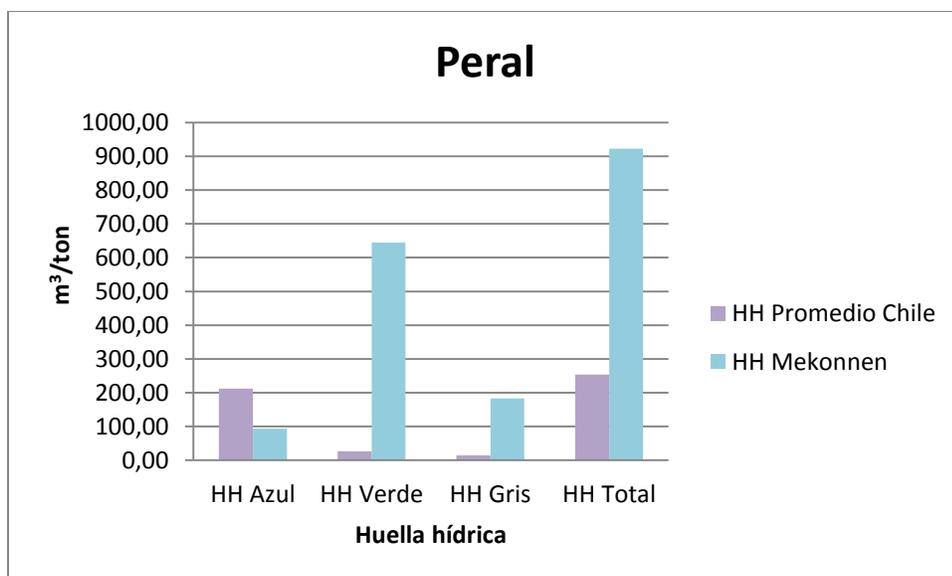


Figura A-A-177: Comparación entre la huella hídrica del Peral en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.14 Huella Hídrica Maíz (*Zea mays* spp.)

Cultivo anual perteneciente a la familia de las poáceas o gramíneas cuya superficie cultivada es la tercera más grande del mundo después del trigo y el arroz. La utilización del maíz está enfocada al consumo animal y en segundo término al consumo humano, en este último se usa el maíz dulce, que es una especie con mayor azúcar en el endosperma, haciendo que este acumule el doble de la concentración que posee el maíz grano en estado de choclo, su utilización puede ser en maicena, chuchoca, choclo en miniatura, harina de maíz, como también en el consumo de los granos frescos y congelados. Para la alimentación animal el uso del maíz tiene 2 usos principales: el primero corresponde a la utilización de los granos para la alimentación de aves y cerdos y la segunda a la generación de ensilaje de plantas para el consumo de ganado bovino (Faiguenbaum, 2003).

En relación a los aspectos climáticos el maíz necesita una temperatura mínima del suelo de 10°C para su germinación, con estas temperaturas el crecimiento puede llegar a tomar 2 semanas, en cambio si la temperatura del suelo es cercana a los 20° C, la emergencia puede ocurrir en 5 a 6 días. El cultivo de maíz no soporta heladas, si estas ocurren cuando la planta posee menos de 5 hojas puede sobrevivir perdiendo aquellas, esto es debido a que en ese estado, el punto de crecimiento está bajo la superficie del suelo pudiendo existir un rebrote con mínimo efecto en la producción para plantas de una hoja, sin embargo si el cultivo posee 3 o 4 hojas, la helada puede producir un freno en el crecimiento, disminuir el desarrollo y decrecer el rendimiento, finalmente temperaturas cercanas e inferiores a 0° C causan un daño en el cultivo pero generalmente no afectan la producción (Faiguenbaum, 2003).

Las temperaturas óptimas durante el día están entre los 25°C y los 32°C dependiendo de la etapa del cultivo, es interesante indicar que la tasa de crecimiento tiene una relación directa con la temperatura, siempre y cuando el incremento en grados comience desde los 17°C hasta los 28°C, por último temperaturas sobre los 35°C tendrán un impacto directo en la producción disminuyendo los rendimientos (Faiguenbaum, 2003).

La densidad de plantación propia del maíz, su canopia y su fisiología generan un coeficiente K_c mayor a 1,0 cuando el cultivo está en su etapa de desarrollado (K_c med, 15-20% mayor que el K_c de referencia). En relación a lo anterior y considerando condiciones ambientales estándar para la producción, se determina el consumo hídrico del cultivo, que para el caso del maíz es mayor que una pradera referencial bajo la misma demanda evaporativa (FAO, 2006).

A.14.1 Huella hídrica Región Coquimbo.

La superficie sembrada para los años 1989, 1999 y 2005 fue de 750ha, 879ha y 630ha respectivamente. El rendimiento para esos mismos años fue de 4,73ton/ha, 2,72ton/ha y 4,2ton/ha.

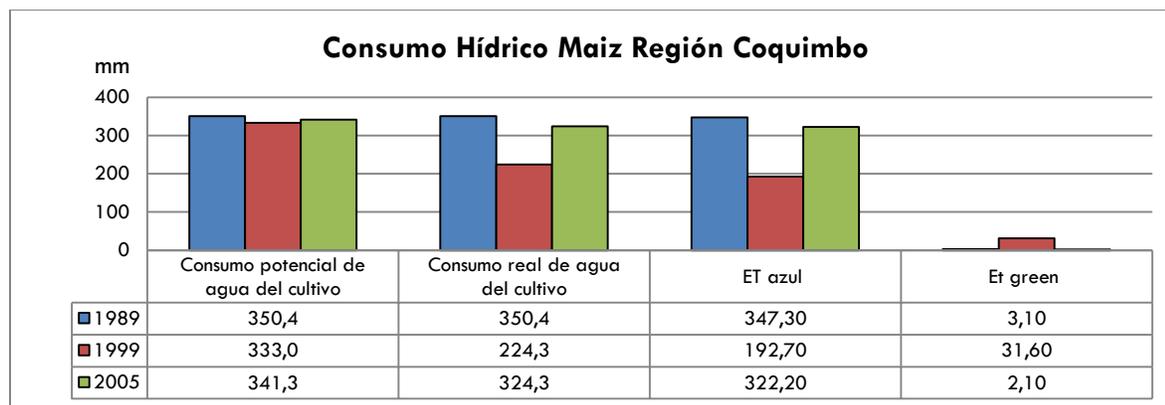


Figura A-A-178: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del maíz en la región de Coquimbo

En los años estudiados se puede apreciar un consumo potencial relativamente similar, sin embargo el consumo real de agua muestra una clara disminución para el año 1999, explicada fundamentalmente por una disminución en la producción por debajo del promedio regional de 30 años (4,5 ton/ha) alcanzando 2,7 ton/ha.

De acuerdo a estos antecedentes como se puede deducir de la Figura A-A-179, la huella hídrica total para los años 1989, 1999, y 2005 fue de 881,62m³/ton, 947,19m³/ton y 891,19m³/ton respectivamente. Debido a la zona y a sus condiciones climáticas como también a los requerimientos hídricos del cultivo se observa un predominante suministro de agua azul en los 3 años analizados. Para 1999 se observa una mayor huella hídrica total debido a

menores rendimientos, así se genera un consumo de agua mayor por unidad producida (m^3/ton) considerando además la utilización de agua verde cuya disponibilidad depende de factores climáticos.

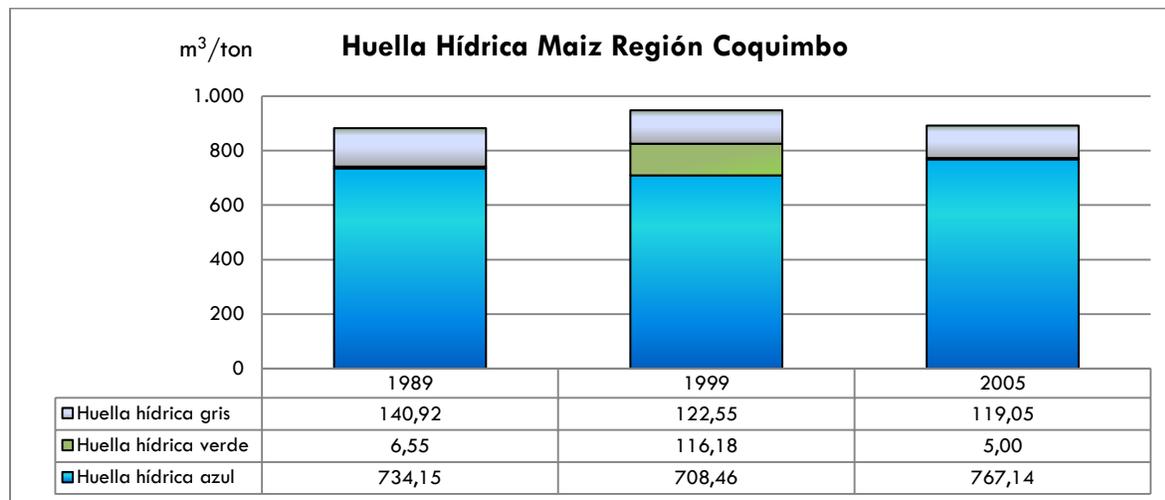


Figura A-A-179: Huella hídrica azul, verde y gris en m^3/ton del maíz en la región de Coquimbo

La huella hídrica gris para 1989, 1999 y 2005 fue de $140,92m^3/ton$, $122,55m^3/ton$ y $119,05m^3/ton$ respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. El mayor valor de huella gris entre los 3 años analizados en la región es para 1989, debido exclusivamente a una mayor producción alcanzada y por ende una mayor dosis de nitrógeno por hectárea.

A.14.2 Huella hídrica Región de Valparaíso.

En la quinta región en 1989, 2002 y 2008, la superficie sembrada fue de 2.580ha, 2.020ha y 1.315ha. Para los mismos años el rendimiento fue de 5,61ton/ha, 5,66ton/ha y 11,91ton/ha.

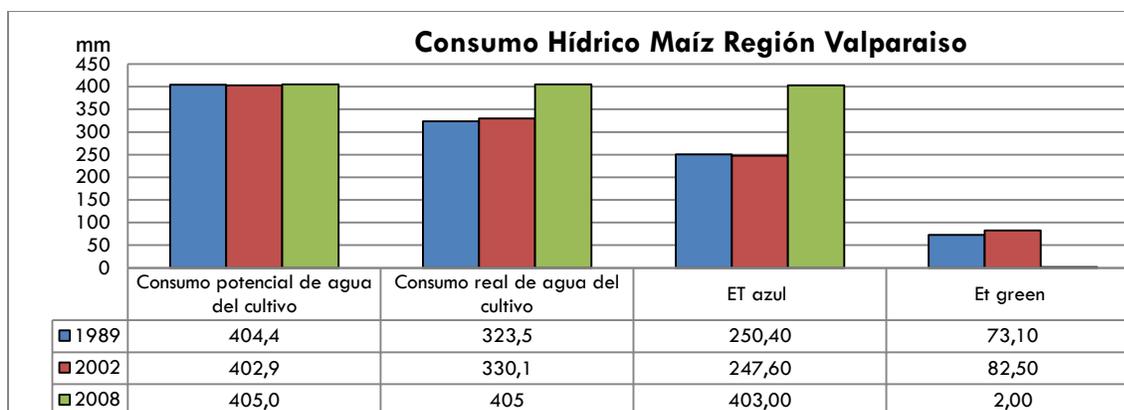


Figura A-A-180: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del maíz en la región de Valparaíso.

Para la 5° región se observa un consumo potencial relativamente constante para los 3 años estudiados, la fuente de los datos climáticos utilizados es la que determina la evapotranspiración de referencia, cuya procedencia a excepción de la temperatura y precipitaciones, corresponde a la base de datos CLIMWAT 2.0. El consumo real de agua experimenta un importante aumento con tendencia creciente entre los 3 años de estudio, esto se debe a un incremento en la producción y por ende en una mayor demanda hídrica que es abastecida especialmente de agua azul, si se analiza el caso del año 2008 en comparación con los años anteriores.

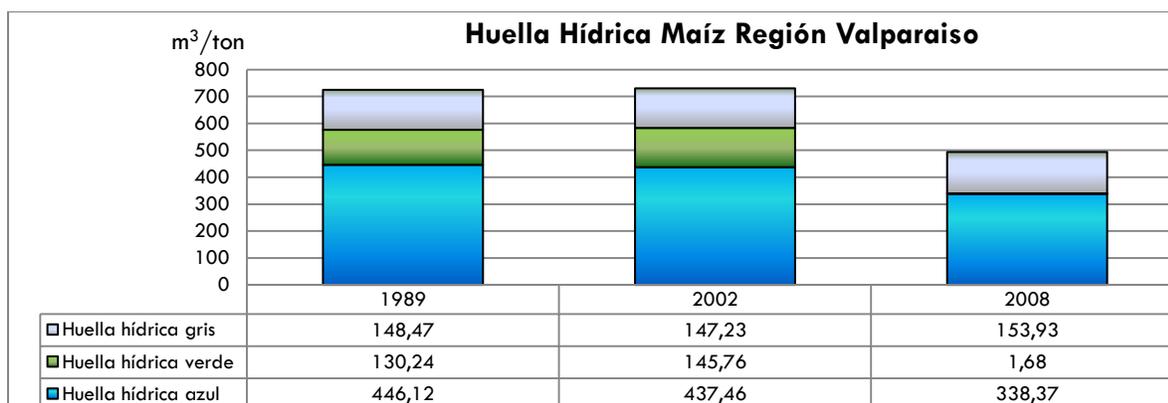


Figura A-A-181: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Maíz en la región de Valparaíso

La huella hídrica total para los años 1989, 2002, y 2008 fue de 724,83m³/ton, 730,45m³/ton y 493,98m³/ton respectivamente. Estos valores calculados se encuentran subestimados, debido fundamentalmente a los datos climáticos utilizados provenientes de CLIMWAT 2.0 (FAO). La estimación de la evapotranspiración de referencia cuantifica la demanda evaporativa de agua de la atmósfera y repercute directamente en el valor de la huella hídrica (FAO, 2006). Como se

estudian años distintos usando la misma fuente de datos climáticos, es posible hacer un análisis de tendencia y comparar los distintos valores de huella hídrica estimados.

Para los años 1989 y 2002 se obtiene una huella hídrica similar en proporción y cantidad para los componentes de agua azul, verde y gris, explicada por valores similares en el consumo real de agua del cultivo, como también en los rendimientos por hectárea alcanzados siendo 5,61 ton/ha para 1989 y 5,66 ton/ha para el año 2002. La diferencia entre los años se debe a un mayor consumo de agua verde para el 2002 lo que redundó en un menor consumo de agua azul. Para el año 2008 en cambio, los rendimientos obtenidos fueron de 11,91 ton/ha generando un incremento de más de un 100% en comparación con la producción del año 2002. Tal aumento se ve reflejado en un mayor consumo de agua, específicamente de agua azul cuyo crecimiento usando como referencia el año 2002 fue de un 62,8%. La mayor producción y por ende el mayor consumo de agua por el cultivo permiten alcanzar el consumo potencial de agua dado por la demanda atmosférica. Finalmente para el año 2008 es posible ver la menor huella hídrica entre los años analizados, dicho valor es resultado de un aumento en los rendimientos, que si bien trajo consigo un mayor consumo de agua, la cantidad de la misma utilizada por unidad producida resultó ser menor en comparación a los años 1989 y 2002, es decir la productividad en el uso del agua por unidad de producto generada fue mayor en el año 2008 debido a una menor huella hídrica total.

La huella hídrica gris para 1989, 2002 y 2008 fue de 148,47m³/ton, 147,23m³/ton y 153,93 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. El mayor valor de huella gris corresponde al año 2008 cuya producción alcanzó las 11,91ton/ha con una dosis referencial de nitrógeno de 275kg/ha, para los años 1989 y 2002 los valores de huella gris son prácticamente similares ya que para un rendimiento relativamente equivalente (5,51ton/ha y 5,66ton/ha respectivamente) corresponden dosis nitrogenadas similares de 125kg/ha (Rodríguez, 1992).

A.14.3 Huella hídrica Región Metropolitana.

La superficie para la Región Metropolitana en los años 1989, 1997, 2004 y 2010 fue de 14.040ha, 11.403ha, 16.950ha y 15.217ha. Para esos mismo años el rendimiento fue de 7,44ton/ha, 9,3ton/ha, 10,89ton/ha y 12,46ton/ha.

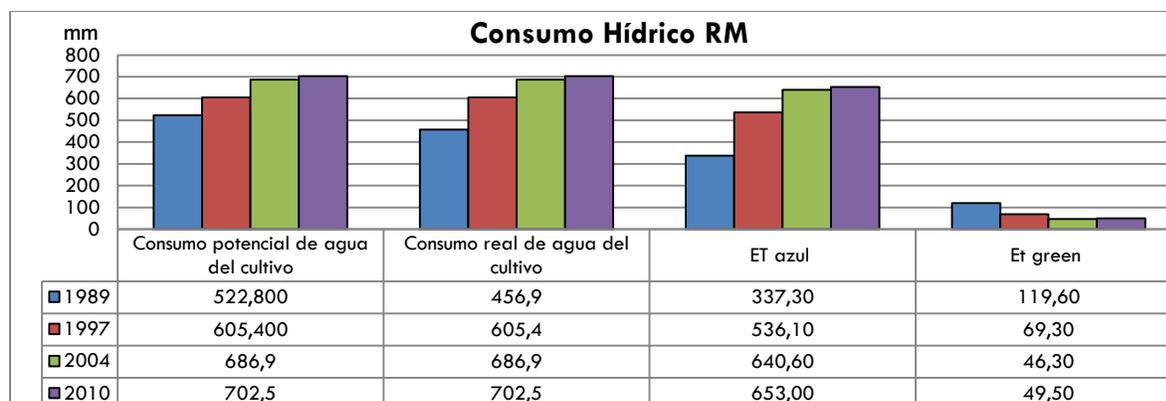


Figura A-A-182: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Maíz en la región Metropolitana

Para la región metropolitana es posible apreciar una tendencia alcista del consumo potencial de agua para el cultivo, también se observa que el consumo real de agua alcanza el potencial dado por la demanda atmosférica excepto para el año 1989. Es importante agregar además que el suministro hídrico del cultivo es abastecido principalmente por agua azul, cuya importancia mantiene una tendencia creciente en los años de estudio. Por ejemplo para 1989 el consumo real de agua se compone de un 26,2% de agua verde y de un 73,8% de agua azul, en cambio para el año 2010 el consumo real tiene un 7% de agua verde y un 93% de agua azul.

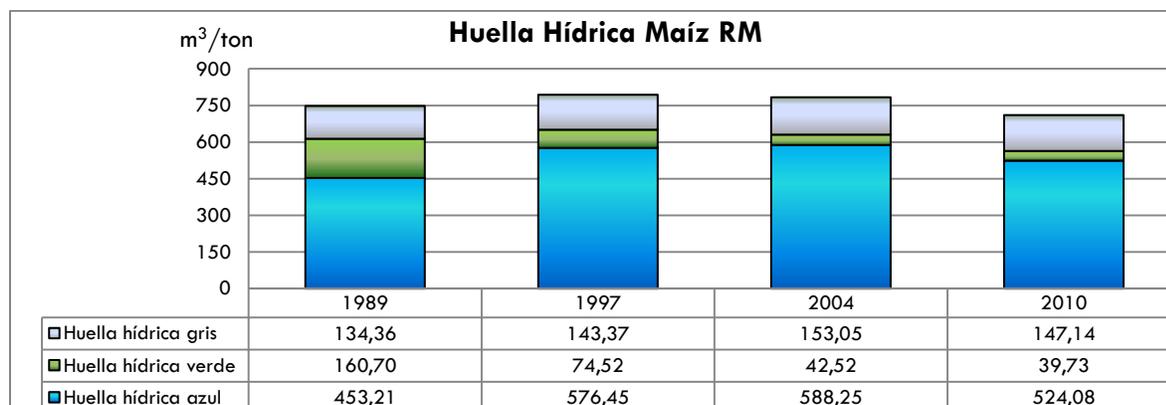


Figura A-A-183: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Maíz en la región Metropolitana.

La huella hídrica total para los años 1989, 1997, 2004 y 2010 fue de 748,27m³/ton, 794,34m³/ton, 783,82m³/ton y 710,95m³/ton respectivamente. Para 1989 el contenido de agua verde es mayor en comparación con los otros años analizados alcanzando un 21,5% de la huella hídrica total, también en dicho año el cultivo no alcanzó su consumo potencial, se puede suponer entonces que una dependencia de agua verde, cuya disponibilidad es funcional a las condiciones climáticas de la región, pueda estar relacionada a menores rendimientos si el

recurso hídrico es limitado, debido a que la entrega de agua no depende de las necesidades de los cultivos.

Para los años 1997, 2004 y 2010 se aprecia una tendencia a disminuir el agua verde, reemplazar esta por agua azul, aumentar el consumo hídrico real y además se observa una tendencia de incremento en los rendimientos por hectáreas obtenidos en cada año siendo 9,3ton/ha para 1997, 10,9ton/ha para 2004 y 12,5ton/ha para el año 2010.

La menor huella hídrica corresponde al año 2010 con un valor de 710,95m³/ton, si bien este año posee el mayor consumo real también posee los rendimientos más altos, por lo que la cantidad de agua por unidad producida se ve disminuida en comparación con los años anteriores.

La huella hídrica gris para 1989, 1997, 2004 y 2010 fue de 134,36m³/ton, 143,37m³/ton y 153,05m³/ton y 147,14m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. El mayor valor de huella gris corresponde al año 2004 cuyo valor es un 4% mayor al obtenido para el año 2010, estas diferencias relativamente pequeñas están relacionadas a las dosis referenciales y los rangos que abarca una dosis determinada.

A.14.4 Huella hídrica Región O'Higgins.

En la región del Libertador Bernardo O'Higgins la superficie sembrada para los años 1989, 2003 y 2009 fue de 61.130ha, 70.500ha y 80.953ha respectivamente. El rendimiento en esos años fue de 9,66ton/ha, 12ton/ha y 12,35ton/ha.

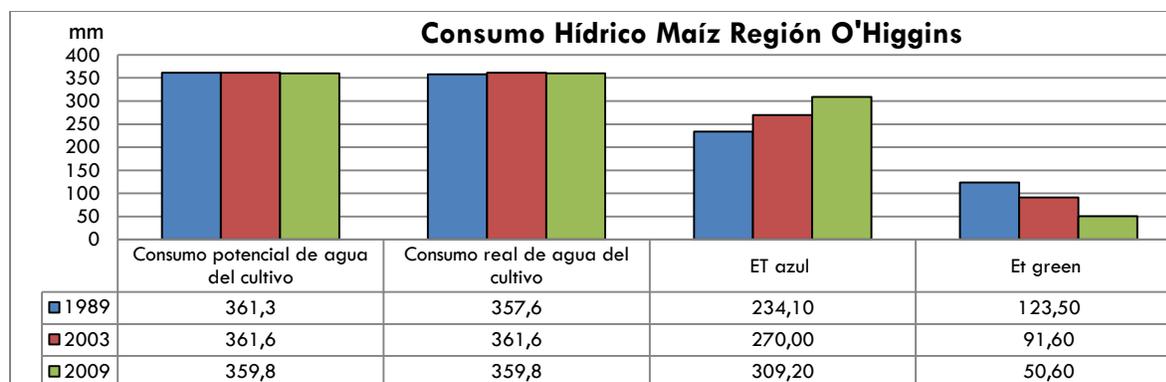


Figura A-A-184: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Maíz en la región de O'Higgins

Para la Región de O'Higgins se observa un consumo potencial con cambios mínimos para los años estudiados, esto se debe principalmente a la fuente de los datos climáticos utilizados para determinar la evapotranspiración de referencia, cuya procedencia a excepción de la

temperatura y precipitaciones, corresponde a la base de datos CLIMWAT 2.0 de FAO. El consumo real de manera similar al potencial experimenta cambios pequeños, sin embargo es posible observar una tendencia creciente de mayor consumo de agua azul en desmedro de agua verde desde 1989 hasta 2009 tomando como referencia únicamente los 3 años analizados.

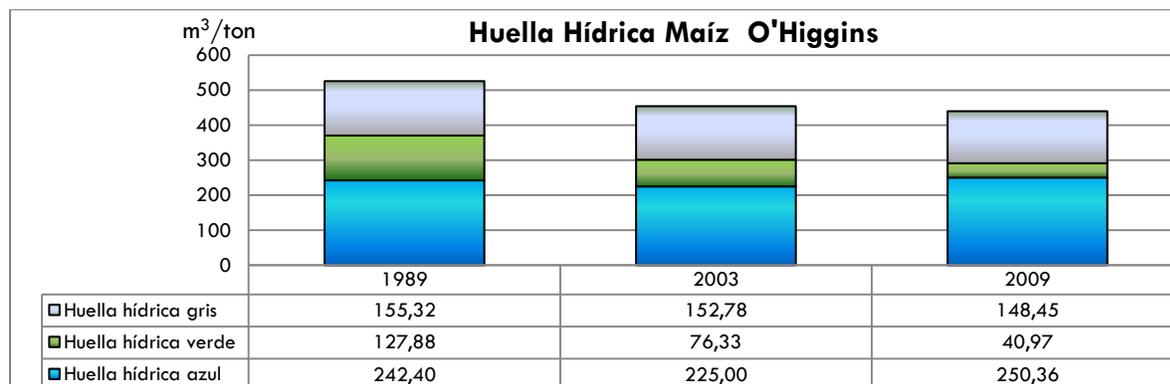


Figura A-A-185: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Maíz en la región de O'Higgins

La huella hídrica total para los años 1989, 2003 y 2009 fue de 525,6m³/ton, 454,11m³/ton y 439,78m³/ton respectivamente. Tales valores calculados están subestimados y por debajo de los esperados para la región, debido fundamentalmente a los datos climáticos utilizados provenientes de CLIMWAT 2.0 (FAO). La estimación bajo el modelo CROPWAT de la evapotranspiración de referencia por medio de datos climáticos regionales, cuantifica la demanda evaporativa de agua de la atmósfera y repercute directamente en el valor de la huella hídrica y sus componentes azul y verde.

Como se estudian años distintos usando la misma fuente de datos climáticos, es posible hacer un análisis de tendencia y comparar los distintos valores de huella hídrica estimados. Entre los 3 años analizados se observa una disminución en el valor de la huella hídrica total influenciado principalmente por un aumento en los rendimientos por hectárea. En conjunto con esta tendencia se observa un aumento en la proporción de agua azul en desmedro del agua verde, esto puede indicar que la entrega de agua mediante riego permite un mejor manejo alcanzado mejores rendimientos.

La huella hídrica gris para 1989, 2003 y 2009 fue de 155,32m³/ton, 152,78m³/ton y 148,45m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. El mayor valor de huella gris corresponde a 1989, este supera en un 4,6% al año 2009 cuyo valor de huella hídrica gris es el menor pero a la vez, posee la mayor producción alcanzando los 12,4ton/ha a diferencia de 1989 que tiene 9,6ton/ha, estas diferencias de huella gris están relacionadas a la dosis referencial que está descrita para un rango de producción alcanzada.

A.14.5 Huella hídrica Región del Maule

La superficie de Maíz en los años 1989, 2001 y 2007 en la Región del Maule fue de 18.000ha, 14.070ha y 42.120ha. El rendimiento fue de 5,49ton/ha el año 1989, de 8,77ton/ha el 2001 y 8,78ton/ha el 2007.

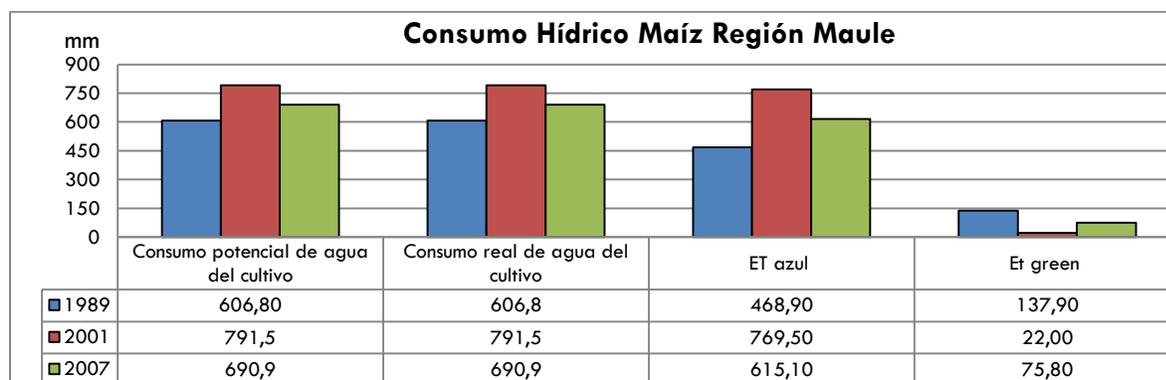


Figura A-A-186: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Maíz en la región del Maule

Para la Región del Maule se observa que en todos los años estudiados el consumo real de agua por el cultivo alcanza su potencial determinado por la demanda evaporativa de la atmosfera, también dicho consumo es suministrado en gran medida por agua azul y en mucho menor medida por agua verde cuya proporción en el consumo real para los años 1989, 2001 y 2007 fue de un 22,7%, 2,8% y 11% respectivamente.

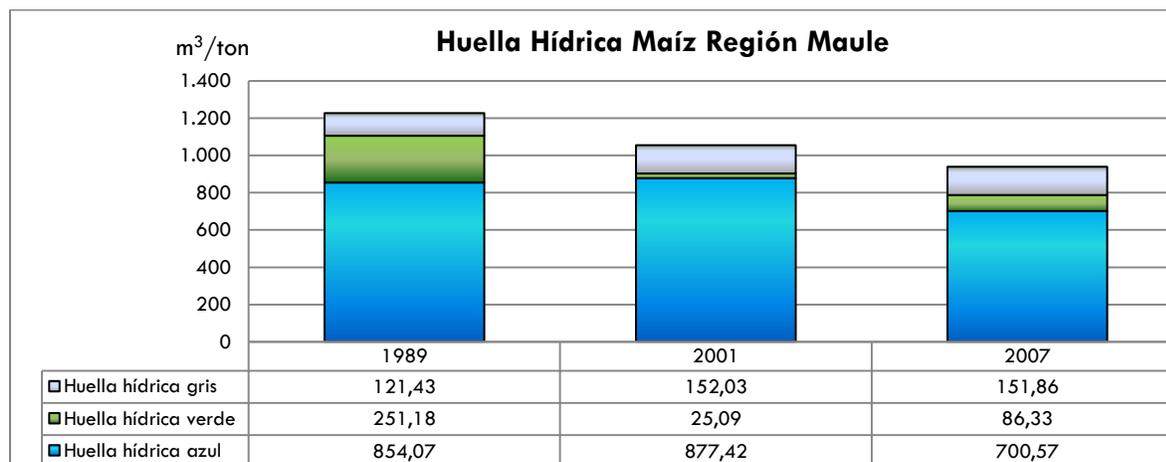


Figura A-A-187: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Maíz en la región del Maule

La huella hídrica total para los años 1989, 2001 y 2007 fue de 1226,68m³/ton, 1054,54m³/ton y 938,76m³/ton respectivamente. Se observa una tendencia a disminuir el valor de la huella hídrica total a medida que los años se hacen más recientes, es interesante destacar que la producción alcanzada en el año 2001 es relativamente equivalente al 2007 cuyos valores fueron 8,77ton/ha y 8,78ton/ha respectivamente. En función de aquello la disminución de la huella hídrica para el año 2007 no está asociada a un aumento productivo sino mas bien a una menor demanda evaporativa de la atmosfera y por ende a un menor consumo real de agua por el cultivo en la temporada.

La huella hídrica gris para 1989, 2001 y 2007 fue de 121,43m³/ton, 152,03m³/ton y 151,86m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. La producción para 1989 alcanzó las 5,5 ton/ha utilizando para aquello una dosis estimada basada en valores de producciones más elevadas (Rodríguez, 1992). Para los años 2001 y 2007 se ocupo la misma dosis debido a que su producción es prácticamente equivalente.

A.14.6 Huella hídrica región del Biobío

En la Región del Biobío la superficie sembrada fue el año 1989 de 3.860ha, en el 2000 de 3.730ha y el 2006 de 5.800ha. El rendimiento en esos mismo años, el rendimiento fue de 2,64ton/ha (1989), 5,85ton/ha (2000) y 9,72ton/ha (2006).

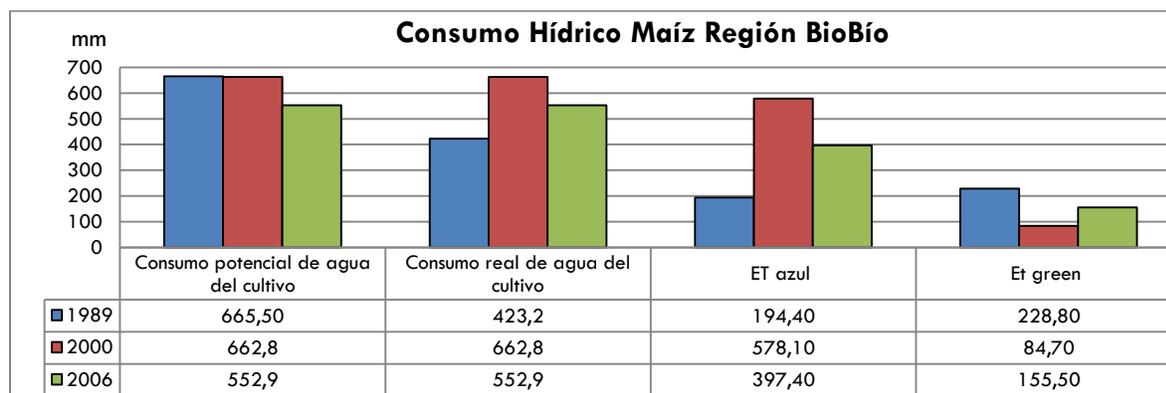


Figura A-A-188: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul del Maíz en la región del Biobío

Los datos obtenidos para la Región del Biobío indican que el consumo potencial de agua se mantiene relativamente similar en los años 1989 y 2000, sin embargo para el 2006 este valor experimenta una disminución de un 16,6% si se compara con el año 2000, esto se debe a factores netamente climáticos. Si se analiza el consumo real de agua del cultivo se puede

observar que para 1989 este no alcanzó su potencial dado por la demanda evaporativa de la atmosfera, a la vez en ese año se registraron los más bajos rendimientos entre lo estudiados alcanzando los 2,64ton/ha. Por otro lado para los años 2000 y 2006 el consumo real es igual al consumo potencial. Es interesante señalar que para ambos años el rendimiento creció en comparación con 1989, obteniendo producciones de 5,9ton/ha y 9,7ton/ha respectivamente.

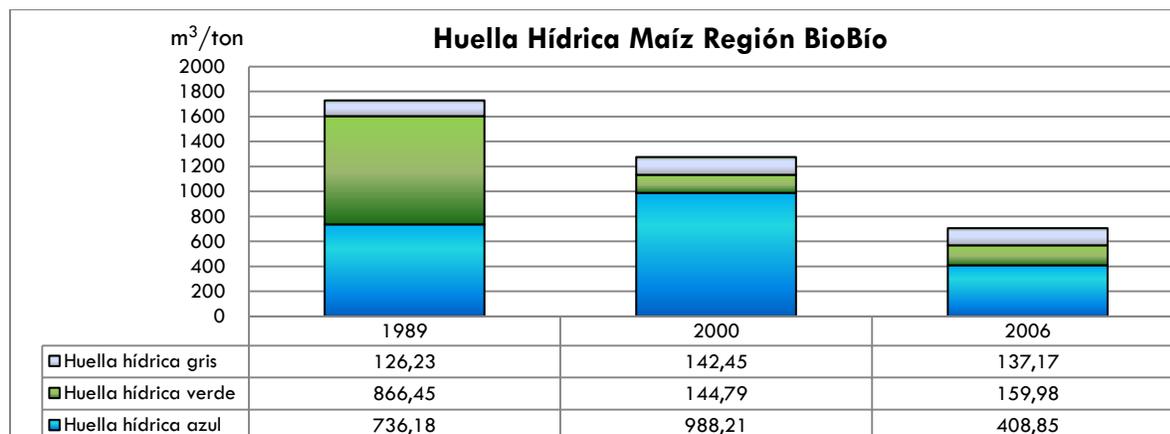


Figura A-A-189: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton del Maíz en la región del Biobío

La huella hídrica total para los años 1989, 2000 y 2006 fue de 1728,86m³/ton, 1275,45m³/ton y 706m³/ton respectivamente. Es interesante exponer que las grandes diferencias entre las magnitudes de huellas hídricas obtenidas, se deben principalmente a los distintos rendimientos por hectárea alcanzados en cada año siendo 2,64ton/ha, 5,85ton/ha y 7,72ton/ha para 1989, 2000 y 2006 respectivamente.

Para el año 1989 existe un importante suministro de agua verde siendo mayor al abastecimiento de agua azul, el rendimiento alcanzado es el más bajo de los años estudiados, esto puede estar asociado a que el consumo real de agua del cultivo no alcanzó su potencial dado por la demanda evaporativa, ya que el suministro del mismo se realizó preferentemente con agua de precipitaciones cuya disponibilidad y entrega dependen de factores climáticos y no de las necesidades del cultivo pudiendo existir déficit hídrico en la temporada. Para los años 2000 y 2006 es posible observar un incremento en los rendimientos por hectárea, como también un aumento en la proporción de agua azul en desmedro del agua verde. Para el año 2006 la menor demanda evaporativa de la atmósfera y los mayores rendimientos por hectárea alcanzados generaron la menor huella hídrica total entre los años estudiados y por ende la menor cantidad de agua por unidad de producto generado.

La huella hídrica gris para 1989, 2000 y 2006 fue de 126,23m³/ton, 142,45m³/ton y 137,17m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para 1989 los bajos rendimientos están relacionados a una baja dosis lo que ocasiona una menor huella hídrica gris, los valores para

los años 2000 y 2006 poseen una diferencia relativamente pequeña, esta diferencia se debe a que cada dosis referencial tiene asignado un rango de rendimientos y no es para cada valor de producción obtenida.

De manera paralela se estimó la huella hídrica del Maíz en el 2007 para realizar un análisis comparativo de las huellas hídricas de cultivos y frutales, estableciendo un parámetro temporal determinado. Para el estudio de huella hídrica de la Uva de mesa se considera desde la Región Metropolitana hasta la Región del Biobío, debido a que solo en esas regiones se concentra el 97,8% de la producción de Maíz de Chile. La superficie total de Chile en producción de Maíz el año 2007 fue de 134.260ha, de las cuales 131.330ha se encuentran en las regiones estudiadas. En la Figura siguiente, se aprecia como esa superficie es distribuida entre las regiones estudiadas.

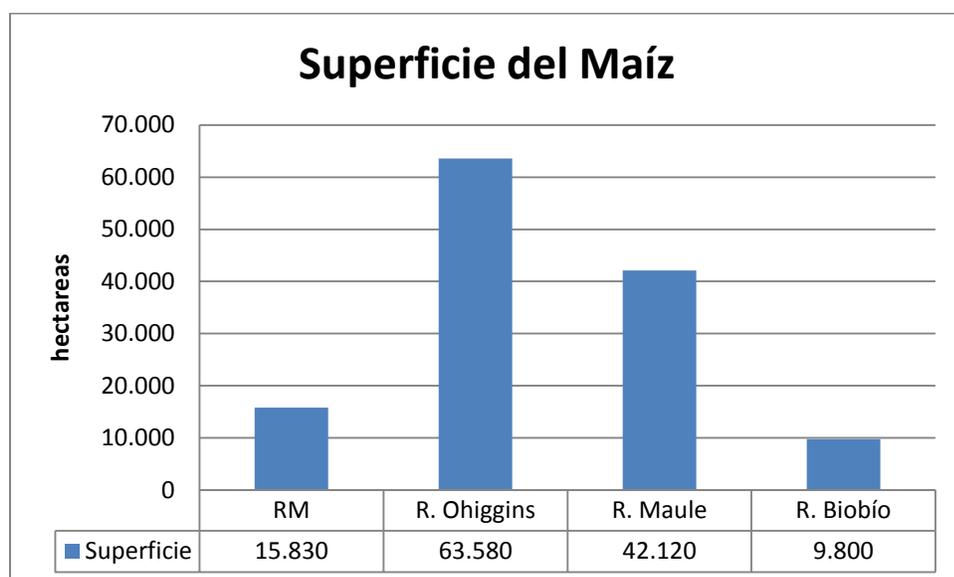


Figura A-A-190: Superficie del Maíz en las regiones con producción de Chile

En la Figura A-A-191, se aprecia los rendimientos obtenidos en el Maíz para cada región estudiada, así se indica que la Región del Biobío presenta el menor rendimiento en el Maíz y la Región Metropolitana el mayor rendimiento.

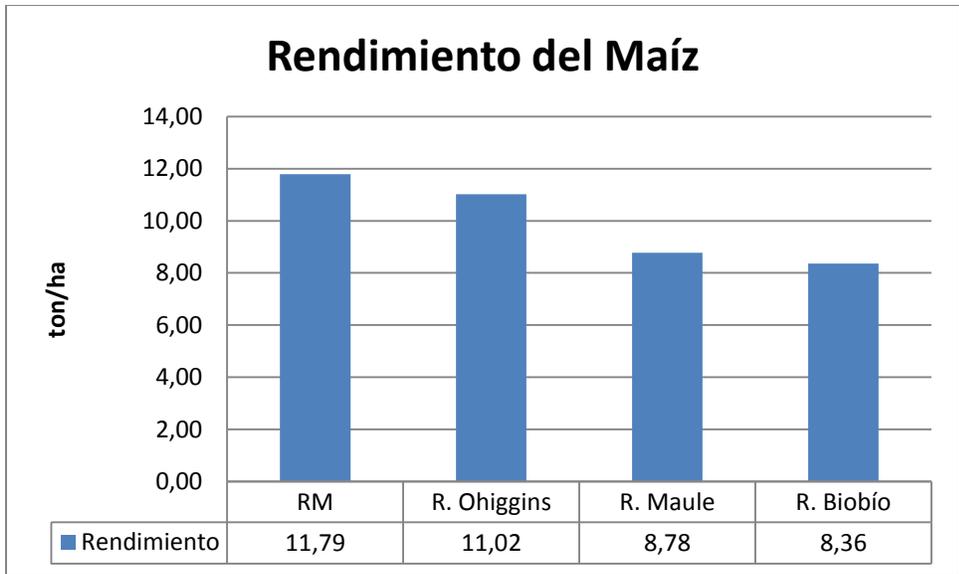


Figura A-A-191: Rendimiento del Maíz en las regiones con producción de Chile

En la Figura A-A-192, se aprecia que los consumos potenciales y reales del Maíz son similares en todas las regiones estudiadas el año 2007 y que de acuerdo a los condiciones del cultivo en cada región, el porcentaje de consumo representado por agua azul y verde varía en cada región. De acuerdo a la Figura, se aprecia que en la Región Metropolitana, O'Higgins, Maule y Biobío el agua azul corresponde al 91,06%, al 93,4%, al 79% y al 73,3% respectivamente, por lo tanto para las mismas regiones el agua verde representa el 9%, 6,6%, el 21% y el 26,7% respectivamente.

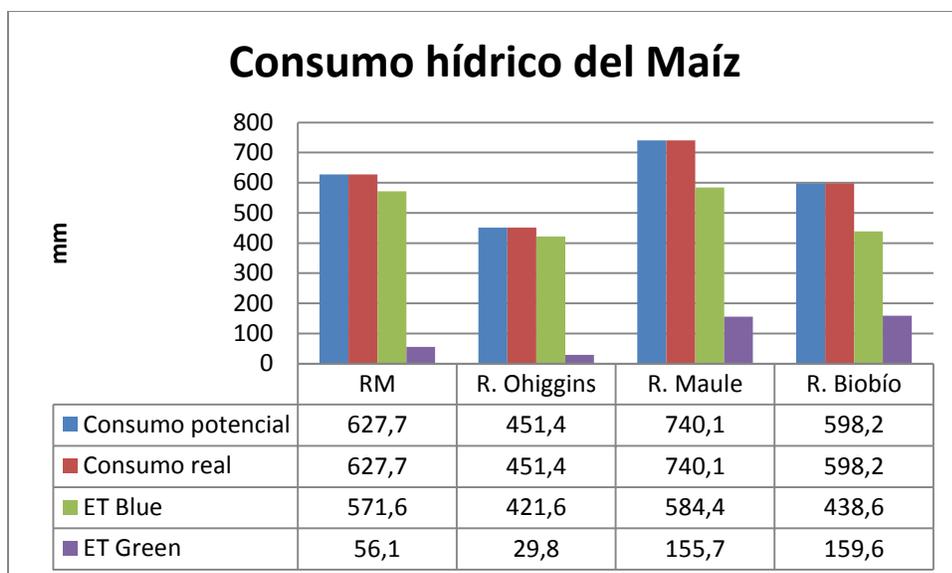


Figura A-A-192: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde

Se estimó que la huella hídrica del Maíz varía en cada región, adquiriendo mayor o menor importancia la participación del agua verde, azul y gris. Como se aprecia en la Figura, el mayor valor de huella hídrica lo presenta la Región del Maule donde el consumo de agua azul representa el 67% de la huella, el agua verde el 17,8% y el agua gris el 15,3%. A su vez el menor valor o menor volumen de agua utilizada en la producción del Maíz corresponde a la Región de O'Higgins así como el menor valor de agua azul. En la Región del Biobío se da el mayor uso de agua verde para la producción de Maíz, correspondiendo al 22,3% de la huella de la región.

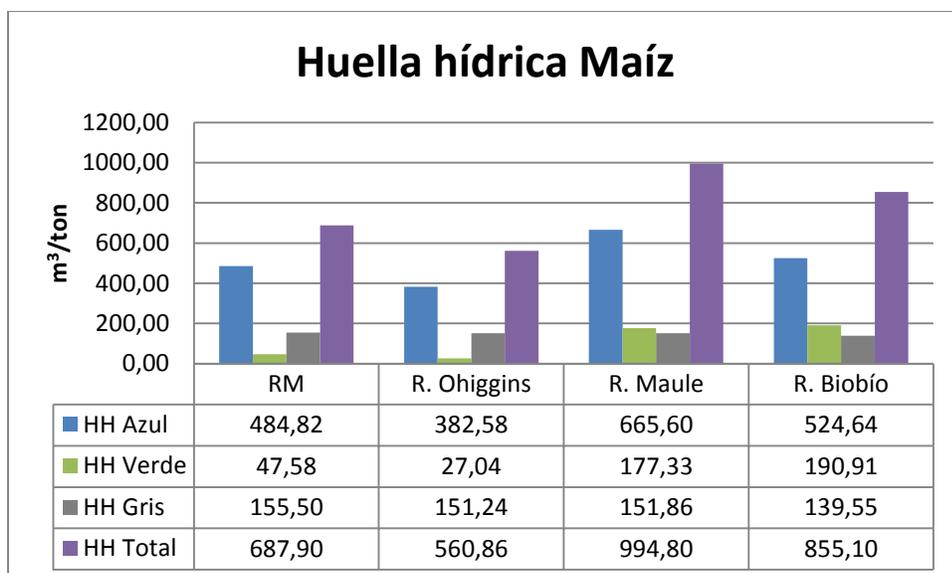


Figura A-A-193: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Maíz, para cada región de Chile

De acuerdo a los valores de huella hídrica estimados se obtuvo un promedio de huella hídrica del Maíz en Chile, el cual corresponde a $774,67\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor $514,41\text{m}^3/\text{ton}$ representan la huella hídrica azul, $110,72\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica verde y $149,54\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica gris. Por otro lado, Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), indican que la huella hídrica del Maíz a nivel mundial corresponde a $1.222\text{m}^3/\text{ton}$, valor del cual $81\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $947\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $194\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. Como se aprecia en la Figura A-A-194, la huella hídrica del Maíz en Chile corresponde al 63,4% de la huella hídrica mundial, a su vez la huella hídrica azul de Chile sobrepasa en un 535% a la huella hídrica azul mundial y la huella hídrica verde y gris de Chile corresponden al 11,7% y 77,1% respectivamente del valor mundial.

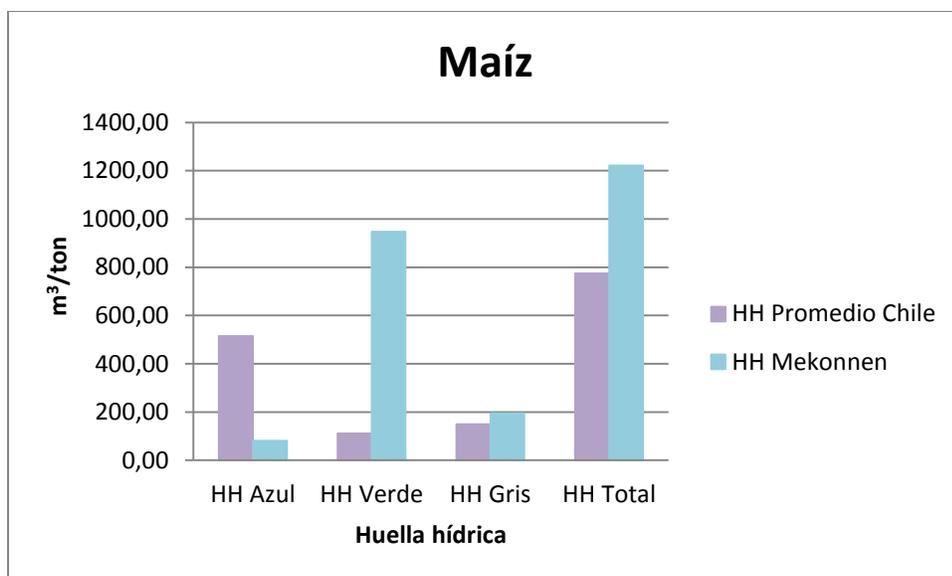


Figura A-A-194: Comparación entre la huella hídrica de Maíz en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.15 Avena (*Avena* sp)

La Avena es una especie anual perteneciente a la familia de las poáceas y más del 95% de la superficie y producción se concentran desde la región del Biobío hasta la región de los Lagos. Las especies más sembradas en el país son la *Avena sativa*, que representa más del 90% de la avena sembrada en el país, y la *Avena strigosa*, donde la primera se usa principalmente para la alimentación humana y animal por medio de la obtención de grano, mientras que la segunda está orientada a la elaboración de forraje, para el pastoreo directo ambas son usadas. Es importante agregar que la variedad *sativa* posee hábitos primaveral o alternativo, en cambio las variedades de *Avena strigosa* poseen hábitos alternativo e invernales (Faiguenbaum, 2003).

En relación a la demanda hídrica la avena necesita de un alto volumen de agua para completar su desarrollo en relación al trigo y la cebada, que son cultivos relativamente similares, es por esto que la avena orientada a la obtención de grano debe estar concentrada en zonas con precipitaciones mayores a 450 mm. Es importante agregar que este cultivo resiste de mejor manera los excesos de humedad, las heladas y la acidez del suelo que otras poáceas como el trigo y la cebada (Faiguenbaum, 2003).

Los resultados de la huella hídrica total y de sus distintos componentes se presentan a continuación para cada región estudiada.

A.15.1 Huella hídrica en la Región de Coquimbo

En la Región de Coquimbo, la superficie destinada a Avena para el año 1989 corresponde a 70ha, y para el 2005 fue de 40ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 1,44ton/ha, y 3ton/ha para los años 1989 y 2005 respectivamente.

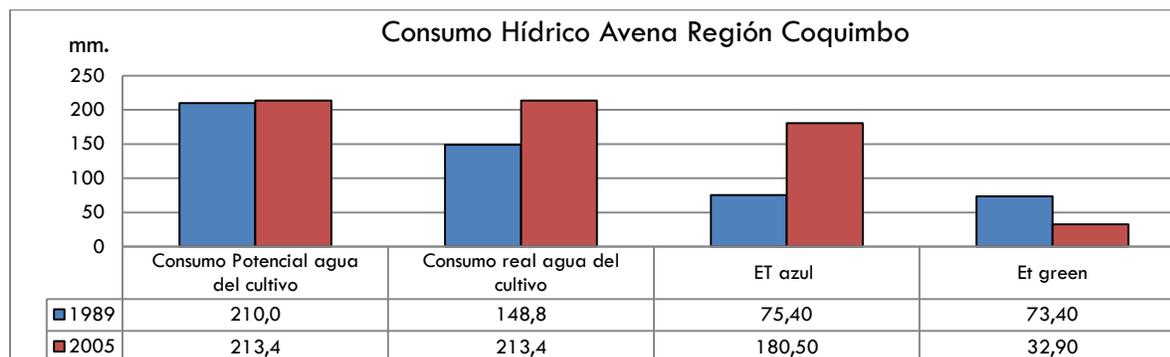


Figura A-A-195: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región de Coquimbo

El cultivo de avena experimenta un aumento en el consumo real de agua para el año 2005 si se compara con 1989, para la temporada de este último se obtuvieron rendimientos de 1,44 ton/ha que son inferiores al promedio regional (2,15 ton/ha). El bajo valor comparativo en los rendimientos está relacionado a que no se alcanzan las necesidades hídricas potenciales del cultivo como también en la proporción del consumo agua azul en comparación al agua verde, esta última corresponde al agua almacenada en el suelo proveniente de las precipitaciones. Para el año 2005 en cambio, aumentan los rendimientos por hectárea, se alcanza el consumo potencial y aumenta la proporción de agua azul en comparación con el agua verde.

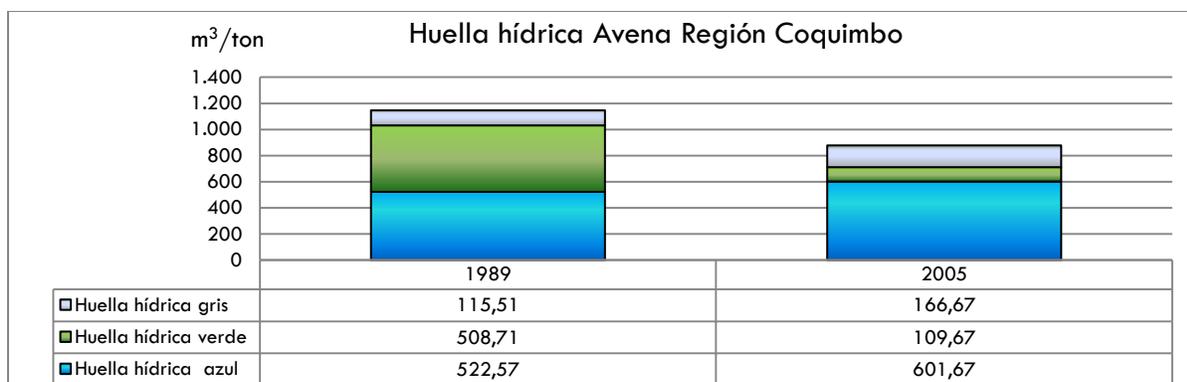


Figura A-A-196: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Avena en la región de Coquimbo

La huella hídrica de la avena para los años 1989 y 2005 fue de 1.146,79 m³/ton y de 878,01m³/ton respectivamente. El incremento en el agua azul fue de un 15,1%, la disminución del agua verde fue de un 78,4% y el agua gris incrementó su valor en un 44,3% en los años estudiados.

La disminución total de la huella hídrica se debe fundamentalmente a los mayores rendimientos por hectárea, si bien aumentó el consumo real de agua para el cultivo, el incremento en la productividad fue mucho mayor en proporción.

El cultivo de avena experimentó una reestructuración en los componentes de la huella hídrica, el aumento del agua azul y la disminución considerable del agua verde pueden indicar que la entrega de agua para satisfacer la demanda evaporativa del cultivo se dirigió a un mayor riego y menor dependencia del agua lluvia. Cuando la disponibilidad de agua es limitada, por ejemplo en cultivos de secano que utilizan una mayor cantidad de agua verde y donde la entrega de la misma es funcional a las precipitaciones, la evapotranspiración real puede ser menor a la evapotranspiración máxima incidiendo en un menor consumo hídrico y disminuyendo la producción (Fuentes, 2003). Otro factor que puede explicar la menor producción en el año 1989, que está por debajo del promedio regional, y relacionar el mayor consumo de agua verde es la densidad de población vegetal en producciones de secano que es menor en producciones irrigadas. (FAO, 2006). Finalmente el aumento de la huella hídrica gris está relacionado al incremento de la productividad por hectárea y a la mayor demanda de nitrógeno, en función de la dosis de referencia por rendimientos esperados.

A.15.2 Huella hídrica en la Región de Valparaíso

En la Región de Valparaíso, la superficie destinada a Avena para el año 1989 corresponde a 160ha, para el 2002 corresponden a 280ha y para el último año 2008 fue de 325ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 0,54ton/ha, 3,99ton/ha y 0,86ton/ha para los años 1989, 2002 y 2008 respectivamente.

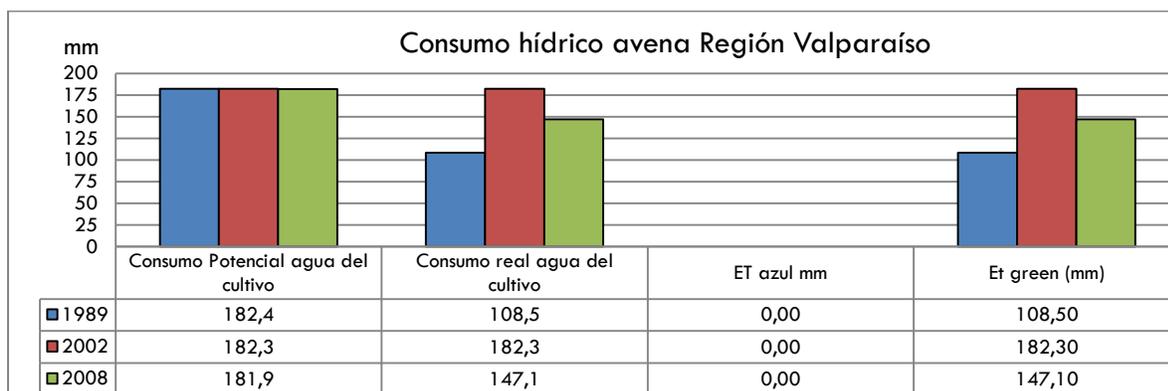


Figura A-A-197: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región de Valparaíso

Los datos en esta región muestran que el consumo real de agua para el cultivo proviene con totalidad del agua verde, la disponibilidad y entrega del recurso para el cultivo depende exclusivamente de las precipitaciones. Es importante señalar que en 1989 y 2008 el consumo real de agua para los cultivos se ve es menor al consumo potencial debido a los rendimientos obtenidos en esos años siendo 0,54 ton/ha y 0,86 ton/ha respectivamente. Estos valores de productividad comparados con un promedio regional de 30 años de 2,19 ton/ha son demasiado bajos e indican que tanto la producción como el consumo hídrico real fueron inferiores a lo esperado para esos años.

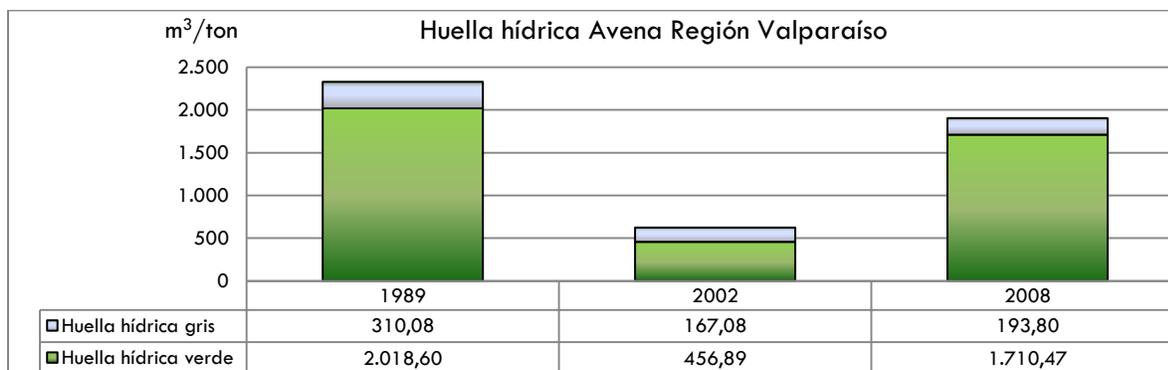


Figura A-A-198: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Avena en la región de Valparaíso

En función de los rendimientos descritos anteriormente para los años 1989 y 2008 obtenemos una huella hídrica significativamente mayor de 2328,7 m³/ton y 1904,27 m³/ton respectivamente, esto es debido a una baja productividad en el consumo del agua que está

relacionada a los bajos rendimientos por hectárea (Mekonnen & Hoekstra, 2011). Es importante señalar que el método de calibración utilizado en este estudio permite relacionar reducciones del rendimiento con reducciones en la evapotranspiración del cultivo, según la metodología de cálculo de CROPWAT (FAO, 2009). En relación esto, el software puede limitar la evapotranspiración en función de la entrega de agua para el cultivo, es decir, a menor cantidad de agua disponible menor consumo y por ende menor rendimiento productivo, sin embargo si el cultivo satisface sus necesidades hídricas solo por precipitaciones dicha limitación no es posible ya que tal ingreso de agua no puede ser disminuido. En relación a lo anterior es posible observar huellas hídricas elevadas, sobre estimadas por dicho factor y por lo tanto una baja productividad en el uso del agua de lluvia, que es lo que ocurre con los años 1989 y 2008.

Para el año 2002 existe un rendimiento de 3,99 ton/ha (sobre el promedio regional), esto hace que la productividad en el consumo del agua sea mayor obteniendo una huella hídrica total de 623,9 m³/ton para ese año.

A.15.3 Huella hídrica región Metropolitana.

En la Región de Metropolitana, la superficie destinada a Avena para el año 1989 corresponde a 450ha, para 1997 corresponden a 234ha y para el último año 2004 fue de 50ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 5,61ton/ha, 1,13ton/ha y 6,03ton/ha para los años 1989, 1997 y 2004 respectivamente.

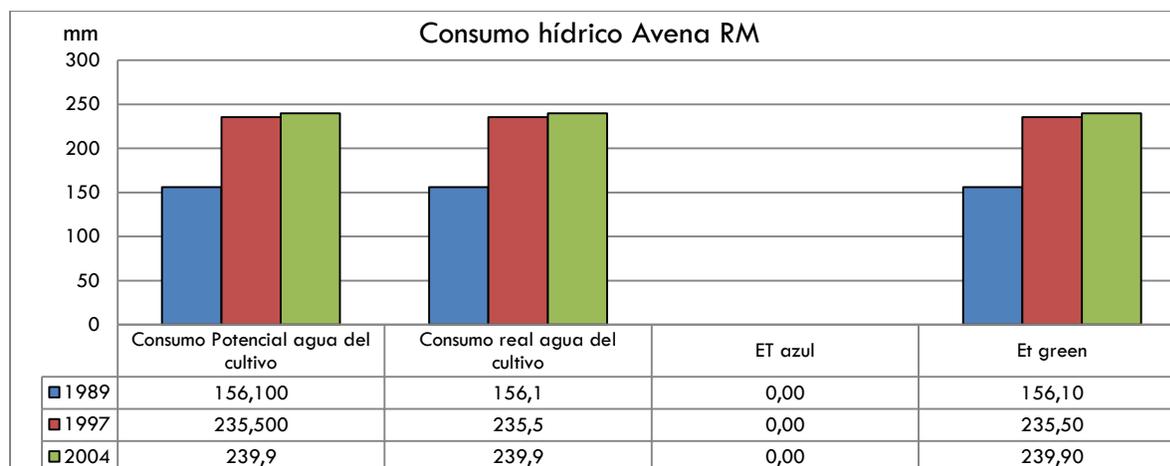


Figura A-A-199: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región Metropolitana

En la región metropolitana se puede apreciar un uso exclusivo de agua verde para la producción de avena. Otra característica importante es que el consumo real de agua es igual al potencial, si bien se alcanzaron los óptimos consumos de agua es importante analizar los

rendimientos obtenidos para conocer cuanta cantidad de producto se generó con el recurso hídrico utilizado. El valor de consumo potencial de agua para el año 1989 difiere significativamente con los valores de los años posteriores, esto es explicado a la procedencia de los datos climáticos.

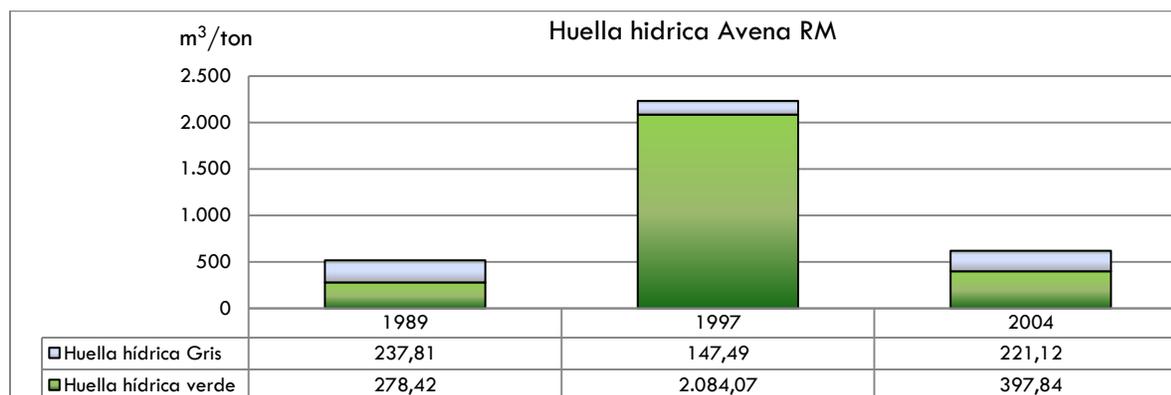


Figura A-A-200: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Avena en la región Metropolitana

En los años 1989, 1997 y 2004 uno encuentra una huella hídrica total de 516,53 m³/ton, 2231,56 m³/ton y 618,96 m³/ton respectivamente. Para el año 1997 se observa una huella hídrica significativamente mayor en comparación a los otros años analizados, esto tiene relación con el rendimiento obtenido para esa temporada (1,13 ton/ha) que fue muy por debajo del promedio regional (3,51ton/ha). Cuando el cultivo alcanza sus necesidades hídricas con agua verde y este posee bajos rendimientos se observa una baja productividad en el uso del agua ya que no es posible disminuir el consumo de la misma acorde a los rendimientos alcanzados bajo el programa CROPWAT, es interesante agregar que este evento ocurrió de manera similar en la 5° región.

En los años estudiados cuando la productividad en el uso del agua aumentó, teniendo mejores rendimientos por hectárea con menores cantidades del recurso hídrico, se incrementó la proporción de huella hídrica gris cuyo valor está relacionado a la dosis de referencia según rendimientos esperados, es decir a mayores rendimientos mayores dosis de nitrógeno y por lo tanto mayor cantidad de agua para diluir los residuos.

A.15.4 Huella hídrica en la Región de O'Higgins

En la Región de O'Higgins, la superficie destinada a Avena para el año 1989 corresponde a 180ha, para 2003 corresponden a 1500ha y para el último año 2009 fue de 766ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 2,09ton/ha, 2,2ton/ha y 4,21ton/ha para los años 1989, 2003 y 2009 respectivamente.

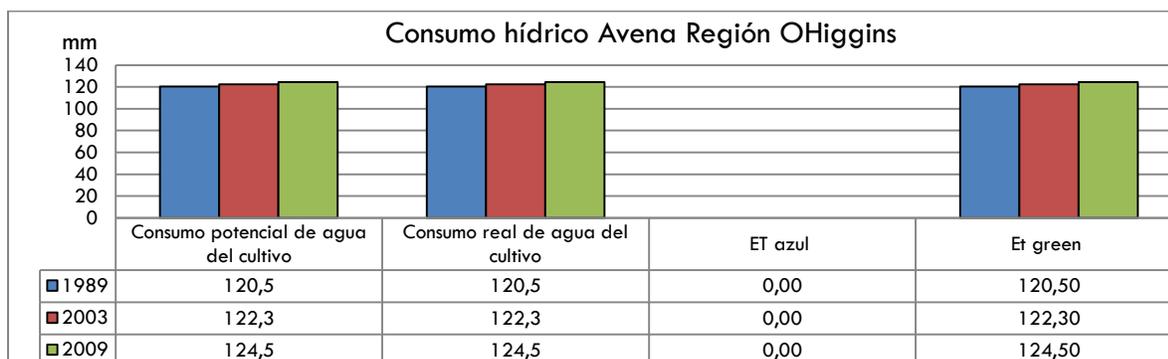


Figura A-A-201: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región de O’Higgins

Para la sexta región el cultivo de avena presenta un consumo real de agua igual a su potencial obteniéndose este solo con agua verde, se observa además que la diferencia del consumo entre los años proviene de las distintas demandas evaporativas de la atmosfera que está representada por el consumo potencial del agua del cultivo cuyos valores se obtienen de datos climáticos y de la especie estudiada (FAO, 2006).

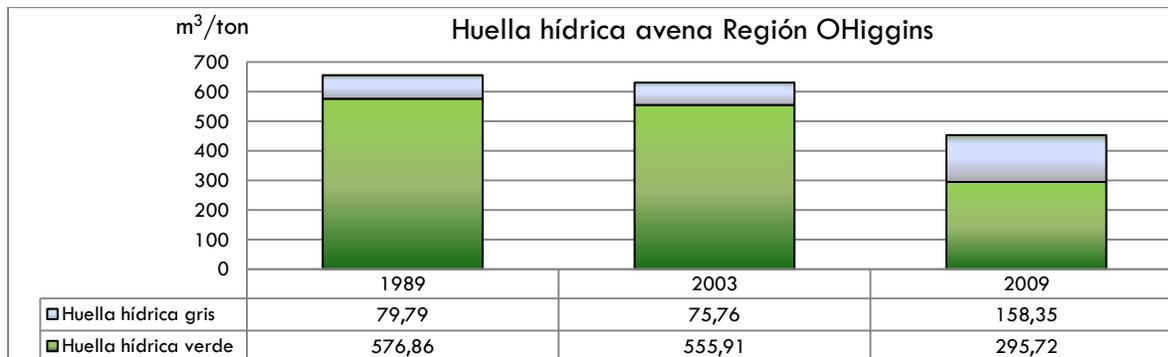


Figura A-A-202: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de avena en la región O’Higgins

Para los años 1989, 2003 y 2009 la huella hídrica total fue de 656,65 m³/ton, 631,67 m³/ton y 54,07 m³/ton respectivamente. En los años de estudio se observa una tendencia decreciente explicada fundamentalmente por mayores rendimientos por hectárea lo que demuestra una mayor productividad en el uso del agua. Es interesante señalar que en el año 2009 los altos rendimientos producen un mayor requerimiento de nitrógeno y por tanto una mayor huella gris que en los años anteriores, si bien se puede mejorar la productividad en el uso del agua existe un trade-off con el aumento del agua necesaria para asimilar los residuos generados.

A.15.5 Huella hídrica en la Región del Maule

En la Región del Maule, la superficie destinada a Avena para el año 1989 corresponde a 2640ha, para 2001 corresponden a 1590ha y para el último año 2007 fue de 1490 ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 2,16ton/ha, 4,91ton/ha y 3,66ton/ha para los años 1989, 2001 y 2007 respectivamente.

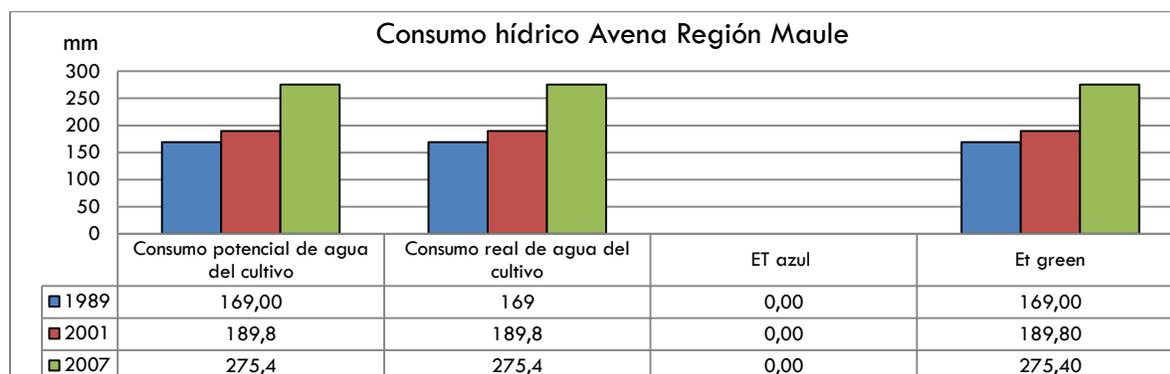


Figura A-A-203: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región del Maule

Para la séptima región el cultivo alcanza su consumo potencial utilizando solo agua verde en todos los años estudiados, se aprecia además una tendencia creciente en el valor del consumo potencial de agua debido fundamentalmente a una mayor demanda evaporativa de la atmósfera en el periodo productivo de la avena. Comparando el año 1989 con el 2001 la evapotranspiración potencial del cultivo experimentó un incremento del 11,8%, si se realiza la comparación entre 2001 y 2007 el aumento es de un 45,1%.

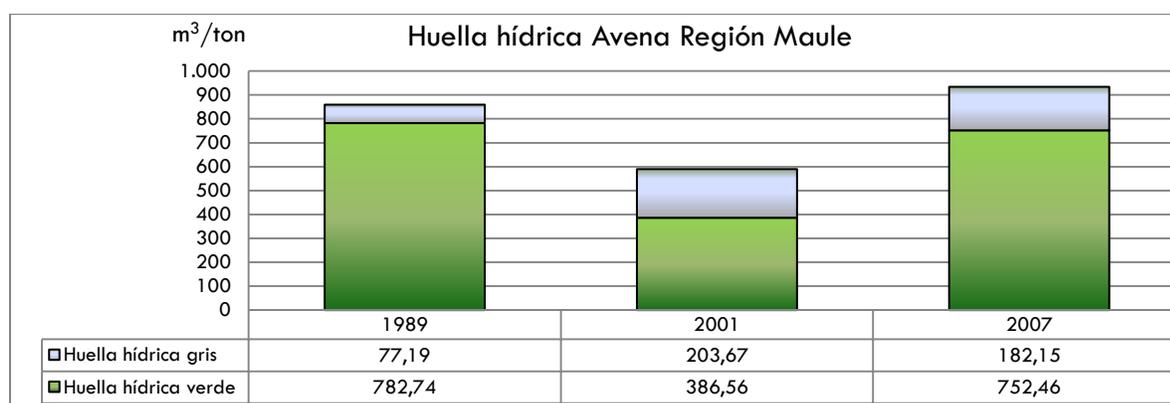


Figura A-A-204: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Avena en la región del Maule

Los valores de huella hídrica total para los años 1989, 2001, 2007 fueron 859,93 m³/ton, 386,56 m³/ton y 934,61 m³/ton respectivamente. En los primeros 2 años de estudio se observa una

reducción del 50,6% en la huella hídrica verde, explicada fundamentalmente por un aumento en los rendimientos por hectárea. Si bien creció el consumo real de agua para el cultivo en un 12,3% el incremento en la productividad fue más del 100% para el año 2001 en comparación con 1989, lo que redundó en un menor consumo de agua por unidad de producto generado.

Por otro lado, la disminución de la huella hídrica verde por un incremento en los rendimientos trae consigo mayores requerimientos de nitrógeno por hectárea, en función de esto, la huella hídrica gris aumenta a más del doble de su valor para el año 2001 si se compara con 1989, como también crece su porcentaje en la huella hídrica total pasando de un 8,9% (1989) a un 52,6% (2001). Por lo tanto, cuando se mejora la productividad en el uso del agua por medio de mayores rendimientos por hectárea, existe un “trade-off” en términos de contaminación hídrica, ya que aumenta la cantidad de agua necesaria para diluir los residuos producidos por mayores producciones de avena.

Para el año 2007 aumenta la huella hídrica verde debido a menores rendimientos por hectárea como también al incremento de un 45,1% en el consumo potencial de agua del cultivo en comparación al año 2001, este último aumento es ocasionado por una mayor demanda evaporativa de la atmósfera.

A.15.6 Huella hídrica en la Región del Biobío

En la Región del Biobío, el rendimiento obtenido en la Avena para el año 1989 fue de 2,44ton/ha, para el 2000 fue de 3,46ton/ha y para el último año 2006 fue de 4,7ton/ha.

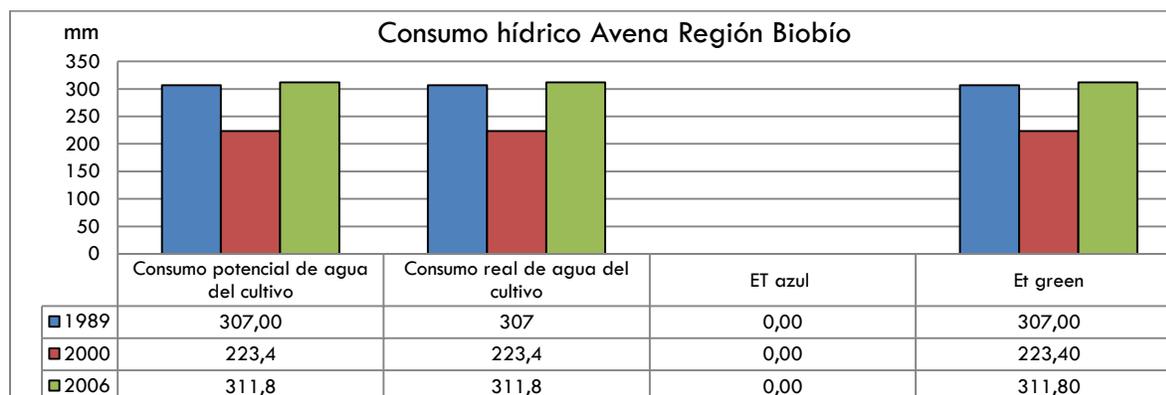


Figura A-A-205: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Avena en la región del Biobío

De la misma manera que en la región del Maule el consumo potencial de agua para el cultivo experimenta importantes cambios en los años estudiados. La evapotranspiración potencial de la avena depende de su (K_c) y de variables climáticas que determinan la evapotranspiración de referencia en la zona estudiada (ET_0). Las variables de temperatura, humedad relativa,

velocidad del viento y radiación son utilizadas en la ecuación de Penman-Monteith mediante la metodología de cálculo CROPWAT y función de tal ecuación, es posible determinar la máxima cantidad de agua evaporada desde un suelo cubierto por césped, estando aquel en condiciones óptimas para su desarrollo y sin limitaciones de agua (FAO, 2006).

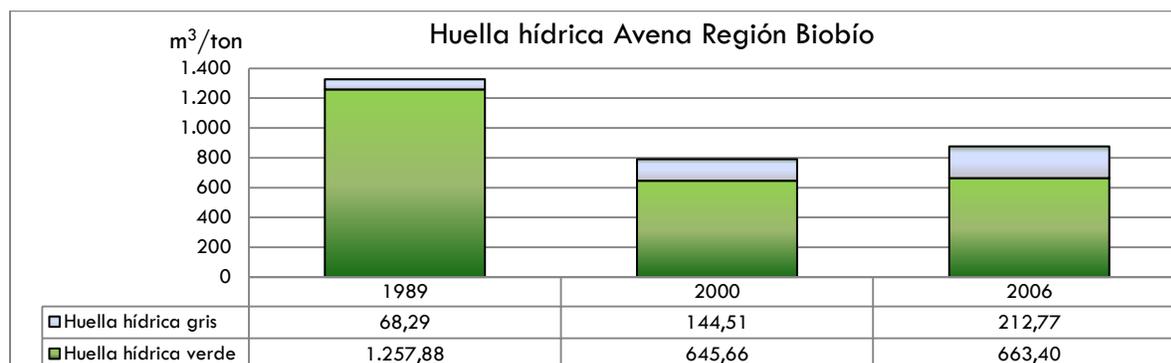


Figura A-A-206: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Avena en la región del Maule

La huella hídrica total para los años 1989, 2000 y 2006 fue de 1326,17 m³/ton, 790,17 m³/ton y 876,17 m³/ton respectivamente. El valor del año 2000 es el 59,6% la huella hídrica en 1989, tal reducción es generada por un crecimiento en los rendimientos por hectárea pasando de 2,44 ton/ha (1989) a 3,46 ton/ha (2000) lo que se traduce en una disminución en la cantidad de agua por unidad de producto.

Para el año 2006, se experimentó un aumento en los rendimientos de un 35,8% (4,7 ton/ha) en comparación con el año 2000, sin embargo para el mismo año existió un crecimiento del 39,6% en los requerimientos potenciales de evapotranspiración, lo que provocó un aumento en el consumo hídrico. Considerando los eventos anteriores para el 2006, se obtuvo un incremento del 2,7% en la huella hídrica verde debido a un crecimiento en el consumo potencial de agua, este no pudo ser compensado por el aumento en los rendimientos que aumentan la productividad hídrica y disminuyen su consumo. Para la huella gris el incremento de un 47,2% está dado por la mayor demanda de nitrógeno debido a los mayores rendimientos por hectárea observados.

De manera paralela se estimó la huella hídrica de la Avena en el 2007 para realizar un análisis comparativo de las huellas hídricas de cultivos y frutales, estableciendo un parámetro temporal determinado. Para el estudio de huella hídrica de la Avena se considera desde la Región del Biobío hasta la Región de los Lagos, debido a que solo en esas regiones se concentra el 96,5% de la producción de la Avena de Chile. La superficie total de Chile en producción de la Avena el año 2007 fue de 97.580ha, de las cuales 94.200ha se encuentran en las regiones estudiadas. En la Figura siguiente, se aprecia como esa superficie es distribuida entre las regiones estudiadas.

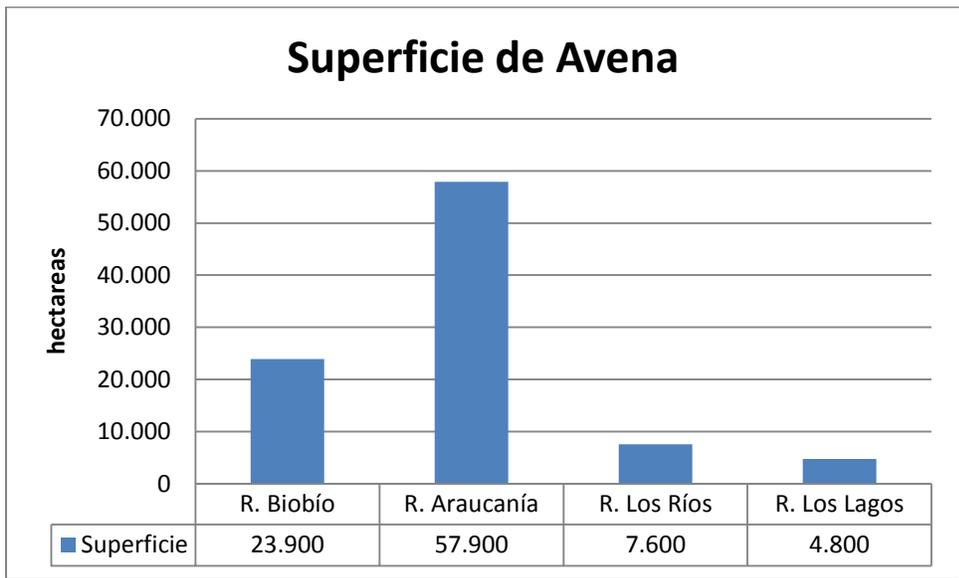


Figura A-A-207: Superficie de la Avena en las regiones con producción de Chile

En la Figura A-A-208, se aprecia los rendimientos obtenidos en la Avena para cada región estudiada, así se puede indicar que la Región del Biobío presenta el menor rendimiento en Avena y el resto de las regiones presentan rendimiento similares en la Avena.

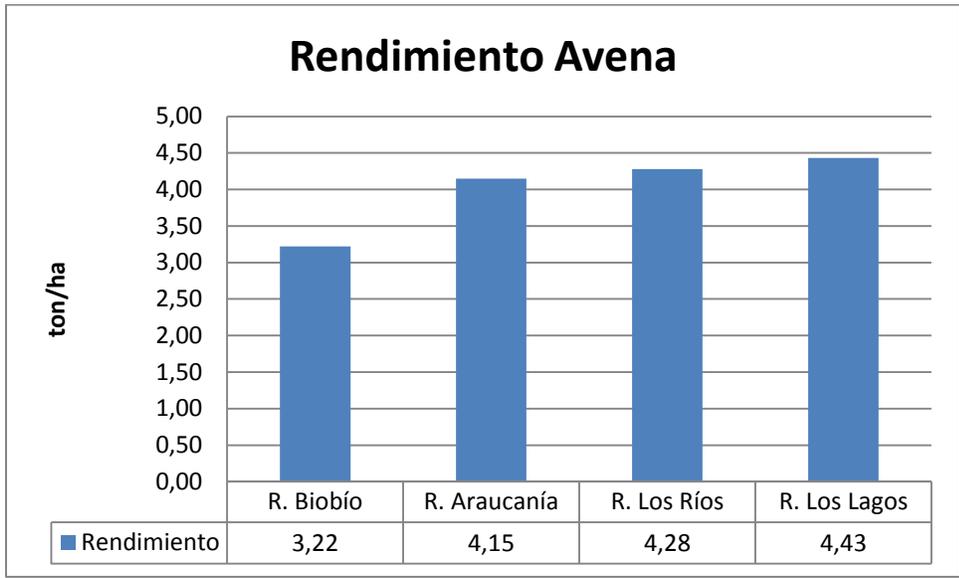


Figura A-A-208: Rendimiento de la Avena en las regiones con producción de Chile

En la Figura A-A-209, se aprecia que los consumos potenciales y reales de la Avena son similares en todas las regiones estudiadas el año 2007 y que de acuerdo a los condiciones del cultivo en cada región, el porcentaje de consumo representado por agua azul y verde varía en cada región. De acuerdo a la Figura, se puede apreciar que en todas las regiones excepto la Región de Los Ríos el consumo de agua corresponde en su totalidad a agua verde.

En la Región de Los Ríos el consumo de agua corresponde en un 43,2% a evapotranspiración azul y el 56,8% a evapotranspiración verde.

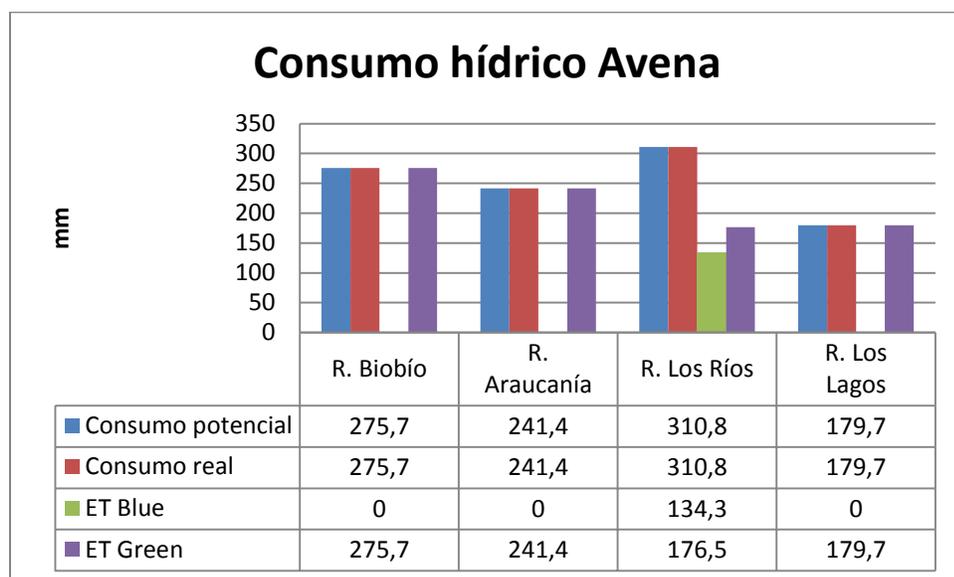


Figura A-A-209: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde

Se estimó que la huella hídrica de la Avena varía en cada región, adquiriendo mayor o menos importancia la participación del agua verde, azul y gris. Como se aprecia en la Figura, el mayor valor de huella hídrica lo presenta la Región del Biobío en donde la huella hídrica verde representa el 83,8% de la huella y el agua gris el 16,2%. Por otro lado, el menor valor o menor volumen de agua utilizada en la producción de la Avena corresponde a la Región de Los Lagos así como el menor valor de huella verde. Es importante considerar que la única región con huella hídrica azul en la Avena es la Región de Los Ríos

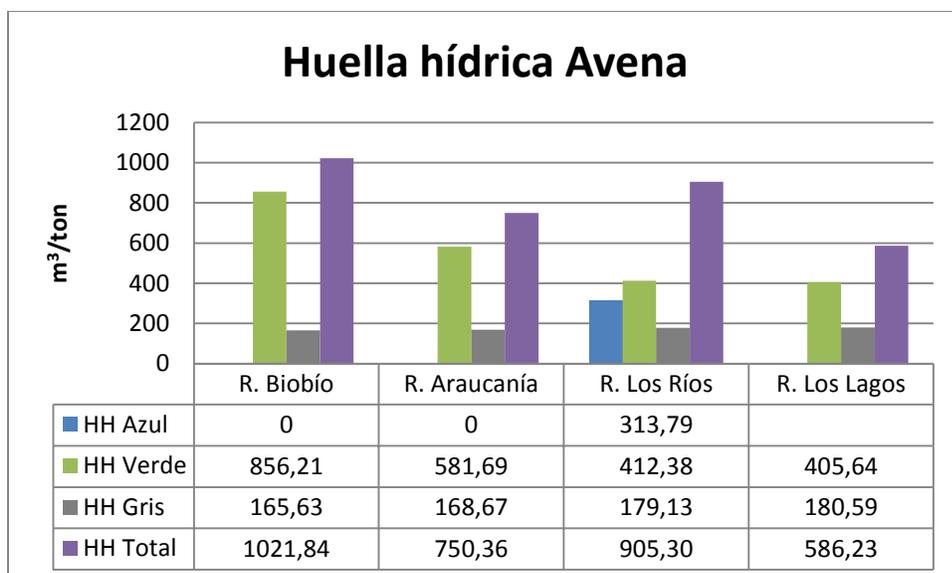


Figura A-A-210: Huella hídrica total, azul, verde y gris de la Avena, para cada región de Chile

De acuerdo a los valores de huella hídrica estimados se obtuvo un promedio de huella hídrica de la Avena en Chile, el cual corresponde a $815,93\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor $78,45\text{m}^3/\text{ton}$ representan la huella hídrica azul, $563,98\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica verde y $173,51\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica gris. Por otro lado, Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), indican que la huella hídrica de la Avena nivel mundial corresponde a $1.788\text{m}^3/\text{ton}$, valor del cual $181\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $1.479\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $128\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. Como se aprecia en la Figura A-A-211, la huella hídrica de la Avena en Chile corresponde al 45,6% de la huella hídrica mundial, a su vez la huella hídrica azul de Chile corresponde al 43,3% a la huella hídrica azul mundial y la huella hídrica verde y gris de Chile corresponden al 38% y 135,5% respectivamente del valor mundial.

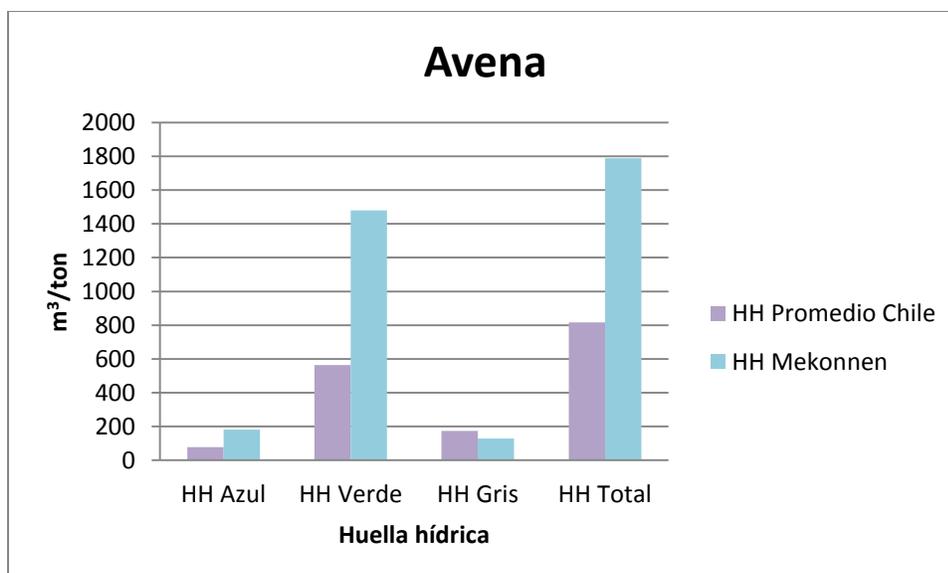


Figura A-A-211: Comparación entre la huella hídrica de la Avena en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.16 Trigo (*Triticum spp*)

Cultivo anual perteneciente a la familia de las poáceas o gramíneas, cuya representación nacional está compuesta principalmente por 2 especies monocotiledóneas, *Triticum aestivum* L., que corresponde al trigo harinero y *Triticum turgidum* L. spp., que corresponde al trigo candeal cuyo destino es principalmente la obtención de semolina para la fabricación de pastas (Faiguenbaum, 2003).

La producción de trigo se realiza en distintas condiciones ambientales, lo que determina la variedad a producir y especialmente la fecha de siembra de la misma. Las variedades pueden ser clasificadas según su hábito de desarrollo y requerimientos de temperaturas, existiendo variedades invernales, alternativas y primaverales (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2004)

El trigo en sus variedades invernales y alternativas se desarrolla bien en climas fríos con inviernos bien marcados, el proceso se inicia con la germinación que necesita temperaturas de suelo superiores a los 2,5°C y la absorción de humedad por parte de la semilla correspondiente al 30-35% de su peso seco. En la etapa de desarrollo vegetativo del cultivo se requieren temperaturas mínimas entre 0 a 6°C para que se genere crecimiento, para variedades primaverales en cambio, y dependiendo del estado de desarrollo, la temperatura óptima fluctúa entre los 12 y 25°C. Es oportuno indicar que durante la floración, es necesaria una temperatura mínima aproximada de 16°C para que exista fecundación, (apertura de anteras y recepción de estigma) y una temperatura máxima que no sobrepase los 30°C. Finalmente en la etapa de

llenado de granos si se superan los 26°C con medias altas durante el día, se puede reducir la duración de la etapa de llenado afectando el peso de los mismos (Faiguenbaum, 2003).

El trigo es un cultivo resistente a heladas a excepción del periodo reproductivo, es importante señalar que mientras más avanzado sea el estado vegetativo de la planta menor va a ser su resistencia a estos eventos climáticos. En consecuencia a lo anterior, variedades invernales y alternativas requieren de bajas temperaturas para acumular las horas frío necesarias para generar la inducción floral entre la etapa de siembra y macolla. Para las variedades primaverales si bien no se requiere de vernalización, la acumulación de frío beneficia el crecimiento redundando en mayores rendimientos (Faiguenbaum, 2003).

El trigo es un cultivo que resiste bien los excesos de agua momentáneos en el suelo entre el periodo de siembra a espigadura, sin embargo en suelos pesados, compactos y con mal drenaje pueden haber retenciones de humedad excesivas en los meses de precipitaciones, esta saturación prolongada afecta el funcionamiento de las raíces provocando una disminución en el crecimiento y reducciones en los rendimientos, debido a que gran parte del desarrollo del trigo ocurren en los meses de mayores lluvias (Faiguenbaum, 2003).

La información de la superficie sembrada y los rendimientos por hectárea están a nivel regional, los resultados de la huella hídrica total y de sus distintos componentes se hará a continuación para cada región estudiada.

A.16.1 Huella hídrica en la Región de Coquimbo

En la Región de Coquimbo, la superficie destinada a Trigo para el año 1989 corresponde a 8870ha, para 1999 corresponden a 1782ha y para el último año 2005 fue de 2460ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 2,68ton/ha, 1,87ton/ha y 3,16ton/ha para los años 1989, 1999 y 2005 respectivamente.

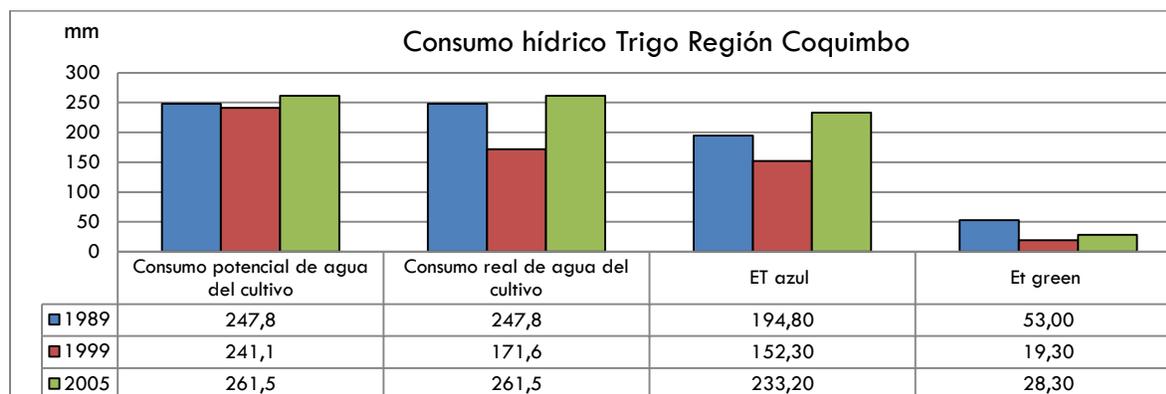


Figura A-A-212: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región de Coquimbo

Para la región de Coquimbo se observa un consumo potencial relativamente constante entre los años estudiados, sin embargo la diferencia a destacar es el consumo real de agua donde es posible observar una reducción de un 30,7% para el año 1999 si se compara con 1989. El menor consumo real de agua está asociado a los rendimientos por hectárea alcanzados en dicho año siendo 1,87 ton/ha estando por debajo al promedio regional de 2,8 ton/ha.

Para los años 1989 y 2005 el consumo real de agua alcanza su óptimo potencial compuesto mayoritariamente con agua azul o agua de riego, el agua verde en dichos años alcanza un 21,4% y un 10,8% del consumo real estimado respectivamente. Es importante agregar que tales consumos hídricos están asociados a los rendimientos alcanzados en dichos años siendo 2,7 ton/ha y 3,16 ton/ha respectivamente.

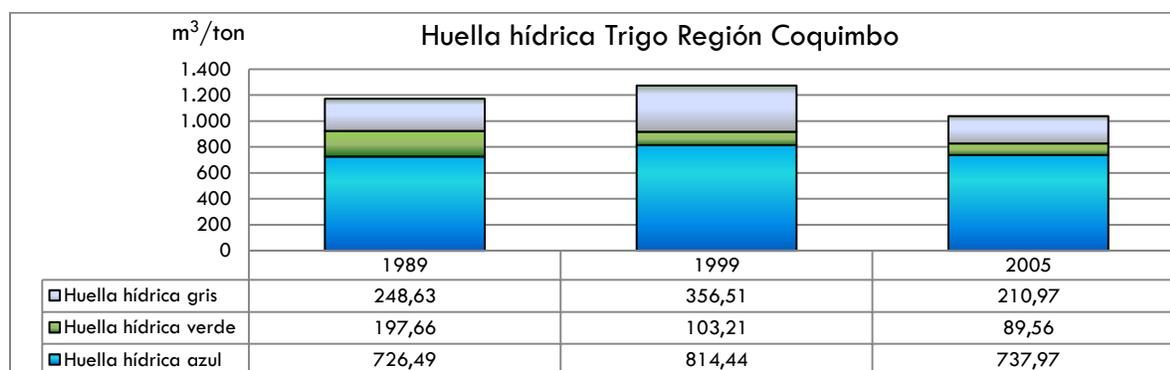


Figura A-A-213: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Trigo en la región de Coquimbo

La huella hídrica total para los años 1989, 1999 y 2005 fue de 1172,78 m³/ton, 1274,16 m³/ton y 1038,5 m³/ton respectivamente. El año 2005 posee el consumo hídrico potencial y real más alto entre los años estudiados además de los mayores rendimientos por hectárea. La huella hídrica total se ve aumentada por el mayor consumo de agua pero es disminuida por la mayor producción entregando para ese año una menor cantidad de agua por producto generando en comparación con 1989 y 1999.

Para el año 1999 existe el menor consumo real de agua por el cultivo pero a su vez se obtuvo el menor rendimiento entre los años estudiados, la magnitud de este último factor es mucho mayor que la disminución del consumo por menor producción por lo que la huella hídrica en valores netos es incrementada alcanzando el mayor valor entre los años analizados.

La huella hídrica gris para 1989, 1999 y 2005 fue de 248,63 m³/ton, 356,51 m³/ton y 210,97 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. El mayor valor de huella gris que es obtenido en el año 1999 es debido a que la dosis mínima referencial corresponde a un valor mayor al rendimiento obtenido en ese año, por que dicho valor de huella se encuentra sobreestimado. Para los años 1989 y 2005 los rendimientos obtenidos están por debajo de la dosis mínima referencial (4

ton/ha) por lo que también dichos valores se encuentran sobreestimados aunque en menor medida para el 2005 cuyo rendimiento fue de 3,16 ton/ha.

A.16.2 Huella hídrica en la Región de Valparaíso

En la Región de Valparaíso, la superficie destinada a Trigo para el año 1989 corresponde a 17090ha, para 2002 corresponden a 9790ha y para el último año 2008 fue de 1822ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 3,65ton/ha, 4,61ton/ha y 4,1ton/ha para los años 1989, 2002 y 2008 respectivamente.

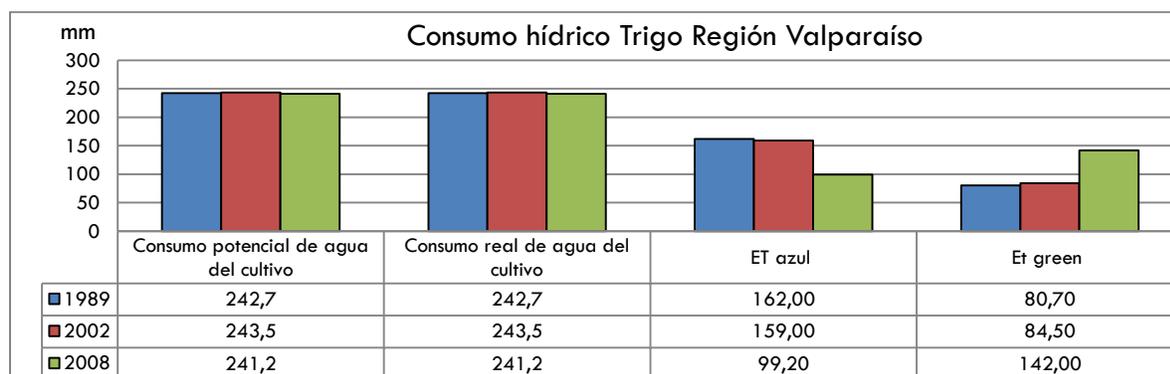


Figura A-A-214: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región de Valparaíso

Para la 5° región se observa un consumo potencial y real relativamente constante para los 3 años estudiados, la fuente de los datos climáticos utilizados es la que determina la evapotranspiración de referencia, cuya procedencia a excepción de la temperatura y precipitaciones, corresponde a la base de datos CLIMWAT 2.0. Es posible observar además una tendencia decreciente de agua azul y un crecimiento de agua verde en el suministro del consumo real de agua para el cultivo, a pesar de estos cambios en el suministro el consumo real se mantiene relativamente constante y alcanzando los óptimos potenciales en todos los años de estudio.

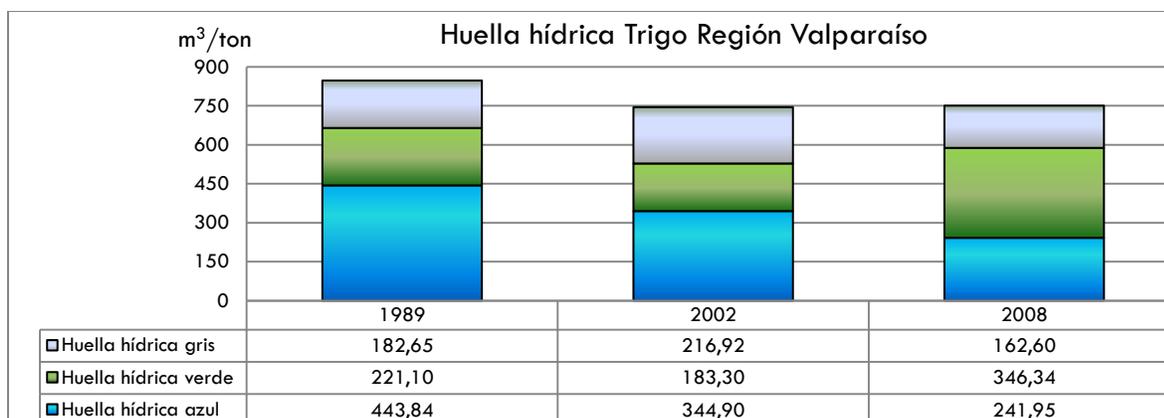


Figura A-A-215: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Trigo en la región de Valparaíso

La huella hídrica total para los años 1989, 2002 y 2008 fue de 847,59 m³/ton, 745,12 m³/ton y 750,89 m³/ton respectivamente. Como los consumos potenciales y reales son prácticamente similares, la diferencia en magnitud para las distintas huellas hídricas obedece a los cambios en los rendimientos por hectárea obtenidos en cada año, ya que estos más el consumo real de agua por el cultivo determinan la cantidad de agua por unidad de producto generado. Para el año 1989 el rendimiento fue de 3,65 ton/ha siendo el más bajo entre los 3 años analizados, también en dicho año se obtuvo la mayor huella hídrica. En el año 2002 los rendimientos alcanzados fueron de 4,61 ton/ha disminuyendo la huella hídrica en comparación a 1989 y para el año 2008 los rendimientos obtenidos fueron de 4,1 ton/ha disminuyendo pero en menor medida la huella hídrica para ese año aunque es importante agregar que son relativamente similares.

La huella hídrica gris para 1989, 2002 y 2008 fue de 248,63 m³/ton, 356,51 m³/ton y 210,97 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para 1989 el valor de huella gris se encuentra sobreestimado debido a que la dosis mínima referencial es para un rendimiento de 4 ton/ha y fue usado para un rendimiento de 3,65 ton/ha. Para el año 2002 hay un aumento en la huella hídrica gris debido a una mayor dosis asociada a los rendimientos alcanzados. Finalmente para el año 2008 el valor de huella hídrica gris disminuye con respecto al 2002 debido a que su producción fue menor, en relación a esto se asocia una menor dosis de fertilización nitrogenada y por ende, una menor cantidad de agua para que la concentración de fertilizantes utilizados en estas logren niveles los niveles de inocuidad establecidos de acuerdo a los estándares nacionales

A.16.3 Huella hídrica en la Región Metropolitana

En la Región Metropolitana, la superficie destinada a Trigo para el año 1989 corresponde a 36180ha, para 1997 corresponden a 16461ha, para el 2004 a 7700 y para el último año 2010

fue de 8032ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 5,04ton/ha, 4,56ton/ha, 5,53ton/ha y 6,24ton/ha para los años 1989, 1997, 2004 y 2010 respectivamente.

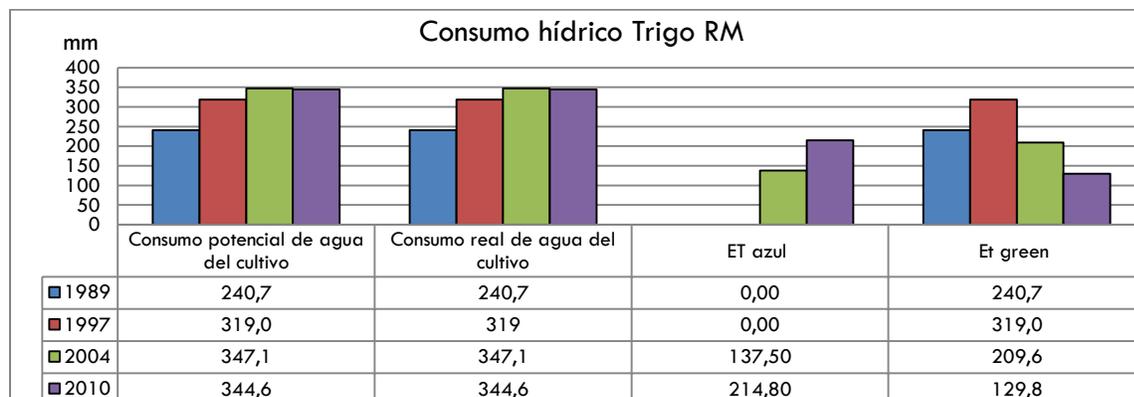


Figura A-A-216: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región Metropolitana

En la región metropolitana es posible observar una tendencia creciente en el consumo potencial de agua para el cultivo, esto se ve reflejado en el consumo real de agua ya que este último alcanza su óptimo en todos los años estudiados. Es interesante indicar además que la simulación de CROPWAT entrega un suministro para 1989 y 1997 100% abastecido por agua verde, y para los años 2004 y 2010 se observa la aparición creciente del suministro de agua azul en desmedro de agua verde, pasando de 0% en 1989 al 62,3% para el 2010 considerando el consumo real de agua usado por el cultivo en la temporada.

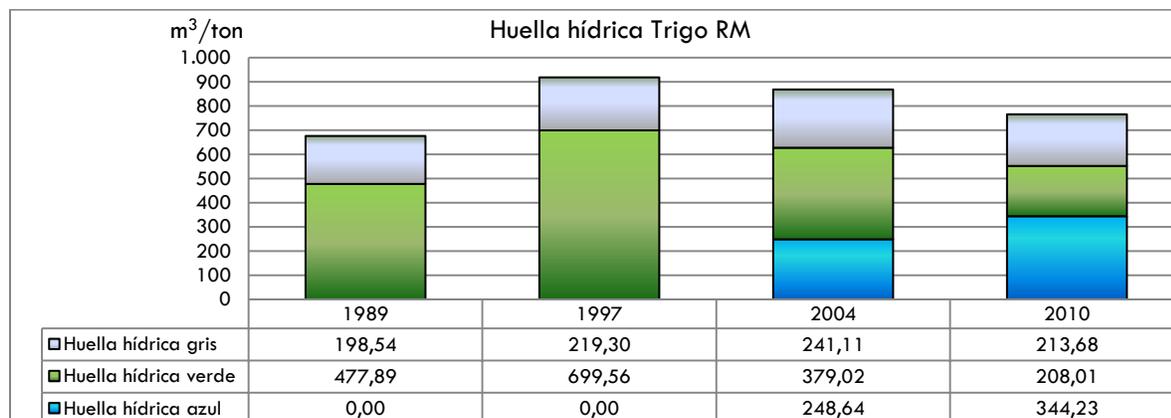


Figura A-A-217: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Trigo en la región Metropolitana

La huella hídrica total para los años 1989, 1997, 2004 y 2010 fue de 676,43 m³/ton, 918,86 m³/ton, 868,77 m³/ton y 765,92 m³/ton respectivamente. La tendencia observada para las distintas huellas hídricas es similar a la experimentada por el consumo real de agua por el

cultivo, este responde a las demandas hídricas de la atmósfera reflejadas en el consumo potencial de agua, por lo que además de la producción, el consumo real de agua determina la magnitud de las huellas hídricas calculadas.

Para 1989 el suministro es completamente abastecido por agua verde, el rendimiento alcanzado fue de 5,04 ton/ha (superior al promedio regional de 4,68 ton/ha) y fue abastecido según el modelo CROPWAT, plenamente por las precipitaciones disponibles en ese año. En 1997 el suministro hídrico del cultivo fue cubierto completamente por las lluvias, sin embargo el incremento en el valor de huella hídrica se debe a un mayor consumo potencial de agua como también a menores rendimientos (4,56 ton/ha), estos 2 factores aumentan la cantidad de agua por unidad producida resultando en una huella hídrica mucho mayor. Para el año 2004 existe un crecimiento en el consumo real de agua del cultivo dado por un incremento en la demanda evaporativa de la atmósfera, sin embargo los rendimientos por hectárea alcanzados (5,53 ton/ha) contrarrestan el efecto de aumentar la huella hídrica por dicho aumento en el consumo, haciendo que esta sea menor a la obtenida en 1997. Es interesante destacar que los mayores rendimientos están acompañados de un suministro de agua azul, esta agua proveniente del riego tiene un mayor control en la entrega y puede estar asociado a mayores rendimientos. Finalmente en el año 2010 se observa una disminución en la huella hídrica total influenciada principalmente por los rendimientos alcanzados (6,24 ton/ha), además de esto el consumo potencial de agua sufre una disminución de un 0,7% si se compara con el año 2004.

La huella hídrica gris para 1989, 1997, 2004 y 2010 fue de 198,54 m³/ton, 219,3 m³/ton, 241,1 m³/ton y 213,68 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para los años 1989 y 1997 se utilizó la misma dosis nitrogenada debido a que esta se presenta por medio de rangos productivos, para dichos años se utilizó una dosis nitrogenada de 150 kg/ha en un rendimiento esperado de 5 ton/ha (Rodríguez, 1992). De manera similar a lo anterior en los años 2004 y 2010 se utilizó una dosis de 200kg/ha para un rendimiento esperado de 6 ton/ha.

A.16.4 Huella hídrica en la Región de O'Higgins

En la Región de O'Higgins, la superficie destinada a Trigo para el año 1989 corresponde a 55490ha, para 2003 corresponden a 32100ha y para el último año 2009 fue de 8054ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 4,15ton/ha, 4ton/ha y 5,01ton/ha para los años 1989, 2003 y 2009 respectivamente.

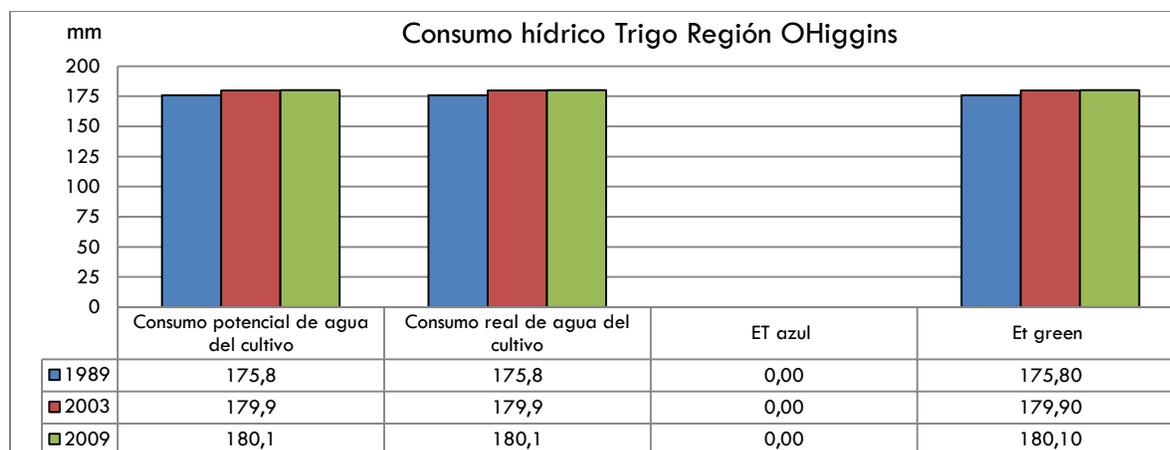


Figura A-A-218: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región de O'Higgins

En esta región se aprecia un consumo potencial con mínimas variaciones para los años estudiados, esto se debe principalmente a la fuente de los datos climáticos utilizados para determinar la evapotranspiración de referencia, cuya procedencia a excepción de la temperatura y precipitaciones corresponde a la base de datos CLIMWAT 2.0 de FAO. Pese a la menor representatividad de la fuente es posible hacer un análisis de tendencia, ya que los consumos hídricos de todos los años estudiados están basados en la misma fuente climática.

El consumo real alcanza su óptimo en los 3 años analizados abastecido un 100% por agua verde, la ausencia de agua azul puede estar explicada por una baja evapotranspiración real alcanzada por el cultivo, que es funcional a la demanda evaporativa atmosférica estimada por los datos climáticos descritos anteriormente. El consumo real de agua ante una baja evapotranspiración estimada es abastecido por las precipitaciones en todos los años estudiados, sin embargo tal suministro no permite entregar el agua de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo, sino más bien dicha entrega es funcional a la disponibilidad climática, por lo que es probable que los rendimientos alcanzados se vieran afectados ante potenciales déficits hídricos en periodos productivos de alta demanda hídrica.

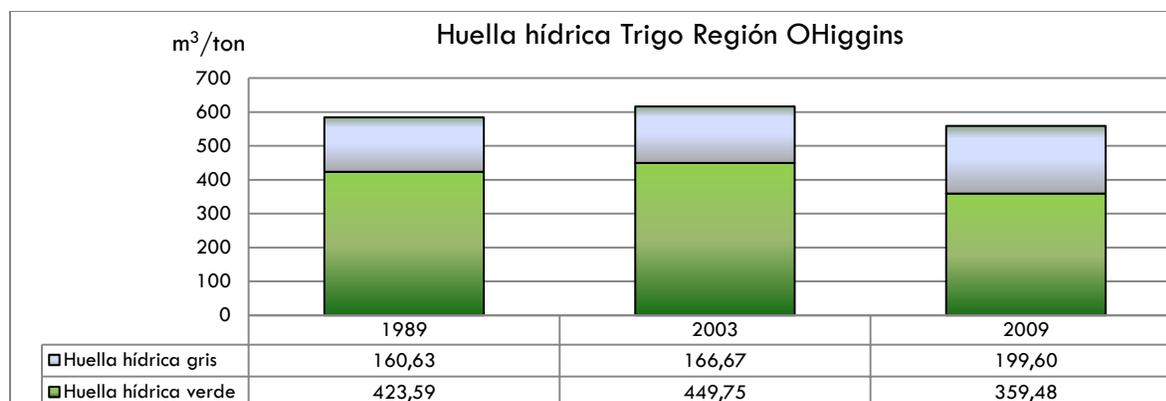


Figura A-A-219: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Trigo en la región de O'Higgins

La huella hídrica total para los años 1989, 2003 y 2009 fue de 584,22 m³/ton, 616,42 y 559,08 m³/ton respectivamente. Tales valores calculados están subestimados y por debajo de los esperados para la región, debido fundamentalmente a los datos climáticos utilizados provenientes de CLIMWAT 2.0 (FAO). La estimación bajo el modelo CROPWAT de la evapotranspiración de referencia por medio datos climáticos regionales, cuantifica la demanda evaporativa de agua de la atmósfera y repercute directamente en el valor de la huella hídrica y sus componentes azul y verde.

Como se estudian años distintos usando la misma fuente de datos climáticos, es posible hacer un análisis de tendencia y comparar los distintos valores de huella hídrica estimados. En el año 2003 existe un incremento de un 5,5% en el valor de la huella hídrica debido a un aumento en el consumo potencial, como también a una reducción en los rendimientos por hectárea pasando de 4,15 ton/ha en 1989 a 4 ton/ha en el 2003. Para el año 2009 el valor de la huella hídrica disminuye por un incremento en los rendimientos alcanzando las 5 ton/ha, si bien esto disminuye la proporción de agua por unidad generada, el aumento en la producción eleva el valor de huella gris debido a una mayor dosis utilizada en los rendimientos alcanzados.

La huella hídrica gris para 1989, 2003 y 2009 fue de 160,63 m³/ton, 166,67 m³/ton y 199,6 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. En 1989 y 2003 la huella gris calculada tiene una relativa similitud debido a que se utilizó una dosis nitrogenada de 100kg/ha para ambos años, dicho valor se debe a que la dosis corresponde al valor más cercano entre los rangos existentes de rendimientos, en este caso el rendimiento esperado fue de 4 ton/ha. Finalmente en el año 2003 la mayor producción provocó un aumento en la huella hídrica gris cuya dosis nitrogenada fue de 150kg/ha para un rendimiento esperado de 5 ton/ha, dicho rendimiento coincide con el obtenido para dicho año por lo que el valor de la huella es bastante certero.

A.16.5 Huella hídrica en la Región del Maule

En la Región del Maule, la superficie destinada a Trigo para el año 1989 corresponde a 84600ha, para 2001 corresponden a 60690ha y para el último año 2007 fue de 28600 ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 3,05ton/ha, 4,31ton/ha y 4,95ton/ha para los años 1989, 2001 y 2007 respectivamente.

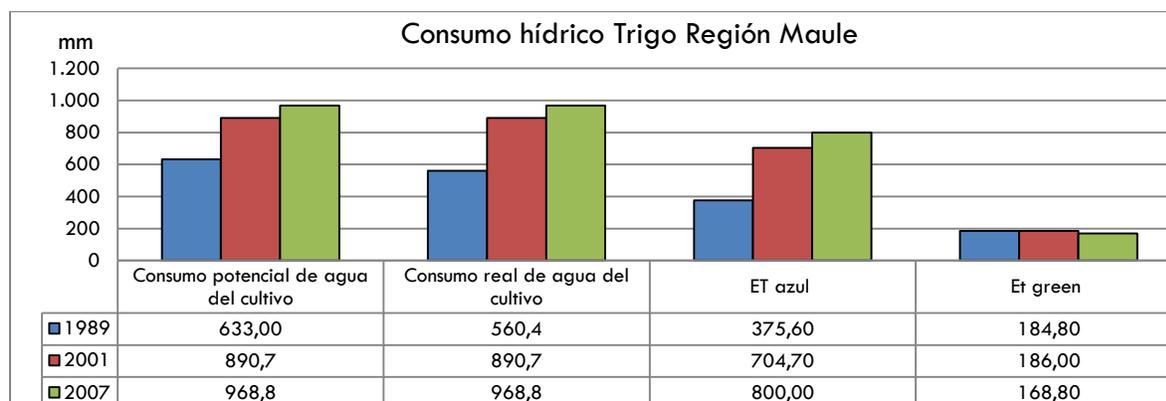


Figura A-A-220: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región del Maule

Para la séptima región se observa una tendencia creciente en el consumo potencial que se ve reflejado en el consumo hídrico real del cultivo. El aumento sostenido de la demanda evaporativa atmosférica genera incrementos en el consumo de agua que son suplidos principalmente por agua azul y en menor medida por agua verde, donde el valor de esta última se mantiene relativamente constante durante los años estudiados.

En 1989 la proporción de agua azul alcanzó un 67% del consumo real de agua por el cultivo, en el año 2001 tal participación llega a un 79,1% y en el año 2007 tal contribución corresponde al 82,6% del consumo real, por lo que dicho suministro se hace relevante en la producción y en el manejo del cultivo. Finalmente es interesante agregar que a mayor contribución de agua azul en el consumo real, mayores fueron los rendimientos por hectárea alcanzados en esta región, cuyos valores alcanzados en cada año fueron de 3,05 ton/ha, 4,31 ton/ha y 4,95 ton/ha respectivamente.

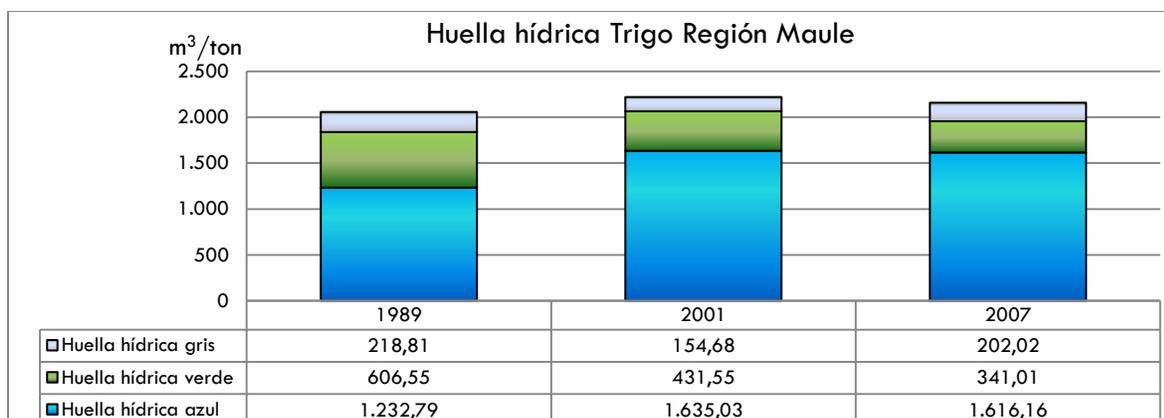


Figura A-A-221: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Trigo en la región del Maule

La huella hídrica total para los años 1989, 2001 y 2007 fue de 2058,15 m³/ton, 2221,26 m³/ton y 2159,19 m³/ton respectivamente. En los años estudiados hay un aumento sostenido en los rendimientos por hectárea cuyos valores para 1989, 2001 y 2007 son 3,05 ton/ha, 4,31 ton/ha y 4,95 ton/ha respectivamente, sin embargo a pesar de que este factor reduce el valor de la huella, existe un incremento sostenido en la demanda evaporativa de la atmósfera que redonda en la tendencia observable en las huellas hídricas calculadas. Es importante señalar que se genera además una tendencia creciente en el consumo de agua azul que responde al uso de esta en las mayores producciones alcanzadas.

La huella hídrica gris para 1989, 2001 y 2007 fue de 218,81 m³/ton, 154,68 m³/ton y 202,02 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para el año 1989 se utilizó la dosis referencial que corresponde al mínimo de los rendimientos esperados (4 ton/ha), sin embargo en dicho año los rendimientos alcanzaron las 3 ton/ha, por lo que la huella gris en dicho periodo de tiempo se encuentra sobreestimada. En el año 2001 la producción obtenida fue de 4,3 ton/ha, este valor es cercano al rendimiento de la dosis mínima referencial cuyo valor corresponde a 100kg/ha para 4 ton/ha, en este año la huella hídrica gris tiene una mayor aproximación a 1989 dada la similitud entre los rendimientos. Finalmente para el año 2001 la producción lograda fue de 4,9 ton/ha, por lo que se utilizó una dosis referencial de 150kg/ha para estimar la huella gris, dicha dosis está asociada a un rendimiento esperado de 5 ton/ha, es interesante agregar que al aumentar los rendimientos aumenta la dosis nitrogenada aplicada, por lo que el valor de huella gris total del proceso productivo aumenta con la producción.

A.16.6 Huella hídrica en la Región del Biobío

En la Región del Biobío, la superficie destinada a Trigo para el año 1989 corresponde a 148590ha, para 2000 corresponden a 111600ha y para el último año 2006 fue de 83500ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 2,31ton/ha, 4,22 ton/ha y 4,65ton/ha para los años 1989, 2000 y 2006 respectivamente.

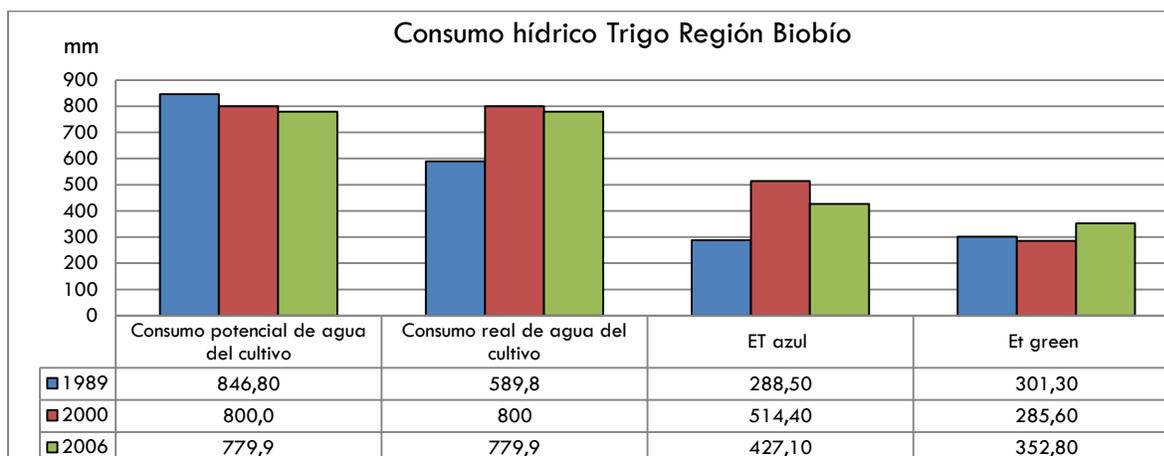


Figura A-A-222: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de Trigo en la región de Biobío.

Para los años estudiados en la región del Biobío se observa una tendencia decreciente en el consumo potencial de agua del cultivo debido a una disminución en la demanda evaporativa atmosférica. El consumo real de agua por el cultivo no alcanzó su potencial en 1989, esto se debe a una baja producción en dicho año que estuvo por debajo del rendimiento promedio regional (3,29 ton/ha). En los años 2000 y 2006 el consumo hídrico real obtiene el mismo valor al consumo potencial, es interesante agregar que el suministro de dicho consumo en aquellos años es mayormente compuesto por agua azul con un 64,3% y 54,7% respectivamente, a diferencia de 1989 cuya contribución alcanzó el 48,9% del consumo real.

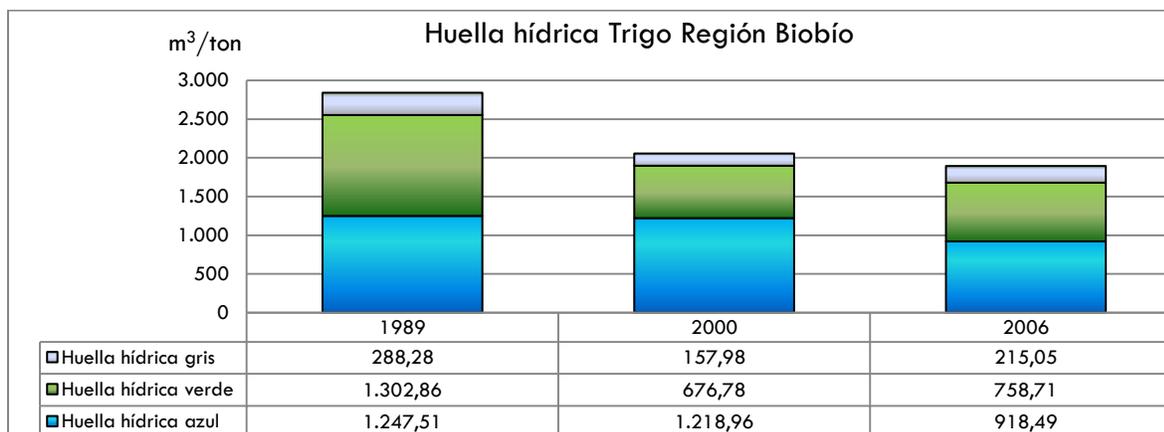


Figura A-A-223: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de Trigo en la región del Biobío

La huella hídrica total para los años 1989, 2000 y 2006 fue de 2848,65 m³/ton, 2053,72 m³/ton y 1892,25 m³/ton respectivamente. En 1989 se experimentó el menor consumo real de agua entre los años estudiados pero a la vez se obtuvo la mayor huella hídrica total, esto se debe a que en dicho año se alcanzó una producción de 2,31 ton/ha que está por debajo al rendimiento promedio regional, en dicho año debido al nivel productivo logrado y al consumo de agua utilizado en su producción se generó una baja productividad en el uso del agua, lo que redundó en una elevada huella hídrica. Para el año 2000 se observa una reducción en el valor de la huella total influenciado principalmente por un aumento en la producción llegando a 4,22 ton/ha, a este factor se le suma una reducción en el consumo potencial de agua por el cultivo, aunque es importante señalar que en dicho año se alcanzó el óptimo consumo hídrico dado por la demanda evaporativa atmosférica. Finalmente en el año 2006 el aumento en los rendimientos y la disminución en el consumo potencial generan la menor huella hídrica entre los años analizados. Es interesante agregar que la relación entre mayor consumo de agua azul e incrementos en la producción no se cumple para el año 2006, esto es debido a que la disminución en la demanda evaporativa atmosférica, en relación al año anterior, provoca una reducción en la evapotranspiración y una menor demanda por requerimientos hídricos para satisfacer la necesidades del cultivo, así la necesidad de agua azul disminuye por demandas atmosféricas menores y es suplida por agua verde.

La huella hídrica gris para 1989, 2000 y 2006 fue de 288,28 m³/ton, 157,98 m³/ton y 215,05 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para el año 1989 la huella gris se encuentra sobreestimada ya que se utilizó la dosis referencial que corresponde al mínimo de los rendimientos esperados (4 ton/ha), en dicho año los rendimientos reales solo alcanzaron las 3 ton/ha, por ende la dosis utilizada excede el valor a la que corresponde por dichos rendimientos. En el año 2000 la producción fue de 4,2 ton/ha, valor próximo al rendimiento de 4 ton/ha que corresponde a la dosis mínima referencial de 100kg/ha, por lo que tal valor tiene mayor representatividad que 1989, finalmente para el año 2006 el aumento en los rendimientos es asociado a un incremento en la dosis, en este año se alcanzaron las 4,7 ton/ha y para ese nivel de rendimiento el valor de la dosis asciende a 150 kg/ha, esto implica que la huella gris total del proceso productivo aumenta y el valor de la misma por unidad generada también.

Es importante agregar que la estimación del consumo hídrico en las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins fue para una variedad de trigo primaveral, exceptuando la del Maule y del Biobío donde se utilizaron datos correspondientes a variedades invernales, específicamente en ambos casos los cambios en el Kc y en la duración del periodo productivo determinaron la diferencias para el cálculo (FAO, 2006).

De manera paralela se estimó la huella hídrica del Trigo en el 2007 para realizar un análisis comparativo de las huellas hídricas de cultivos y frutales, estableciendo un parámetro temporal determinado. Para el estudio de huella hídrica del Trigo se considera desde la Región del Maule hasta la Región de los Lago, debido a que solo en esas regiones se concentra el 92,8% de la producción del Trigo de Chile. La superficie total de Chile en producción del Trigo el año 2007 fue de 270.500ha, de las cuales 251.000ha se encuentran en las regiones estudiadas. En la Figura siguiente, se aprecia como esa superficie es distribuida entre las regiones estudiadas.

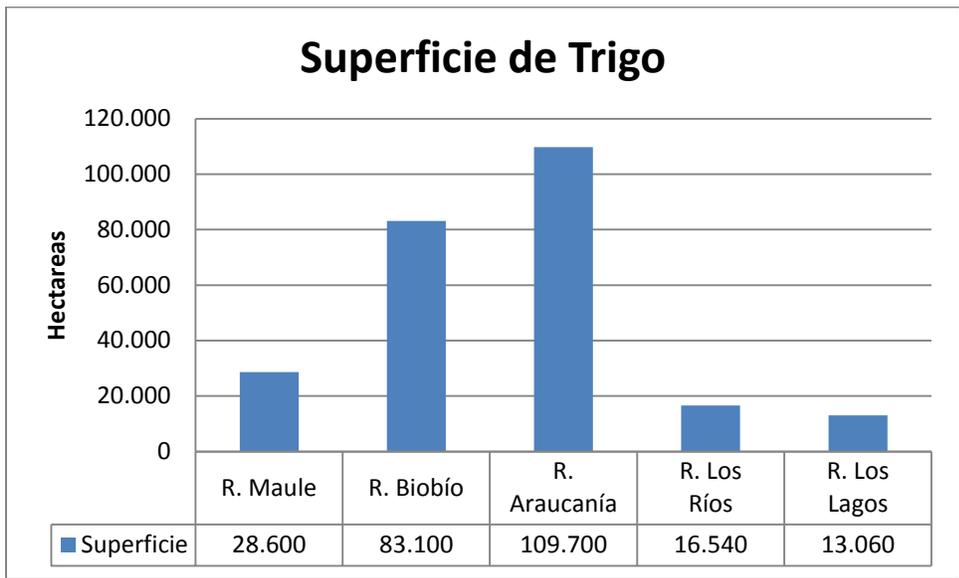


Figura A-A-224: Superficie del Trigo en las regiones con producción de Chile

En la Figura A-A-225, se aprecia los rendimientos obtenidos en el Trigo para cada región estudiada, así se puede indicar que la Región de la Araucanía presenta el menor rendimiento en el Trigo y la Región de los Lagos y los Ríos los mayores rendimientos.

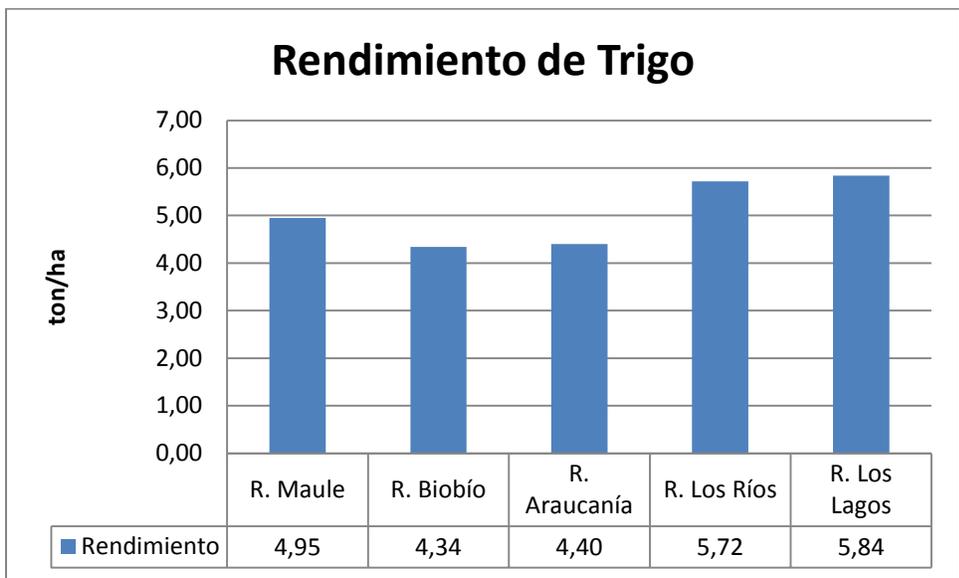


Figura A-A-225: Rendimiento del Trigo en las regiones con producción de Chile

En la Figura A-A-226, se aprecia que los consumos potenciales y reales del Trigo son similares en todas las regiones estudiadas el año 2007 y que de acuerdo a las condiciones del cultivo en cada región, el porcentaje de consumo representado por agua azul y verde varía en cada región. De acuerdo a la Figura, se puede apreciar que en la Región del Maule, Biobío, Araucanía, los Ríos y los Lagos el agua azul corresponde al 69,9%, al 61,7%, al 24,9%, al 37,5% y al 31,7% respectivamente, por lo tanto para las mismas regiones el agua verde representa el 30,1%, 38,3%, el 75,1%, 62,5% y el 68,3% respectivamente.

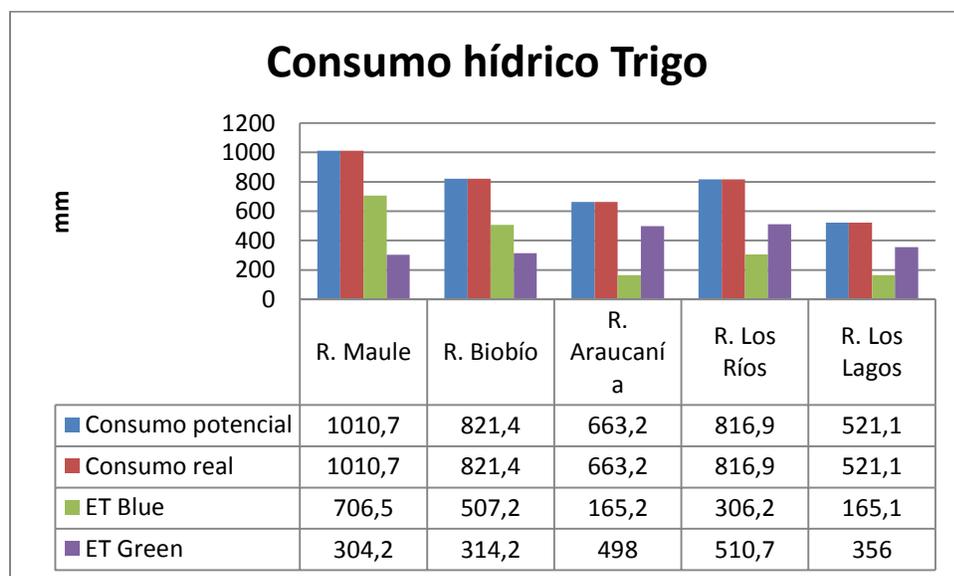


Figura A-A-226: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde

Se estimó que la huella hídrica del Trigo varía en cada región, adquiriendo mayor o menos importancia la participación del agua verde, azul y gris. Como se aprecia en la Figura, el mayor valor de huella hídrica lo presenta la Región del Maule, en la cual el agua azul representa un 63,6% de la huella total, por otro lado el menor valor de huella hídrica para Trigo se da en la Región de los Lagos, en donde el 55% corresponde a huella hídrica verde.

Los mayores y menores valores de huella hídrica obtenidos en las distintas regiones para Trigo, indica los volúmenes de agua utilizada y el tipo de agua utilizada en la región.

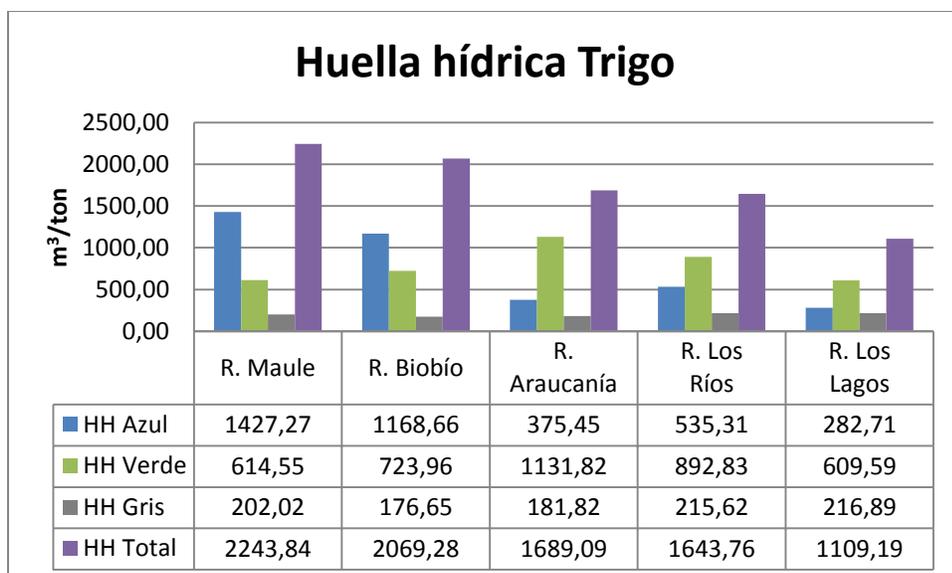


Figura A-A-227: Huella hídrica total, azul, verde y gris del Trigo, para cada región de Chile

De acuerdo a los valores de huella hídrica estimados se obtuvo un promedio de huella hídrica del Trigo en Chile, el cual corresponde a $1.751,03\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor $757,88\text{m}^3/\text{ton}$ representan la huella hídrica azul, $794,55\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica verde y $198,6\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica gris. Por otro lado, Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), indican que la huella hídrica de Trigo a nivel mundial corresponde a $1.827\text{m}^3/\text{ton}$, valor del cual $342\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $1.277\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $207\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. Como se aprecia en la Figura A-A-228, la huella hídrica del Trigo en Chile corresponde al 95,8% de la huella hídrica mundial, a su vez la huella hídrica azul de Chile sobrepasa en un 121,6% a la huella hídrica azul mundial y la huella hídrica verde y gris de Chile corresponden al 62% y 95% respectivamente del valor mundial.

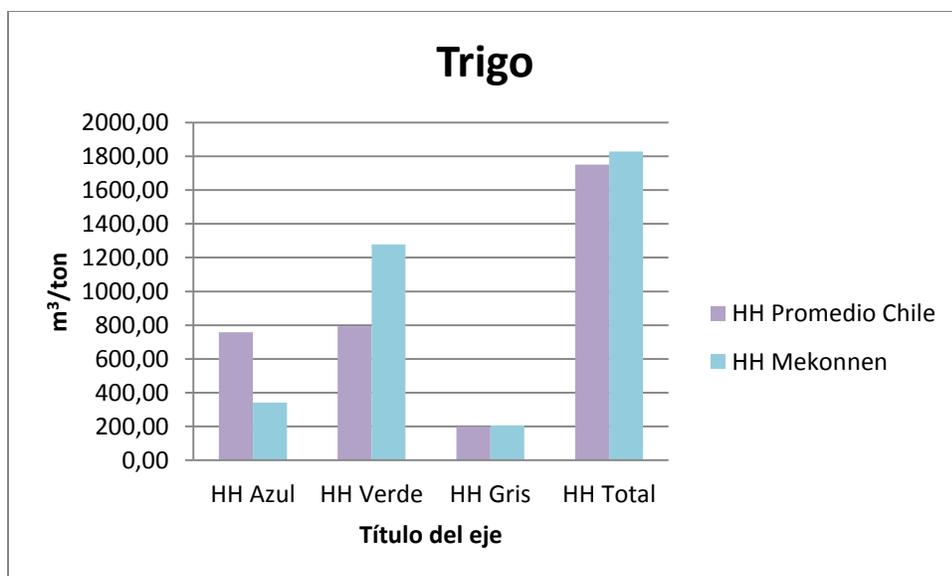


Figura A-A-228: Comparación entre la huella hídrica de la Trigo en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.17 Papa (*Solanum tuberosum*)

Cultivo anual perteneciente a la familia de las solanáceas cuyo producto consumido es el tubérculo, este corresponde a un tallo subterráneo, succulento y engrosado donde se almacenan los nutrientes de la planta, posee un bajo contenido de proteína pero un alto contenido de hidratos de carbono, minerales y aminoácidos esenciales. El contenido nutricional mencionado exhibe a la papa como un importante cultivo para la alimentación humana, su consumo se realiza en forma fresca como también por medio de productos procesados y derivados. (Faiguenbaum, 2003).

La zona norte del país presenta prácticamente ausencia de heladas en comparación con la zona centro y sur, tal condición climática permite producir el cultivo durante todo el año mediante riego, esta zona se caracteriza por ser la principal en la producción de papa temprana o primor. Para la zona centro que abarca las regiones VI, RM y VII el cultivo se siembra particularmente en épocas donde el riesgo de heladas es mínimo, una característica principal de esta zona es la cercanía a los centros de comercialización y de consumo. En la zona centro sur de Chile que comprende las regiones VIII y IX el cultivo inicia su temporada productiva principalmente en primavera para hacer las cosechas entre marzo y julio. Finalmente la zona sur que corresponde a las regiones X y XIV, la producción se centra particularmente en la obtención de semillas de papa, las condiciones climáticas permiten que el cultivo se desarrolle mayoritariamente en seco, sin embargo en los meses de primavera y verano donde disminuyen las precipitaciones, es posible que la papa experimente un potencial déficit hídrico en su temporada (Agenda del Salitre, 2001).

El momento de plantación para la papa es funcional al periodo libre de heladas de la zona en particular dado que temperaturas de -2°C el cultivo perece. Es importante agregar que los tubérculos y semillas necesitan una temperatura de suelo de al menos 7°C para emerger, la temperatura óptima de emergencia es de 20°C . En relación al recurso hídrico, el cultivo de papa necesita un aporte entre 300 y 600 mm para lograr rendimientos óptimos, esto depende de la densidad de plantación, de las características edafoclimáticas de la zona, el tipo de riego, la fertilización entre otras (Agenda del Salitre, 2001).

A.17.1 Huella hídrica en la Región de Coquimbo

En la Región de Coquimbo, la superficie destinada a Papa para el año 1989 corresponde a 5920ha, para 1999 corresponden a 8684ha y para el último año 2005 fue de 5590ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 16,88ton/ha, 18,32ton/ha y 21,55ton/ha para los años 1989, 1999 y 2005 respectivamente.

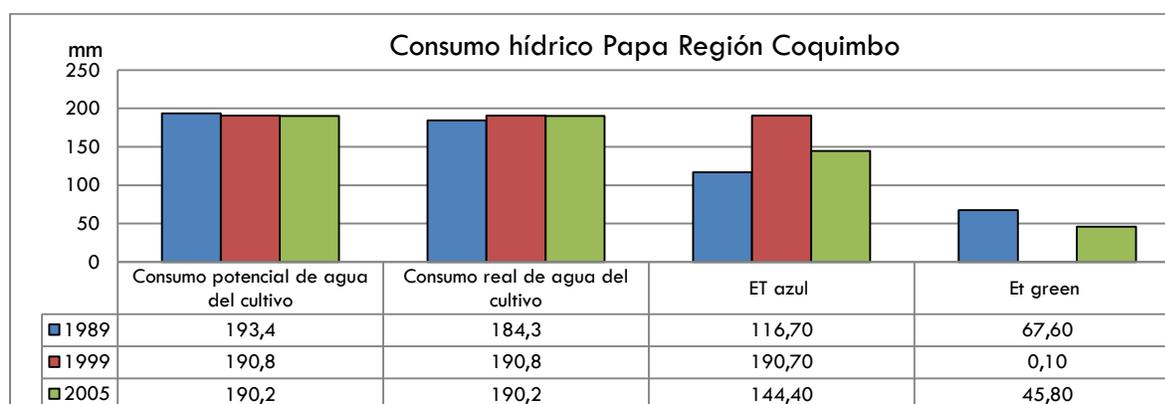


Figura A-A-229: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la Papa en la región de Coquimbo

Para la cuarta región se aprecia un consumo potencial con una leve tendencia a la baja entre los años estudiados, esto no se ve reflejado en el consumo real ya que en 1989 no se alcanza dicho potencial obteniendo un menor consumo, para los años 1999 y 2005 el consumo real alcanza su óptimo potencial.

Ausencias de precipitaciones en la temporada productiva para el año 1999 son las que provocan un incremento importante en el suministro de agua azul aumentando un 63,4% el consumo, si se toma como referencia la cantidad utilizada en 1989. Para el año 2005 el consumo potencial es levemente menor que en 1999, este posee mayores rendimientos a dicho año alcanzando las 21,55 ton/ha, que fueron suministradas por un 75,9% de agua azul y un 24,1% de agua verde.

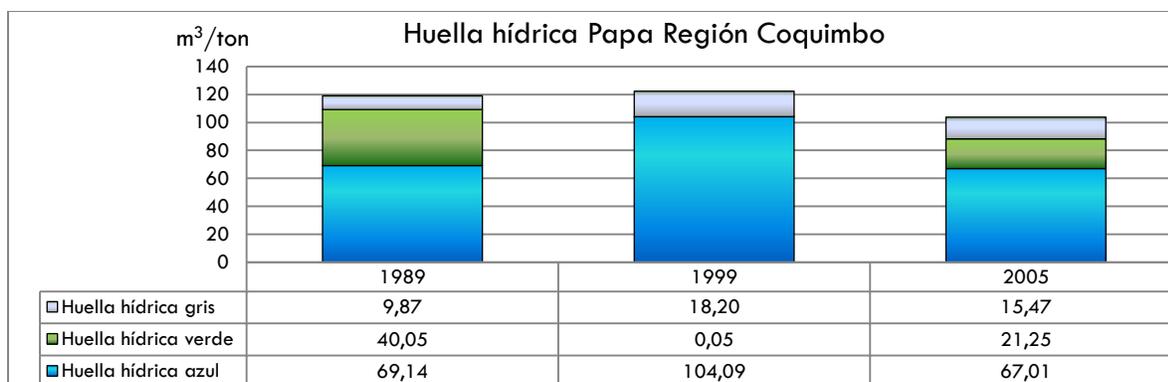


Figura A-A-230: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la papa en la región de Coquimbo

La huella hídrica total para los años 1989, 1999 y 2005 fue de 119,06 m³/ton, 122,34 m³/ton y 103,73 m³/ton respectivamente. En 1989 el cultivo no alcanzó el consumo hídrico potencial, en ese mismo año se registraron rendimientos de 16,9 ton/ha que son inferiores al rendimiento promedio regional de 17,8 ton/ha³⁹, así un menor consumo de agua redundó en una menor evapotranspiración y por ende una reducción en los rendimientos obtenidos, que a su vez se refleja en una menor huella hídrica. Para 1999 y 2005 el consumo real alcanzó su óptimo dado por la demanda evaporativa de la atmósfera, en el primer año las condiciones climáticas provocaron que el suministro fuera casi completamente abastecido por agua azul, sin embargo los rendimientos alcanzados fueron de 18,32 ton/ha, menores a los registrados para el año 2005 donde se obtuvieron 21,55 ton/ha, esto último es lo que ocasiona que dicho año tenga la menor huella hídrica entre los analizados, ya que se produjo más cantidad del cultivo a un nivel similar de agua.

La huella hídrica gris para 1989, 1999 y 2005 fue de 9,87 m³/ton, 18,2 m³/ton y 15,47 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. En los años 1999 y 2005 se registraron los valores más altos de huella gris, en ambos casos fue utilizada una dosis nitrogenada de 50 kg/ha, sin embargo los rendimientos alcanzados fueron de 18,3 ton/ha y 21,55 ton/ha respectivamente. La utilización de la misma dosis responde a que ambos rendimientos caen en el rango de fertilización, por lo que dichos valores son relativos a la precisión del valor de la dosis y su rango de rendimientos asociados a ella. Es interesante agregar además que el valor de la dosis para 1989 corresponde a 25 kg/ha, dicho valor corresponde al rango mínimo de los rendimientos esperados (Rodríguez, 1992).

A.17.2 Huella hídrica en la Región de Valparaíso

En la Región de Valparaíso, la superficie destinada a Papa para el año 1989 corresponde a 3840ha, para 2002 corresponden a 1190ha y para el último año 2008 fue de 606ha. En el caso

³⁹ El promedio se obtuvo en base 30 años de datos de rendimiento regional que abarca de 1980 a 2010

de los rendimientos, se obtuvo 11,39ton/ha, 12,12ton/ha y 13,78ton/ha para los años 1989, 2002 y 2008 respectivamente.

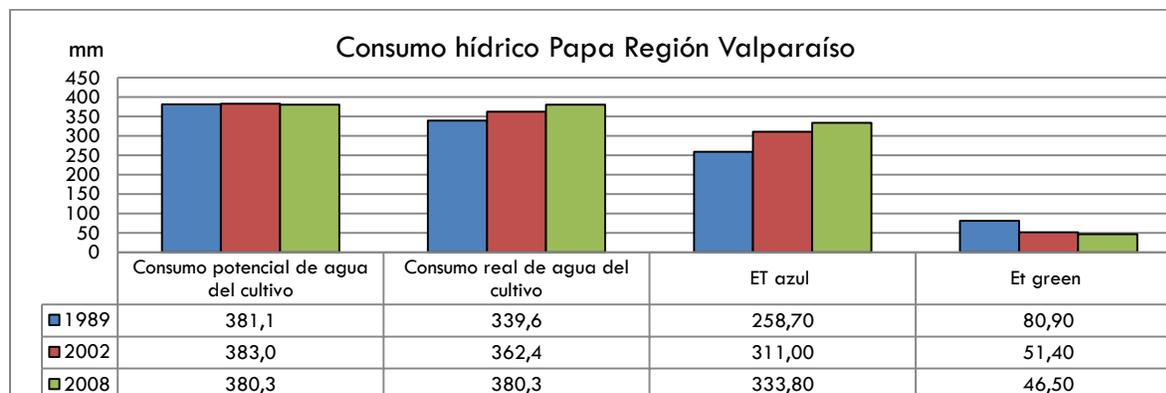


Figura A-A-231: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región de Valparaíso

Para la 5° región se registra un consumo potencial relativamente constante entre los años estudiados, particularmente en dicha región la fuente de los datos climáticos, a excepción de la temperatura y precipitaciones provienen de CLIMWAT 2.0, y son estos los que determinan la evapotranspiración de referencia.

El consumo real de agua por el cultivo experimenta un crecimiento sostenido que se ve reflejado en la cantidad de agua azul utilizada en los años estudiados, esto indica que los mayores consumos registrados fueron abastecidos por agua de riego, es interesante agregar que los incrementos de agua azul están acompañados con una tendencia creciente en los rendimientos por hectárea obtenidos, donde en los años 1989, 2002 y 2008 se alcanzaron 11,39 ton/ha, 12,12 ton/ha y 13,78 ton/h respectivamente.

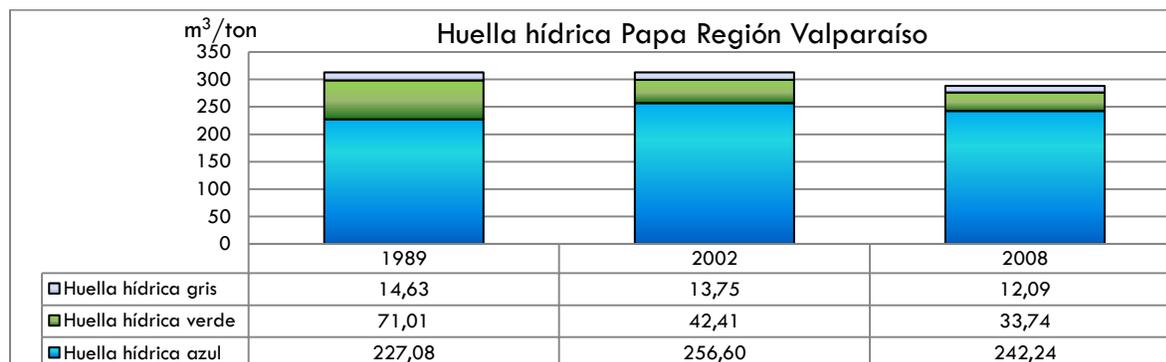


Figura A-A-232: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la papa en la región de Valparaíso

La huella hídrica total para los años 1989, 2002 y 2008 fue de 312,72 m³/ton, 312,76 m³/ton y 288,07 m³/ton respectivamente. Los valores de los 2 primeros años son prácticamente idénticos, esto puede deberse a que el aumento en el consumo real experimentando en el año 2002 fue contrarrestado por los mayores rendimientos obtenidos, sin embargo el incremento en la productividad genera una mayor cantidad de agua azul en la huella hídrica total de ese año, alcanzando una proporción del 82% a diferencia de 1989 cuya participación es del 72,6%.

La huella hídrica gris para 1989, 1999 y 2005 fue de 14,63 m³/ton, 13,75 m³/ton y 12,09 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. A pesar de experimentar una tendencia creciente en los rendimientos registrados es posible observar una disminución en el valor de la huella gris, esto se debe a que dichos rendimientos caen en el rango de fertilización de la dosis utilizada, por lo que tal estimación carece de precisión.

A.17.3 Huella hídrica en la Región Metropolitana.

En la Región Metropolitana, la superficie destinada a Papa para el año 1989 corresponde a 2830ha, en 1997 fue de 3046ha, para 2004 corresponde a 3260ha y para el último año 2010 fue de 3750ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 12,48ton/ha, 13,32ton/ha, 13,26ton/ha y 21,1ton/ha para los años 1989, 1997, 2004 y 2010 respectivamente.

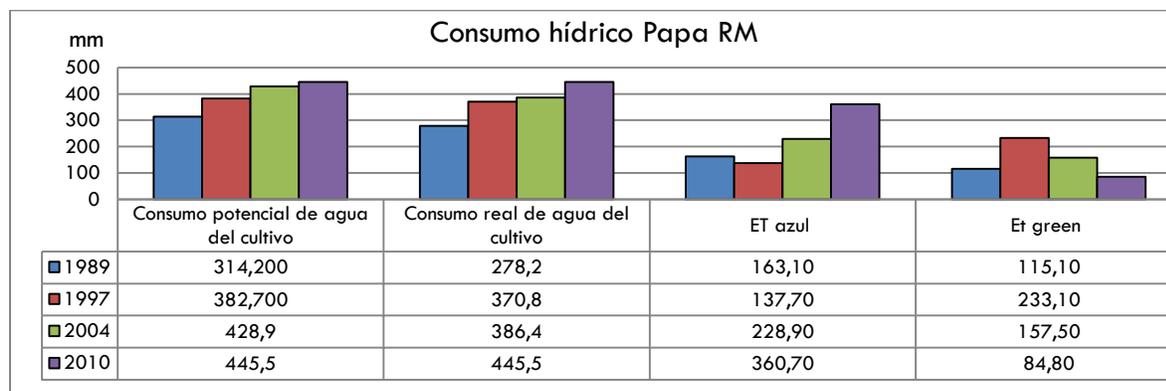


Figura A-A-233: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región Metropolitana

En la región metropolitana se experimentó una tendencia creciente en el consumo potencial de agua, esto muestra que aumentos sostenidos en la demanda evaporativa atmosférica provocan incrementos en la evapotranspiración de referencia y por ende en la evapotranspiración del cultivo, reflejando esto último en el consumo real de agua. Es interesante agregar que solo en el año 2010 el consumo real de agua logra su potencial, en dicho año el rendimiento alcanzado es de 21,1 ton/ha, mucho mayor a las 13,26 ton/ha, 14,32 ton/ha, 12,48 ton/ha para los años 2004, 1997 y 1989 respectivamente. Al igual que en otras regiones se experimentó una relación

entre el incremento en el suministro de agua azul, un decrecimiento en el abastecimiento de agua verde y un aumento en los rendimientos por hectárea.

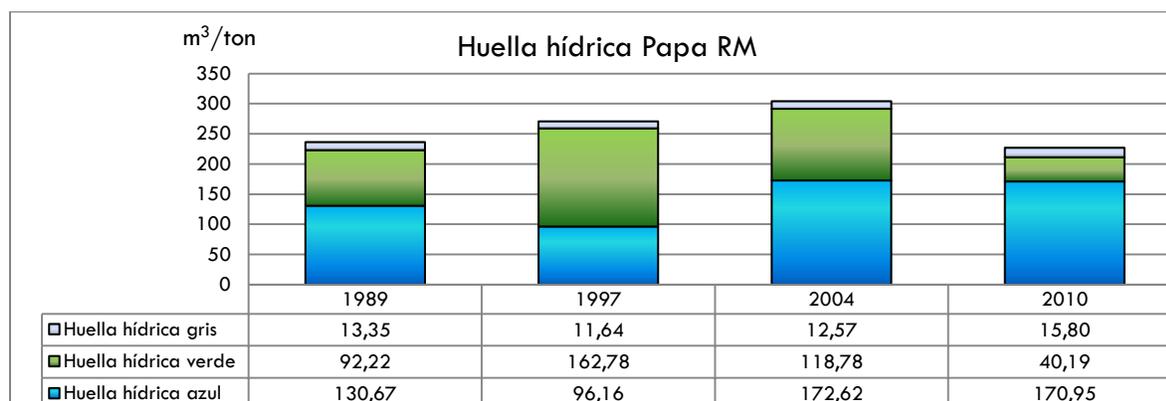


Figura A-A-234: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la papa en la región Metropolitana

La huella hídrica total para los años 1989, 1997, 2004 y 2010 fue de 263,24 m³/ton, 270,58 m³/ton, 303,97 m³/ton y 226,94 m³/ton respectivamente. En 1989 el valor de la huella hídrica está determinado fundamentalmente por el menor consumo real entre los años analizados, esto se traduce en una menor evapotranspiración del cultivo y por tanto una menor huella hídrica por unidad generada. En el año 1997 el consumo real de agua por el cultivo aumenta como también los rendimientos, sin embargo se aprecia una baja en el suministro de agua azul y aumento de agua verde, llegando esta última al 60,2% de la huella hídrica total. La disminución en el suministro de agua azul se debe a que las precipitaciones en ese año alcanzaron valores más elevados a los demás años estudiados (709,3 mm), aumentando la disponibilidad de esta durante la temporada productiva supliendo las necesidades hídricas de riego del cultivo. En el año 2004 se experimentó un incremento en la huella hídrica explicado principalmente por un aumento en el consumo real de agua por el cultivo, además de aquello la productividad bajó en comparación al año 1997, ya que se registraron rendimientos de 13,26 ton/ha. Resulta pertinente analizar el suministro de agua azul y los rendimientos alcanzados en años donde las precipitaciones fueron relativamente normales, así si se comparan los rendimientos alcanzados en el año 2004 con el año 1989, se puede observar que un incremento en la productividad está asociado a un aumento en el suministro de agua azul como proporción de la huella hídrica total.

Finalmente en el año 2010 se experimentó un fuerte incremento en el suministro de agua azul alcanzando un 75,3% de la huella hídrica total, dicho aumento está relacionado a los mayores rendimientos alcanzados ya que en ese mismo año se registró un rendimiento de 21,1 ton/ha. Es interesante agregar que a pesar de existir un aumento en el consumo real del cultivo, dado por una mayor demanda atmosférica, la huella hídrica total es la menor entre los años estudiados debido a los rendimientos alcanzados y a la productividad en el uso del agua por unidad de producto generada.

La huella hídrica gris para 1989, 1997, 2004 y 2010 fue de 13,35 m³/ton, 11,64 m³/ton, 12,57 m³/ton y 15,8 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial

de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para los años 1989, 1997 y 2004 se utilizó una dosis nitrogenada común debido a que esta se presenta por medio de rangos productivos, para tales años se estableció una dosis de 25 kg/ha que corresponde a un rendimiento esperado de 15 ton/ha (Rodríguez, 1992), esta holgura en la precisión de la dosis provocó que se registrara menores valores de huella gris con mayores rendimientos obtenidos como en el caso del año 1997. Finalmente para el año 2010 se utilizó una dosis de 50kg/ha para un rendimiento esperado de 21,1 ton/ha, también dicha dosis responde a un rango de rendimientos por lo que la estimación de la huella gris carece de precisión.

A.17.4 Huella hídrica en la Región de O'Higgins

En la Región de O'Higgins, la superficie destinada a Papa para el año 1989 corresponde a 2240ha, para 2003 corresponden a 3450ha y para el último año 2009 fue de 1981ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 14,5ton/ha, 19ton/ha y 19,36ton/ha para los años 1989, 2003 y 2009 respectivamente.

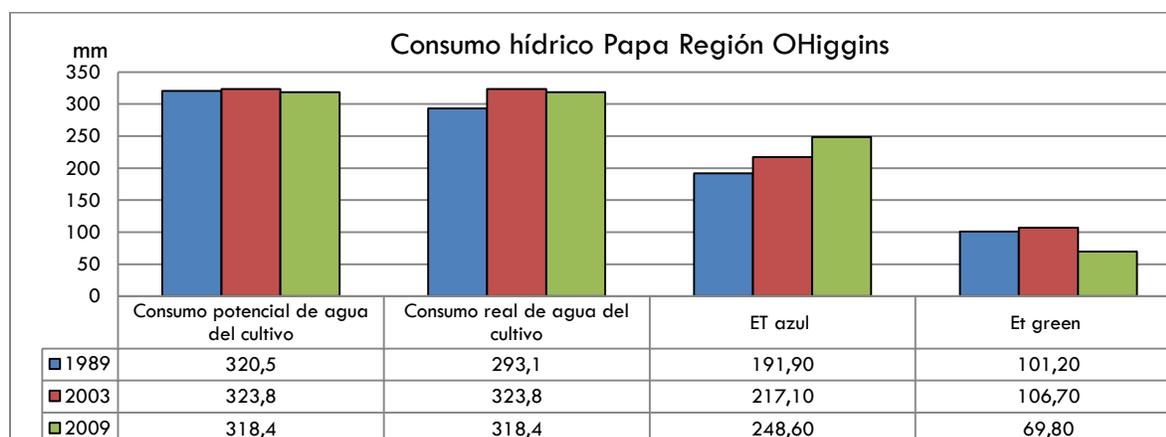


Figura A-A-235: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región de O'Higgins

El consumo potencial de agua en la región de O'Higgins no experimenta cambios importantes en los años analizados, esta característica puede estar influenciada por la fuente de datos climáticos utilizados para determinar la evapotranspiración de referencia, cuya procedencia a excepción de la temperatura y precipitaciones corresponde a la base de datos CLIMWAT 2.0 de FAO. Pese a que los datos climáticos provenientes de la fuente mencionada poseen una menor representatividad es posible hacer un análisis de tendencia de los consumos hídricos y de sus componentes, ya que las estimaciones de dichos factores en todos los años están basadas en la misma fuente climática.

En los años 2003 y 2009 el consumo real alcanza su óptimo determinado por la demanda evaporativa de la atmosfera, en cambio para el año 1989 dicho consumo alcanza el 91,4% de

su potencial. En los años estudiados es posible observar una tendencia creciente en el suministro de agua azul en el consumo real, si se observan los rendimientos alcanzados para los años 1989, 2003 y 2009 se registraron 14,5 ton/ha, 19 ton/ha, y 19,36 ton/ha respectivamente. Considerando los datos se observa para 1989 un bajo consumo y bajos rendimientos, en el año 2003 el aumento en el consumo real de agua alcanza su potencial, a esto se le suma los rendimientos obtenidos siendo mayores a 1989, finalmente en el año 2009 existe una reducción en el consumo real dado por una menor demanda evaporativa y los rendimientos registrados son similares al año 2003. Es interesante señalar que en este caso un incremento en la proporción de agua azul en el consumo real del cultivo no provocó cambios significativos en los rendimientos, es posible que este factor haya sido influenciado por la menor evapotranspiración real registrada en ese año.

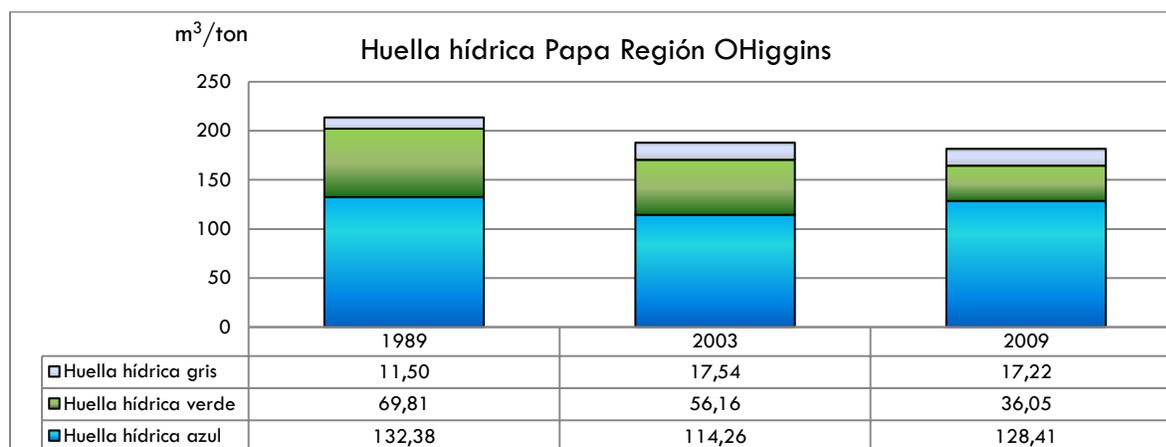


Figura A-A-236: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la papa en la región de O'Higgins

La huella hídrica total para los años 1989, 2003 y 2009 fue de 213,69 m³/ton, 187,96 y 181,68 m³/ton respectivamente. Tales valores calculados están subestimados y por debajo de los esperados para la región, debido fundamentalmente a los datos climáticos utilizados provenientes de CLIMWAT 2.0 (FAO). La estimación bajo el modelo CROPWAT de la evapotranspiración de referencia por medio datos climáticos regionales, cuantifica la demanda evaporativa de agua por la atmósfera y repercute directamente en el valor de la huella hídrica y sus componentes azul y verde.

Como se estudian años distintos usando la misma fuente de datos climáticos, es posible hacer un análisis de tendencia y comparar los distintos valores de huella hídrica estimados. Las diferencias entre las distintas magnitudes de huella hídrica calculada se deben principalmente a los rendimientos alcanzados, ya que los consumos reales fueron relativamente similares entre los años estudiados, siendo levemente mayor el estimado para el año 2003. La proporción de agua azul en la huella hídrica total para los años 1989, 2003 y 2009 fue de un 62%, 60,8% y 70,7% respectivamente, asimismo los rendimientos registrados en dichos años fueron de 14,5 ton/ha, 19 ton/ha y 19,6 ton/ha respectivamente. En otros análisis de huella hídrica se ha asociado un incremento en los rendimientos con una mayor proporción de agua azul en la

huella hídrica total, sin embargo para el año 2003 esto no ocurre de la misma manera que en el año 2009. Esto puede deberse a que en el año 2003 las precipitaciones registradas fueron de 578,2 mm anuales a diferencia de los años 1989 y 2009 donde se alcanzaron los 421,1 mm y 467,7 mm anuales respectivamente. Es importante señalar que en el año 2003 se registró el mayor consumo real de agua por el cultivo, si se compara este con el año 1989 se observa además que ambos poseen una cantidad de agua verde (Et green, Figura A-A-236) relativamente similar aunque levemente mayor en el 2003. Si se consideran ambos factores expuestos anteriormente se puede decir que el consumo de agua verde en el año 2003 es mayor en cantidad y proporción que en 1989, lo que se traduce en una mayor participación en la composición de huella hídrica total. Por otro lado si se realiza una comparación entre los años 2003 y 2009 se puede apreciar que este último años posee una menor cantidad y proporción relativa de agua verde en el consumo real del cultivo, por lo que dicha falta del recurso es compensada con agua azul para alcanzar el óptimo dado por la demanda evaporativa de la atmósfera.

La huella hídrica gris para 1989, 2003 y 2009 fue de 11,5 m³/ton, 17,54 m³/ton y 17,22 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. En 1989 se utilizó una dosis nitrogenada de 25 kg/ha que corresponde al mínimo rango de los rendimientos esperados para el cultivo (Rodríguez, 1992). Para los años 2003 y 2009 se utilizó una dosis de 50 kg/ha para los rendimientos de 19 ton/ha y 19,5 ton/ha respectivamente, el valor de la dosis corresponde a un rango de rendimientos esperados por lo que la estimación de la huella gris carece de exactitud.

A.17.5 Huella hídrica en la Región del Maule

En la Región del Maule, la superficie destinada a Papa para el año 1989 corresponde a 5970ha, para 2001 corresponden a 4170ha y para el último año 2007 fue de 3430ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 20,79ton/ha, 14,92ton/ha y 17,07ton/ha para los años 1989, 2001 y 2007 respectivamente.

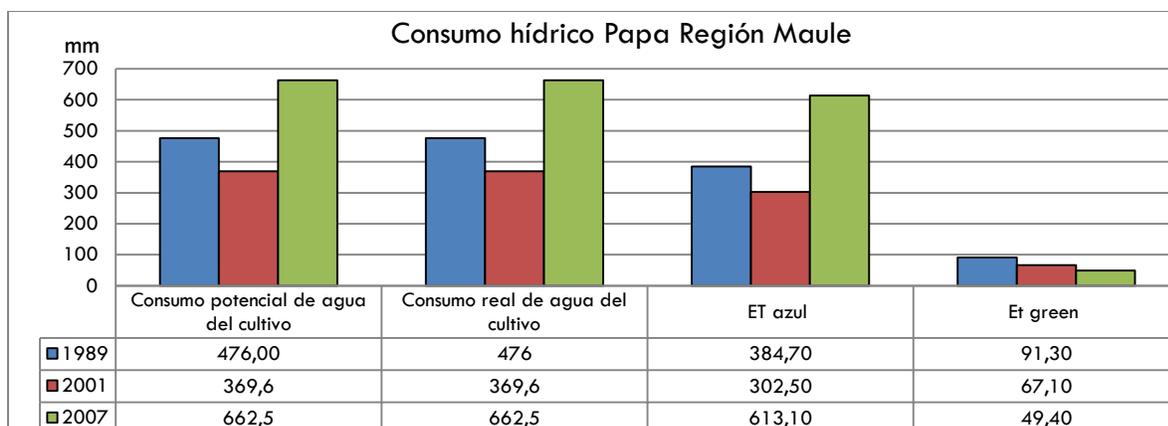


Figura A-A-237: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región del Maule.

Para la séptima región es posible observar un consumo potencial de agua heterogéneo que se ve reflejado en el consumo real de agua, ya que este alcanza su potencial en todos los años analizados. Se aprecia además que el suministro de agua azul es preponderante y que el consumo de agua verde disminuye durante los años de estudio. Los rendimientos registrados para los años 1989, 2001 y 2007 fueron de 20,79 ton/ha, 19,42 ton/ha y 17,07 ton/ha respectivamente, tales valores muestran una tendencia a la baja sin embargo todos están por sobre el promedio regional que asciende a 14,57 ton/ha. Es interesante agregar que los mayores consumos de agua azul responden a satisfacer una demanda evaporativa elevada, no generando por un incremento en el suministro un mayor rendimiento.

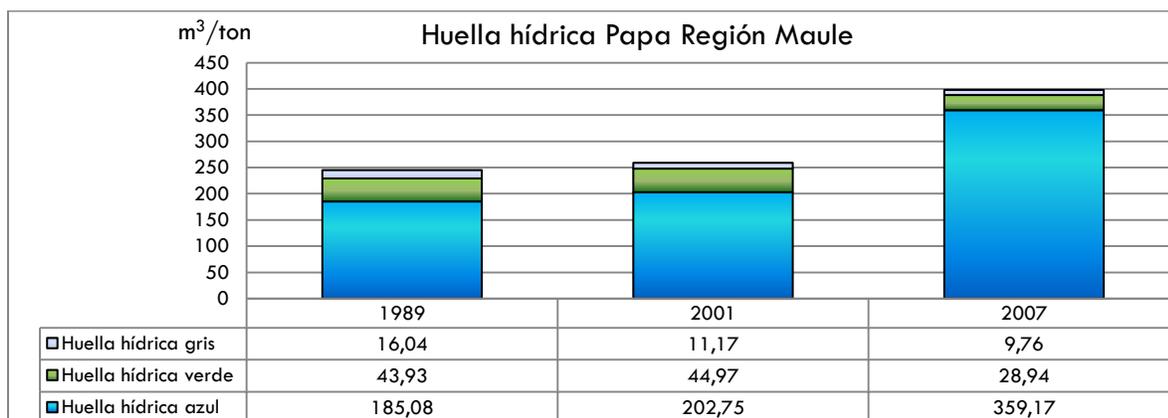


Figura A-A-238: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la papa en la región del Maule

La huella hídrica total para los años 1989, 2001 y 2007 fue de 245,05 m³/ton, 258,89 m³/ton y 397,87 m³/ton respectivamente. De acuerdo a los datos estimados se registra una tendencia creciente en los valores de huella hídrica total, explicado principalmente por una disminución en los rendimientos obtenidos, y para el año 2007 además de lo anterior se experimentó un

elevado consumo real de agua por el cultivo. Es interesante señalar que la evapotranspiración de referencia estimada para el año 2007 fue la mayor entre todos los años y regiones analizadas para este cultivo, tal magnitud en la demanda evaporativa atmosférica provocó un incremento en el suministro de agua azul para cumplir dichos requerimientos hídricos, sin embargo dicho consumo no generó un aumento en la productividad.

En el año 1989 se obtuvieron los mayores rendimientos entre los años estudiados, la magnitud de los mismos provocó que la cantidad de agua por unidad generada fuera la menor generando la menor huella hídrica para los 3 años. Para el año 2001 existe una reducción en el consumo real de agua por el cultivo, lo que provoca que el valor de la huella hídrica disminuya, sin embargo la reducción en los rendimientos genera el efecto contrario por lo que la resultante es una huella hídrica levemente mayor a 1989. Finalmente para el año 2007 los menores rendimientos en comparación con los otros años y el elevado consumo hídrico del cultivo dan como resultante la mayor huella hídrica entre los años analizados.

La huella hídrica gris para 1989, 2001 y 2007 fue de 16,04 m³/ton, 11,17 m³/ton y 9,76 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para 1989 se utilizó una dosis de 50 kg/ha dada la producción alcanzada de 20,7 ton/ha, mientras que para los años 2001 y 2007 la dosis utilizada para estimar la huella gris fue de 25 kg/ha, con un rendimiento obtenido de 14,9 ton/ha y 17 ton/ha respectivamente. Resulta apropiado comentar que para los 2 últimos años el uso de la misma dosis nitrogenada para estimar el valor de la huella gris es debido a que esta se presenta, dada la bibliografía consultada, en valores de aplicación para rangos de rendimientos esperados (Rodríguez, 1992), debido a esta holgura en la dosis la estimación y el cálculo de la huella hídrica para los 3 años no representa con precisión el valor asociado a los rendimientos registrados.

A.17.6 Huella hídrica en la Región del Biobío

En la Región del Biobío, la superficie destinada a Papa para el año 1989 corresponde a 5890ha, para 2000 corresponden a 4920ha y para el último año 2006 fue de 7100ha. En el caso de los rendimientos, se obtuvo 9,93ton/ha, 13ton/ha y 20,35ton/ha para los años 1989, 2000 y 2006 respectivamente.

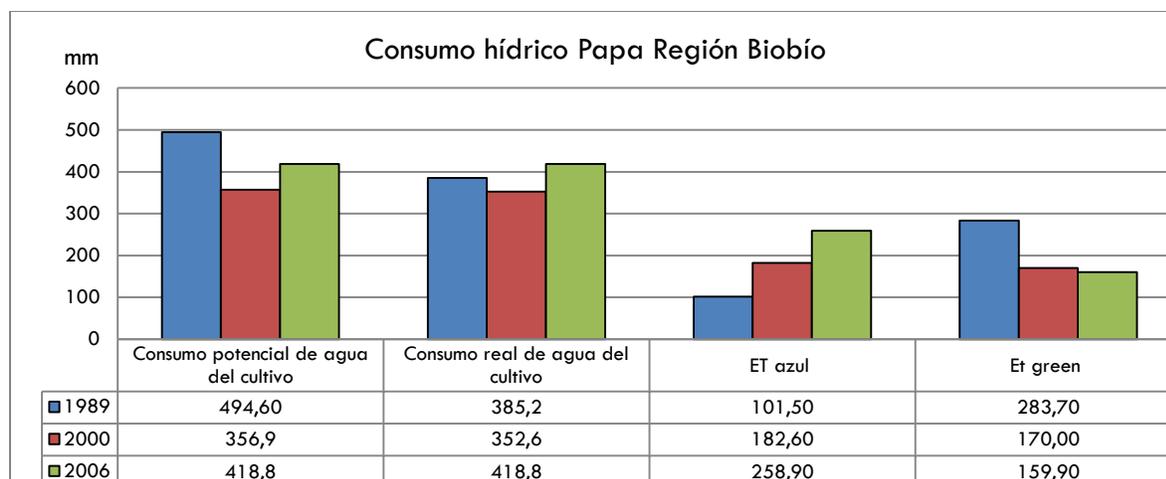


Figura A-A-239: Evapotranspiración potencial, real, verde y azul de la papa en la región del Biobío

Para los años estudiados en la región del Biobío se experimentó un variado y heterogéneo consumo potencial de agua para cultivo, esto se manifiesta también en el consumo real donde este último alcanzó su potencial solo en el año 2006. A diferencia de la región anterior acá es posible observar una tendencia creciente en el suministro de agua azul y una disminución sostenida en el suministro de agua verde. El aumento proporcional de agua azul en el consumo real está asociado en otras regiones a incrementos en los rendimientos por hectárea, si se presta atención a los rendimientos en los años 1989, 2000 y 2006 es posible apreciar también una tendencia creciente en ellos, registrando valores de 9,93 ton/ha, 13 ton/ha y 20,35 ton/ha respectivamente. Es interesante agregar además que la proporción de agua azul en el consumo real pasa de un 26,4% 1989 a un 61,8% en el año 2006, esto puede explicar el aumento en los rendimientos ya que una de las características importantes de dicho recurso es la entrega de agua de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo.

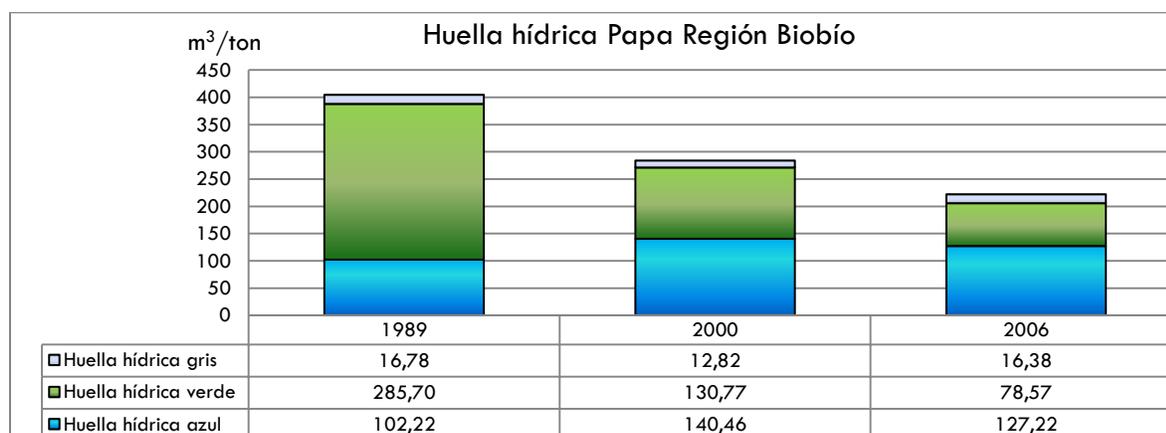


Figura A-A-240: Huella hídrica azul, verde y gris en m³/ton de la papa en la región del Biobío

La huella hídrica total para los años 1989, 2000 y 2006 fue de 404,7 m³/ton, 284,05 m³/ton y 222,17 m³/ton respectivamente. En 1989 se obtuvo la mayor huella hídrica total influenciada principalmente por los bajos rendimientos registrados, siendo el más bajo entre los 3 años como también estando por debajo a la productividad promedio regional⁴⁰. Es importante señalar que en dicho año el cultivo no alcanzó su consumo potencial de agua, haciendo que el abastecimiento hídrico real consumido fuera menor al óptimo dado por la demanda evaporativa atmosférica para un cultivo en condiciones estándar. Un consumo real de agua menor al potencial genera una menor huella hídrica total ya que se consume menos agua de la demandada por las condiciones climáticas y fisiológicas del cultivo, sin embargo en dicho año los rendimientos registrados estuvieron por debajo al promedio regional, por lo que la productividad en el uso de agua para generar el producto agrícola en 1989 fue la menor entre los 3 años analizados. Tal resultado está relacionado a que en dicho año el 73,7% del consumo real de agua es abastecido por agua verde que corresponde netamente a agua proveniente de precipitaciones, cuyo suministro en cantidad y tiempo no responden a las necesidades hídricas del cultivo. Para el año 2000 la huella hídrica total disminuye en un 29,8% si se compara con el año 1989, influenciado por un menor consumo real de agua por el cultivo como también por un incremento en los rendimientos por hectárea que se traducen en una mayor productividad en el uso de agua por unidad generada. En este año el consumo real de agua por el cultivo está compuesto en un 51,7% de agua azul, incrementando su valor en comparación a 1989, la huella hídrica azul en este año alcanza un 49,4% y la huella hídrica verde obtiene un 46%, tales diferencias con el consumo real de agua se debe a que este no considera el valor de la huella hídrica gris. Es interesante agregar que en otros casos estudiados un incremento en el suministro de agua azul en el consumo real está asociado a mayores rendimientos obtenidos. Finalmente para el año 2006 el valor de la huella hídrica es el menor entre los años estudiados cuyo valor corresponde al 54,9% de la huella hídrica total de 1989 y al 78,2% de la huella hídrica total del año 2000. El rendimiento de 20,35 ton/ha registrado en el año 2006 es el principal factor que provoca una disminución en la huella hídrica total del cultivo, ya que a pesar de existir un incremento en el consumo hídrico real que provoca un aumento en la huella hídrica, la cantidad de agua consumida por unidad generada es la menor entre los años estudiados debido al valor de la productividad.

La huella hídrica gris para 1989, 2000 y 2006 fue de 16,78 m³/ton, 12,82 m³/ton y 16,38 m³/ton respectivamente, tal valor está asociado a la dosis de nitrógeno referencial de acuerdo a rendimientos por hectáreas esperados. Para los años 1989 y 2006 se utilizó una dosis nitrogenada de 25 kg/ha que corresponde al rango de rendimientos mínimo esperado para el cultivo (Rodríguez, 1992). Para el 2009 se utilizó una dosis de 50 kg/ha para un rendimiento de 20,35 ton/ha, dicho valor corresponde a un rango de rendimientos esperados por lo que la estimación de la huella gris carece de precisión.

De manera paralela se estimó la huella hídrica de la Papa en el 2007 para realizar un análisis comparativo de las huellas hídricas de cultivos y frutales, estableciendo un parámetro temporal

⁴⁰ Este valor corresponde a 13,22 ton/ha y abarca rendimientos regionales desde 1980 hasta 2010.

determinado. Para el estudio de huella hídrica de la Papa se considera desde la Región de Coquimbo hasta la Región de los Lagos, debido a que solo en esas regiones se concentra el 93,5% de la producción de la Papa de Chile. La superficie total de Chile en producción de la Papa el año 2007 fue de 55.270ha, de las cuales 51.660ha se encuentran en las regiones estudiadas. En la Figura siguiente, se aprecia como esa superficie es distribuida entre las regiones estudiadas.

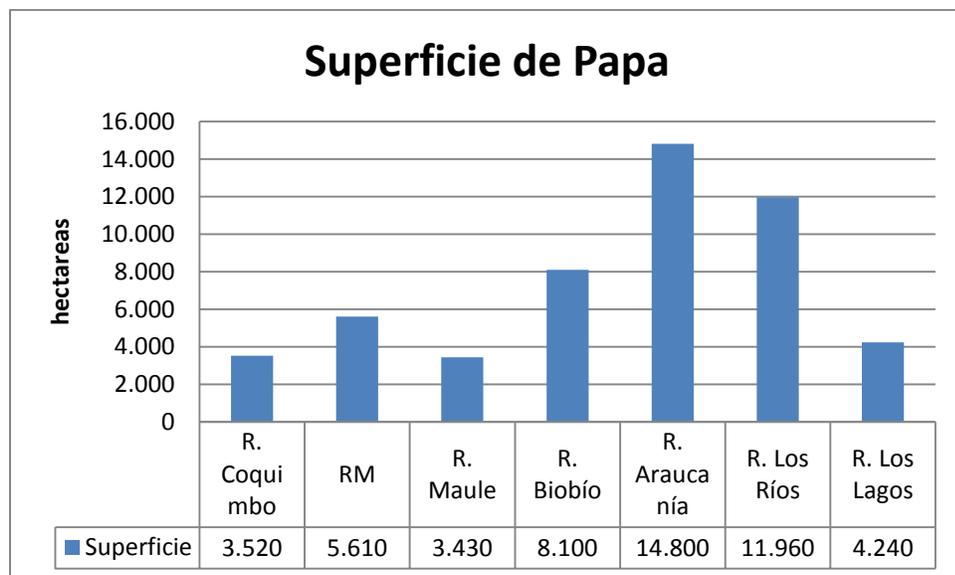


Figura A-A-241: Superficie de la Papa en las regiones con producción de Chile

En la Figura A-A-242, se aprecia los rendimientos obtenidos en la Papa para cada región estudiada, así se puede indicar que la Región de la Araucanía presenta el menor rendimiento en Papa y la Región de los Lagos y los Ríos el mayor rendimiento.

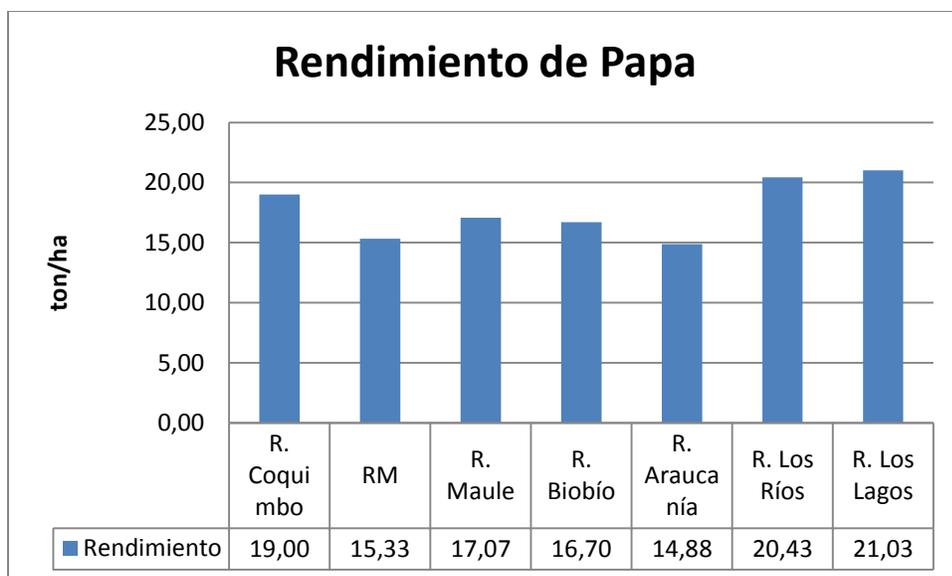


Figura A-A-242: Rendimiento de la Papa en las regiones con producción de Chile

En la Figura A-A-243, se aprecia que los consumos potenciales y reales de la Papa son similares en todas las regiones estudiadas el año 2007 y que de acuerdo a las condiciones del cultivo en cada región, el porcentaje de consumo representado por agua azul y verde varía en cada región. De acuerdo a la Figura, se puede apreciar que en la Región de Coquimbo, Metropolitana, Maule, Biobío, Araucanía, los Ríos y los Lagos el agua azul corresponde al 94,4%, al 80,7%, al 90,5%, al 83,5%, 73%, 66,6% y al 51,3% respectivamente, por lo tanto para las mismas regiones el agua verde representa el 5,6%, 19,3%, el 9,51%, 16,5%, 27%, 33,4% y el 48,7% respectivamente.

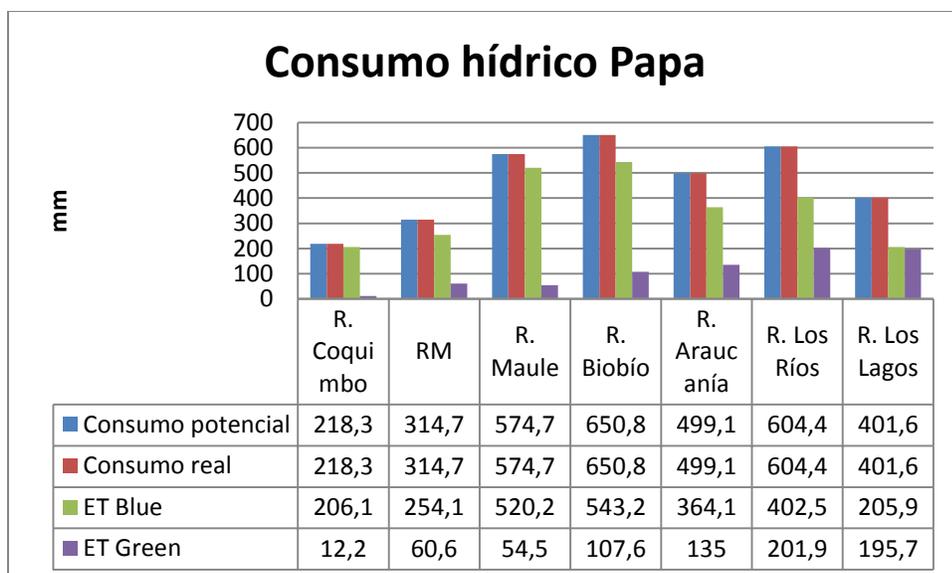


Figura A-A-243: Consumo potencial de agua, consumo real del agua, evapotranspiración azul y evapotranspiración verde

Se estimó que la huella hídrica de la Papa varía en cada región, adquiriendo mayor o menor importancia la participación del agua verde, azul y gris. Como se aprecia en la Figura, las regiones con mayores valores de huella hídrica son la Región del Maule, Biobío y Araucanía, en donde también se producen las mayores participaciones de huella hídrica azul sobre la huella total. Por otro lado las regiones de la Araucanía, los Ríos y los Lagos presentan los mayores valores de huella hídrica verde. En relación a la huella hídrica gris el mayor valor se da en la región de los Lagos debido a la mayor dosis de nitrógeno utilizada en la zona.

Los mayores y menores valores de huella hídrica obtenidos en las distintas regiones para Papa, indica los volúmenes de agua utilizada y el tipo de agua utilizada en la región.

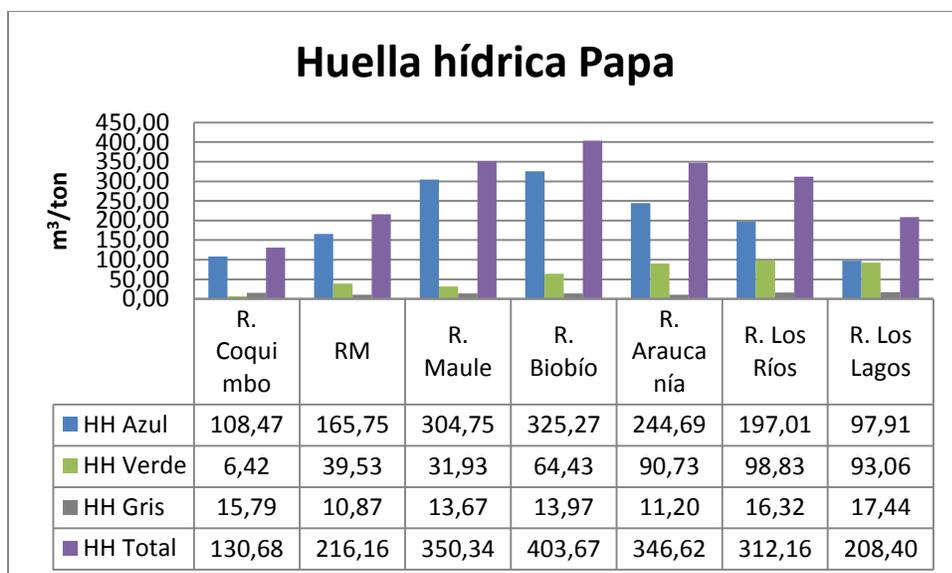


Figura A-A-244: Huella hídrica total, azul, verde y gris de la Papa, para cada región de Chile

De acuerdo a los valores de huella hídrica estimados se obtuvo un promedio de huella hídrica de la Papa en Chile, el cual corresponde a $281,15\text{m}^3/\text{ton}$, de este valor $206,26\text{m}^3/\text{ton}$ representan la huella hídrica azul, $60,7\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica verde y $14,18\text{m}^3/\text{ton}$ la huella hídrica gris. Por otro lado, Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), indican que la huella hídrica de la Papa a nivel mundial corresponde a $287\text{m}^3/\text{ton}$, valor del cual $33\text{m}^3/\text{ton}$ corresponden a huella hídrica azul, $191\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica verde y $63\text{m}^3/\text{ton}$ a huella hídrica gris. Como se aprecia en la Figura A-A-245, la huella hídrica de la Papa en Chile corresponde al 98% de la huella hídrica mundial, a su vez la huella hídrica azul de Chile sobrepasa en un 525% a la huella hídrica azul mundial y la huella hídrica verde y de gris de Chile corresponden al 31,7% y 22,5% respectivamente del valor mundial.

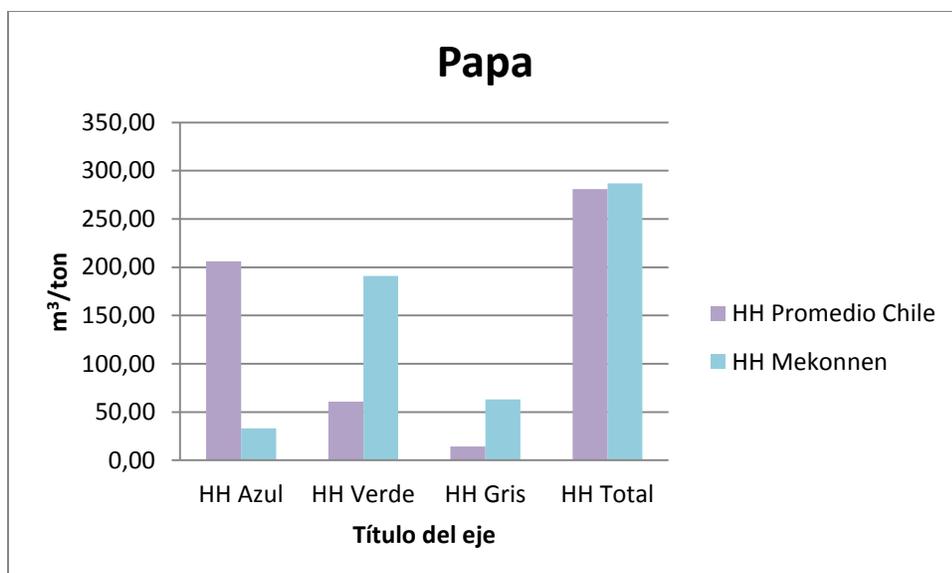


Figura A-A-245: Comparación entre la huella hídrica de la Papa en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.18 Huella hídrica Alfalfa (*Medicago sativa*)

La Alfalfa es un especie demandante de agua, sin embargo la requiere de forma fraccionada, variando sus necesidades a los largo del ciclo productivo. Es necesaria una adecuada humedad en el suelo ya sea por lluvia o riego para el crecimiento vegetativo temprano, y luego una reducción gradual a partir de la floración.

Se consideran para el estudio de huella hídrica de la Alfalfa desde la Región de Atacama hasta la Región de Magallanes, excepto la Región de los Lagos, debido a que solo en esas regiones se concentra el 94,9% de la producción de Alfalfa de Chile. La superficie total de Chile con Alfalfa el año 2007 fue de 60.659,98ha, de las cuales 57.545,7ha se encuentran en las regiones estudiadas.

A.18.1 Huella hídrica Región de Atacama

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región de Atacama en el año 2007 corresponde a 2.066ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

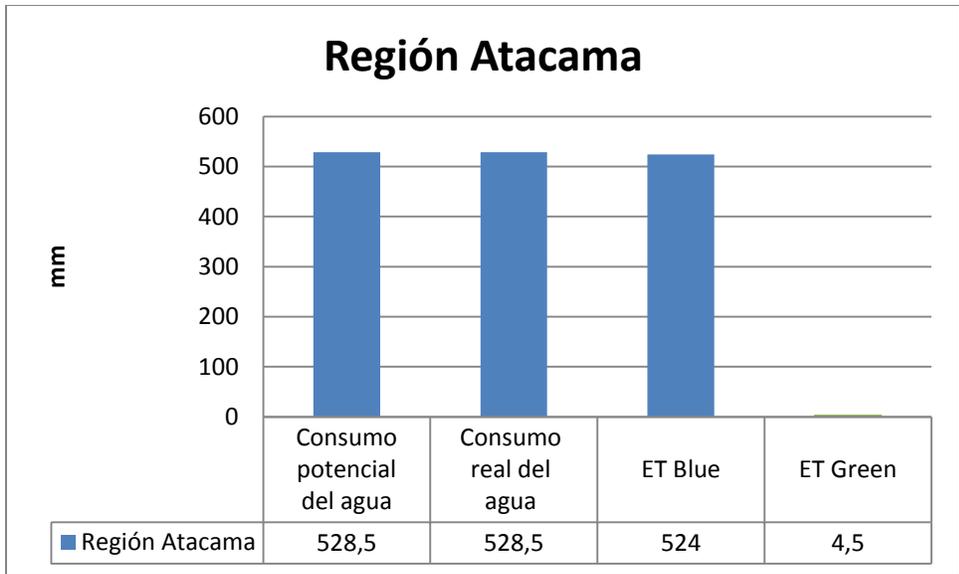


Figura A-A-246: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Atacama

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Atacama y como se aprecia en la Figura A-A-246, corresponde a 528,5mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 99,1% y el agua verde a 0,9%.

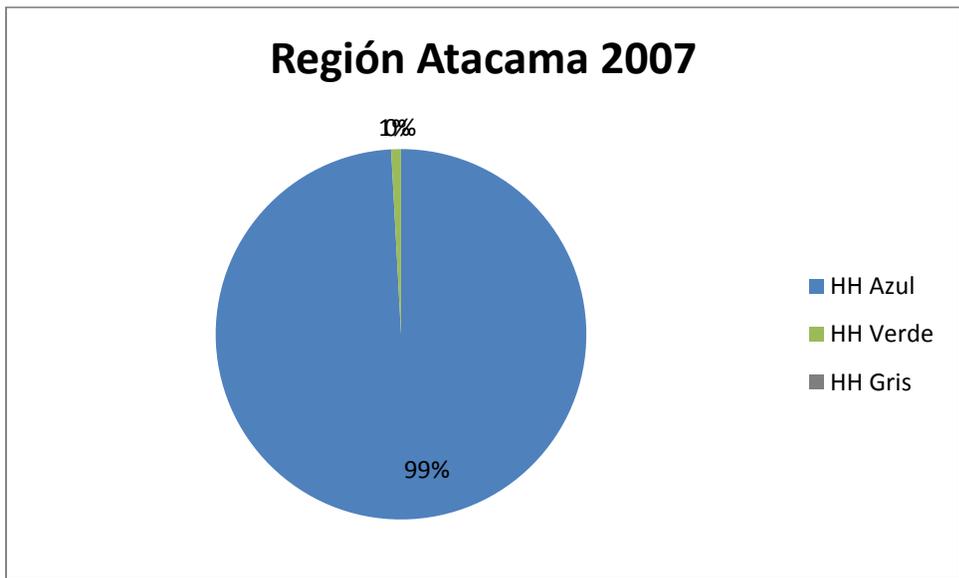


Figura A-A-247: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Atacama

La huella hídrica obtenida en la Región de Atacama para la Alfalfa el año 2007, corresponde a 330,3m³/ton, de ese valor el 99% lo representa el agua azul con un valor de 327,5m³/ton, y el 1% corresponde a agua verde con 2,8m³/ton.

A.18.2 Huella hídrica Región de Coquimbo

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región de Coquimbo en el año 2007 corresponde a 4.910ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

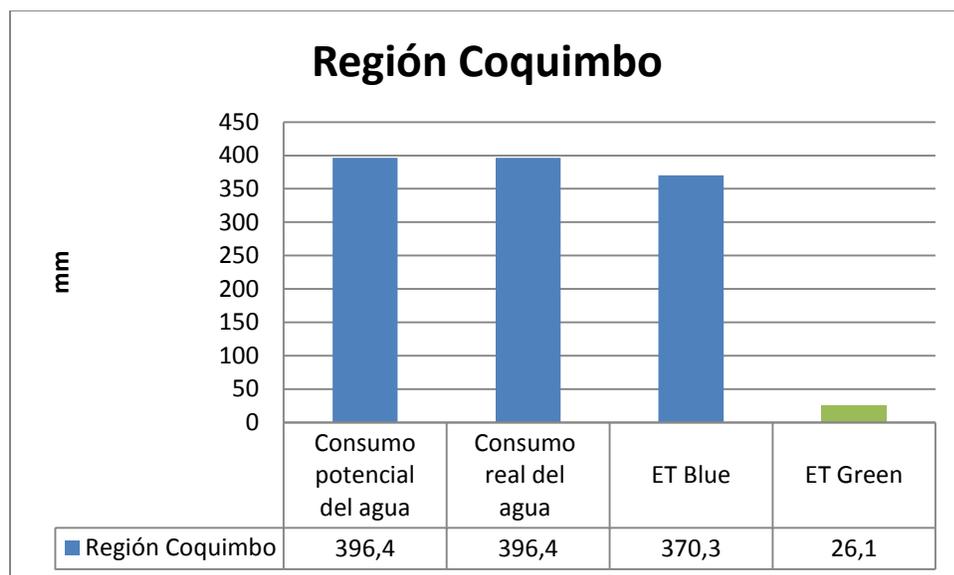


Figura A-A-248: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Coquimbo

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Coquimbo y como se aprecia en la Figura A-A-248, corresponde a 396,4mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 93,4% y el agua verde a 6,6%.

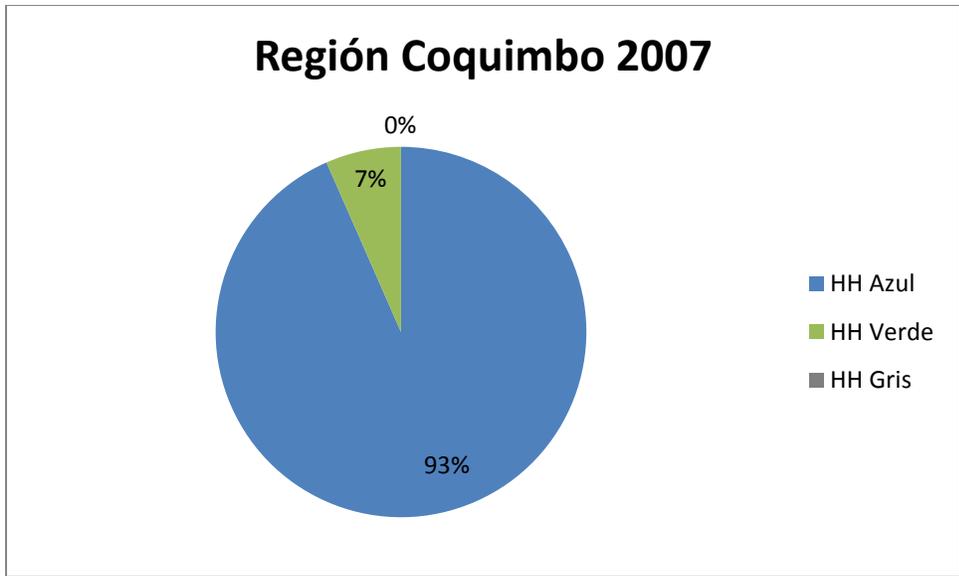


Figura A-A-249: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Coquimbo

La huella hídrica obtenida en la Región de Coquimbo para la Alfalfa el año 2007, corresponde a $247,75\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 93% lo representa el agua azul con un valor de $231,4\text{m}^3/\text{ton}$, y el 7% corresponde a agua verde con $16,3\text{m}^3/\text{ton}$.

A.18.3 Huella hídrica Región de Valparaíso

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región de Valparaíso en el año 2007 corresponde a 7.203ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

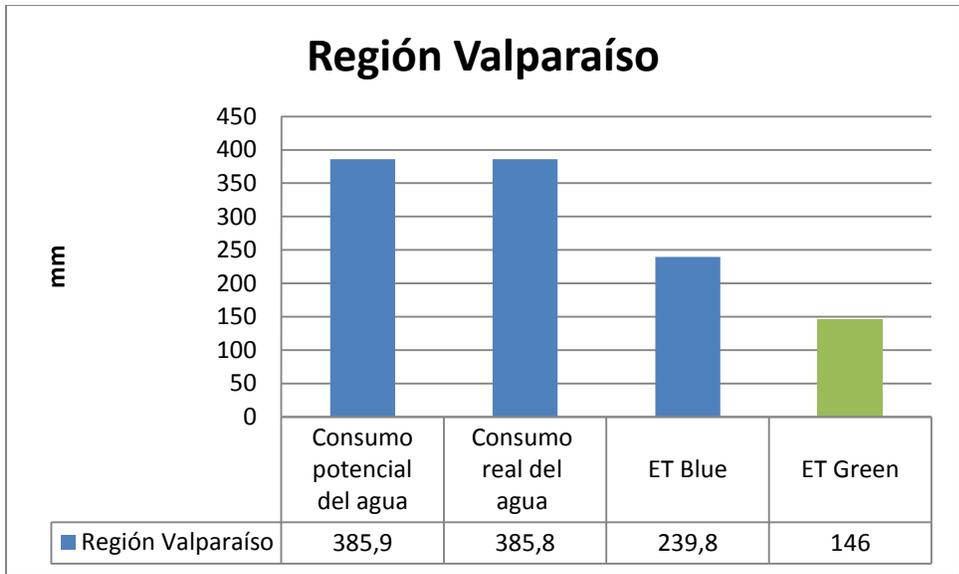


Figura A-A-250: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Valparaíso

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Valparaíso y como se aprecia en la Figura A-A-250, corresponde a 385,9mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 62,1% y el agua verde a 37,9%.

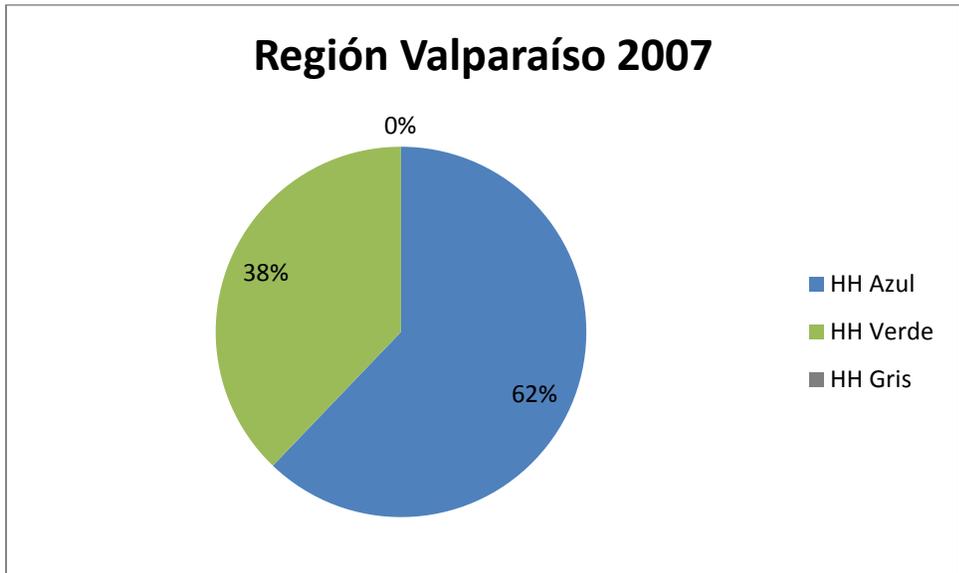


Figura A-A-251: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Valparaíso

La huella hídrica obtenida en la Región de Valparaíso para la Alfalfa el año 2007, corresponde a 241,1m³/ton, de ese valor el 62% lo representa el agua azul con un valor de 149,9m³/ton, y el 38% corresponde a agua verde con 91,3m³/ton.

A.18.4 Huella hídrica Región Metropolitana

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región Metropolitana en el año 2007 corresponde a 13.914ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

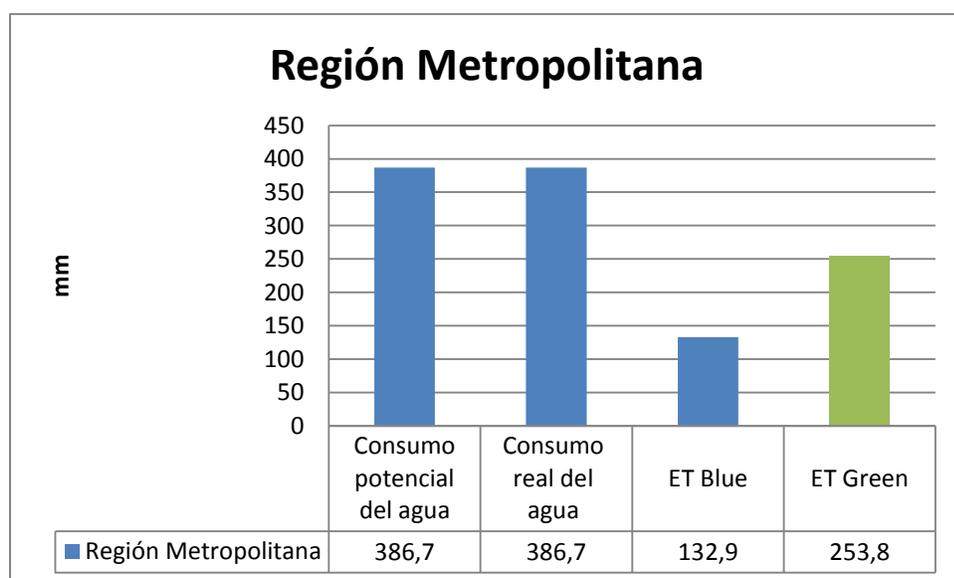


Figura A-A-252: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región Metropolitana

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región Metropolitana y como se aprecia en la Figura A-A-252, corresponde a 386,7mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 34,4% y el agua verde a 65,6%.

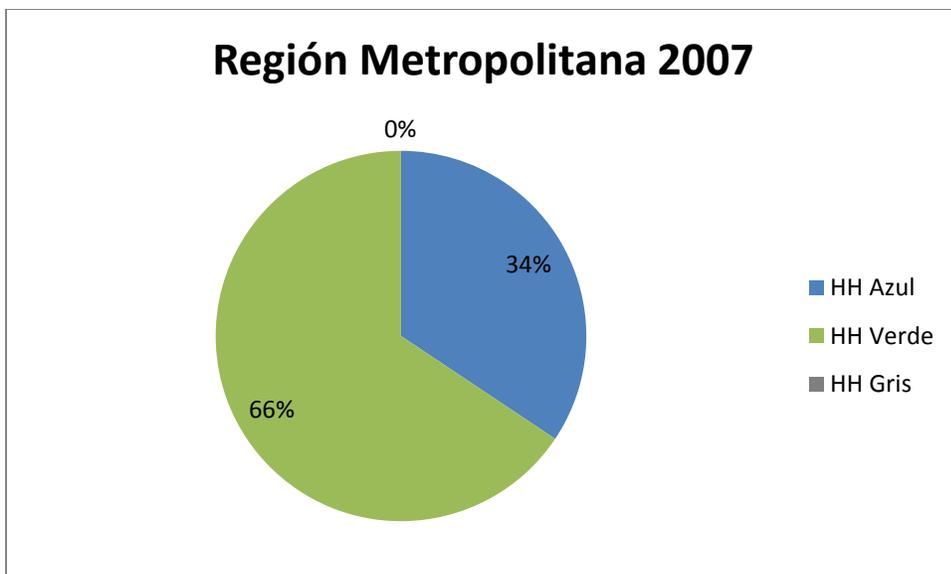


Figura A-A-253: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región Metropolitana

La huella hídrica obtenida en la Región Metropolitana para la Alfalfa el año 2007, corresponde a $241,7\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 34% lo representa el agua azul con un valor de $83,06\text{m}^3/\text{ton}$, y el 66% corresponde a agua verde con $158,6\text{m}^3/\text{ton}$.

A.18.5 Huella hídrica Región de O'Higgins

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región de O'Higgins en el año 2007 corresponde a 7.546ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

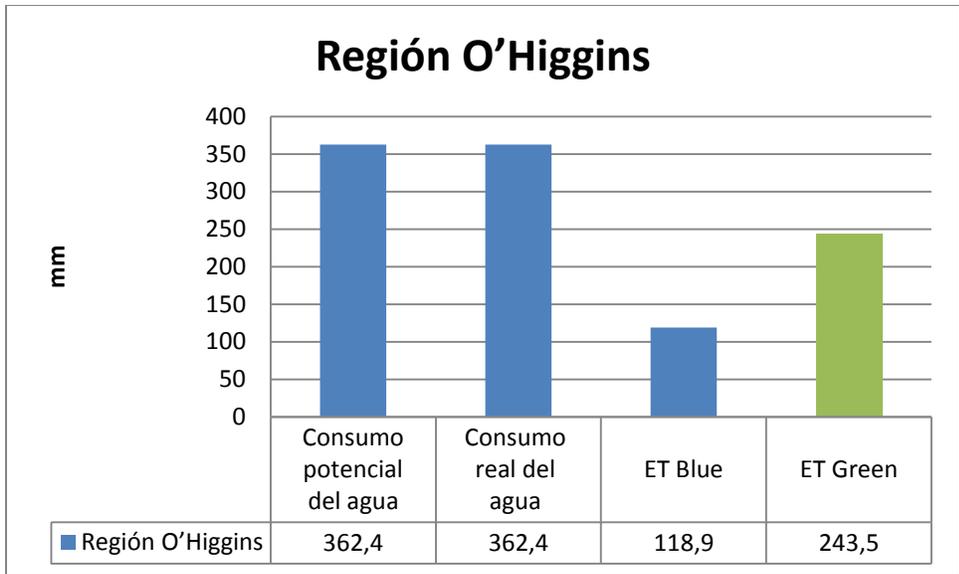


Figura A-A-254: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de O'Higgins

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de O'Higgins y como se aprecia en la Figura A-A-254, corresponde a 362,4mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 32,8% y el agua verde a 67,2%.

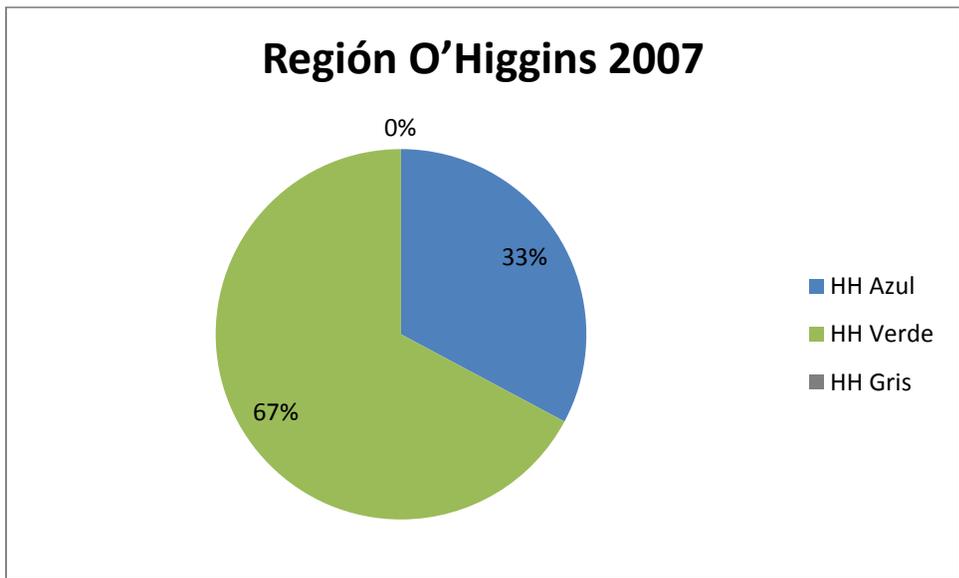


Figura A-A-255: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de O'Higgins

La huella hídrica obtenida en la Región de O'Higgins para la Alfalfa el año 2007, corresponde a 226,5m³/ton, de ese valor el 33% lo representa el agua azul con un valor de 74,3m³/ton, y el 67% corresponde a agua verde con 152,2m³/ton.

A.18.6 Huella hídrica Región del Maule

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región del Maule en el año 2007 corresponde a 5.817ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

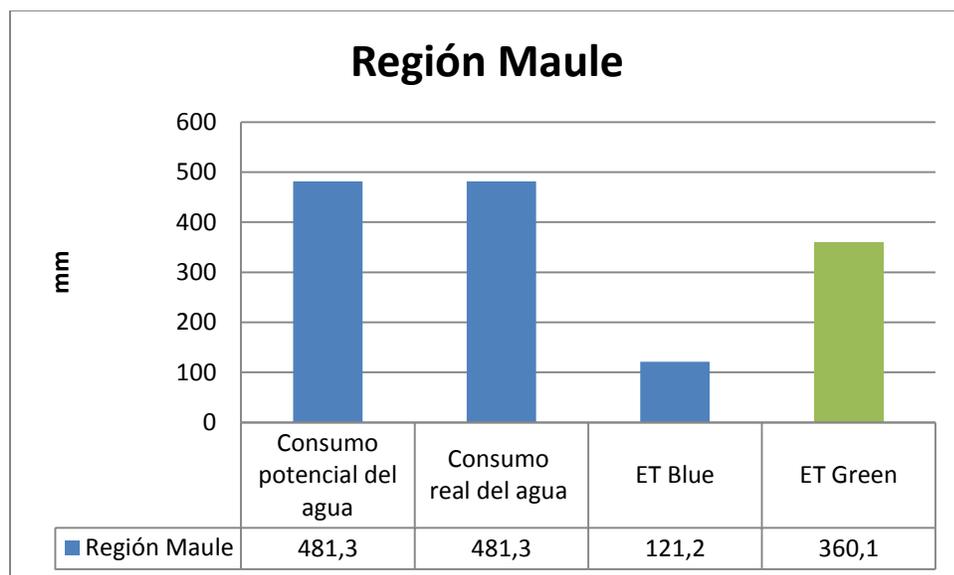


Figura A-A-256: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región del Maule.

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región del Maule y como se aprecia en la Figura A-A-256, corresponde a 481,3mm. De este consumo el consumo de agua azul corresponde al 25,2% y el agua verde a 74,8%.

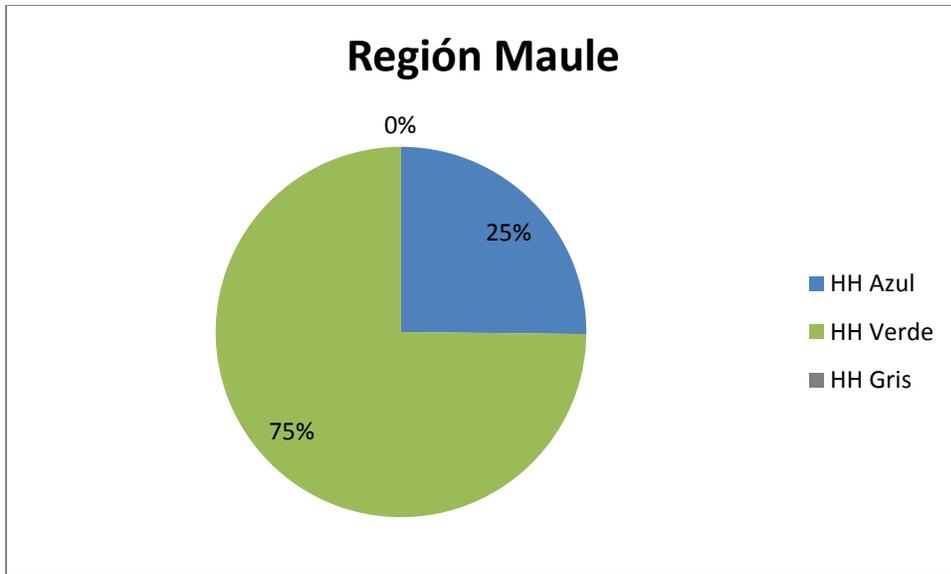


Figura A-A-257: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región del Maule

La huella hídrica obtenida en la Región del Maule para la Alfalfa el año 2007, corresponde a $300,8\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 25% lo representa el agua azul con un valor de $75,75\text{m}^3/\text{ton}$, y el 75% corresponde a agua verde con $225,06\text{m}^3/\text{ton}$.

A.18.7 Huella hídrica Región del Biobío

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región del Biobío en el año 2007 corresponde a 7.891ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

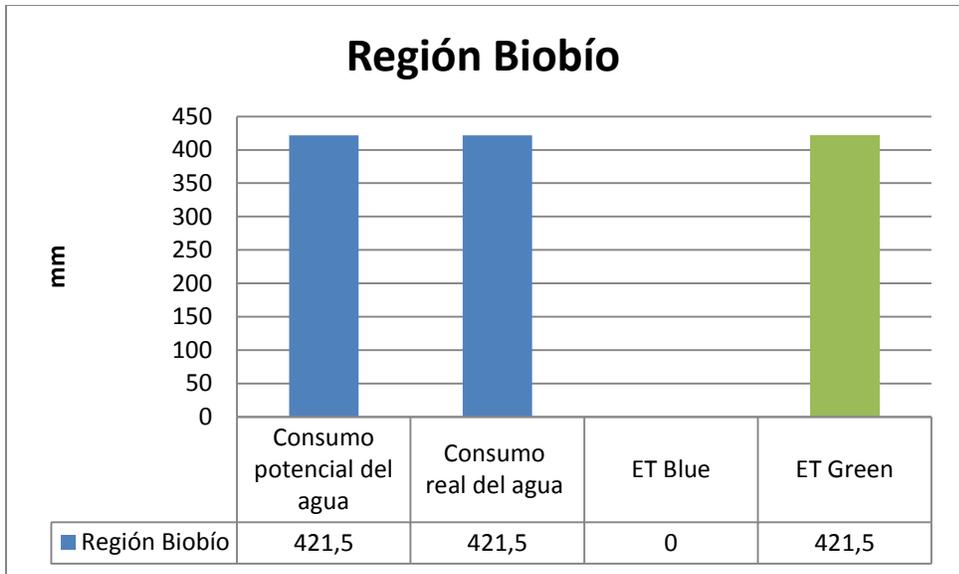


Figura A-A-258: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región del Biobío

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región del Biobío y como se aprecia en la Figura A-A-258, corresponde a 421,5mm. De este consumo el consumo el agua verde representa el 100%.

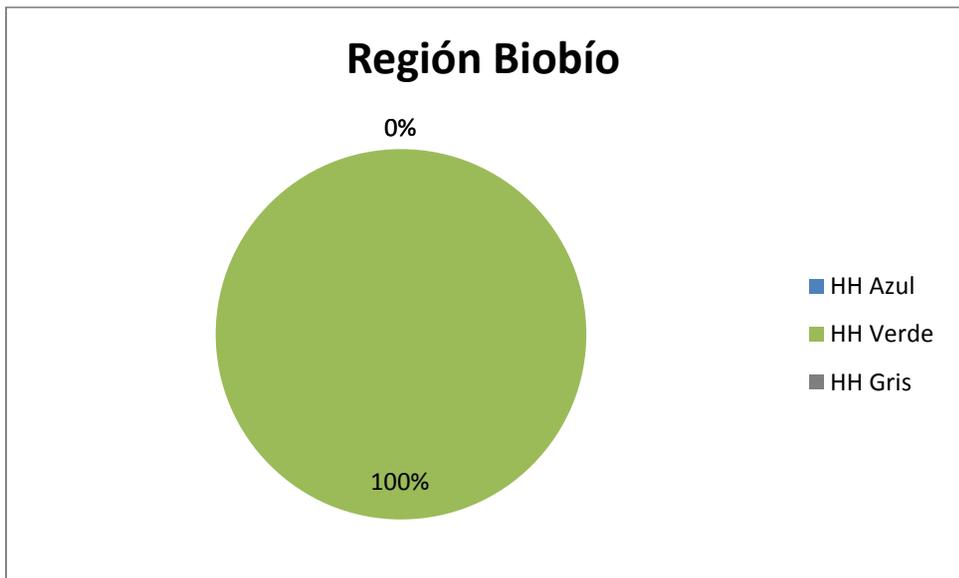


Figura A-A-259: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región del Biobío

La huella hídrica obtenida en la Región del Biobío para la Alfalfa el año 2007, corresponde a 263,43m³/ton, de ese valor el 100% corresponde a agua verde proveniente de precipitaciones.

A.18.8 Huella hídrica Región de la Araucanía

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región de la Araucanía en el año 2007 corresponde a 2.793ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

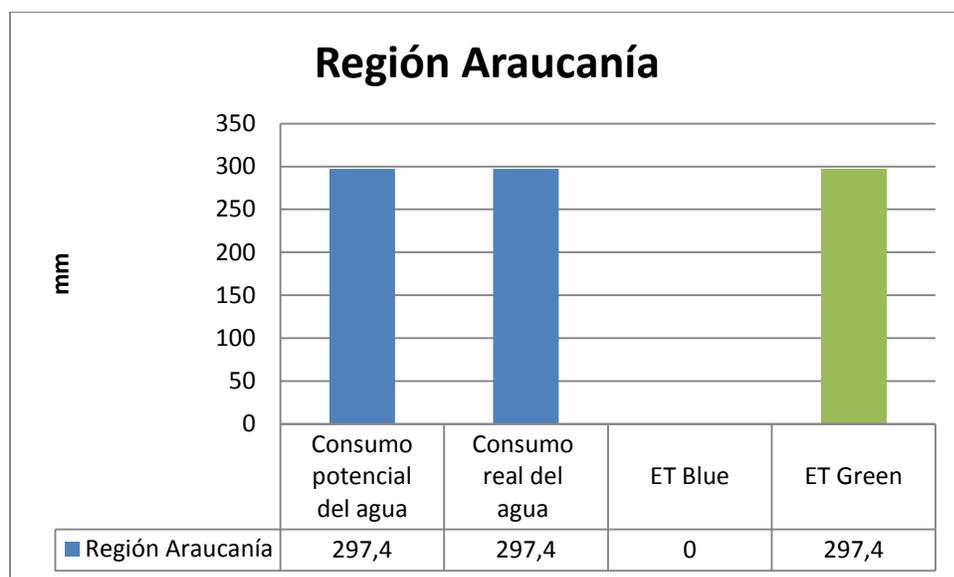


Figura A-A-260: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de la Araucanía

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de la Araucanía y como se aprecia en la Figura A-A-260, corresponde a 297,4mm. De este consumo la evapotranspiración verde corresponde al 100%.

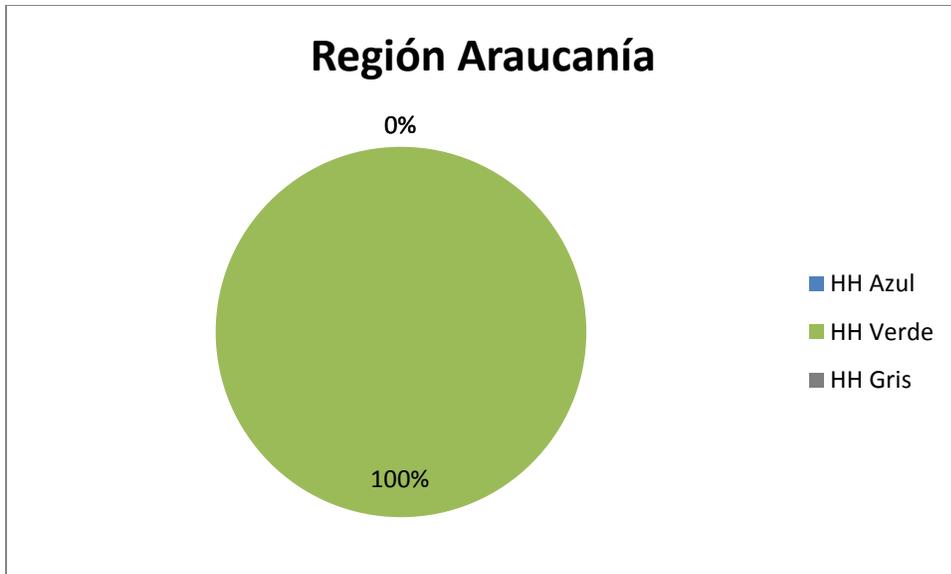


Figura A-A-261: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de la Araucanía

La huella hídrica obtenida en la Región de la Araucanía para la Alfalfa el año 2007, corresponde a $185,88\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 100% está determinado por la huella hídrica verde de la Alfalfa.

A.18.9 Huella hídrica Región de los Ríos

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región de los Ríos en el año 2007 corresponde a 1.022ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

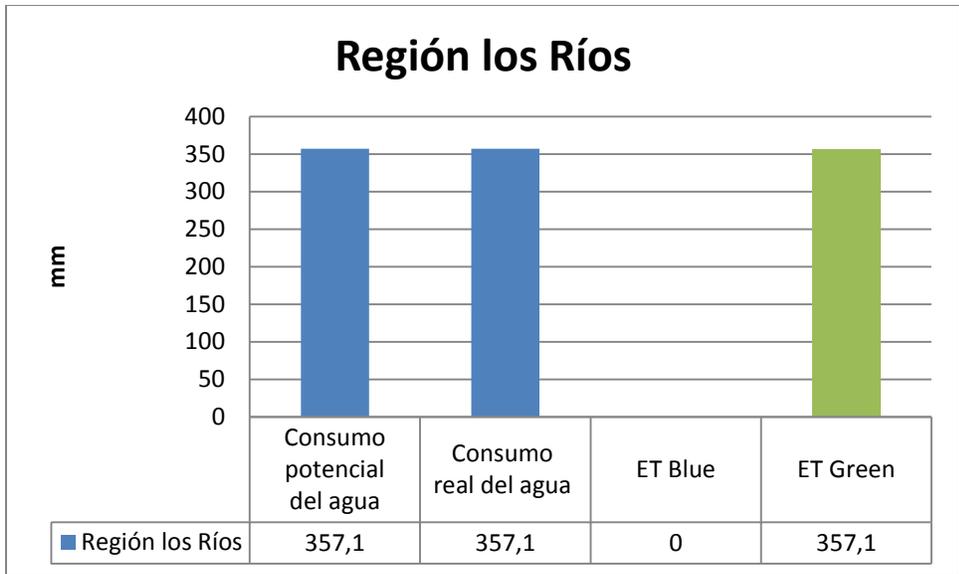


Figura A-A-262: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de los Ríos

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de los Ríos y como se aprecia en la Figura A-A-262, corresponde a 357,1mm. De este consumo, el consumo de agua verde corresponde al 100%.

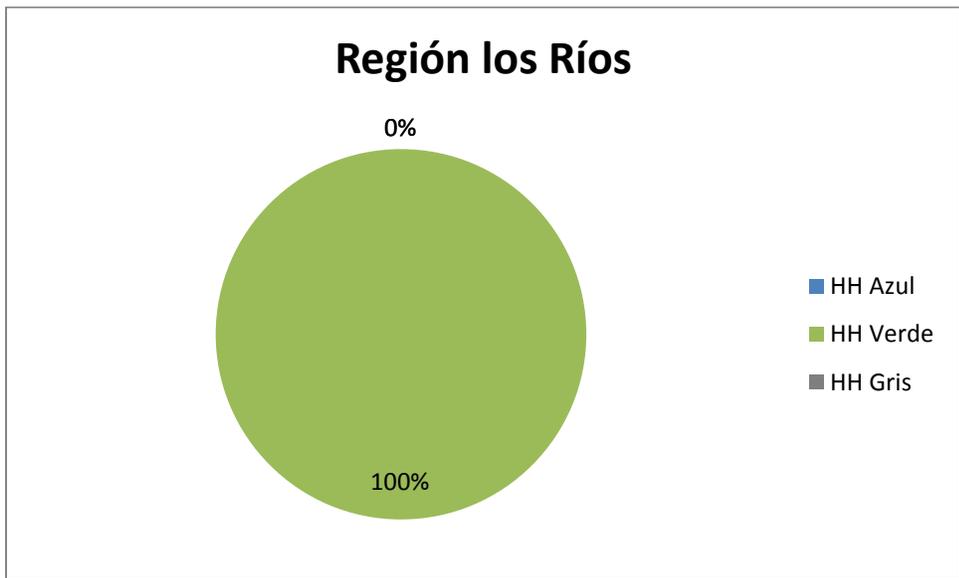


Figura A-A-263: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de los Ríos

La huella hídrica obtenida en la Región de los Ríos para la Alfalfa el año 2007, corresponde a 223,19m³/ton, que en su totalidad corresponde a agua verde.

A.18.10 Huella hídrica Región de Aysén

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región de Aysén en el año 2007 corresponde a 1.425ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a 16ton/ha.

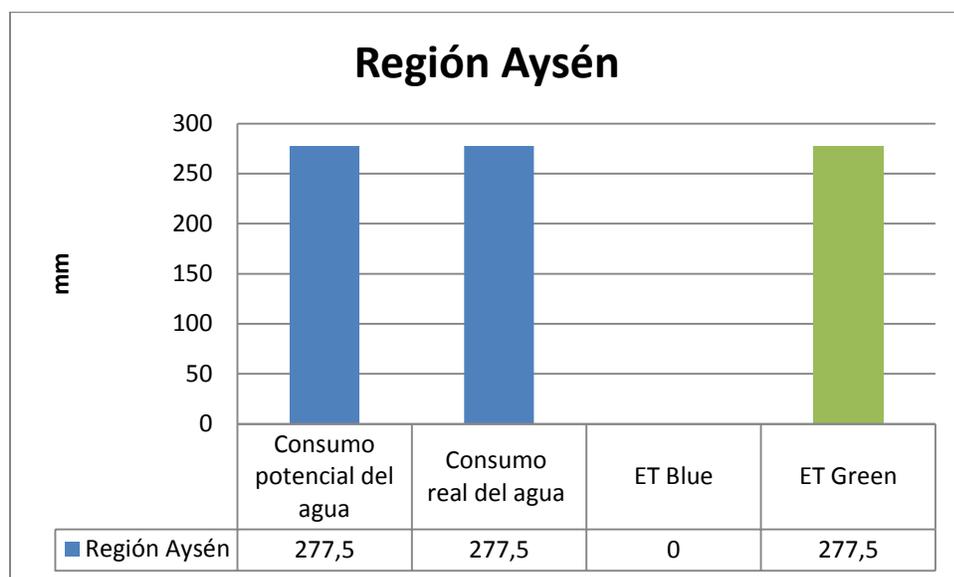


Figura A-A-264: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Aysén

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Aysén y como se aprecia en la Figura A-A-264, corresponde a 277,5mm. De este consumo el consumo 100% corresponde a agua verde.

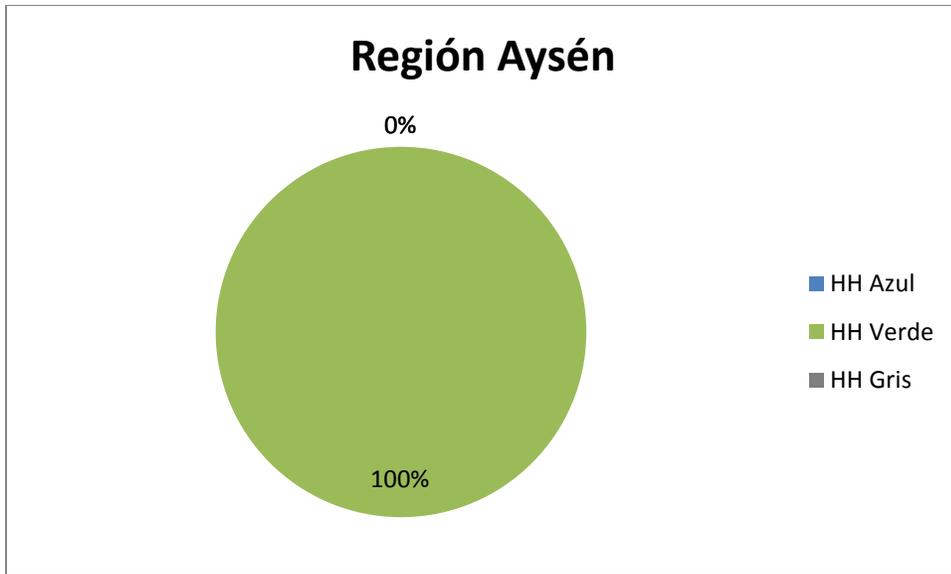


Figura A-A-265: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Aysén

La huella hídrica obtenida en la Región de Aysén para la Alfalfa el año 2007, corresponde a $173,44\text{m}^3/\text{ton}$, de ese valor el 100% está representado por la huella hídrica verde.

A.18.11 Huella hídrica Región de Magallanes

La superficie destinada a la Alfalfa en la Región de Magallanes en el año 2007 corresponde a 2.960ha y el rendimiento promedio en la zona estudiada a $16\text{ton}/\text{ha}$.

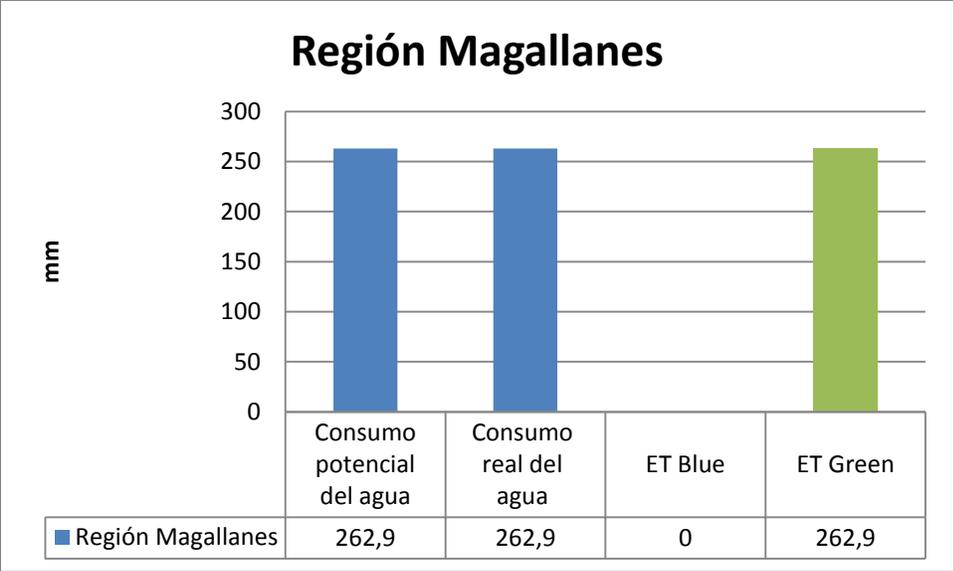


Figura A-A-266: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de la Alfalfa en la Región de Magallanes

El consumo real de agua en la Alfalfa es equivalente al consumo potencial de agua en la Región de Magallanes y como se aprecia en la Figura A-A-266, corresponde a 262,9mm. De este consumo, la evapotranspiración verde corresponde al 100%.

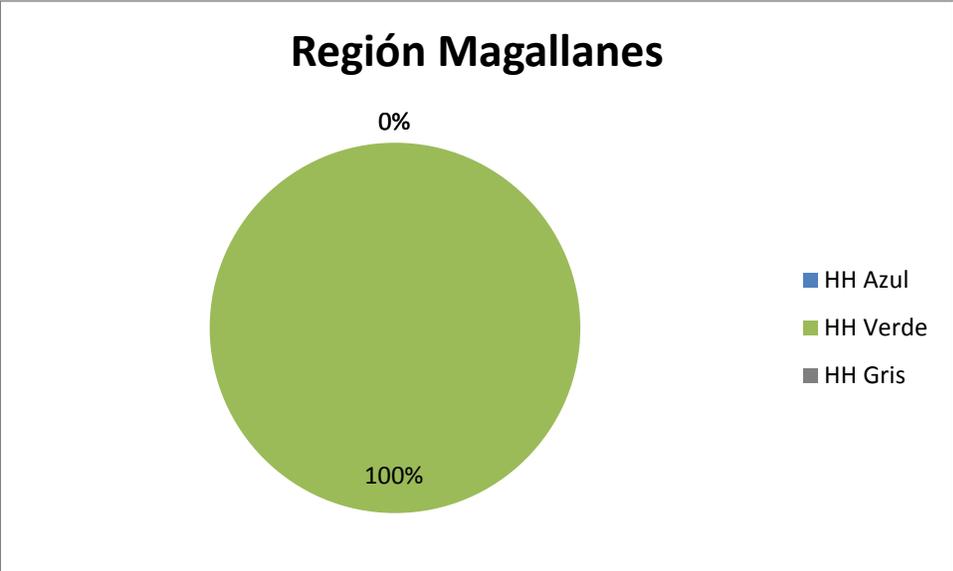


Figura A-A-267: Huella hídrica azul, verde y gris de la Alfalfa en la Región de Magallanes

La huella hídrica obtenida en la Región de Magallanes para la Alfalfa el año 2007, corresponde a 164,3m³/ton, de ese valor la totalidad corresponde a huella hídrica verde, debido a la disponibilidad de recurso hídricos proveniente de precipitaciones en la zona.

Analizando los valores de las huellas hídricas de las regiones estudiadas se puede indicar que la Región de Atacama y del Maule representa los mayores valores de huella hídrica determinada en el primer caso principalmente por el agua azul y en el Maule por el agua verde. Por otro lado, los menores valores de huella hídrica para la producción de Alfalfa se obtienen en la Región de Magallanes y Aysén, donde la huella hídrica está totalmente determinada por el uso de agua verde. Se aprecia también de la Figura AA-268, que la huella hídrica varía bastante de una región a otra, siendo más relevante la participación del agua azul hacia el norte y disminuyendo de forma progresiva en las regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule, donde comienza a adquirir importancia la huella hídrica verde, hasta corresponder a la totalidad de la huella hídrica a partir de la Región del Biobío.

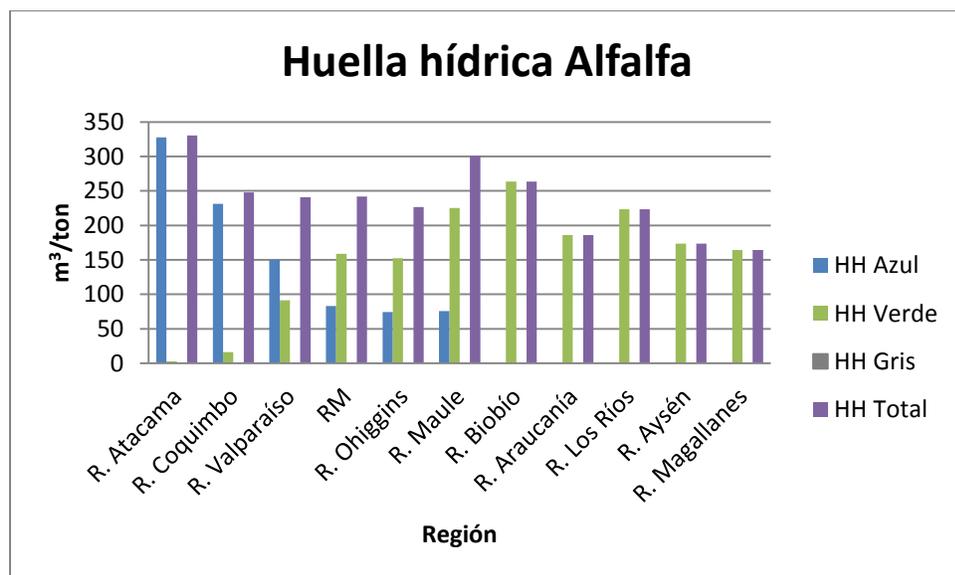


Figura AA-268: Huella hídrica total, azul, verde y gris de La Alfalfa, para cada región de Chile

Si realizamos una huella hídrica promedio de la Alfalfa en Chile, obtenemos un valor total de 236,2m³/ton, de este valor, 85,6m³/ton corresponden a huella hídrica azul y 150,6m³/ton a huella hídrica verde.

A.19 Huella hídrica Uva vinífera (*Vitis vinífera*)

Pertenciente a la familia Vitaceae, es una especie frutal que requiere de climas templados mediterráneos, con estaciones bien definidas para su desarrollo fenológico. Es una planta con resistencia al estrés hídrico, sin embargo este tiene importantes efectos en la producción, donde el rol principal del agua es la generación de un buen crecimiento vegetativo y desarrollo fenológico.

La escasez de agua y el consecuente estrés hídrico, provocan una disminución e interrupción del crecimiento vegetativo, afectando el área foliar, el crecimiento y tamaño de las bayas, el nivel de sólidos solubles, la coloración de las mismas por mencionar algunos.

Generalmente en las zonas de producción de Uva vinífera en Chile, la escasa y ausencia presencia de precipitaciones estivales, permite regular la cantidad de humedad presente en el suelo, exclusivamente por riego. Esto es relevante para el correcto desarrollo de la época productiva, ya que se disminuyen significativamente la posibilidad de enfermedades por ambientes húmedos, particularmente las ocasionadas por hongos.

El correcto suministro de agua como también la entrega oportuna del recurso permite obtener buenos resultados productivos tanto en mayor producción por hectárea, como también en producciones menores pero con mayor calidad.

A.19.1 Huella hídrica Región de Coquimbo.

La superficie destinada en la Región de Coquimbo a Uva Vinífera corresponde a 12.200ha, y el rendimiento promedio en la zona es de 2ton/ha.

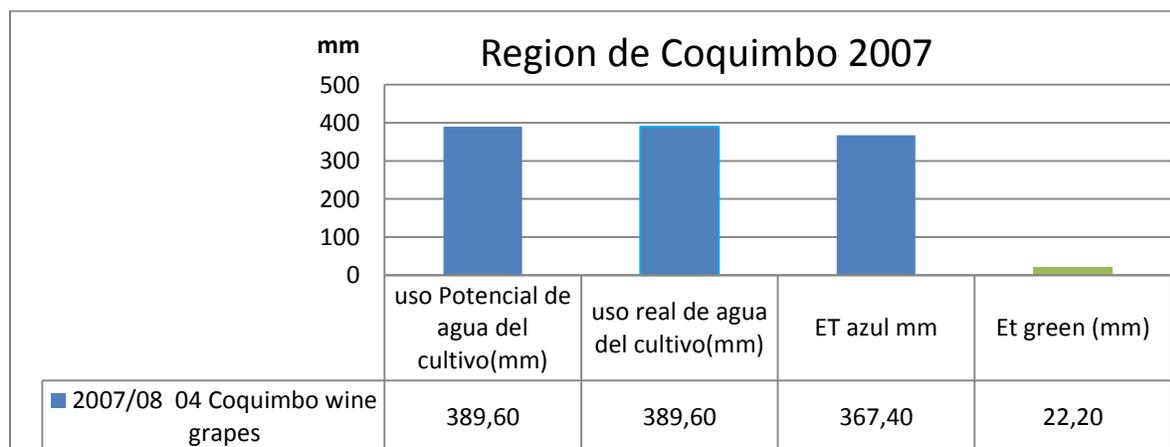


Figura A-A-269: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región de Coquimbo

De acuerdo a la Figura, el consumo potencial y real son equivalentes a 389,6mm, de que la evapotranspiración azul corresponde al 94,3% del consumo y la evapotranspiración verde al 5,7%.

La huella hídrica obtenida en esta región corresponde a 1.948m³/ton, de los cuales el 94% proviene de agua azul con un valor de 1.837m³/ton y el 6% a agua verde con un valor de 111m³/ton, en relación a la huella hídrica gris, no se posee información.

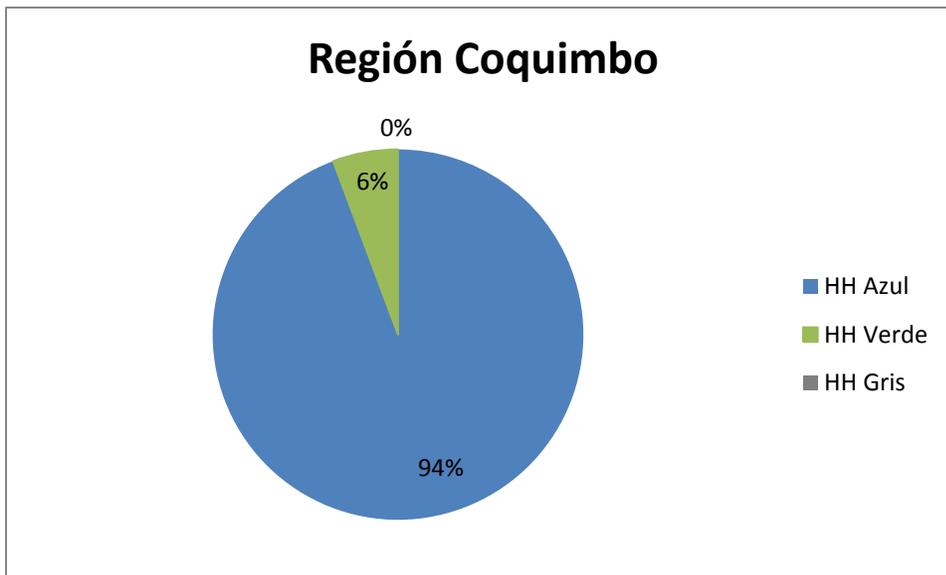


Figura A-A-270: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región de Coquimbo

A.19.2 Huella hídrica Región Valparaíso

La superficie destinada en la Región de Valparaíso de Uva Vinífera corresponde a 7.225ha y el rendimiento promedio es de 1,05ton/ha.

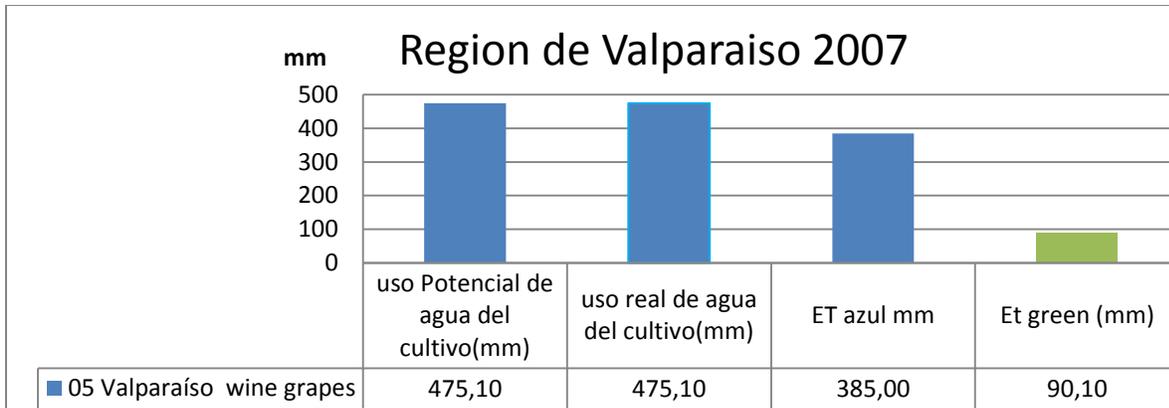


Figura A-A-271: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región de Valparaíso

De acuerdo a la Figura, el consumo potencial y real son equivalentes a 475,1mm, de que la evapotranspiración azul corresponde al 81,1% del consumo y la evapotranspiración verde al 18,9%.

La huella hídrica obtenida en esta región corresponde a 4.524,8m³/ton, de los cuales el 81% proviene de agua azul con un valor de 3.666,7m³/ton y el 19% a agua verde con un valor de 858,1m³/ton, en relación a la huella hídrica gris, no se posee información.

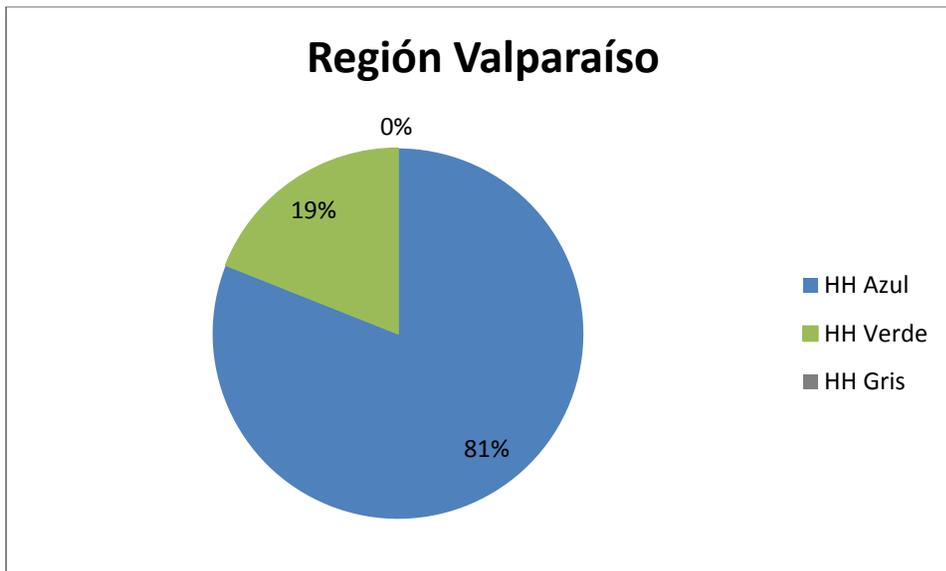


Figura A-A-272: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región de Valparaíso

A.19.3 Huella hídrica Región Metropolitana

La Región Metropolitana presenta en el 2007 una superficie de 12.064ha de Uva Vinífera, y un rendimiento promedio de 1,05ton/ha. El consumo real del cultivo iguala el consumo potencial, correspondiendo el 88,1% a evapotranspiración azul y el 11,9% a evapotranspiración verde.

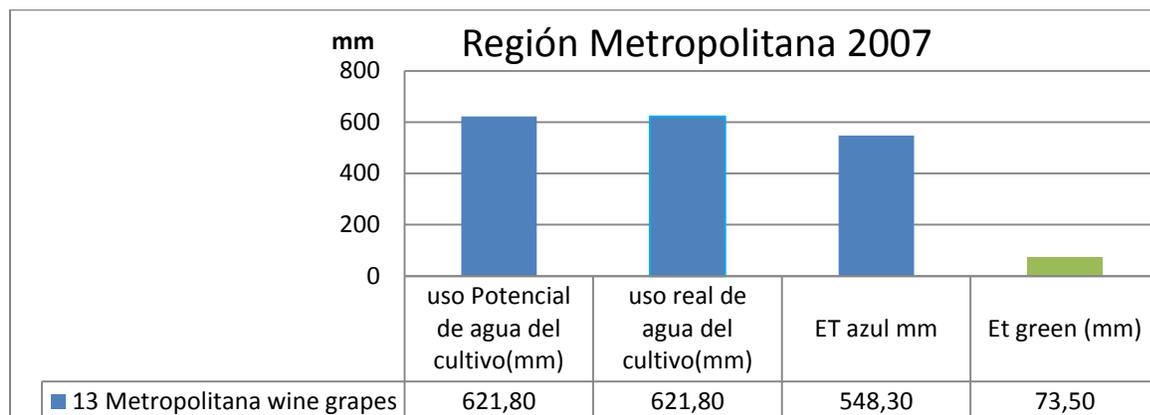


Figura A-A-273: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región de Metropolitana

La huella hídrica obtenida en esta región para la Uva vinífera es de 5.921,9m³/ton, de los cuales el 88% proviene de agua azul con un valor de 5.221,9m³/ton y el 12% a agua verde con un valor de 700m³/ton, en relación a la huella hídrica gris, no se posee información.

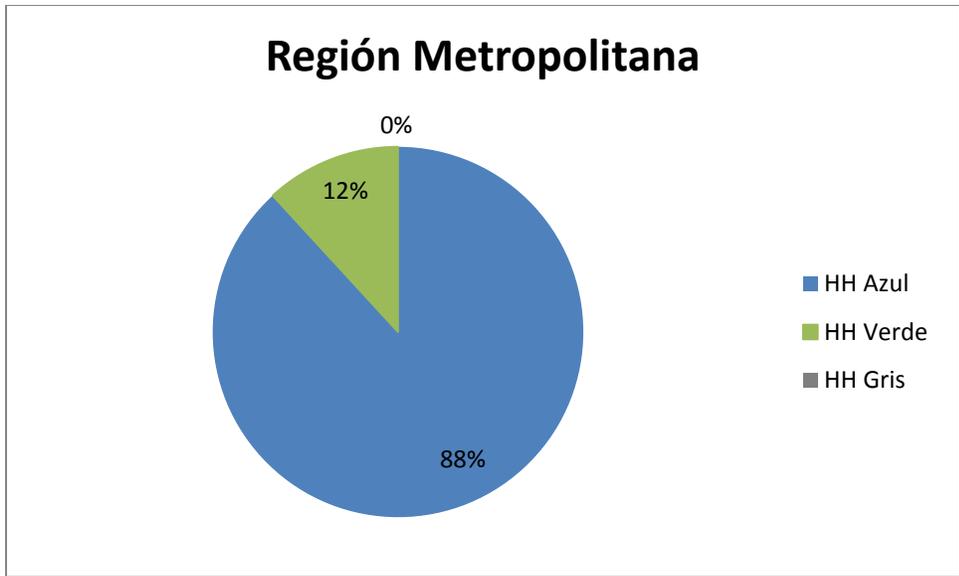


Figura A-A-274: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región Metropolitana

A.19.4 Huella hídrica Región de O'Higgins

En la Región de O'Higgins, la superficie destinada a Uva Vinífera el año 2007 corresponde a 35.528ha y el rendimiento promedio en la región a 1,15ton/ha.

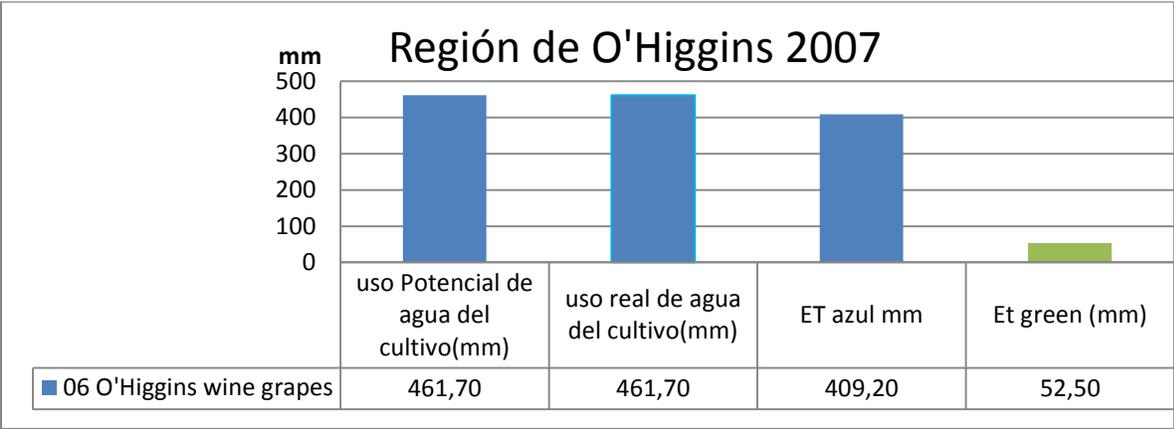


Figura A-A-275: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región de O'Higgins

De acuerdo a esta información se aprecia en la Figura, que la evapotranspiración azul corresponde al 88,6% del consumo real del agua, en función al uso real de agua por el cultivo.

A su vez es, importante considerar que solo el 11,4% del consumo real de agua proviene de evapotranspiración verde.

La huella hídrica obtenida en esta región para la Uva vinífera es de 4.014,8m³/ton, de los cuales el 89% proviene de agua azul con un valor de 3.558,3 m³/ton y el 11% a agua verde con un valor de 456,5m³/ton, en relación a la huella hídrica gris, no se posee información.

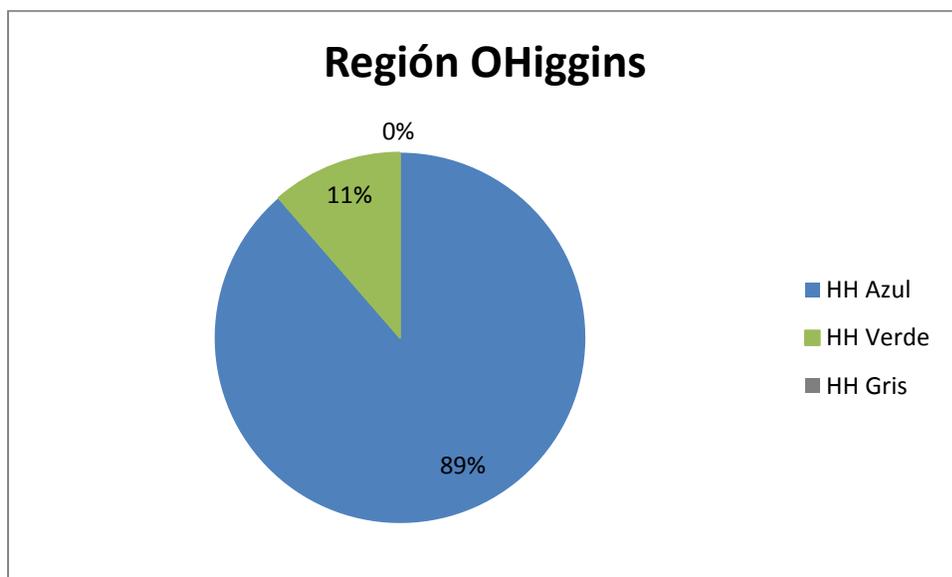


Figura A-A-276: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región de O'Higgins

A.19.5 Huella hídrica Región del Maule

En la Región del Maule, la superficie destinada a Uva Vinífera el año 2007 es de 45.514ha y el rendimiento promedio en la región de 0,95ton7ha.

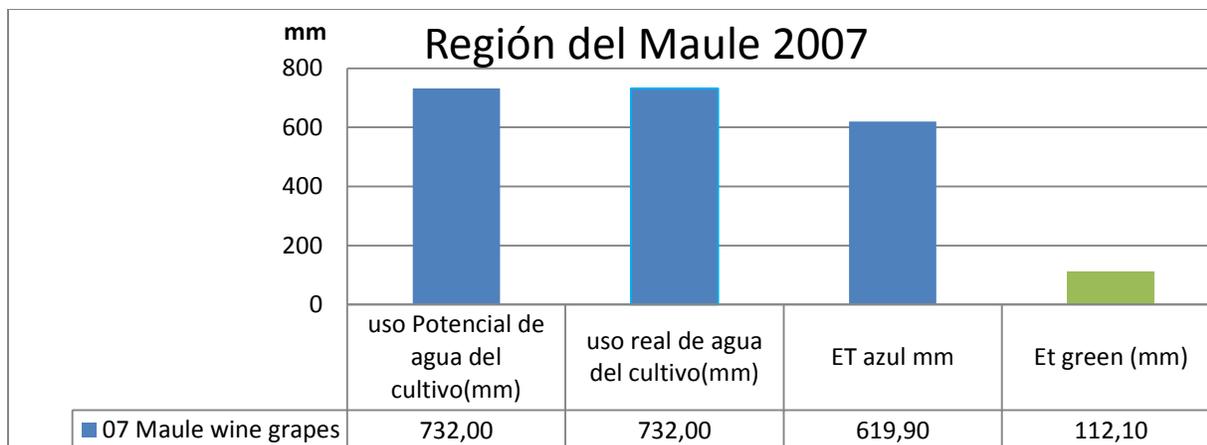


Figura A-A-277: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región del Maule

De acuerdo a esta información se puede apreciar en la Figura, que la evapotranspiración azul corresponde al 84,7% del consumo real del agua, y la evapotranspiración verde al 15,3% del consumo. A su vez el consumo real de agua que corresponde a 732mm, es equivalente al consumo potencial del agua por el cultivo.

La huella hídrica obtenida en esta región para la Uva vinífera es de 7.705,3m³/ton, de los cuales el 85% proviene de agua azul con un valor de 6.525,3m³/ton y el 15% a agua verde con un valor de 2.180m³/ton, en relación a la huella hídrica gris, no se posee información.

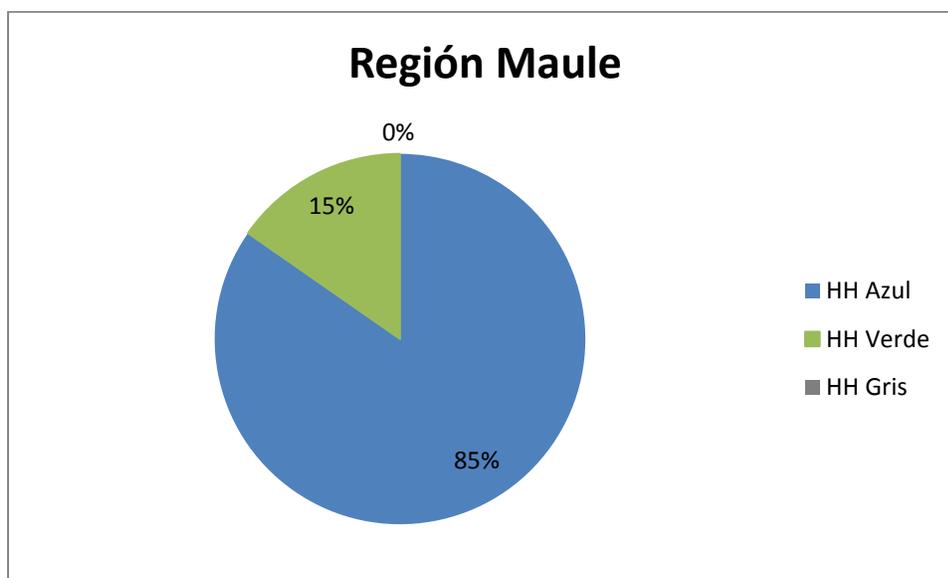


Figura A-A-278: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región del Maule

A.19.6 Huella hídrica Región del Biobío

En la Región del Biobío la superficie destinada a Uva Vinífera el 2007 es de 15.613ha y el rendimiento promedio de 0,7ton/ha.

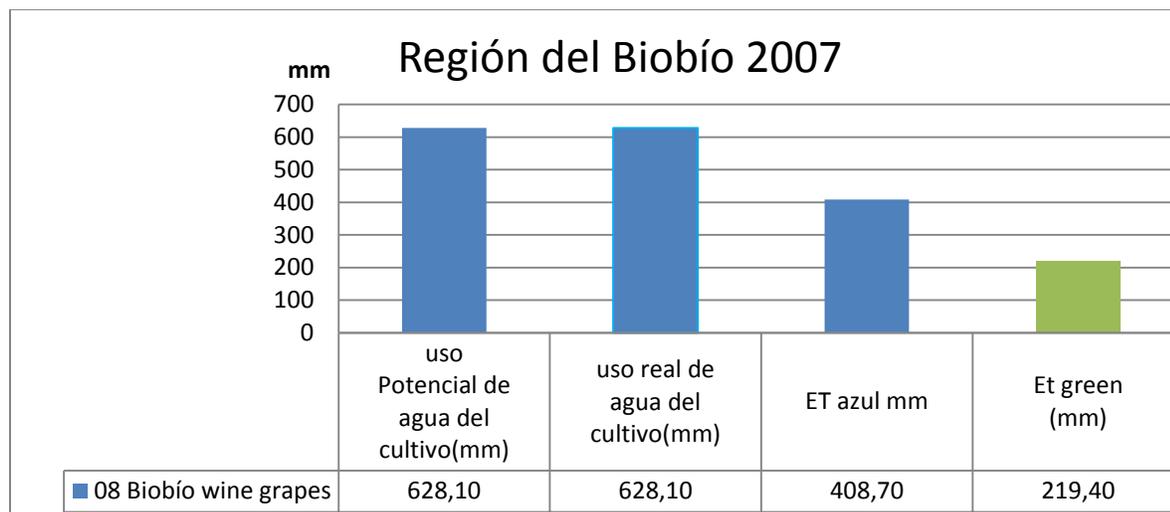


Figura A-A-279: Evapotranspiración potencial, real, azul y verde de Uva Vinífera en la Región del Biobío

En la región del Biobío la evapotranspiración verde de la Uva Vinífera corresponde al 34,9% del consumo real del agua, predominando aún la evapotranspiración azul, al representar el 65,1% del consumo real de agua del cultivo.

La huella hídrica obtenida en esta región para la Uva vinífera es de 8.972,9m³/ton, de los cuales el 85% proviene de agua azul con un valor de 5.838,6m³/ton y el 15% a agua verde con un valor de 3.134,3m³/ton, en relación a la huella hídrica gris, no se posee información.

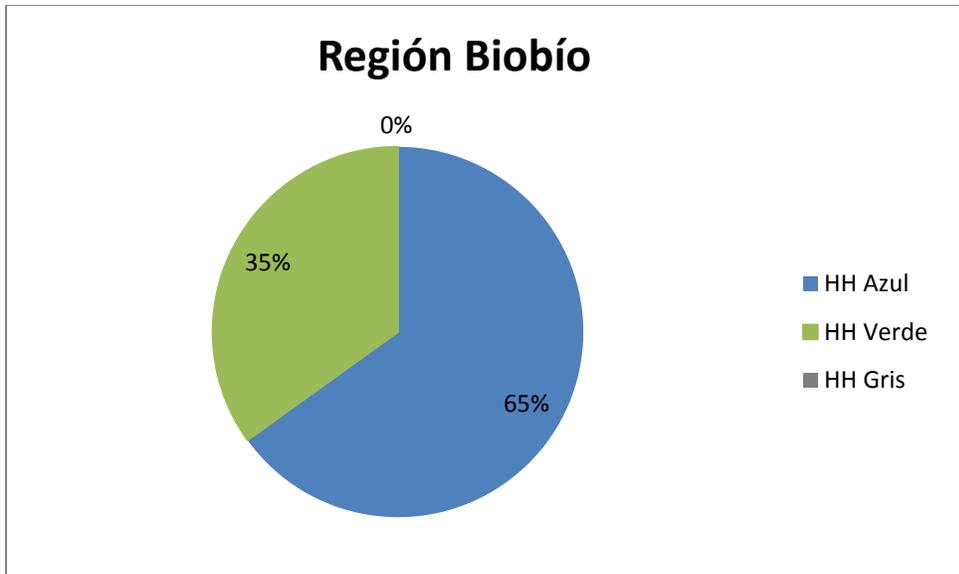


Figura A-A-280: Huella hídrica azul, verde y gris de la Uva vinífera en la Región del Biobío

Como se puede apreciar en la Figura A-A-281, los mayores valores de huella hídrica de Uva vinífera se producen en las regiones del Biobío y el Maule, cada una siendo fuertemente atribuida al consumo de agua azul. A su vez, se puede apreciar que el mayor valor de huella hídrica azul se presenta en la Región del Maule y el menor valor en la Región de Coquimbo debido principalmente al menor consumo de agua real de la zona, como la menor evapotranspiración azul y a los altos rendimientos promedios obtenidos en la zona. Por último el menor valor de huella hídrica verde también se produce en la Región de Coquimbo y el mayor valor en la Región del Biobío.

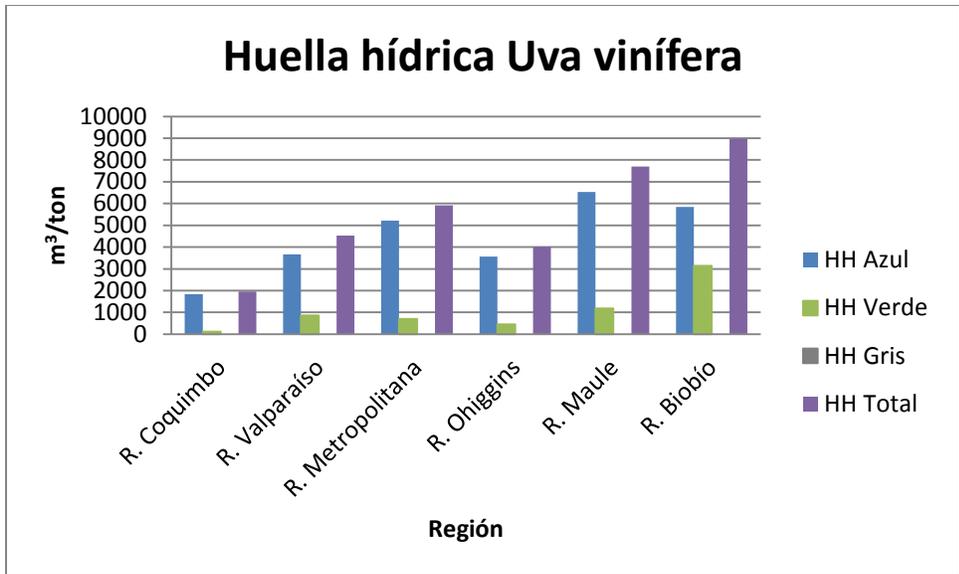


Figura A-A-281: Huella hídrica azul, verde, gris y total de la Uva vinífera para cada región de Chile

Al realizar una estimación de la huella hídrica promedio de Uva vinífera en Chile, obtenemos un valor total de $5.514,6\text{m}^3/\text{ton}$, el cual sobrepasa en un $534,6\%$ el valor de huella hídrica total promedio mundial estimada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), como se aprecia en la Figura A-A-282. En relación a la huella hídrica azul y verde los valores promedios obtenidos para Chile corresponden a $4.441,3\text{m}^3/\text{ton}$ y $1.073,3\text{m}^3/\text{ton}$ respectivamente, los cuales son bastante mayores a los valores promedios mundiales expresados por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011), de $138\text{m}^3/\text{ton}$ y $607\text{m}^3/\text{ton}$ respectivamente.

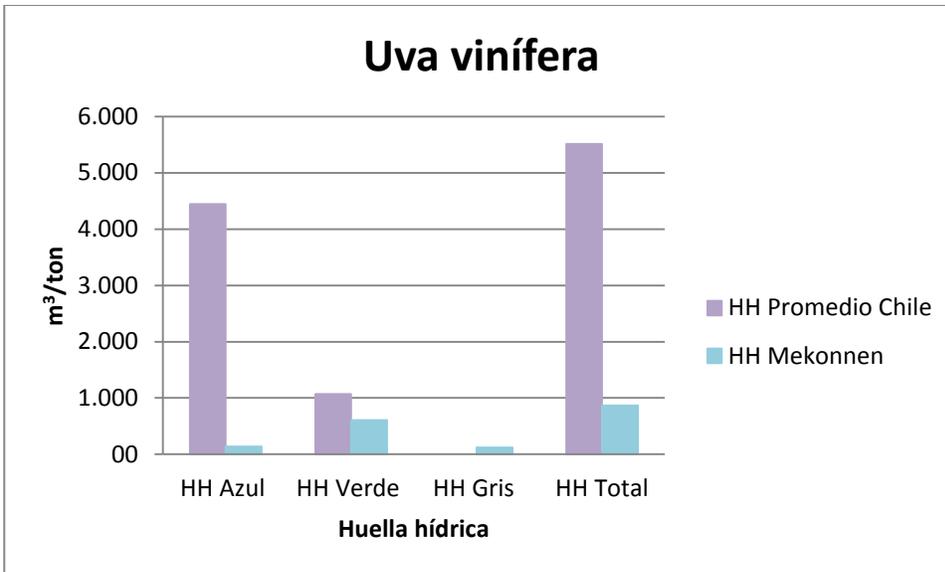


Figura A-A-282: Comparación entre la huella hídrica de la Uva vinífera en Chile y la huella hídrica mundial presentada por Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2011)

A.20 Huella hídrica Forestal

Para el estudio de huella hídrica del sector forestal se considera la huella hídrica del Pino y del Eucaliptus que en su conjunto representan el 91,3% de la superficie forestal del Chile. Se considera en el estudio la huella hídrica desde la Región de Valparaíso hasta la Región de Aysén, exceptuando la Región Metropolitana, debido a que solo en esas regiones se concentra el 94,6% de la producción forestal.

La huella hídrica del sector forestal se calculo de acuerdo al promedio de huella hídrica obtenida para un periodo de producción de 10 años, por lo tanto se consideraron datos del Pino y Eucaliptus desde 1997 al 2007.

A.20.1 Huella hídrica Región de Valparaíso

La huella hídrica del Eucaliptus en la Región de Valparaíso en promedio corresponde a 190m³agua/m³madera. Como se aprecia en la Figura A-A-283, el menor valor de huella hídrica se da en el año 1998 con un valor de 30m³agua/m³madera; sin embargo los mayores valores de huella hídrica en el Eucaliptus correspondieron a los años 1997 y 2002 con 296,7m³agua/m³madera y 292,9m³agua/m³madera respectivamente.

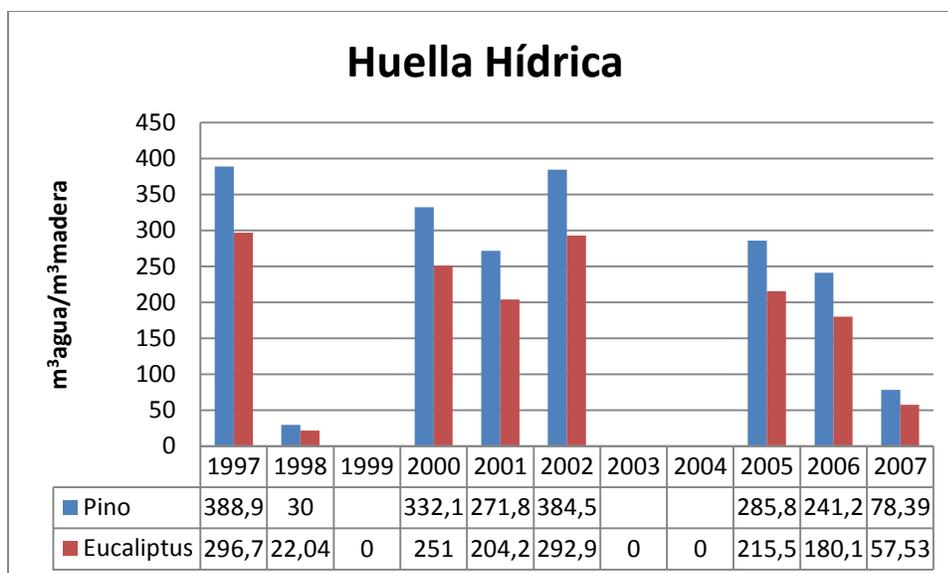


Figura A-A-283: Huella hídrica total del Eucaliptus y Pino en la Región de Valparaíso, para 10 años de producción

En relación a la huella hídrica del Pino, se puede apreciar en la Figura anterior, que el menor valor de huella hídrica se produjo al igual que en el Eucaliptus en el año 1998, sin embargo el mayor valor de huella hídrica se aprecia durante el año 1997. Finalmente la Huella hídrica promedio del Pino en la Región de Valparaíso es de $251,6\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$.

La huella hídrica promedio del sector forestal en esta región corresponde a $441,6\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$.

A.20.2 Huella hídrica Región de O'Higgins

Para la Región de O'Higgins solo se estimó la huella hídrica del Pino y Eucaliptus para el año 2007, porque no se poseía información para otros años. De acuerdo a la Figura A-A-284, la huella hídrica del Pino es mayor a la huella hídrica del Eucaliptus en un 29,1% y corresponden a $145,05\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$ y $201,98\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$ respectivamente.

La huella hídrica del sector forestal en la región de O'Higgins para el 2007 corresponde a $248,03\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$.

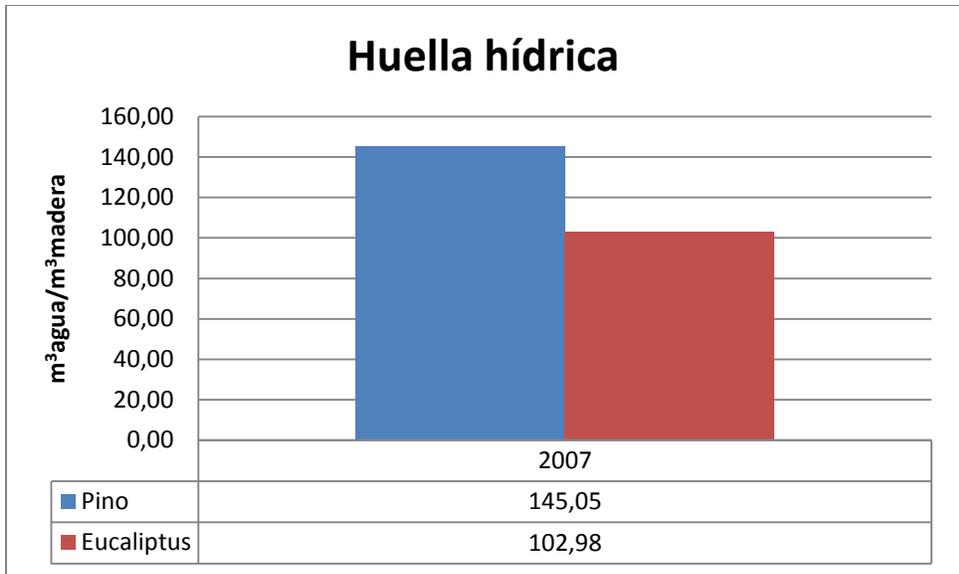


Figura A-A-284: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de O'Higgins, para el 2007

A.20.3 Huella hídrica Región del Maule

La huella hídrica del Pino en la Región del Maule en promedio corresponde a $304,98\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$. Como se aprecia en la Figura A-A-285, el menor valor de huella hídrica del Pino se da en el año 1998 con un valor de $45,89\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$; así también los mayores valores de huella hídrica en el Pino correspondieron a los años 2002 y 1997 con $434,4\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$ y $426,8\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$ respectivamente.

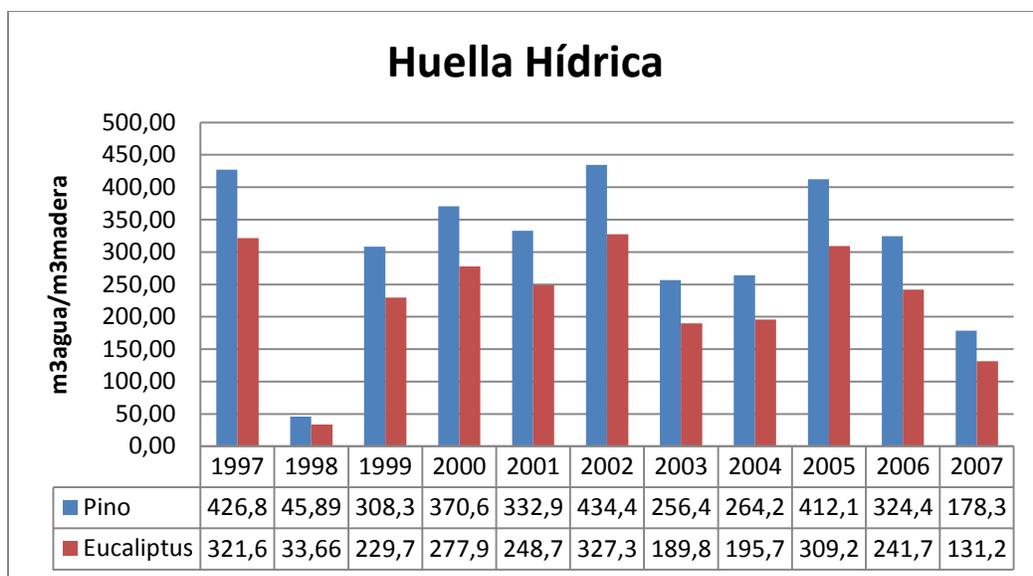


Figura A-A-285: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región del Maule, para 10 años de producción.

En relación a la huella hídrica del Eucaliptus, se puede apreciar en la Figura anterior, que el menor valor de huella hídrica se produjo al igual que en el Pino en el año 1998, sin embargo el mayor valor de huella hídrica se aprecia durante el año 2002. Finalmente la Huella hídrica promedio del Eucaliptus en la Región del Maule es de $227,9\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$.

La huella hídrica promedio del sector forestal en esta región corresponde a $532,88\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$.

A.20.4 Huella hídrica Región del Biobío

La huella hídrica del Pino en la Región del Biobío en promedio corresponde a $397,24\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$. Como se aprecia en la Figura A-A-286, el menor valor de huella hídrica se da en el año 1998 con un valor de $230,27\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$; así también los mayores valores de huella hídrica en el Pino correspondieron a los años 2001 y 1997 con $478,78\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$ y $474,91\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$ respectivamente.

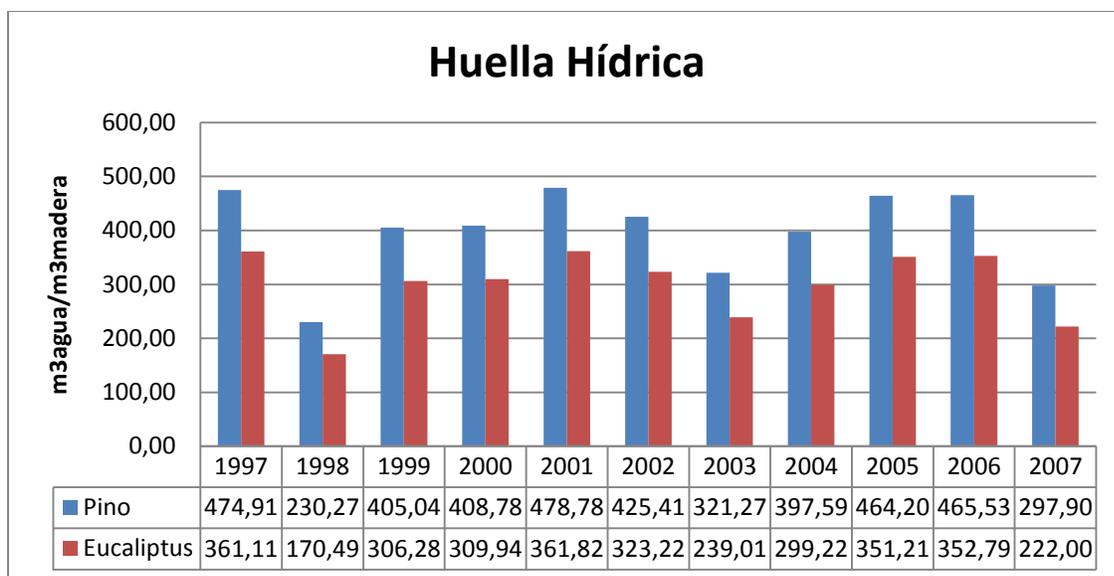


Figura A-A-286: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región del Biobío, para 10 años de producción

En relación a la huella hídrica del Eucaliptus, se puede apreciar en la Figura anterior, que el menor valor de huella hídrica se produjo al igual que en el Pino en el año 1998, sin embargo el mayor valor de huella hídrica se aprecia durante el año 1997 y 2001, estos valores de huella hídrica son solo un poco mayores a los del 2005 y 2006. Finalmente la Huella hídrica promedio del Eucaliptus en la Región de es de 299,73m³agua/m³madera.

La huella hídrica promedio del sector forestal en esta región corresponde a 696,98m³agua/m³madera.

A.20.5 Huella hídrica Región de la Araucanía

La huella hídrica del Pino en la Región de la Araucanía en promedio corresponde a 386,99m³agua/m³madera. Como se aprecia en la Figura A-A-287, el menor valor de huella hídrica se da en el año 1998 con un valor de 272,1m³agua/m³madera; así también los mayores valores de huella hídrica en el Pino correspondieron a los años 1997, 2002 y 2005 con 427,6m³agua/m³madera, 428,3 y 421,6m³agua/m³madera respectivamente.

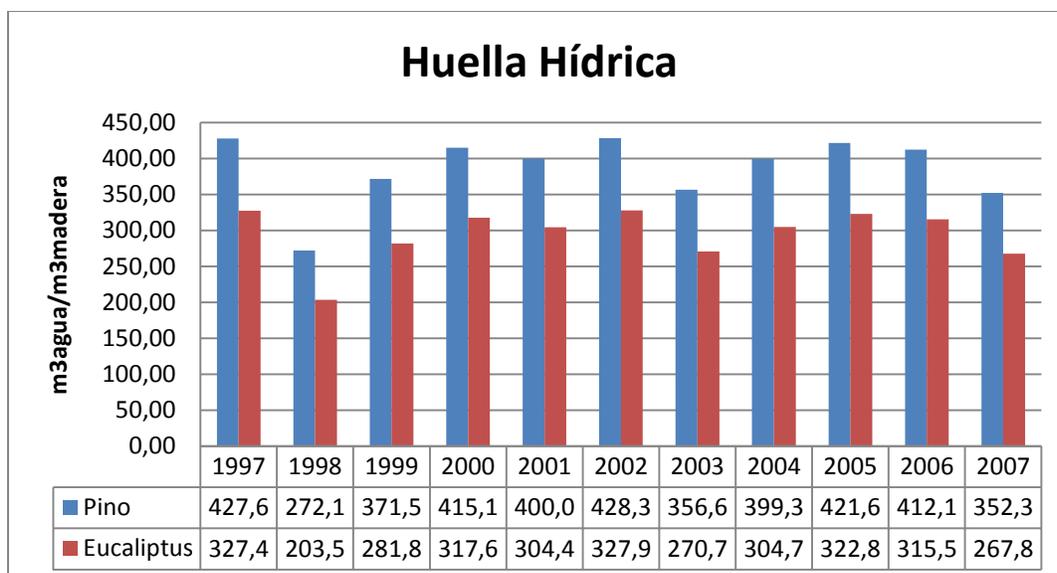


Figura A-A-287: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de la Araucanía, para 10 años de producción

En relación a la huella hídrica del Eucaliptus, se puede apreciar en la Figura anterior, que el menor valor de huella hídrica se produjo al igual que en el Pino en el año 1998, sin embargo el mayor valor de huella hídrica se aprecia durante los mismos periodos que el Pino. Finalmente la Huella hídrica promedio del Eucaliptus en la Región de la Araucanía es de 294,97m³agua/m³madera.

La huella hídrica promedio del sector forestal en esta región corresponde a 681,96m³agua/m³madera.

A.20.6 Huella hídrica Región de los Ríos

Para la Región de los Ríos solo se estimó la huella hídrica del Pino y Eucaliptus para el año 2007, porque no se poseía información para otros años. De acuerdo a la Figura A-A-288, la huella hídrica del Pino es mayor a la huella hídrica del Eucaliptus en un 23% y corresponden a 515,6m³agua/m³madera y 395,47m³agua/m³madera respectivamente.

La huella hídrica del sector forestal en la región de O'Higgins para el 2007 corresponde a 911,07m³agua/m³madera.

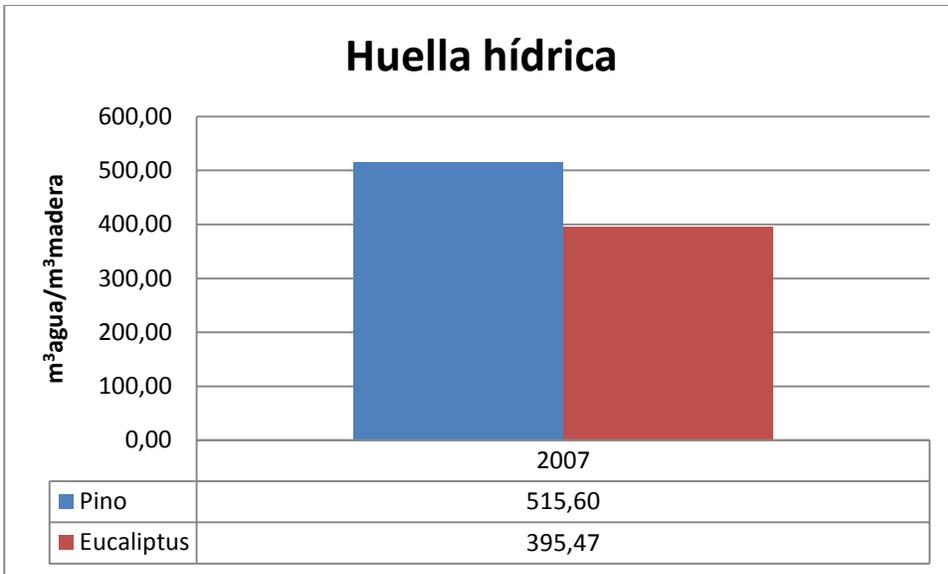


Figura A-A-288: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de los Ríos, para el 2007

A.20.7 Huella hídrica Región de los Lagos

La huella hídrica del Pino en la Región de los Lagos en promedio corresponde a $422,58\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$. Como se aprecia en la Figura A-A-289, el menor valor de huella hídrica se da en el año 2007 con un valor de $325,57\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$; así también los mayores valores de huella hídrica en el Pino corresponden a los años 2005 y 2004 con $485,48\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$ y $473,98\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$ respectivamente.

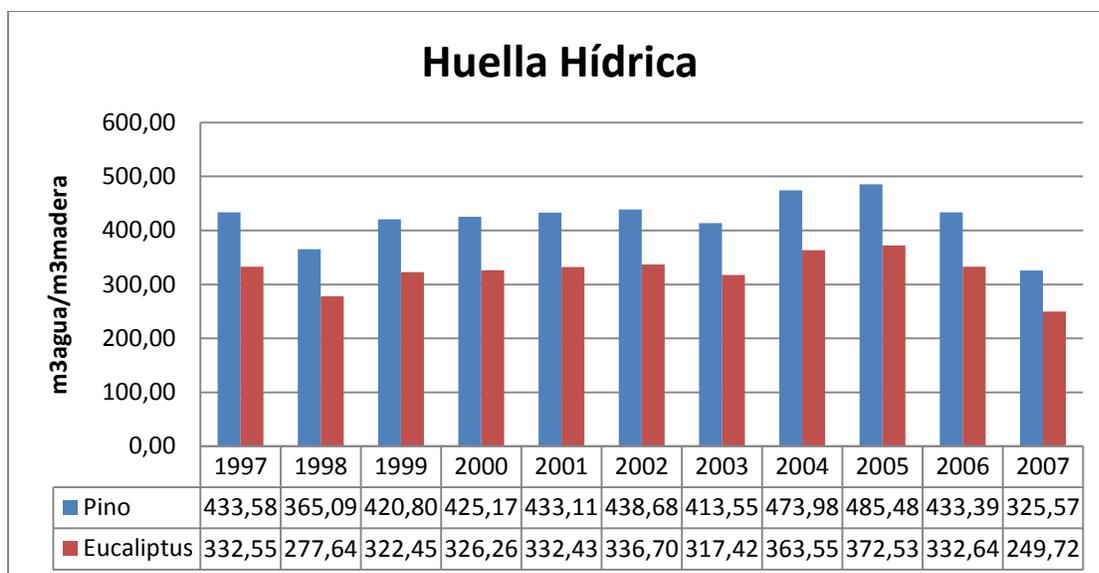


Figura A-A-289: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de los Ríos, para 10 años de producción

En relación a la huella hídrica del Eucaliptus, se puede apreciar en la Figura anterior, que el menor valor de huella hídrica se produjo al igual que en el Pino en el año 2007, sin embargo el mayor valor de huella hídrica se aprecia durante el año 2005. Finalmente la Huella hídrica promedio del Eucaliptus en la Región de es de $323,99\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$.

La huella hídrica promedio del sector forestal en esta región corresponde a $746,57\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$.

A.20.8 Huella hídrica Región de Aysén

La huella hídrica del Pino en la Región de Aysén en promedio corresponde a $336,24\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$. Como se aprecia en la Figura A-A-290, el menor valor de huella hídrica se da en el año 2007 con un valor de $280,8\text{m}^3\text{agua}/\text{m}^3\text{madera}$; así también los mayores valores de huella hídrica en el Eucaliptus correspondieron a los años 1997, 2002, 2004 y 2005.

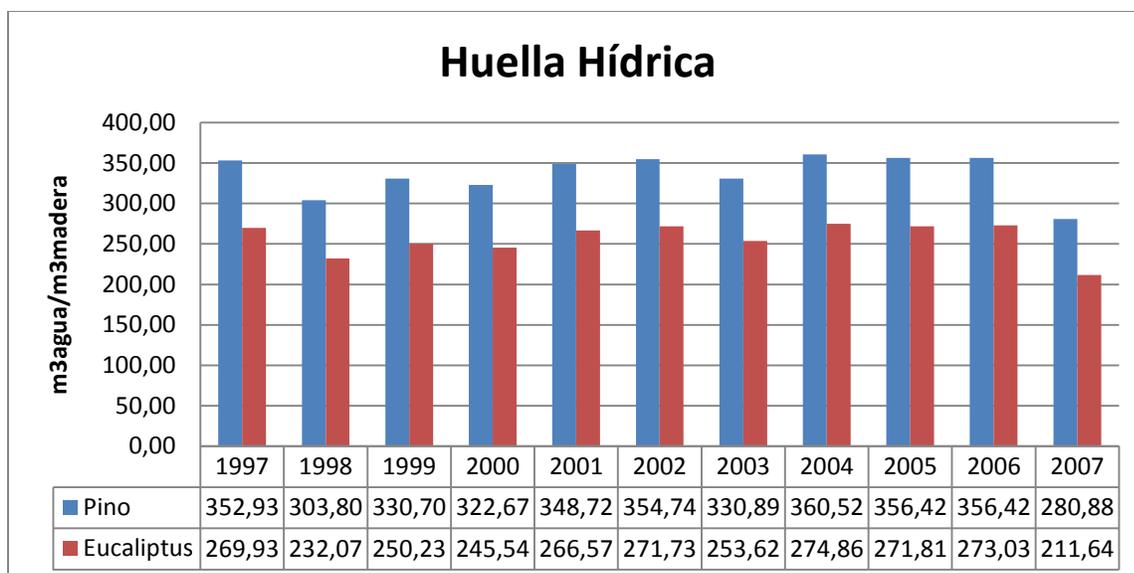


Figura A-A-290: Huella hídrica total del Pino y Eucaliptus en la Región de Aysén, para 10 años de producción

En relación a la huella hídrica del Eucaliptus, se puede apreciar en la Figura anterior, que el menor valor de huella hídrica se produjo al igual que en el Pino en el año 2007. La huella hídrica promedio del Eucaliptus en la Región de Aysén es de 256,46m³agua/m³madera.

La huella hídrica promedio del sector forestal en esta región corresponde a 592,7m³agua/m³madera.

En la Figura A-A-291, se aprecia la huella hídrica de la producción forestal para cada región de Chile, considerando el promedio de 10 años de producción. De acuerdo a esta Figura se puede reconocer las zonas con mayores valores de huella hídrica en el periodo determinado, los cuales en este sector corresponden a la Región de los Lagos y los Ríos. Se debe también considerar que estas regiones presentan una alta disponibilidad del recurso hídrico, por lo tanto que posean un alto valor de huella hídrica no indica que correspondan a la región con la peor situación del recurso hídrico en relación al sector forestal, sin embargo si significa que poseen un mayor consumo de agua que otras regiones.

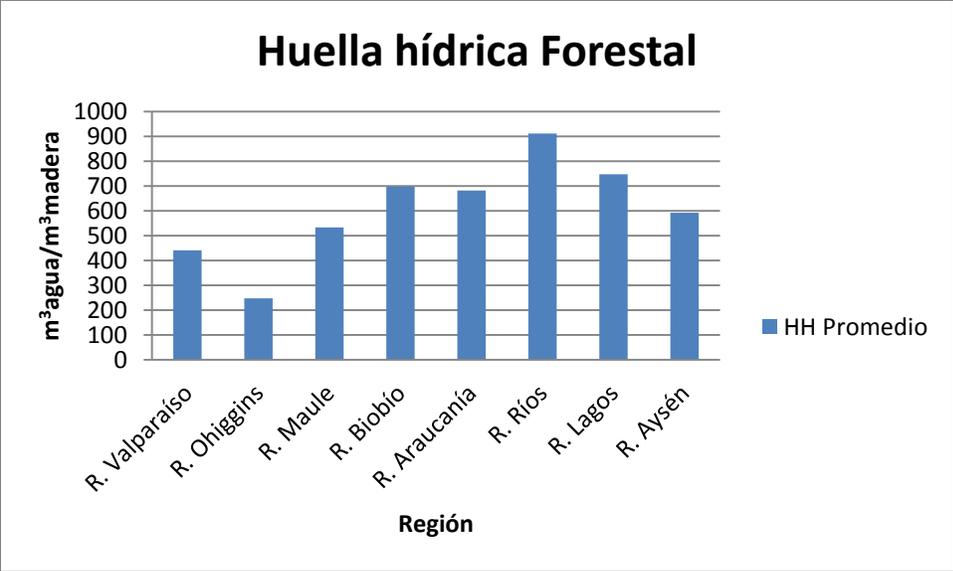


Figura A-A-291: Huella hídrica promedio del sector forestal para cada región estudiada

B. Anexo Tablas Informe Botín

Tabla B-1: Superficie del país, número de habitantes y renta per cápita.

Chile	Superficie (km ²)	N° habitantes (2007)}	PIB per cápita PPP (US\$, FMI)	PIB per cápita (US\$)
Total país	2.006.096,30	16.598.098	13.921	9.883

Tabla B-2: Número de trabajadores en cada actividad económica del país.

Actividad económica	Promedio Anual del Número de ocupados (miles)
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	650
Pesca	55
Explotación de minas y canteras	163
Industrias manufactureras	752
Suministro de electricidad, gas y agua	52
Construcción	504
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores, motocicletas, efectos personales y enseres	1.358
Hoteles y restaurantes	249
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	505
Intermediación financiera	132
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	451
Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria	386
Enseñanza	479
Servicios sociales y de salud	292
Otras actividades de servicios comunitarios, sociales y personales	201
Hogares privados con servicio doméstico	443
Organizaciones y órganos extraterritoriales	2
TOTAL	6.674

Tabla B-3: Valor económico de los distintos sectores, medido en Producto Interno Bruto anual de las diferentes actividades económicas a precios constantes del año 2007 en Millones de pesos del año 2003 y Producto Interno Bruto anual por actividad económica a precios constantes del 2007 valorados en dólares del año 2007 .

Actividad	Producto interno bruto anual por actividad económica a precios constantes del año 2007. (Millones de pesos del año 2003)	Producto interno bruto anual por actividad económica a precios constantes del 2007 valorados en Dólares del año 2007 (mil millones de dólares)
Silvo-Agropecuaria	\$ 2.339.644	\$ 4.47616
Pesca	\$ 740.495	\$ 1.41670
Minería	\$ 4.583.482	\$ 8.76903
Minería del Cobre	\$ 3.765.598	\$ 7.20427
Otras Actividades Mineras	\$ 817.884	\$ 1.56476
Ind. Manufactureras	\$ 10.196.413	\$ 19.50757
Alimentos, Bebidas y Tabacos	\$ 2.991.021	\$ 5.72236
Textil, prendas de vestir y cuero	\$ 461.633	\$ 0.88319
Maderas y muebles	\$ 625.745	\$ 1.19716
Papel e imprentas	\$ 1.229.837	\$ 2.35290
Química, petróleo, caucho y plástico	\$ 2.748.284	\$ 5.25796
Minerales no metálicos y metálica básica	\$ 872.969	\$ 1.67015
Productos metálicos, maquinaria, equipo y resto	\$ 1.266.924	\$ 2.42385
Elect., Gas y Agua	\$ 1.184.141	\$ 2.26547
Construcción	\$ 4.365.546	\$ 8.35207
Comercio, restaurant y hoteles	\$ 6.540.317	\$ 12.51280
Transporte	\$ 4.549.580	\$ 8.70416

Tabla B-3: Continuación

comunicaciones	\$ 1.627.569	\$ 3.11383
Serv. Financieros y empresariales	\$ 10.237.715	\$ 19.58659
Prop. de Vivienda	\$ 3.378.073	\$ 6.46286
Serv. Personales	\$ 6.856.501	\$ 13.11772
Adm. Publica	\$ 2.514.723	\$ 4.81112
Sub-Total	\$ 59.114.199	\$ 113.09610
- Imp. Bancarios	\$ 2.736.273	\$ 5.23498
Producto Interno bruto a costo de factores	\$ 56.377.926	\$ 107.86111
+ IVA Neto Recaudado	\$ 5.098.769	\$ 9.75486
+ Derechos de Importaciones	\$ 1.169.431	\$ 2.23733
PROD.INTERNO BRUTO	\$ 62.646.126	\$ 119.85331

Tabla B-4: Estimación de recursos hídricos agua verde y azul (MMm³/año)

Ámbito territorial (Provincias, departamentos, cuencas...)	Pp Total (m ³ /ha) año	Agua verde (MMm ³ /año)	Agua Azul							
			Recursos superficiales (MMm ³)		Recursos Subterráneos (MMm ³)		Total anual(MMm3) ⁴¹		Recursos per cápita (m ³ /hab) año	
			bruto	utilizables	bruto	utilizables	Bruto	Utilizables	Bruto	Utilizable
I Tarapacá y (15)Región de Arica	0	0	510,03				510,03		1.051,61	
II Región Antofagasta	2	0.7	727,85				727,85		1.302,99	
III Región de Atacama	73	275.2	515,14				515,14		1.891,41	
IV Región de Coquimbo	276	1.101,30	1.137,50				1.137,50		1.630,04	
V Región de Valparaíso	1.503	1.678,60	5.159,51				5.159,51		3.020,55	
RM	1.684	1.913,50	9.672,97				9.672,97		1.447,23	
VI Región de O'Higgins	2.879	3.263,20	24.502,34				24.502,34		28.565,58	
VII Región del Maule	3.514	6.655,40	49.616,94				49.616,94		50.704,75	
VIII Región del Biobío	6.466	11.580,00	63.519,46				63.519,46		32.124,53	
IX Región de la Araucanía	9.888	19.155,80	3.110,24				3.110,24		3.300,93	
X Región de los Lagos (14) y Región de los Ríos	12.4560	43.625,90	20.276,99				20.276,99		17.173,66	
XI Aysén	6.856	22.289,40	17.524,90				17.524,90		172.221,48	
XII Magallanes	4.272	22.887,00	3.041,17				3.041,17		19.735,92	
Total País	49.8690	134.426,00	199.315,06				199.315,06		334.170,67	

⁴¹ El valor de precipitación se refiere a la escorrentía total.

Tabla B-5: Estimación de usos convencionales y valores económicos relacionados.

Sector Económico	Volumen de agua utilizada (MMm ³ /año)	Valor económico del sector (MM US\$)	Productividad del agua (US\$/m ³)	Puestos de trabajo (% población activa)
Agropecuaria y Forestal	16.734,04	\$4.476,16	\$0,27	9,74%
Agua potable	1.265,67	\$3.028,29	\$2,39	0,77%
Industria	2.644,20	\$19.507,57	\$7,38	11,27%
Minería	1.979,70	\$8.769,03	\$4,43	2,44%
Energía	126.057,15	\$2.265,47	\$0,02	0,77%
Acuícola	15.077,36	\$1.416,70	\$0,09	0,82%
Turismo	1,64	\$249,75	\$152,30	3,73%

Tabla B-6: Fuentes de datos

Información	Fuentes de Datos	Link
Empleos	INE	http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/mercado_del_trabajo/nene/referenciales/xls/216_Ocupados_por_rama_Trimestral_Total_Pais.xls
Estadísticas Demográficas	INE	http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/compendio_estadistico/pdf/2010/1.2estdemograficas.pdf
Indicadores Económicos	Banco Central	http://www.bcentral.cl/publicaciones/estadisticas/informacion-integrada/pdf/im_segundo2009.pdf
Recursos Superficiales de agua	DGA	http://documentos.dga.cl/USO4854v1.pdf
Producción pecuaria	INE	http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/200511/pecu_10180511.pdf
Precios de las aguas para saneamiento	Superintendencia de Servicios Sanitarios	http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue-3514.html
Productividad Minera	Sernageomin	http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/anuario/anuario_2007.pdf

Tabla B-7: Información sobre cálculos y resultados del sector agrícola

Tipos de cultivos ¹	Huella Interna (MMm ³)			Rendimiento (t/ha)	Valores relativos (m ³ /t)			Productividad aparente del agua (US\$ / m ³)	Productividad aparente de la tierra (US \$ / ha)
	Verde	Azul	Gris ²		Verde	Azul	Gris ²		
Cereales (maíz, trigo, avena)	1.362,12	1.534.85	482.54	9.04	361.66	407.52	128.12	\$ 0.22	\$ 1.539.92
Otros cultivos extensivos (papa)	66,84	194.11	12.69	17.43	74.23	215.57	14.09	\$ 0.81	\$ 4.300.56
Alfalfa	143,48	80.79	n/a	16.00	155.83	87.75	n/a	\$ 0.60	\$ 2.357.37
Praderas	1.741,67	1.473.96		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Frutales	286,15	1.629.97	163.15	20.35	57.04	324.94	32.52	\$ 0.79	\$ 7.519.22
Sector Forestal	11.706,51	n/a	n/a	20.51	311.75	n/a	n/a	\$ 0.47	\$ 1.269.32
Viñas	122,01	630.13	n/a	9.10	116.96	604.05	n/a	\$ 0.30	\$ 1.775.81

Tabla B-8: Información sobre cálculos y resultados del sector ganadero

Especie	Sistema de explotación	Huella total de la ganadería (MMm ³ /año)			Huella externa de la ganadería (MMm ³ /año)			Valores relativos (m ³ /t)			Productividad aparente del agua (US\$ / m ³)	Productividad aparente del agua (US\$ / m ³)	Productividad aparente de la tierra (US\$/ha)
		Verde	Azul	Gris ¹	Verde	Azul	Gris ¹	Verde	Azul	Gris ¹			
Vacuno	Extensivo + Intensivo	1.911,907	76,370	30,935	n/a	n/a	n/a	7.911,0	316,0	128,0	\$ 0,1541	\$ 0,32	n/a
Porcino	Extensivo + Intensivo	1.438,268	302,216	284,761	n/a	n/a	n/a	2.884,0	606,0	571,0	\$ 0,3312	\$ 0,49	n/a
Ovinos	Extensivo + Intensivo	1.524,052	433,451	307,367	n/a	n/a	n/a	2.623,0	746,0	529,0	\$ 0,2709	\$ 0,43	n/a

Tabla B-9: Información sobre cálculos y resultados del abastecimiento y saneamiento urbano y rural.

Zonas características del país ¹		Población (N° personas)	Dotación (equivalente a producción) (MMm ³ /año)	Uso Consuntivo y porcentaje (MMm ³ /año)	Uso Consuntivo y porcentaje (%)	Porcentaje de población abastecida (%)	Porcentaje de población con saneamiento (%)	Precio medio del abastecimiento (US\$/m ³)
I Región de Arica (15)	Urbano	447,977	50.822	26.566	52.27%	99.9%	97.3	\$ 2.82
	Rural	37,015	50.822	26.566	52.27%			
II Región Antofagasta	Urbano	544,522	411.536	29.345	7.13%	100.0%	99.6	\$ 3.84
	Rural	14,047	411.536	29.345	7.13%			
III Región de Atacama	Urbano	247,387	25.819	15.108	58.52%	99.6%	95.1	\$ 3.80
	Rural	25,012	25.819	15.108	58.52%			
IV Región de Coquimbo	Urbano	561,460	44.881	30.15	67.18%	99.9%	95.4	\$ 2.52
	Rural	136,394	44.881	30.15	67.18%			
V Región de Valparaíso	Urbano	1,563,471	159.549	93.779	58.78%	99.3%	91.1	\$ 3.05
	Rural	144,632	159.549	93.779	58.78%			
RM	Urbano	6,462,770	756.649	530.528	70.12%	100.0%	98.5	\$ 1.91
	Rural	220,982	756.649	530.528	70.12%			
VI Región de O'Higgins	Urbano	608,234	56.159	34.301	61.08%	99.2%	83.6	\$ 2.41
	Rural	249,492	56.159	34.301	61.08%			
VII Región del Maule	Urbano	656,975	61.025	33.339	54.63%	99.7%	95.3	\$ 2.84
	Rural	321,602	61.025	33.339	54.63%			
VIII Región del Biobío	Urbano	1,650,478	142.496	86.393	60.63%	99.3%	89.7	\$ 2.57
	Rural	326,853	142.496	86.393	60.63%			
IX Región de la Araucanía	Urbano	640,137	58.068	31.683	54.56%	99.8	93.5	\$ 2.48
	Rural	302,113	58.068	31.683	54.56%			
X Región de Los Lagos +(14 los ríos)	Urbano	824,159	58.055	39.302	67.70%	100	92.65	\$ 2.39
	Rural	356,510	58.055	39.302	67.70%			
XI Región de Aysén	Urbano	85,811	7.658	4.411	57.60%	100	93.5	\$ 3.85
	Rural	15,989	7.658	4.411	57.60%			
XII Región de Magallanes	Urbano	143,209	11.159	9.797	87.79%	98.8	96.7	\$ 3.61
	Rural	10,843	11.159	9.797	87.79%			

Tabla B-10: Resultados del sector minero desarrollado a partir del dato de la huella hídrica del cobre medido para la División el Teniente de Codelco (VI Región).

Ámbito territorial (Provincias, departamentos, cuencas...)	Valor de la Producción minera del PIB (MM US\$)	Valor de la Producción minera y porcentaje del PIB (%)	Huella hídrica de la producción industrial (salvo la producción energética minera) (MMm ³ /año)		Huella hídrica de la producción minera Cobre (MMm ³ /año)	Productividad del agua (US\$/m ³)	Porcentaje población empleada (%)
			Azul	Gris			
I Región de Arica (15)	\$ 833.24	11.57%			26.024	\$ 32.018	
II Región Antofagasta	\$ 4,095.37	56.85%			127.907	\$ 32.018	
III Región de Atacama	\$ 592.27	8.22%			18.498	\$ 32.018	
IV Región de coquimbo	\$ 439.41	6.10%			13.724	\$ 32.018	
V Región de Valparaíso	\$ 408.90	5.68%			12.771	\$ 32.018	
RM	\$ 294.90	4.09%			9.210	\$ 32.018	
VI Región de O'Higgins	\$ 540.17	7.50%			16.871	\$ 32.018	
VII Región del Maule	0	0.00%			0.000	\$0,000	
VIII Región del BíoBío	0	0.00%			0.000	\$0,000	
IX Región de la Araucanía	0	0.00%			0.000	\$0,000	
X Región de Los Lagos +(14 los rios)	0	0.00%			0.000	\$0,000	
XI Región de Aysen	0	0.00%			0.000	\$0,000	
XII Región de Magallanes	0	0.00%			0.000	\$0,000	
TOTAL PAIS	\$ 7,204.27	100.00%	158	534.4	225.005		

Tabla B-11: Resultados del sector minero desarrollado a partir del caudal consumido por la minería para las distintas regiones.

Ámbito territorial (Provincias, departamentos, cuencas...)	Valor de la Producción minera y porcentaje del PIB (MM US\$, {%})	Valor de la Producción minera y porcentaje del PIB (%)	Huella hídrica de la producción industrial (salvo la producción energética y minera) (MMm ³ /año)		Huella hídrica de la producción minera (MMm ³ /año) (demanda hídrica regional del sector)	Productividad del agua (US\$/m ³)	Porcentaje población empleada (%)
			Azul	Gris			
I Región de Arica (15)	\$ 833,24	11,57%			115,579	\$ 7,209	
II Región Antofagasta	\$ 4.095,37	56,85%			481,208	\$ 8,511	
III Región de Atacama	\$ 592,27	8,22%			50,584	\$ 11,709	
IV Región de Coquimbo	\$ 439,41	6,10%			55,819	\$ 7,872	
V Región de Valparaíso	\$ 408,90	5,68%			29,013	\$ 14,094	
RM	\$ 294,90	4,09%			15,169	\$ 19,441	
VI Región de O'Higgins	\$ 540,17	7,50%			296,312	\$ 1,823	
VII Región del Maule	0	0,00%			0,000	\$0,000	
VIII Región del Biobío	0	0,00%			38,127	\$ 0,000	
IX Región de la Araucanía	0	0,00%			0,000	\$0,000	
X Región de Los Lagos +(14 los ríos)	0	0,00%			47,304	\$ 0,000	
XI Región de Aysén	0	0,00%			819,274	\$ 0,000	
XII Región de Magallanes	0	0,00%			7,379	\$ 0,000	
TOTAL PAIS	\$ 7.204,27	100,00%	158	534,4	1955,768		

Tabla B-12: Información sobre cálculos y resultados del sector energético por ámbito territorial

Ámbito territorial (Provincias, departamentos, cuencas...)	Hidráulica (MMm³)	Centrales Térmicas (MMm³)	Biocombustible (MMm³)	Biomasa (MMm³)	Solar (MMm³)	Otras (MMm³)
I Región Tarapacá y XV Región de Arica						
II Región Antofagasta						
III Región de Atacama						
IV Región de Coquimbo						
V Región de Valparaíso						
RM						
VI Región de O'Higgins	130,1536					
VII Región del Maule	111,7388					
VIII Región del Biobío	260,1336					
IX Región de la Araucanía						
X Región de los Lagos (14) y Región de los Ríos						
XI Aysén						
XII Magallanes						

Tabla B-12: Información sobre cálculos y resultados del sector energético por fuente de energía

Tipo de fuente de energía	Huella hídrica Interna (MMm3)			Valores relativos (m3/kWh)			Productividad aparente del agua (\$ / m3)
	Verde	Azul	Gris	Verde	Azul	Gris	
Hidráulica		502,02603			0,045065		69,33367243
Centrales Térmicas							
Biocombustibles							
Biomasa							
Solar							
Otras							