

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INCORPORACIÓN DE UNA FUENTE NO
CONVENCIONAL DE AGUA PARA SATISFACER LA DEMANDA DE AGUA
SUBTERRÁNEA DE LOS SECTORES 5 Y 6 DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL
RÍO COPIAPÓ**

GABRIELA IRENE SÁEZ GALLARDO

Santiago, Chile

2015

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INCORPORACIÓN DE UNA FUENTE NO
CONVENCIONAL DE AGUA PARA SATISFACER LA DEMANDA DE AGUA
SUBTERRÁNEA DE LOS SECTORES 5 Y 6 DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL
RÍO COPIAPÓ**

**ECONOMIC EVALUATION OF THE INCORPORATION OF A NON-
CONVENTIONAL WATER SOURCE TO SATISFY THE GROUNDWATER
DEMAND OF SECTORS 5 AND 6 OF COPIAPÓ RIVER VALLEY AQUIFER**

GABRIELA IRENE SÁEZ GALLARDO

Santiago, Chile

2015

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INCORPORACIÓN DE UNA FUENTE NO
CONVENCIONAL DE AGUA PARA SATISFACER LA DEMANDA DE AGUA
SUBTERRÁNEA DE LOS SECTORES 5 Y 6 DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL
RÍO COPIAPÓ**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

GABRIELA IRENE SÁEZ GALLARDO

Profesores Guías	Calificaciones
Sr. Andrés de la Fuente D. Ingeniero Agrónomo	7,0
Sr. Rodrigo Fuster G. Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Dr.	7,0
Profesores Evaluadores	
Sr. Juan Manuel Uribe M. Ingeniero Agrónomo	7,0
Sra. Loreto Canaves S. Ingeniero Agrónomo, M.Sc.	7,0

Santiago, Chile

2015

AGRADECIMIENTOS

A mi gran familia, por ser el apoyo necesario para emprender y terminar con éxito empresas como ésta. A mis abuelitos, por inculcarme el deseo de ser siempre una mejor persona, y en especial a mi abuelito Víctor, que fue la semilla que hizo crecer a esta familia, y nos guió en la búsqueda del conocimiento, nos enseñó a regocijarnos en la naturaleza y en el arte, y nos enseñó a ser siempre como niños.

A mis padres, Leonor y Rodolfo, y a mi hermana Paulina, por mostrarme el camino de la constancia, y por apoyarme en todo momento. Hemos cerrado el ciclo en esta casa de estudios. A mis tías y tíos, y por su puesto a mis primos, por sus cariños y preocupaciones, y su mano siempre abierta.

A Nicolás, por su amor, su apoyo siempre presente y constante, por darme ánimos y confiar en mí. Por ser mi compañero.

A mis amigos que han sido parte importante de todo esto, mis amigas de siempre, y a los recuseros siempre presentes, con quienes compartí en la dificultad y en los buenos momentos. A la Consu y la Carola, a Pablo Perry, al Claudio, al Largo y a la Vale, a David, Dani, Bianca, Javi, Lucho, Coca, Mico y todos los que acompañaron mi vida universitaria.

A las personas del Laboratorio de Análisis Territorial, por su amistad, su ayuda, su apoyo en el desarrollo de esta memoria, y por los gratos momentos compartidos como equipo. A las mujeres LAT, por estar siempre ahí. A Karla, por su sincera amistad, y su ayuda siempre que la he necesitado.

A mis profesores, Andrés de la Fuente, por estar siempre dispuesto a darme un empujón, por el apoyo, el consejo y la confianza, y Rodrigo Fuster, por su motivación, disposición y preocupación en el desarrollo de esta memoria.

A todas aquellas personas que me ayudaron a terminar este trabajo, dándome un consejo, una entrevista, enseñándome algo o simplemente entregándome parte de su tiempo.

A mi Pachi y la Mila, por mostrarme la inocencia y el amor infinito.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Lugar de estudio	7
Métodos	9
Caracterización de la oferta y demanda de aguas subterráneas	10
Estimación del déficit hídrico	16
Diseño de la infraestructura de riego extra-predial.....	17
Estimación de costos.....	20
Evaluación económica	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Caracterización de la oferta y demanda de aguas subterráneas.....	26
Demanda hídrica del sector agrícola.....	26
Demanda hídrica de otros usos	32
Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas.....	33
Oferta de aguas subterráneas	36
Estimación del déficit hídrico.....	38
Escenario 1	38
Escenario 2.....	39
Diseño de la infraestructura de riego extra-predial	44
Definición del trazado.....	44
Diseño de la infraestructura de riego	46
Estimación de costos	48
Costo de suministro	48
Alternativas de suministro	49
Costo del agua.....	51
Evaluación económica.....	53
Análisis de sensibilidad al precio del agua	57
Análisis de sensibilidad de parámetros críticos	62
CONCLUSIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	65
APÉNDICES.....	71
Apéndice I. Entrevistas de validación para valores de inversión	71
Cultivo de Olivo.....	71
Cultivo de Granado.....	73
Cultivo de Uva de Mesa.....	75
Apéndice II. Cálculo del caudal de diseño	77

Apéndice III. Fichas Técnicas de los cultivos evaluados	79
Ficha Técnica Olivo	79
Ficha Técnica Granado	82
Ficha Técnica Uva de Mesa	85
Ficha Técnica Tomate	91
Apéndice IV. Flujos de Caja de los cultivos evaluados	94
Flujo de Caja Olivo variedad Arbequina	94
Flujo de Caja Olivo variedad Sevillana	97
Flujo de Caja Granado variedad Wonderful	100
Flujo de Caja Uva de Mesa variedad Red Globe	102
Flujo de Caja Uva de Mesa variedad Flame Seedless	105
Flujo de Caja Uva de Mesa variedad Thompson Seedless	108
Flujo de Caja Tomate	111
Apéndice V. Sensibilización del VAN al precio del agua y las necesidades hídricas de los cultivos	113
Apéndice VI. Sensibilización unidimensional del VAN	120

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ecuaciones utilizadas para relacionar la Radiación Extraterrestre (y) a la latitud (x) en el área de estudio	12
Cuadro 2. Eficiencia de aplicación del riego según método	14
Cuadro 3. Valor de fricción asignado a cada uso de suelo presente en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.	18
Cuadro 4. Superficie regada de cultivos identificados en los sectores 5 y 6 del acuífero el valle del río Copiapó.	27
Cuadro 5. Valores mensuales de Kc para los cultivos identificados en los sectores 5 y 6 del acuífero el valle del río Copiapó.	29
Cuadro 6. Métodos de riego identificados en los sectores 5 y 6 del acuífero el valle del río Copiapó, y superficie regada.	29
Cuadro 7. Demanda Bruta de Riego calculada para los cultivos activos presentes en los sectores 5 y 6 del acuífero el valle del río Copiapó, según fuente de abastecimiento.	30
Cuadro 8. Demanda Bruta de Riego calculada para los sub-sectores estudiados, según fuente de abastecimiento.	31
Cuadro 9. Demanda Bruta de Riego para el sector agrícola en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, según bibliografía.	31
Cuadro 10. Demanda de aguas subterráneas para los principales usos no agrícolas del agua en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, según CASUB.	33
Cuadro 11. Caudal registrado en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó según categoría de uso.....	34

Cuadro 12. Caudal registrado en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas con categoría de uso de Minería y Agua Potable, según titular.	34
Cuadro 13. Caudal no utilizado de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas vigentes en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, de acuerdo a la demanda actual de aguas subterráneas, según categoría de uso.	36
Cuadro 14. Parámetros de recarga superficial, flujos subterráneos y afloramientos del modelo hidrogeológico, según sub-sector acuífero.	37
Cuadro 15. Valores ajustados de bombeo de los principales usos del agua presentes en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, según los DAA Subterráneos vigentes.	40
Cuadro 16. Longitud de los tramos de tubería de la infraestructura de riego extra-predial, según el sector a abastecer.	45
Cuadro 17. Caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector, considerando el déficit de agua para la agricultura con un 85% de seguridad.	46
Cuadro 18. Características del diseño de la tubería, para el escenario de déficit actual (Escenario 1).	47
Cuadro 19. Características del diseño de la tubería, para el escenario de déficit potencial (Escenario 2).	47
Cuadro 20. Requerimientos de potencia del equipo de elevación y costos de las Obras Civiles, según el pre-dimensionamiento realizado para el Escenario 1.	47
Cuadro 21. Requerimientos de potencia del equipo de elevación y costos de las Obras Civiles, según el pre-dimensionamiento realizado para el Escenario 2.	48
Cuadro 22. Costo de Suministro del agua según el Escenario 1, el que se compone del Costo de Transporte y el Costo de Infraestructura.	48
Cuadro 23. Costo de Suministro del agua según el Escenario 2, el que se compone del Costo de Transporte y el Costo de Infraestructura.	49
Cuadro 24. Costo final del agua según el Escenario 1, el que se compone del Costo de Suministro y el Costo Base del agua ofrecida.	51
Cuadro 25. Costo final del agua según el Escenario 2, el que se compone del Costo de Suministro y el Costo Base del agua ofrecida.	52
Cuadro 26. Costos de Inversión por hectárea para el establecimiento de los principales cultivos de la zona del río Copiapó.	54
Cuadro 27. Costos Directos para la producción de los principales cultivos de la zona del río Copiapó.	55
Cuadro 28. Rendimiento de los principales cultivos de la zona del río Copiapó, y su Precio de Venta nacional e internacional.	55
Cuadro 29. Tamaños de producción utilizados para la evaluación económica por cultivo.	56
Cuadro 30. Indicadores económicos de rentabilidad, VAN y TIR, según la evaluación económica realizada a cada cultivo con un tamaño de producción "pequeño"	56
Cuadro 31. Indicadores económicos de rentabilidad, VAN y TIR, según la evaluación económica realizada a cada cultivo con un tamaño de producción "mediano-grande".	57
Cuadro 32. Precio de equilibrio del agua para los principales cultivos de la zona del río Copiapó, según las necesidades hídricas del cultivo maduro, con un tamaño de producción "pequeño".	59

Cuadro 33. Precio de equilibrio del agua para los principales cultivos de la zona del río Copiapó, según las necesidades hídricas del cultivo maduro, con un tamaño de producción "mediano-grande".	60
Cuadro 34. Valores de referencia de Inversión para el cultivo de Olivo var. Arbequina.	72
Cuadro 35. Valores de referencia de Inversión para el cultivo de Olivo var. Sevillana.	73
Cuadro 36. Valores de referencia de Inversión para el cultivo de Granada var. Wonderful.	74
Cuadro 37. Valores de referencia de Inversión para el cultivo de Uva de Mesa var. Red Globe, var. Flame Seedless y var. Thompson Seedless.	76
Cuadro 38. Déficit hídrico de cada sub-sector, para cada uso del agua y según ambos escenarios de análisis.	77
Cuadro 39. Caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector, considerando el déficit de agua para la agricultura con un 85% de seguridad, para cada uso del agua y según ambos escenarios de análisis.	78
Cuadro 40. Cálculo del caudal de diseño de cada tramo de tubería del sistema de riego extra-predial, según el caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector alimentado, para el Escenario 1.	78
Cuadro 41. Cálculo del caudal de diseño de cada tramo de tubería del sistema de riego extra-predial, según el caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector alimentado, para el Escenario 2.	79
Cuadro 42. Costos de Inversión para el Olivo var. Arbequina y var. Sevillana.	79
Cuadro 43. Costos Directos de la producción del Olivo var. Arbequina.	80
Cuadro 44. Costos Directos de la producción del Olivo var. Sevillana.	81
Cuadro 45. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 10 ha de Olivo var. Sevillana y var. Arbequina.	82
Cuadro 46. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 100 ha de Olivo var. Sevillana y var. Arbequina.	82
Cuadro 47. Costos de Inversión para el Granada var. Wonderful.	83
Cuadro 48. Costos Directos de la producción del Granada var. Wonderful.	83
Cuadro 49. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 70 ha de Granada var. Wonderful.	84
Cuadro 50. Costos de Inversión para la Uva de Mesa var. Red Globe, var. Flame Seedless y var. Thompson Seedless.	85
Cuadro 51. Costos Directos de la producción de la Uva de Mesa var. Red Globe.	86
Cuadro 52. Costos Directos de la producción de la Uva de Mesa var. Flame Seedless.	87
Cuadro 53. Costos Directos de la producción de la Uva de Mesa var. Thompson Seedless.	89
Cuadro 54. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 30 ha de Uva de Mesa var. Red Globe, var. Flame Seedless y var. Thompson Seedless.	90
Cuadro 55. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 100 ha de Uva de Mesa var. Red Globe, var. Flame Seedless y var. Thompson Seedless.	91
Cuadro 56. Costos Directos de la producción del Tomate, tutorado y al aire libre.	91
Cuadro 57. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 1 ha de Tomate.	93

Cuadro 58. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 10 ha de Tomate.....	93
Cuadro 59. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Olivo variedad Arbequina.	94
Cuadro 60. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Olivo variedad Arbequina.	94
Cuadro 61. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Olivo variedad Arbequina.	95
Cuadro 62. Flujo de Caja del cultivo de Olivo variedad Arbequina, en un tamaño de producción de 10 hectáreas.	95
Cuadro 63. Flujo de Caja del cultivo de Olivo variedad Arbequina, en un tamaño de producción de 100 hectáreas.	96
Cuadro 64. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Olivo variedad Sevillana.	97
Cuadro 65. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Olivo variedad Sevillana.	97
Cuadro 66. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Olivo variedad Sevillana.	97
Cuadro 67. Flujo de Caja del cultivo de Olivo variedad Sevillana, en un tamaño de producción de 10 hectáreas.	98
Cuadro 68. Flujo de Caja del cultivo de Olivo variedad Sevillana, en un tamaño de producción de 100 hectáreas.	99
Cuadro 69. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Granado variedad Wonderful.....	100
Cuadro 70. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Granado variedad Wonderful.....	100
Cuadro 71. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Granado variedad Wonderful.	100
Cuadro 72. Flujo de Caja del cultivo de Granado variedad Wonderful, en un tamaño de producción de 70 hectáreas.	101
Cuadro 73. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Uva de Mesa variedad Red Globe.	102
Cuadro 74. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Uva de Mesa variedad Red Globe.....	102
Cuadro 75. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Uva de Mesa variedad Red Globe.	102
Cuadro 76. Flujo de Caja del cultivo de Uva de Mesa variedad Red Globe, en un tamaño de producción de 30 hectáreas.	103
Cuadro 77. Flujo de Caja del cultivo de Uva de Mesa variedad Red Globe, en un tamaño de producción de 100 hectáreas.	104
Cuadro 78. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Uva de Mesa variedad Flame Seedless.....	105
Cuadro 79. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Uva de Mesa variedad Flame Seedless.	105
Cuadro 80. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Uva de Mesa variedad Flame Seedless.	105

Cuadro 81. Flujo de Caja del cultivo de Uva de Mesa variedad Flame Seedless, en un tamaño de producción de 30 hectáreas.....	106
Cuadro 82. Flujo de Caja del cultivo de Uva de Mesa variedad Flame Seedless, en un tamaño de producción de 100 hectáreas.....	107
Cuadro 83. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Uva de Mesa variedad Thompson Seedless.....	108
Cuadro 84. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Uva de Mesa variedad Thompson Seedless.	108
Cuadro 85. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Uva de Mesa variedad Thompson Seedless.....	108
Cuadro 86. Flujo de Caja del cultivo de Uva de Mesa variedad Thompson Seedless, en un tamaño de producción de 30 hectáreas.....	109
Cuadro 87. Flujo de Caja del cultivo de Uva de Mesa variedad Thompson Seedless, en un tamaño de producción de 100 hectáreas.....	110
Cuadro 88. Flujo de Caja del cultivo de Tomate, tutorado y al aire libre, en un tamaño de producción de 1 hectárea.....	111
Cuadro 89. Flujo de Caja del cultivo de Tomate, tutorado y al aire libre, en un tamaño de producción de 10 hectáreas.	112
Cuadro 90. VAN (\$) del cultivo de Olivo var. Arbequina (10ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	113
Cuadro 91. VAN (\$) del cultivo de Olivo var. Arbequina (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	114
Cuadro 92. VAN (\$) del cultivo de Olivo var. Sevillana (10ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	114
Cuadro 93. VAN (\$) del cultivo de Olivo var. Sevillana (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	115
Cuadro 94. VAN (\$) del cultivo de Granada var. Wonderful (70ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	115
Cuadro 95. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Red Globe (30ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	116
Cuadro 96. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Red Globe (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	116
Cuadro 97. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Flame Seedless (30ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	117
Cuadro 98. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Flame Seedless (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	117
Cuadro 99. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Thompson Seedless (30ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua.....	118
Cuadro 100. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Thompson Seedless (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua	118
Cuadro 101. VAN (\$) del cultivo de Tomate (1ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua	119
Cuadro 102. VAN (\$) del cultivo de Tomate (10ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua	119

Cuadro 103. Porcentaje máximo de variación de las principales variables de los flujos de caja para que cada proyecto siga siendo rentable, en cultivos de tamaño de producción "pequeño".	120
Cuadro 104. Porcentaje máximo de variación de las principales variables de los flujos de caja para que cada proyecto siga siendo rentable, en cultivos de tamaño de producción "mediano-grande".	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sectores administrativos del acuífero del valle del río Copiapó.	8
Figura 2. Esquema general de la metodología para la evaluación económica de la incorporación de agua a los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.	9
Figura 3. Caracterización de la oferta y demanda de aguas subterráneas y estimación del déficit hídrico de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.	17
Figura 4. Sub-sectores utilizados para el análisis de la incorporación de una fuente no convencional de agua para satisfacer parte de la demanda de agua subterránea de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.	26
Figura 5. Cartografía correspondiente al catastro de uso de suelo agrícola actual en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.	28
Figura 6. Demanda Bruta de Riego anual espacializada según los predios catastrados en la cartografía de uso de suelo agrícola actual.	32
Figura 7. Puntos de captación de aguas subterráneas registrados en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas vigentes, según categoría de uso.	35
Figura 8. Recarga histórica de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, durante el periodo 1993-2012. Fuente: Elaborado a partir de HIDROMAS (2013).	37
Figura 9. Balance Hídrico para el Sector 5a, según el Escenario 1.	38
Figura 10. Balance Hídrico para el Sector 6a, según el Escenario 1.	38
Figura 11. Balance Hídrico para el Sector 6b, según el Escenario 1.	39
Figura 12. Curva de demanda de los DAA Subterráneos con categoría de uso Agrícola, ajustada según la demanda mensual de aguas subterráneas de la estructura de cultivos actual, para el Sector 5a.	40
Figura 13. Curva de demanda de los DAA Subterráneos con categoría de uso Agrícola, ajustada según la demanda mensual de aguas subterráneas de la estructura de cultivos actual, para el Sector 6a.	41
Figura 14. Curva de demanda de los DAA Subterráneos con categoría de uso Agrícola, ajustada según la demanda mensual de aguas subterráneas de la estructura de cultivos actual, para el Sector 6b.	41
Figura 15. Balance Hídrico para el Sector 5a, según el Escenario 2.	42
Figura 16. Balance Hídrico para el Sector 6a, según el Escenario 2.	42
Figura 17. Balance Hídrico para el Sector 6b, según el Escenario 2.	42

Figura 18. Usos de Suelo presentes en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.....	44
Figura 19. Trazado de la tubería de abastecimiento de la infraestructura de riego extrapredial.....	45
Figura 20. Variación del VAN de cada cultivo frente a la existencia de un cobro por el agua para riego, en pesos por metro cúbico de agua. (P= Pequeño; M-G= Mediano-Grande)....	58
Figura 21. Variación del VAN del cultivo de Tomate (tutorado y al aire libre) frente a la existencia de un cobro por el agua para riego, en pesos por metro cúbico de agua. (P= Pequeño; M-G= Mediano-Grande)	59

RESUMEN

El desequilibrio en el que se encuentra el acuífero del valle del río Copiapó ha sido un tema de preocupación. Numerosos estudios hidrogeológicos presentan balances negativos, al existir una extracción mucho mayor que lo que el sistema es capaz de mantener. Por esto, para recuperar el acuífero sin sacrificar la productividad de las distintas actividades económicas, es necesaria una reducción en los consumos actuales, lo cual se puede lograr mediante nuevas fuentes de agua que compensen parte de esta demanda.

Dado que existen iniciativas para abastecer de agua la zona norte del país, este estudio buscó evaluar la viabilidad de incorporar una fuente externa no-convencional de agua para los sectores 5 y 6 del acuífero, para satisfacer el déficit existente dada la demanda actual de aguas subterráneas, y dada la demanda potencial que representan los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas vigentes. Para ello se determinó la demanda de los principales usos del agua, estimándose las necesidades hídricas de los cultivos actualmente desarrollados en la zona, y se realizaron balances hídricos para estimar el déficit. Luego, se estimó el costo de suministro del agua incorporada, para lo cual fue necesario realizar un pre-dimensionamiento de la infraestructura de riego requerida, y se evaluó la capacidad de costear esta agua por parte del sector agrícola, que representa la mayor demanda de agua en la zona.

Dado el déficit de 1.253 l/s obtenido para el caso de la demanda actual, y de 2.983 l/s para el caso de la demanda potencial, los resultados demuestran necesaria una reducción de las demandas en al menos un 64% para el primer caso, y un 80% para el segundo. El costo del agua suministrada se estimó en 0,92 US\$/m³ para satisfacer el “déficit actual” y en 0,88 US\$/m³ para satisfacer el “déficit potencial” de aguas subterráneas en el área de estudio. Estos costos resultaron altos, dada la disposición a pagar en la zona, de alrededor de 0,5 US\$/m³ como máximo. Finalmente, del análisis económico realizado para evaluar la capacidad de los principales cultivos desarrollados en la zona para costear esta agua, se concluye que estos resultan altamente sensibles ante el costo del agua y no son capaces de absorberlo, con la excepción del cultivo del Tomate, tutorado y al aire libre, en un tamaño de producción pequeña. Por lo tanto, la incorporación de una fuente externa no-convencional de agua no es viable por cuanto la agricultura no sería capaz de establecer una demanda suficiente.

Palabras clave: Déficit Hídrico, Costo del Agua, Fuente No-Convencional de Agua, Viabilidad Económica, Acuífero de Copiapó.

ABSTRACT

The recent instability of the Copiapó river valley aquifer has been a subject of concern. Numerous hydrogeological studies have shown negative balances, as the level of extraction is much greater than the system is able to maintain. Thus, in order to recover the aquifer without sacrificing the productivity of the different economic activities, a reduction in the current consumption is needed, which can be achieved with the use of new water resources to compensate part of the water demand.

Since there are initiatives to supply water to the northern section of the country, this study aimed to evaluate the viability of the incorporation of a non-conventional water source in sectors 5 and 6 of the aquifer, to satisfy the water shortage resulting from the current demand for groundwater demand, and the potential groundwater demands that the water rights represent. The study estimates water demand of different users, calculating the water requirements of the crops grown in the area. Water balances were then performed to estimate the shortage. The cost of the incorporated water supply was then estimated, requiring pre-sizing the necessary irrigation infrastructure and an assessment of the ability to pay for this water by the agricultural sector, which represents the largest demand for this water in the region.

Given the estimated deficit of 1,254 l/s relative to current demand and 2,983 l/s for the projected potential demand for water, the study demonstrates a need to reduce water demands by at least 64% relative to current levels of use and by 80% relative to the potential demand. The cost of water supplied is estimated at 0.92 US\$/m³ in order to satisfy the "current deficit" and 0.88 US\$/m³ for the "potential deficit" of groundwater in the studied area. Given current willingness to pay in the area is closer to 0.5 US\$/m³ or less, these costs appear high. Finally, based on the economic assessment undertaken to evaluate the ability of the region's primary crops to sustain these water costs, the study concludes that these crops are highly sensitive to water costs and, with the exception of staked open air tomatoes grown on a small scale, regional crops are unable to absorb these costs. Therefore, the incorporation of an unconventional external water source is not feasible because agriculture is unable to establish sufficient demand.

Key words: Water Shortage, Cost of Water, Non-Conventional Water Resources, Economic Viability, Copiapó Aquifer.

INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos han sido desde hace varios años un asunto de preocupación en la Región de Atacama y en la cuenca de Copiapó, tanto por el descenso sostenido que ha presentado el nivel del acuífero como por la desaparición del río Copiapó en zonas donde su caudal antes era intermitente pero frecuente (DGA, 2009). Existe en esta cuenca un gran desbalance entre los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) otorgados y la disponibilidad efectiva del recurso (DICTUC, 2010), lo que ha generado un desequilibrio y por sobretodo ha dificultado la satisfacción de las demandas.

Diversos estudios hidrogeológicos se han realizado en el acuífero del valle del río Copiapó para conocer la situación de disponibilidad actual y futura del recurso hídrico, obteniéndose en la mayoría de los modelos balances negativos. A pesar de que en los años 80 este tenía una proyección optimista según el primer modelo numérico del acuífero desarrollado por Álamos y Peralta (1987), resultado que se explica por las abundantes lluvias ocurridas en los años anteriores (DICTUC, 2010), los modelos numéricos posteriores han demostrado lo contrario.

La Dirección General de Aguas (DGA) estimó el déficit medio de los años 2004-2007 en alrededor de 50 millones de m^3 /año (DGA, 2009). DICTUC (2010) estimó que la situación de explotación vigente obligaba a un aporte desde el volumen embalsado en el acuífero de 1.682 l/s en promedio al año, generando descensos importantes en el volumen de algunos sectores y disminuyendo la recarga hacia aguas abajo. Esto implica que el volumen almacenado en el acuífero sufriría un descenso aproximado de 53 millones de m^3 al año. En tanto, los modelos más recientes como el del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2012) estimaron (para los años 1993-2010) un consumo del orden de 58 millones de m^3 al año, equivalente a una tasa de 1.834 l/s, mientras que HIDROMAS (2013), estimó para sector bajo del acuífero (en el periodo 1993-2012), que el volumen embalsado se está consumiendo a tasas de 1.361 l/s, equivalentes a 43 millones de m^3 al año, lo que en todos los casos indica una extracción de agua mucho mayor que lo que el sistema es capaz de mantener.

Esta tendencia a la disminución de los volúmenes almacenados del acuífero se observa desde los años 90, aumentando persistentemente el déficit al ser las extracciones mayores que las recargas (DGA, 2009; DICTUC, 2010; HIDROMAS, 2013), lo que no se debe únicamente a la reducción de las precipitaciones en este período, sino también al aumento de los consumos (DGA, 2009). De mantenerse los consumos actuales, las proyecciones indican un deterioro progresivo del acuífero, aumentando las tasas de depresión de los niveles freáticos, y ni aún épocas de abundante recarga permitirían una recuperación significativa (Golder Associates, 2006; DGA, 2009; DICTUC, 2010).

Lo anterior implica que para recuperar el acuífero es necesaria una reducción en los consumos actuales para minimizar el desbalance entre ingresos y salidas de agua de la

cuenca. Para lograr este objetivo, sin sacrificar la productividad de la agricultura y la minería, así como el suministro de agua potable, se hace fundamental gestionar medidas para aumentar los ingresos y reducir las salidas, lo cual se puede lograr mediante nuevas fuentes de agua que compensen parte de la actual demanda (DGA, 2009). En esta línea, Golder Associates (2006) propuso un modelo de gestión sustentable de los recursos hídricos de la cuenca del río Copiapó que incluía, entre otras medidas, la creación de fuentes alternativas de agua para incrementar los recursos hídricos que ingresan a la cuenca. Del mismo modo, la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025 (MOP, 2013) actualmente plantea explorar alternativas no convencionales para abordar la escasez de forma más permanente, como la desalación y la conducción de caudales de agua desde cuencas con disponibilidad del recurso hacia cuencas que presentan escasez por medio de ductos submarinos o terrestres, entre otros.

El año 2014, y debido a que durante los últimos cinco años se presentaron al Ministerio de Obras Públicas (MOP) varias iniciativas destinadas a transportar agua desde las cuencas del sur de Chile hacia la zona norte del país, la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio realizó un estudio en que se analizaron las distintas alternativas de transporte de agua presentadas, tales como transportes marítimos, tuberías submarinas y tuberías terrestres (INECON, 2014). Todas estas alternativas consideran obtener el agua desde los ríos Rapel, Maule y Biobío, para lo cual la DOH inició los procesos de solicitud de DAA con la Dirección General de Aguas (DGA), derechos que serían consuntivos, permanentes y continuos, en las desembocaduras de los mencionados ríos, por un total de 60 m³/s.

Una de estas iniciativas propone llevar mediante una tubería submarina el agua desde los ríos de la zona centro-sur hacia las regiones del norte del país a través de una denominada "carretera hídrica", proyecto considerado de suma importancia para dar solución a la escasez de agua en el norte de Chile por la Comisión Nacional de Riego (CNR). Es así que mediante el estudio "Diagnóstico de la Demanda Potencial Hídrica en el Norte de Chile", Laboratorio de Análisis Territorial (2013), de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, evaluó la expansión potencial de la agricultura en la zona norte del país a partir de esta fuente de agua, y estableció que existían cultivos de alta rentabilidad capaces de absorber los costos estimados del recurso en su producción.

El sector agrícola, principal usuario de agua en la cuenca y a nivel país, representa la mayor demanda de aguas subterráneas en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó (Fuster et al., 2015a), y es el uso mayoritario al que están orientadas las alternativas de transporte de agua presentadas a la DOH (INECON, 2014), por lo que la incorporación de agua en esta zona, a fin de satisfacer las necesidades de agua de los distintos sectores económicos tales como la agricultura, la minería, la industria y el consumo humano, depende en gran medida de la demanda que este sector productivo haga del recurso. Se hace entonces relevante conocer cuál es la "demanda actual" de aguas subterráneas de la agricultura, así como de los otros usos presentes en el área de estudio, y evaluar la factibilidad de que el agua transportada por medio de un proyecto como este pudiera ser efectivamente utilizada por parte de los usuarios de agua de la cuenca, para lo cual es necesario determinar la capacidad de los cultivos presentes en la zona para costear esta

agua en su producción, dado lo anteriormente establecido por Laboratorio de Análisis Territorial (2013).

Asimismo, el manifiesto sobre-otorgamiento de DAA Subterráneos que existe en el acuífero del valle del río Copiapó, ha determinado que exista una gran cantidad de derechos que no se encuentra en uso actualmente, lo que genera una "demanda potencial" por parte de los distintos sectores económicos, ante un aumento en la disponibilidad del recurso dado por la incorporación de agua en el acuífero, la cual es igualmente relevante identificar.

Dada la existencia de este y otros proyectos que pretenden abastecer de agua la zona norte del país, el presente estudio busca evaluar la posibilidad de incorporar una fuente externa no convencional de agua para los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, que compense parte de la demanda de agua subterránea, de manera de satisfacer el déficit en que se encuentra el acuífero dada la "demanda actual" de aguas subterráneas de los distintos sectores económicos, y dada la "demanda potencial" de aguas subterráneas que representan los DAA Subterráneos vigentes, y de esta forma aumentar los ingresos de agua al sistema, la que se presenta como una alternativa para permitir su recuperación. Según lo anterior, se evaluó la viabilidad económica de incorporar una fuente externa de agua, en términos del volumen demandado del recurso por parte de los usuarios de agua de la cuenca, del costo de suministro del agua dado este volumen y su distribución espacial, y de la capacidad de demandar esta agua, es decir costearla, por parte del sector agrícola, principal consumidor del recurso en el área de estudio.

El presente estudio se desarrolló en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, también llamados "Copiapó - Piedra Colgada y Piedra Colgada – Desembocadura", donde se cuenta con información actualizada de la demanda de aguas subterráneas así como de los cultivos presentes al año 2014, y dado que en la parte baja de la cuenca existe una mejor aptitud para incorporar agua, dados los costos de elevación, según determinó Laboratorio de Análisis Territorial (2013).

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la viabilidad económica de incorporar una fuente externa no convencional de agua para compensar parte de la demanda de agua subterránea de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

Objetivos específicos

Estimar el costo de suministrar el agua necesaria para satisfacer el déficit dado por la demanda actual de agua subterránea.

Estimar el costo de suministrar el agua necesaria para satisfacer el déficit dado por la demanda potencial que representan los DAA subterránea.

Evaluar la capacidad de los cultivos presentes en la zona para costear el agua como insumo según los escenarios de costo generados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

La cuenca del río Copiapó se encuentra en la Región de Atacama, abarcando parte de las comunas de Tierra Amarilla, Copiapó y Caldera, posee un área de 18.538 km² y limita al norte con la cuenca del río Salado y al sur con la cuenca del río Huasco. El clima en la cuenca es de tipo semiárido, con una temperatura media anual de 15,2 °C en la estación meteorológica de Copiapó, y temperaturas medias mensuales en el rango de 11,2 °C a 19,8 °C. La precipitación media anual en la cuenca es de 28 mm (DICTUC, 2010).

El río Copiapó se forma al juntarse los ríos Pulido y Jorquera, recibiendo aguas abajo el aporte proveniente del río Manflas. Posee un régimen mixto, con importantes caudales en invierno y verano en años muy húmedos, sin embargo en años normales y secos la influencia nival disminuye notablemente producto del uso de agua para el riego, de manera que se presentan los menores caudales en ese período, entre diciembre y febrero (HIDROMAS, 2013).

El acuífero del valle del río Copiapó se divide en 6 sectores administrativos (Figura 1) definidos por la Dirección General de Aguas (DGA) en la Minuta Técnica DGA N° 61 de 1997, según la sectorización propuesta por Álamos y Peralta (1987), los cuales son:

- Sector 1: Aguas arriba del Embalse Lautaro
- Sector 2: Embalse Lautaro - La Puerta
- Sector 3: La Puerta - Mal Paso
- Sector 4: Mal Paso - Copiapó
- Sector 5: Copiapó - Piedra Colgada
- Sector 6: Piedra Colgada - Angostura

El área de estudio corresponde a los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, abarcando desde la ciudad de Copiapó por el oriente hasta la desembocadura en el océano Pacífico por el poniente. Desde el punto de vista físico, existe una discontinuidad hidrogeológica en la ciudad de Copiapó que hace surgir las vertientes localizadas entre los sectores de San Fernando y Copiapó, por lo que Álamos y Peralta (1995) sugieren conveniente tratar en forma separada los sectores aguas abajo de dicha ciudad, de los que se encuentran aguas arriba. El acuífero es de tipo no confinado, es decir, el río Copiapó está hidráulicamente conectado con el acuífero, constituyendo éste su fuente más importante de recarga, junto con la infiltración desde los sistemas de regadío del valle (DGA, 2003).

En estos sectores no existen constituidos Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) superficiales (DICTUC, 2010), y ambos fueron decretados Área de Restricción para nuevas

extracciones de agua subterránea mediante resolución DGA N° 162 el año 2001, luego de que se alzara la Zona de Prohibición que regía sobre ellos. Como consecuencia, y para dar cumplimiento al artículo 196 del Código de Aguas, el año 2005 se registró en la DGA la "Comunidad de Aguas Subterráneas en área de restricción Copiapó - Piedra Colgada y Piedra Colgada - Desembocadura" (CASUB) con la dictación de la resolución DGA N° 304, la cual fue constituida mediante sentencia judicial. Esta fue la primera Comunidad de Aguas Subterráneas constituida en el país, y actualmente cuenta con alrededor de 200 usuarios, mientras que los pozos registrados alcanzan los 230 (Fuster et al., 2015a).

Las principales actividades económicas en la cuenca son la agricultura y la minería. Dentro de la agricultura se destacan los cultivos frutales para exportaciones, las viñas y el cultivo de hortalizas, mientras que la actividad minera incluye a la Fundición Paipote perteneciente a CODELCO, minera Candelaria y empresas mineras productoras de cobre, hierro, oro y plata (DICTUC, 2010). Sin embargo, la mayoría de los pozos operativos en el área de estudio (sectores 5 y 6) corresponden a extracciones para uso agrícola, existiendo sólo unos pocos pozos recientes para extracción de agua potable y para minería (HIDROMAS, 2013).

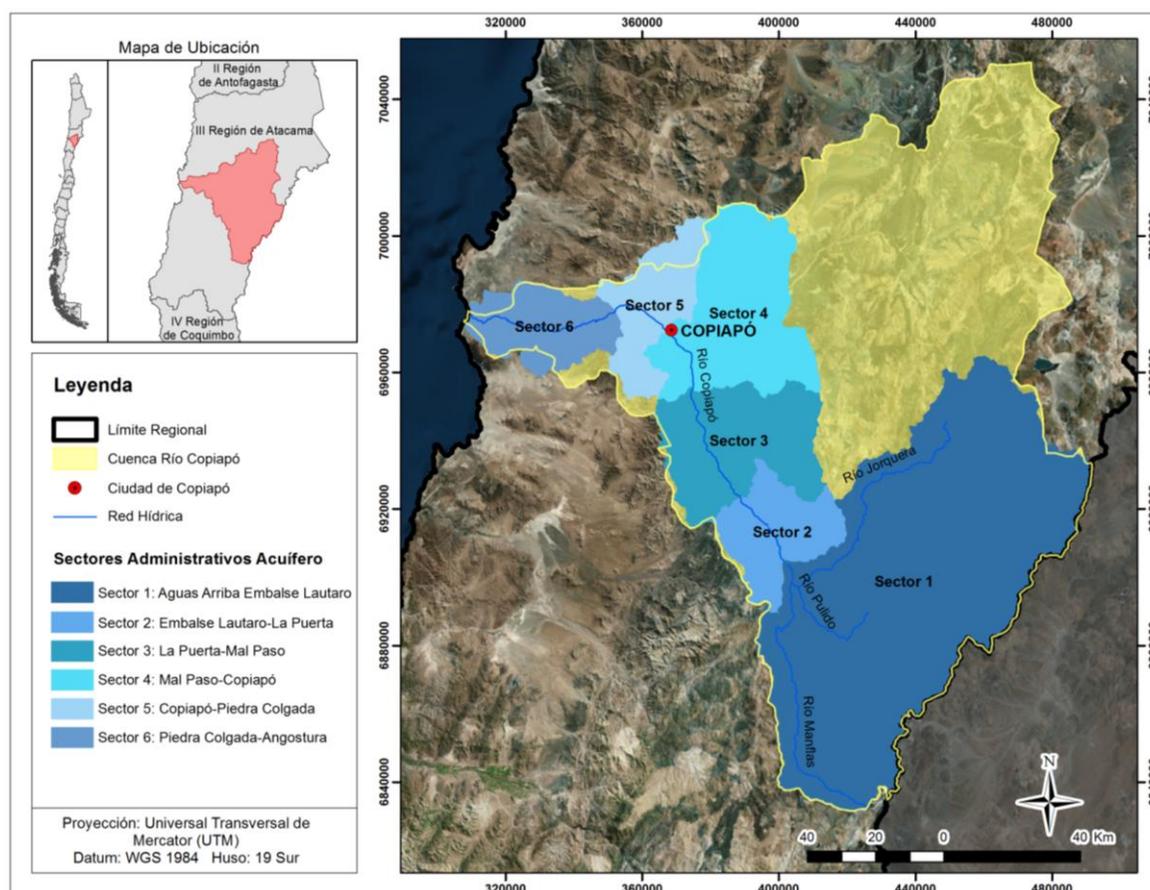


Figura 1. Sectores administrativos del acuífero del valle del río Copiapó.

Métodos

Para la evaluación de la viabilidad económica de incorporar agua a los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó a partir de una fuente externa no convencional, se aplicó la estructura utilizada en el estudio “Diagnóstico de la Demanda Potencial Hídrica en el Norte de Chile” (Laboratorio de Análisis Territorial, 2013), el que toma como supuesto que el agua incorporada en los distintos puntos de entrega en el norte del país es ofrecida a nivel de costa (cota 0), a un costo base determinado por la alternativa a utilizar. A partir de esta metodología se desarrolló el análisis consiguiente, para definir el diseño de la infraestructura de riego extra-predial necesaria para llevar el recurso a los sectores donde es demandado, y estimar el costo de disponer de esta agua de acuerdo al volumen que se compensará, para finalmente evaluar la capacidad económica de costear esta agua por parte del sector agrícola, según se dijo, el principal usuario del recurso en la cuenca y el país.

Dado que el costo del agua suministrada está determinado por el volumen de agua a compensar, se generaron dos escenarios de cálculo, considerando el déficit existente en el acuífero producto de la demanda hídrica actual, y considerando el déficit potencial que se generaría producto de la demanda que representan los DAA Subterráneos vigentes, para lo cual se hizo una caracterización de la oferta y demanda de aguas subterráneas, donde se recopilaron y actualizaron las demandas de agua existentes en el área de estudio a partir de las cuales se elaboraron los balances hídricos necesarios. La Figura 2 presenta un esquema general de la metodología utilizada en la presente memoria.

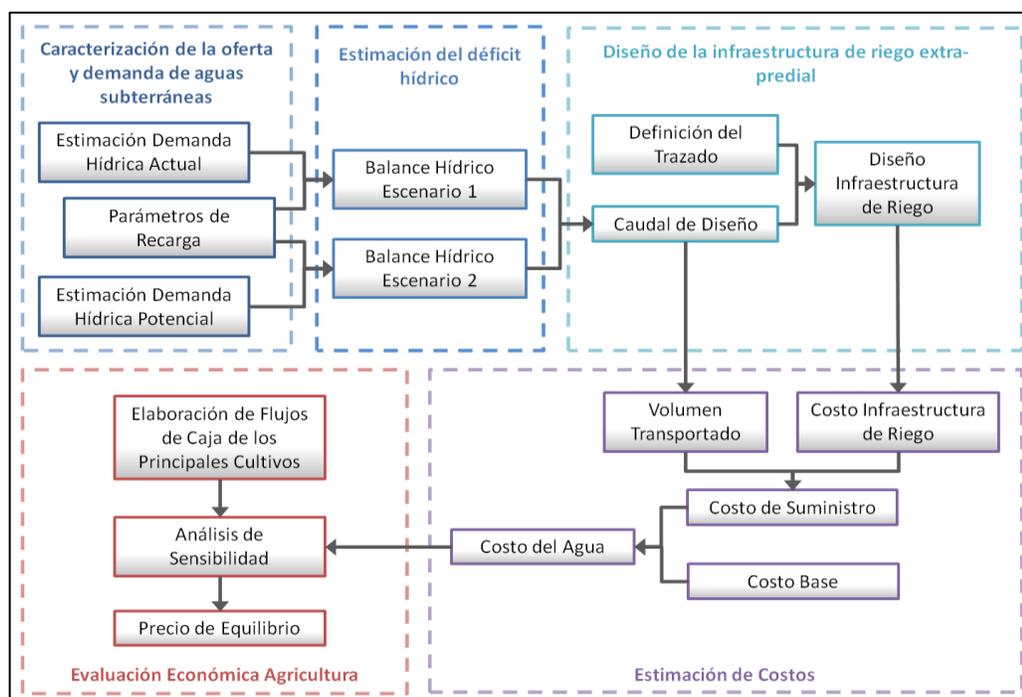


Figura 2. Esquema general de la metodología para la evaluación económica de la incorporación de agua a los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

En concordancia con lo anterior, y para dar respuesta a los objetivos planteados, la metodología se abordó según las siguientes etapas:

Caracterización de la oferta y demanda de aguas subterráneas

Se realizó una caracterización de las aguas subterráneas de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, con el objetivo de definir la demanda del recurso hídrico de acuerdo a los principales sectores económicos presentes, a la actual configuración de usos del agua en el área de estudio, y al caudal registrado en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, así como definir también la oferta de aguas subterráneas en el área de estudio de acuerdo a los modelos hidrogeológicos elaborados para el acuífero. Para conocer la demanda actual de aguas subterráneas, se actualizaron los valores de demanda hídrica de los principales usos del agua en la cuenca, para lo cual se contó con la estructura de cultivos actual en el área de estudio y se determinaron sus necesidades de riego, así como la demanda de bombeo actual de la minería y el agua potable.

La demanda de aguas subterráneas fue calculada de manera espacial en el área de estudio, especialmente en el caso de la demanda hídrica de la agricultura, debido a que esta presenta variaciones dentro del espacio, ya sea porque existen diferencias en la demanda atmosférica de agua a lo largo de la cuenca, como por la distribución del patrón de cultivos, el que no es homogéneo. Debido a estas diferencias en la demanda de los cultivos dentro del área de estudio, y junto con la necesidad de generar infraestructura de riego para conducir el agua demandada por los diferentes usos del agua a los distintos sectores evaluados, se consideró tanto la demanda hídrica de los principales usos del agua en la cuenca, agricultura, minería y agua potable (que equivale a determinar cuánta agua es demandada), así como su distribución espacial (que equivale a determinar dónde se destinará el agua compensada).

Demanda hídrica del sector agrícola. Para la determinación de la demanda de agua del sector agrícola se contó con un catastro del uso de suelo, en el que los diferentes usos de suelo agrícola fueron determinados mediante percepción remota y levantamiento de información en terreno entre noviembre de 2013 y enero de 2014 como parte del proyecto “Sistema Piloto de Banco de Aguas geoespacializado en los sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó” (CORFO N° 13BPC3-19056) (Fuster et al., 2015b), en el que se encuentran identificados mediante una cartografía los tipos de cultivos existentes y los sistemas de riego presentes en los predios catastrados.

La demanda hídrica para el uso agrícola corresponde a la demanda de riego de los cultivos identificados en el área de estudio, la cual depende de las necesidades de agua de cada cultivo, así como de los sistemas de riego identificados y su eficiencia.

Para el cálculo de las demandas de riego se utilizaron las metodologías descritas por Doorenbos y Pruitt (1976) en el Estudio FAO de Riego y Drenaje N°24 y por Allen et al. (2006) en el Estudio FAO de Riego y Drenaje N°56, de acuerdo a lo realizado en el modelo hidrogeológico de DICTUC (2010), las que se basan en el cálculo de la evapotranspiración de los cultivos como equivalente a sus necesidades de agua, y en la estimación de las necesidades de riego netas y brutas.

La evapotranspiración (ET) se refiere a la combinación de dos procesos por los que el agua se pierde, a través de la superficie del suelo (evaporación) y mediante la transpiración del cultivo, y se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración. De lo anterior se distinguen dos conceptos: Evapotranspiración de Referencia (ET_o) y Evapotranspiración de Cultivo (ET_c). ET_o es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera, y representa la pérdida de agua de una superficie cultivada de referencia, que ocurre sin restricciones de agua. Esta superficie estándar corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas, bien regado, y de altura uniforme. ET_c se refiere a la evapotranspiración de un cultivo, cuando se encuentra en condiciones óptimas de manejo y con un adecuado aporte de agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes (Allen et al., 2006).

La cantidad de agua que se requiere para compensar la pérdida por evapotranspiración de un cultivo es lo que se define como la necesidad de agua de éste, por lo tanto, y de acuerdo a Allen et al. (2006), la Evapotranspiración de Cultivo (ET_c) equivale a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada a un cultivo.

La Evapotranspiración de Referencia (ET_o) puede ser calculada a partir de datos meteorológicos, dado que los únicos factores que la afectan son parámetros climáticos. Se utilizan diversos métodos para predecir la ET_o a partir de variables climáticas, debido a la dificultad de obtener mediciones directas y exactas en condiciones reales (Doorenbos y Pruitt, 1976). En este caso se utilizó la ecuación de Hargreaves y Samani (1985) (Ecuación 1), al contar únicamente con disponibilidad de datos de temperaturas medias, mínimas y máximas mensuales que abarcaran el área de estudio de manera espacialmente continua, los cuales fueron obtenidos en el contexto de la elaboración del Atlas Bioclimático de Chile (Uribe et al., 2012), en formato raster y con una resolución de 90 metros. A pesar de que Allen et al. (2006) recomienda el método de Penman-Monteith, éste requiere de varios datos meteorológicos que deben ser medidos con precisión suficiente para obtener estimaciones precisas, mientras que el método de Hargreaves y Samani, que sólo requiere datos de temperaturas mensuales, ha producido resultados razonables de ET_o con validez global, por lo que es considerada una opción alternativa por Allen et al. (2006).

$$ET_o = 0,0023 * (T_{med} + 17,8)(T_{max} - T_{min})0,5 * Ra \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

ET_o : Evapotranspiración de Referencia (mm/mes)

T_{med} : Temperatura media mensual (°C)

T_{max} : Temperatura máxima mensual (°C)

T_{min} : Temperatura mínima mensual (°C)

Ra : Radiación extraterrestre (mm/mes)

La Radiación Extraterrestre fue generada a partir de una imagen raster de latitudes, con una resolución de 90 metros, abarcando la III Región de Atacama. A partir de la tabla de radiación extraterrestre diaria para diferentes grados de latitud para el día 15 del mes (este valor puede ser asumido como valor mensual), obtenida desde Allen et al. (2006), se derivó para cada mes, una curva que se ajustara al valor de radiación extraterrestre diaria entre los grados abarcados por la región, 24 y 30 grados de latitud sur, obteniendo de esta forma imágenes raster mensuales de Radiación Extraterrestre, de 90 metros de resolución. El Cuadro 1 muestra las ecuaciones utilizadas para obtener la Radiación Extraterrestre (variable y) a partir de la latitud (variable x).

Cuadro 1. Ecuaciones utilizadas para relacionar la Radiación Extraterrestre (y) a la latitud (x) en el área de estudio.

Mes	Ecuación curva ajustada
Enero	$y = -1,25*10^{-2}x^2 + 0,78x + 31,10$
Febrero	$y = -2,08*10^{-3}x^3 + 0,16x^2 - 4,27x + 77,60$
Marzo	$y = 3,55*10^{-15}x^2 - 0,25x + 41,80$
Abril	$y = 2,08*10^{-3}x^3 - 0,18x^2 + 4,44x - 4,80$
Mayo	$y = -4,17*10^{-3}x^3 + 0,345x^2 - 9,61x + 118,40$
Junio	$y = -2,08*10^{-3}x^3 + 0,16x^2 - 4,77x + 71,50$
Julio	$y = -0,55x + 36,10$
Agosto	$y = 2,08*10^{-3}x^3 - 0,18x^2 + 4,39x - 6,20$
Septiembre	$y = 2,08*10^{-3}x^3 - 0,18x^2 + 4,54x - 3,90$
Octubre	$y = -4,17*10^{-3}x^3 + 0,34x^2 - 9,21x + 122,50$
Noviembre	$y = 7,11*10^{-15}x^2 + 0,05x + 40,50$
Diciembre	$y = 7,11*10^{-15}x^2 + 0,15x + 39,40$

La operación de la Ecuación 1 se realizó de manera espacial, entre las imágenes de temperaturas mínimas, medias y máximas mensuales de Uribe et al. (2012), y la imagen de Radiación Extraterrestre obtenida, generándose de esta forma imágenes raster de Evapotranspiración Potencial (ET_o) mensuales, de 90 metros de resolución.

Para el cálculo de la Evapotranspiración de Cultivo, se utilizó la Ecuación 2, la que relaciona la Evapotranspiración de Referencia con la Evapotranspiración de Cultivo mediante el llamado Coeficiente de Cultivo (K_c), que representa el efecto de las características del cultivo sobre las necesidades de agua (Doorenbos y Pruitt, 1976).

$$ETc = ETo * Kc$$

Ecuación 2

Donde,

ETc : Evapotranspiración de Cultivo (mm/mes)

ETo : Evapotranspiración de Referencia (mm/mes)

Kc : Coeficiente de Cultivo

El Coeficiente de Cultivo (Kc) representa los efectos de las características que distinguen a un determinado cultivo del cultivo de referencia, y debe definirse para cada cultivo en particular. Este coeficiente puede ser determinado experimentalmente, pero debido a que es un factor que depende casi exclusivamente de las características del cultivo, permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas (Allen et al., 2006). Al no encontrarse Kc definidos experimentalmente para la zona, los coeficientes para los distintos cultivos identificados en la cartografía de uso de suelo agrícola del área de estudio fueron consultados en bibliografía y posteriormente corregidos y validados con el profesor de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Juan Manuel Uribe (Uribe, 2014)¹.

Las necesidades de riego se refieren a la cantidad de agua que debe ser aplicada con el objeto de compensar los déficit de humedad del suelo durante el período vegetativo de un cultivo dado, y queda determinada básicamente por la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo (Evapotranspiración de Cultivo) y el agua que han aportado las precipitaciones, definida como la Precipitación Efectiva (Doorenbos y Pruitt, 1976; Allen et al., 2006; DICTUC, 2010). Esta diferencia corresponde a las necesidades de riego netas, o Demanda Neta, según se expresa en la Ecuación 3.

$$DN = ETc - Ppef$$

Ecuación 3

Donde,

DN : Demanda Neta de agua (mm/mes)

ETc : Evapotranspiración de Cultivo (mm/mes)

Ppef : Precipitación Efectiva (mm/mes)

La Precipitación Efectiva corresponde a una parte de la lluvia total, dado que no toda la precipitación resulta efectiva. Parte de la lluvia puede perderse debido a la escorrentía superficial, a una percolación profunda o a la evaporación de la lluvia interceptada por las hojas de las plantas (Doorenbos y Pruitt, 1976). Para el cálculo de la Precipitación Efectiva (Ppef) se utilizó el método de la USDA-SCS (United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service) según DICTUC (2010), de acuerdo a la Ecuación 4 (Smith, 1992).

¹ Uribe, J. M. 2014, oct. Necesidades de agua de los Cultivos. [Entrevista Personal]. Santiago, Chile, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

La precipitación mensual fue obtenida en el contexto de la elaboración del Atlas Bioclimático de Chile (Uribe et al., 2012), y consiste en un promedio histórico de cada mes, en formato raster de 90 metros de resolución.

$$\begin{aligned} \text{Si } P \leq 250\text{mm: } P_{pef} &= \frac{P*(125-0,2*P)}{125} \\ \text{Si } P > 250\text{mm: } P_{pef} &= 125 + 0.1 * P \end{aligned} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

P_{pef} : Precipitación Efectiva (mm/mes)

P : Precipitación mensual (mm/mes)

Dado que el riego no es nunca eficaz en un cien por ciento, es preciso aumentar las necesidades netas de riego para tener en cuenta las pérdidas evitables o inevitables, en función de la eficiencia de la aplicación del riego (Doorenbos y Pruitt, 1976). Las necesidades de riego brutas, o Demanda Bruta de Riego, se definen por lo tanto según la Ecuación 5.

$$DBR = \frac{\frac{DN}{(ER/100)} * SR}{8,64 * dm} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

DBR : Demanda Bruta de Riego (l/s)

DN : Demanda Neta de agua (mm/mes)

ER : Eficiencia de Riego (%)

SR : Superficie de Riego (ha)

dm : Días del mes

La eficiencia de aplicación del riego, o Eficiencia de Riego, es la fracción del agua aplicada en el riego que se almacena en el suelo y que está disponible para el cultivo. Las eficiencias de aplicación se encuentran definidas por el Decreto 397 de 1997 del Ministerio de Agricultura, y se consideraron de acuerdo a los métodos de riego identificados en el área de estudio, según el Cuadro 2.

Cuadro 2. Eficiencia de aplicación del riego según método

Método de Riego	Eficiencia de Aplicación (%)
Tendido	30
Surcos	45
Tazas	65
Aspersión	75
Goteo	90

Fuente: Decreto N°397 de 1997 del Ministerio de Agricultura

De esta forma se obtuvo la Demanda Bruta de Riego de cada mes, para todos los cultivos identificados en la cartografía de uso de suelo agrícola, de acuerdo a la superficie cultivada de cada uno y a su ubicación espacial en el área de estudio. Para la estimación de la demanda se consideraron condiciones de año normal, y no se contemplaron factores como salinidad o fracción de lixiviación, pues se asumió que el agua ofrecida para el riego es de buena calidad.

Demanda hídrica de otros usos. La Demanda Hídrica de los principales usos no agrícolas del agua en el área de estudio, Minería y Agua Potable, se obtuvo desde la Comunidad de Aguas Subterráneas de Copiapó - Piedra Colgada y Piedra Colgada - Desembocadura (CASUB), como parte del proyecto “Sistema Piloto de Banco de Aguas geoespacializado en los sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó” (Fuster et al., 2015b), desarrollado por el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Chile, la cual cuenta con información de extracción de aguas subterráneas de los usuarios de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas. Así mismo, para determinar la demanda hídrica existente en términos legales (demanda potencial), se recopiló información desde la CASUB acerca de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) subterráneas vigentes actualmente en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, los cuales fueron ubicados en una cartografía de acuerdo a la ubicación registrada de los puntos de captación de cada DAA.

Oferta de aguas subterráneas. Para la determinación de la oferta de aguas subterráneas se hizo una revisión de los modelos hidrogeológicos más recientes desarrollados para el acuífero (DICTUC, 2010; SERNAGEOMIN, 2012; Vargas, 2013; HIDROMAS, 2013), para extraer valores de caudales de recarga para los sectores acuíferos estudiados. Por ser el más reciente, se utilizaron los parámetros de recarga del modelo hidrogeológico del acuífero de Copiapó desarrollado con el software MODFLOW por HIDROMAS (2013), el cual se basó en los modelos anteriores (DICTUC, 2010; SERNAGEOMIN, 2012), mejorando y actualizando los datos de modelación.

Los elementos que fueron caracterizados en estos puntos, tanto en la oferta y demanda de agua para los principales usos presentes en el área de estudio, fueron trabajados de manera que estos quedaran plasmados espacialmente, en cartografías que permitieran determinar cómo se distribuye la demanda y oferta hídrica a lo largo del área de estudio, de acuerdo a las características de la información recopilada en cada caso.

Para el caso de la demanda hídrica del sector agrícola, ésta fue calculada en base a la cartografía de uso de suelo agrícola actualizada y a información climática de carácter continuo, de manera que la información se trabajó a nivel de predios agrícolas. En cuanto a la demanda representada por los caudales registrados en los DAA subterráneos, ésta se

definió en base a los puntos de captación registrados, de modo que la información se encuentra distribuida en puntos a través del área de estudio. Sin embargo, la demanda hídrica de los otros usos, minería y agua potable, se obtuvo de acuerdo a registros de CASUB agrupados por sector administrativo. De la misma forma, los parámetros de recarga de aguas subterráneas obtenidos desde el modelo hidrogeológico de HIDROMAS (2013) se encuentran definidos según sector hidrogeológico, tomando como base la zonificación propuesta por Álamos y Peralta (1987) para el acuífero del valle del río Copiapó y la zonificación desarrollada por DICTUC (2010) para su modelo hidrogeológico, la que define sub-sectores hidrogeológicos dentro de cada sector. Por tal motivo, para el análisis posterior de la información se utilizó esta zonificación, que consiste de 3 sub-sectores acuíferos: Sector 5a, Sector 6a y Sector 6b, de acuerdo a cartografía obtenida de DICTUC (2010) e HIDROMAS (2013).

Estimación del déficit hídrico

A partir de la información anterior, se realizaron balances hídricos de acuerdo a la sectorización utilizada para el análisis, entre la recarga obtenida del modelo de HIDROMAS (2013), y la demanda hídrica levantada y calculada. Este balance permitió establecer el déficit de agua que existe en el área de estudio, tanto actualmente como potencialmente, el que consiste a su vez en el caudal de agua que se debe compensar, según los siguientes escenarios.

Escenario 1. En el primer escenario, se realizaron balances entre la recarga de aguas subterráneas, y la demanda hídrica actual, que corresponde a la demanda calculada para la agricultura, y las extracciones de la minería y agua potable recopiladas. Esta diferencia consiste en el "déficit actual" que presentan los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, y se consideró por lo tanto como el caudal de agua que es necesario compensar, bajo el escenario de demanda actual del recurso, para mantener el equilibrio del acuífero.

Escenario 2. En el segundo escenario, se realizaron balances entre la recarga del sistema estudiado, y la demanda hídrica que representan los caudales registrados en los DAA subterráneos que se encuentran vigentes actualmente en el área de estudio. Se estableció como supuesto para la definición de este escenario el que se mantendrá la estructura de uso actual del agua, de manera que los DAA subterráneos que corresponden a un uso agrícola (según la información recopilada) se adecuaron a la curva de demanda de los cultivos presentes actualmente en el área de estudio, ya que el consumo de agua por parte de la agricultura es estacional, y no se extrae el total del caudal registrado durante todo el año. Esta diferencia consiste en el "déficit potencial" que presentan los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, y se consideró por lo tanto como el caudal de agua que es necesario compensar, para mantener un equilibrio en el acuífero, bajo un escenario en el que se desean ejercer todos los DAA Subterráneos vigentes según la estructura de uso actual.

La Figura 3 muestra un esquema general de las etapas de caracterización de la oferta y demanda de aguas subterráneas y de la estimación del déficit hídrico.

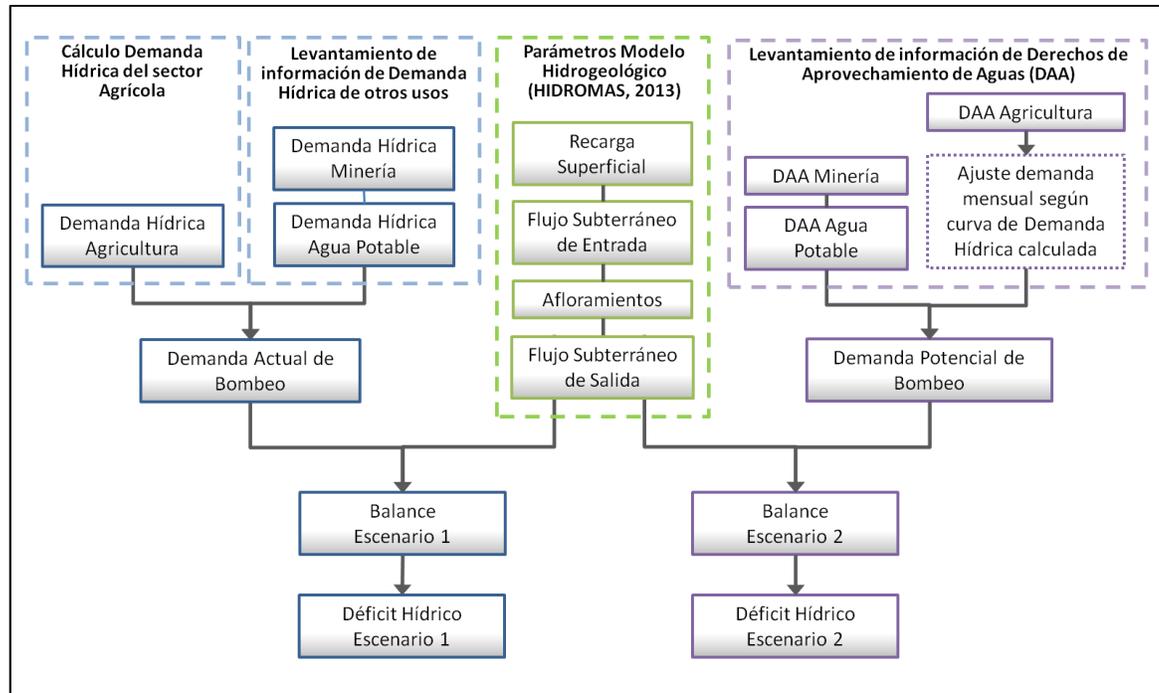


Figura 3. Caracterización de la oferta y demanda de aguas subterráneas y estimación del déficit hídrico de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

Diseño de la infraestructura de riego extra-predial

Una vez determinados los déficit actual y potencial de agua del área de estudio, y por lo tanto los volúmenes de agua que se deben compensar para mantener los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó en equilibrio, se realizó el diseño de la infraestructura de riego extra-predial necesaria para suministrar esta agua, transportándola desde la costa, donde es ofrecida por una fuente no convencional de agua según define Laboratorio de Análisis Territorial (2013) en el estudio “Diagnóstico de la Demanda Potencial Hídrica en el Norte de Chile”, hasta los distintos sectores en estudio.

Definición del trazado. Para el diseño del trazado de las tuberías, se siguió una metodología de análisis de ruta de mínimo costo (“least cost path”), la que consiste en generar dentro de un espacio cartográfico determinado la ruta más corta, más rápida, de menor costo o de menor impacto, desde cualquier punto de partida a un destino determinado, a través de una superficie que presenta diferentes grados de fricción al movimiento (Douglas, 1994), tomando en consideración la distancia, las características del relieve, los usos de suelo presentes, y otros obstáculos del terreno.

La metodología de ruta de mínimo costo se basa en la generación de una superficie de costo acumulado, a partir de una superficie de fricción, sobre la que se define la ruta que represente el menor costo acumulado, tal como lo describen Douglas (1994) y Yu et al. (2003). Se han realizado diversas investigaciones en el diseño de rutas o trazados de tuberías usando SIG mediante esta metodología, como los desarrollados por Iqbal et al. (2006) y Ebrahimipoor et al. (2009).

Para la definición del trazado se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés), de 30 metros de resolución, obtenido del programa ASTER G-DEM, además de cartografías en formato shape del Catastro de Bosque Nativo (uso de suelo), red vial y fuentes de agua, obtenidas desde el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Ministerio de Obras Públicas (MOP) y la Dirección General de Aguas (DGA) respectivamente, y con la cartografía de uso de suelo agrícola actualizada, levantada por el proyecto “Sistema Piloto de Banco de Aguas geoespacializado en los sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó” (Fuster et al., 2015b). Cada capa de información fue convertida a formato raster, a una resolución de 60 metros, las que luego fueron ponderadas e integradas en una sola superficie definida como “superficie de fricción” a partir de los criterios seleccionados, la cual sirvió como base para la definición de la ruta más corta.

Los valores de fricción asignados (Cuadro 3) representan básicamente la relación entre el esfuerzo necesario para atravesar cada elemento presente en el terreno durante la construcción y trazado de la tubería (Iqbal et al., 2006, Ebrahimipoor et al., 2009), dispuestos de acuerdo a una escala numérica relativa. Para todos los procedimientos se utilizó el algoritmo que se encuentra integrado en el software ArcGIS 10, según lo describe Iqbal et al. (2006).

Cuadro 3. Valor de fricción asignado a cada uso de suelo presente en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

Uso de Suelo	Valor de Fricción
Faja Red Vial	1
Áreas Sin Vegetación	10
Praderas y Matorrales	20
Área Agrícola	30
Fuentes de Agua	60
Urbanas e Industriales	80

Se realizó un buffer de 35 metros a cada lado de la red vial, tomando como criterio el que puedan aprovecharse para el paso de la tubería los terrenos correspondientes a la faja colindante a los caminos, por ser un terreno libre de construcciones definitivas, según determina el Decreto con Fuerza de Ley N°850 de 1998, al cual se le asignó la menor fricción.

Finalmente se definieron tres puntos de destino o "puntos de entrega" del agua demandada, uno en cada subsector, de manera que se obtuvieron tres tramos de tubería dentro del mismo trazado.

Diseño de la infraestructura de riego. Para el diseño de la infraestructura de riego extrapredial se siguió la metodología utilizada en el proyecto "Diagnóstico de la Demanda Hídrica en el Norte de Chile" (Laboratorio de Análisis Territorial, 2013), que considera el pre-dimensionamiento de los sistemas de riego requeridos, en función de la distancia recorrida por el trazado entre la bocatoma y cada punto de entrega individual, de la diferencia altitudinal entre estos puntos, y del caudal a ser transportado, según los dos escenarios de déficit planteado.

El pre-dimensionamiento se realizó en base al caudal de diseño, que consiste en el caudal (en m^3/s) a ser transportado para abastecer a cada punto de entrega. Para determinar el caudal de diseño de la infraestructura de riego, se consideró la demanda hídrica del sector agrícola con un 85% de seguridad, lo que quiere decir que la superficie a ser regada, en este caso el área agrícola identificada en la cartografía, disponga de un caudal suficiente para satisfacer su demanda de riego durante el 85% del tiempo, según el artículo 13 del Decreto N°98 del reglamento de la Ley N°18.450. Por lo tanto el diseño de la tubería debe hacerse de acuerdo a este caudal, el que se determina considerando el promedio de los tres meses de mayor demanda hídrica.

Para el escenario de déficit actual (Escenario 1), el volumen de agua que será transportado por la tubería corresponde al déficit de cada sector a abastecer. De los valores de déficit obtenidos desde los balances hídricos realizados según este escenario, se determinó la fracción que corresponde a cada uso, manteniendo la proporción existente entre los tres usos del agua según la demanda de bombeo. En el caso del déficit de agua correspondiente al uso agrícola, se determinó el déficit mensual según la curva de demanda obtenida en el cálculo de la demanda hídrica del sector agrícola. El déficit hídrico con un 85% de seguridad correspondiente a la agricultura se obtuvo entonces promediando los tres meses de mayor déficit mensual. Para el caso de las demandas correspondientes a la minería y el agua potable, se consideró para el diseño el total del déficit anual de ambos usos.

En el caso del escenario de déficit potencial (Escenario 2), el volumen de agua a transportar corresponde al déficit dado por la demanda potencial, representada por el caudal registrado en los DAA subterráneos. De igual forma que en el caso anterior, se determinó la fracción del déficit que correspondería a cada uso identificado. Para los derechos identificados con uso agrícola, cuyo caudal registrado fue ajustado de acuerdo a la curva de demanda mensual de los cultivos presentes actualmente en el área de estudio, se estableció el déficit como una fracción del caudal registrado en los derechos, de acuerdo a esta variación estacional. El déficit hídrico con un 85% de seguridad correspondiente a la agricultura se obtuvo entonces promediando los tres meses de mayor déficit mensual, de la misma forma que en el caso anterior. En cuanto a las demandas correspondientes a la minería y el agua

potable, se consideró para el diseño un caudal equivalente al déficit potencial correspondiente a ambos usos.

El caudal de diseño corresponde al caudal total que debe transportar cada tramo de tubería para abastecer a los puntos de entrega sucesivos, de modo que para el cálculo se sumó el caudal necesario de transportar para satisfacer el déficit de todos los sectores acuíferos o puntos de entrega abastecidos por un mismo tramo, según correspondiera. Una vez definidos los caudales de diseño para cada escenario, fueron determinadas las características de las tuberías a utilizar y se realizó el cálculo de la potencia requerida para la impulsión mediante la metodología de Laboratorio de Análisis Territorial (2013), definiéndose con ello la potencia mecánica, en kilowatts (kW), que debe tener el equipo de elevación, en este caso equipos de bombeo con motores eléctricos.

Finalmente, y luego de realizado el pre-diseño de la tubería de abastecimiento, se estimaron los costos del sistema, o costos de las Obras Civiles, que consideran la instalación (suministro y montaje) de las tuberías y las obras necesarias para su funcionamiento, contemplando unidades funcionales como pozos de aspiración, casetas de bombas e interconexiones hidráulicas, entre otras, según se detalla en Laboratorio de Análisis Territorial (2013).

Estimación de costos

Una vez realizado el pre-diseño del sistema de riego, y determinados los costos de éste, se estimó lo que se denominó el Costo de Suministro, o costo de suministrar el volumen de agua requerido para mantener los distintos sectores estudiados del acuífero en equilibrio, y el Costo del Agua, o costo por metro cúbico del agua suministrada para satisfacer el déficit de los tres sectores estudiados, si el recurso es ofrecido a nivel de la costa por una fuente no convencional de agua.

Costo de Suministro. El costo de suministro corresponde al costo de disponer el agua en los lugares donde es demandada y según el volumen demandado, si ésta es ofrecida en la costa (cota 0), y se compone de los costos de infraestructura y de transporte. El costo de infraestructura se refiere a la depreciación anual de las Obras Civiles establecidas en el pre-diseño, y se determinó de acuerdo a la vida útil de estas (18 años). La vida útil de las obras civiles usada en el cálculo se obtuvo a partir de la Nueva Tabla de Vida Útil fijada por el Servicio de Impuestos Internos para bienes físicos del activo inmovilizado, según Resolución N°43, de 26-12-2002, correspondiente a activos agrícolas, como tuberías.

El costo de transporte por otro lado, se estimó a partir de los requerimientos energéticos de transportar los volúmenes de agua demandada, hacia los puntos de entrega definidos. Estos requerimientos se definieron en base a la potencia mecánica del equipo de bombeo necesario de acuerdo al pre-diseño del sistema de riego. La estimación se realizó en función del tiempo necesario de funcionamiento de la bomba para elevar el total de agua

demandada en los distintos puntos de entrega, el que de acuerdo a la potencia de diseño de la bomba (en kilowatts, kW), y el valor del suministro eléctrico (en kilowatt-hora, kWh), determina el Costo de Transporte, o costo energético de bombeo.

El valor del kWh se obtuvo de las tarifas de suministro eléctrico proporcionadas por la Empresa Eléctrica de Atacama (EMELAT), del 1 de junio de 2014 (EMELAT, 2014), y corresponde al cargo por energía y por el uso del sistema troncal de acuerdo a la opción tarifaria AT o Alta Tensión, tomando como supuesto que se utilizarán bombas de motor trifásico con requerimiento de suministro de alta tensión debido a la gran potencia requerida por el proyecto.

De igual forma que con el pre-diseño del sistema de riego extra-predial, los costos antes descritos fueron calculados por tramo de tubería, de acuerdo a la longitud, la elevación y el volumen de agua que cada tramo debe transportar. Sin embargo, para determinar el costo de suministro, los costos totales de cada tramo fueron sumados y luego divididos por el total del volumen transportado, de modo de dividir los costos en partes iguales entre los tres sectores abastecidos y que el costo de cada metro cúbico de agua transportada fuera el mismo para todos los usuarios en todos los sectores.

Costo del agua. Para poder estimar el costo total que el agua tendría en los tres sectores administrativos estudiados, es necesario contar con el costo base del agua, es decir el precio al que el agua sería ofrecida por el proveedor, según la alternativa de conducción utilizada. La Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas realizó un estudio en que se analizaron distintas alternativas de transporte de agua para abastecer la zona norte del país a partir de los recursos hídricos de la zona sur, como transportes marítimos, tuberías submarinas y tuberías terrestres, además de considerar una opción de abastecimiento local por medio de plantas desaladoras (INECON, 2014), sin embargo no se cuenta con los antecedentes de costo por metro cúbico de agua de estas alternativas, a excepción de la alternativa que considera la construcción de una tubería submarina, también llamada "carretera hídrica" o "Aquatacama".

A partir de Laboratorio de Análisis Territorial (2013), que evaluó las posibilidades de expansión de la agricultura en la zona norte del país al contar con una mayor disponibilidad de agua, la que sería suministrada por esta tubería submarina o "carretera hídrica", se obtuvo el precio por metro cúbico del agua que sería ofrecida según esta alternativa, la cual hace entrega del recurso a nivel de costa. Este costo, informado por la Comisión Nacional de Riego (CNR), es de 0,74 US\$/m³, y fue considerado para este caso como el costo base del agua.

El Costo del Agua se obtuvo entonces sumando el Costo de Suministro al Costo Base del agua ofrecida por la alternativa de tubería submarina, según el caudal demandado por los tres sectores abastecidos, y de la misma forma que para el Costo de Suministro, fue repartido entre los tres sectores para obtener un único precio por unidad de volumen de agua.

Evaluación económica

Finalmente, y para evaluar la factibilidad de incorporar una fuente externa de agua para compensar el déficit del acuífero del valle del río Copiapó, se realizó un análisis económico del sector agrícola, principal consumidor del recurso pues representa la mayor demanda de aguas subterráneas en el área de estudio (Fuster et al., 2015a). Este análisis consistió en elaborar flujos de caja de los principales cultivos identificados, para determinar de esta forma si estos son capaces de absorber el costo estimado del agua suministrada por una fuente externa, evaluando su sensibilidad al precio del agua, mediante indicadores económicos como VAN y TIR.

Para la evaluación económica de los cultivos se construyeron flujos de caja puros, para lo cual se utilizaron las fichas técnicas levantadas el año 2013, que recopilan información acerca de la producción de los principales cultivos desarrollados en el área de estudio (Uva de Mesa, Olivo, Granado y Tomate), como parte del proyecto “Sistema Piloto de Banco de Aguas geo-espacializado en sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó” desarrollado por el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Chile (Fuster et al., 2015c). A su vez se recopiló información bibliográfica, y se realizaron encuestas y visitas en terreno, en orden de obtener valores locales para completar los siguientes elementos básicos:

- a) Ingresos
- b) Costos Directos
- c) Costos Indirectos
- d) Inversión

Se determinaron además los siguientes elementos dentro de los flujos:

- e) Impuesto a las Utilidades (o Impuesto de Primera Categoría): Tasa de 21% al año 2014 (según Circular N°52, del Servicio de Impuestos Internos).
- f) Depreciación: Para la evaluación económica se consideró únicamente la depreciación del Sistema de Riego, la cual se realizó a 10 años.
- g) Capital de Trabajo: Se calculó mediante el método del déficit acumulado máximo. El Capital de Trabajo constituye el conjunto de recursos necesarios, en la forma de activos corrientes, para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo, para una capacidad y tamaño determinados. El cálculo por este método supone calcular para cada período los flujos de ingresos y egresos proyectados, considerando que los ingresos se constituyen en el periodo siguiente al que fueron

percibidos, y determinar de esta forma el déficit acumulado máximo de todos los períodos (Sapag, 2008).

- h) Valor de Desecho: Se calculó de acuerdo al método comercial (según las ecuaciones 6, 7 y 8). El Valor de Desecho corresponde al valor que tendría un proyecto después de varios años de operación. El método comercial consiste en restar al precio estimado de venta el costo de la venta, que corresponde al valor contable o valor libro del activo, para luego calcular el impuesto, y a la utilidad o pérdida resultante sumarle el valor contable del activo para eliminar su efecto en el flujo de caja, ya que no constituye un gasto desembolsable (Sapag, 2008).

$$\text{Valor de Desecho} = (\text{Precio de Venta} - \text{Valor Libro})(1 - \text{Impuestos}) + \text{Valor Libro} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\text{Valor Libro} = \text{Inversión Inicial} - \text{Depreciación Acumulada} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\text{Precio de Venta} = \frac{(\text{Utilidad Neta} + \text{Depreciación})(1 + g)}{\alpha - g} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

g : 3%

α : Tasa de descuento

Y se calcularon los indicadores financieros:

- i) Valor Actual Neto, VAN: El VAN es la diferencia entre todos los ingresos y egresos del proyecto expresados en moneda actual (Ecuación 9). Este criterio plantea que un proyecto debe aceptarse si su valor actual neto (VAN) es igual o superior a cero (Sapag, 2008).

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{BN}_t}{(1 + \alpha)^t} - I_0 \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde,

BN_t : Flujo de caja en el periodo t

I_0 : Inversión inicial en el momento cero de la evaluación.

α : Tasa de descuento

n : Número de periodos del flujo

- j) Tasa Interna de Retorno, TIR: La TIR evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios

actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. Esto equivale a hacer el VAN igual a cero y determinar la tasa que le permite al flujo actualizado ser cero. La tasa calculada así se compara con la tasa de descuento de la empresa. Si la TIR es igual o mayor que ésta, el proyecto debe aceptarse, y si es menor, debe rechazarse (Sapag, 2008).

Para la construcción de los flujos de caja se consideró un horizonte de evaluación de 10 años para los frutales (Uva de Mesa, Olivo y Granado), y de 4 años para las hortalizas (en este caso el Tomate), y una tasa de descuento de un 12%.

Una vez construidos los flujos de caja para cada cultivo, se realizó un análisis de sensibilidad, puesto que los valores de las variables que se han utilizado para llevar a cabo la evaluación de los proyectos pueden tener variaciones que afecten sus resultados. Por lo tanto, se evaluó la sensibilidad del VAN de cada flujo ante parámetros críticos, realizándose un análisis de sensibilización unidimensional según Sapag (2008). Se evaluó especialmente el parámetro del “Precio del Agua”, para conocer la sensibilidad de los cultivos estudiados ante la existencia de un cobro por el agua para riego, realizándose también un análisis de precio de equilibrio, de modo de establecer el precio máximo que puede tener el agua para que los proyectos sigan siendo rentables.

Supuestos. Para obtener los valores necesarios para los parámetros de los flujos de caja que fueron elaborados en esta evaluación, se recurrió a diversas fuentes de información según se mencionó. Sin embargo y debido a la dificultad de obtener información precisa a la escala de evaluación de esta investigación, se establecieron supuestos que se detallan a continuación:

- a) Los Costos Directos se obtuvieron de las fichas técnicas levantadas el año 2013 en el área de estudio, como parte del proyecto “Sistema Piloto de Banco de Aguas geo-espacializado en sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó” (Fuster et al., 2015c), los cuales corresponden a una plena producción. La variación anual de estos costos desde inicio de producción, necesaria para la evaluación económica, se estableció en función de las labores de producción por año de los cultivos evaluados, obtenidas desde las Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro, de INDAP (ASAGRIN, 2007a; ASAGRIN, 2007b; ASAGRIN, 2007c; ASAGRIN, 2007d), y de Carmona (2012).
- b) Los Rendimientos de los cultivos se obtuvieron a partir de la información levantada como parte del proyecto “Sistema Piloto de Banco de Aguas geo-espacializado en sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó” (Fuster et al., 2015c), así como los Precios de Venta, nacional y de exportación, y el porcentaje destinado a exportación de cada cultivo.
- c) Las necesidades hídricas de los cultivos evaluados se obtuvieron a partir de la información levantada como parte del proyecto “Sistema Piloto de Banco de Aguas

geo-espacializado en sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó” (Fuster et al., 2015c). Éstas corresponden a cultivos maduros, de modo que la variación anual de las necesidades hídricas de cada cultivo, desde su establecimiento hasta su madurez, se determinó como un porcentaje de la demanda del cultivo en pleno rendimiento. Estos porcentajes fueron obtenidos de bibliografía (Williams, 2000) y de comunicación personal con el profesor Thomas Fichet Lagos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Si bien, en la primera etapa de la metodología se calculó la Demanda Hídrica actual del sector agrícola, para la elaboración de los flujos de caja se consideraron las necesidades hídricas aquí citadas, de modo de darle coherencia a los modelos generados, utilizando valores extraídos de una misma fuente, que proviene directamente de los agricultores del área de estudio, al ser estos valores compatibles entre sí.

- d) Los costos de Inversión para el establecimiento de los cultivos fueron obtenidos desde las Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro, de INDAP (ASAGRIN, 2007a; ASAGRIN, 2007b; ASAGRIN, 2007c; ASAGRIN, 2007d), y de Carmona (2012), los que posteriormente fueron verificados en terreno y validados mediante entrevistas con actores clave de los productores de los distintos cultivos estudiados, las cuales se presentan en el Apéndice I.
- e) Los Costos Indirectos se asumieron como los costos en la mano de obra estable necesaria para la mantención de la producción. Ésta fue estimada de acuerdo a comunicación personal con los profesores Thomas Fichet Lagos y Rodrigo Callejas Rodríguez, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, y mediante comunicación personal con distintos productores de los cultivos evaluados en este estudio. Se consideró un sueldo de \$600.000 en el caso de un Administrador, de \$400.000 en el caso de un Sub-Administrador, y de \$225.000 en caso de trabajadores de planta (regadores, bodegueros, tractoristas, etc.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la oferta y demanda de aguas subterráneas

Para facilitar el análisis espacial, el área de estudio correspondiente a los sectores administrativos 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, según la definición realizada por DGA (Minuta Técnica DGA N° 61 de 1997), se dividió en sub-sectores, los que corresponden a la sectorización realizada por HIDROMAS (2013) en su modelo hidrogeológico, que consiste de tres sub-sectores acuíferos: Sector 5a, Sector 6a y Sector 6b, según se presenta en la Figura 4.

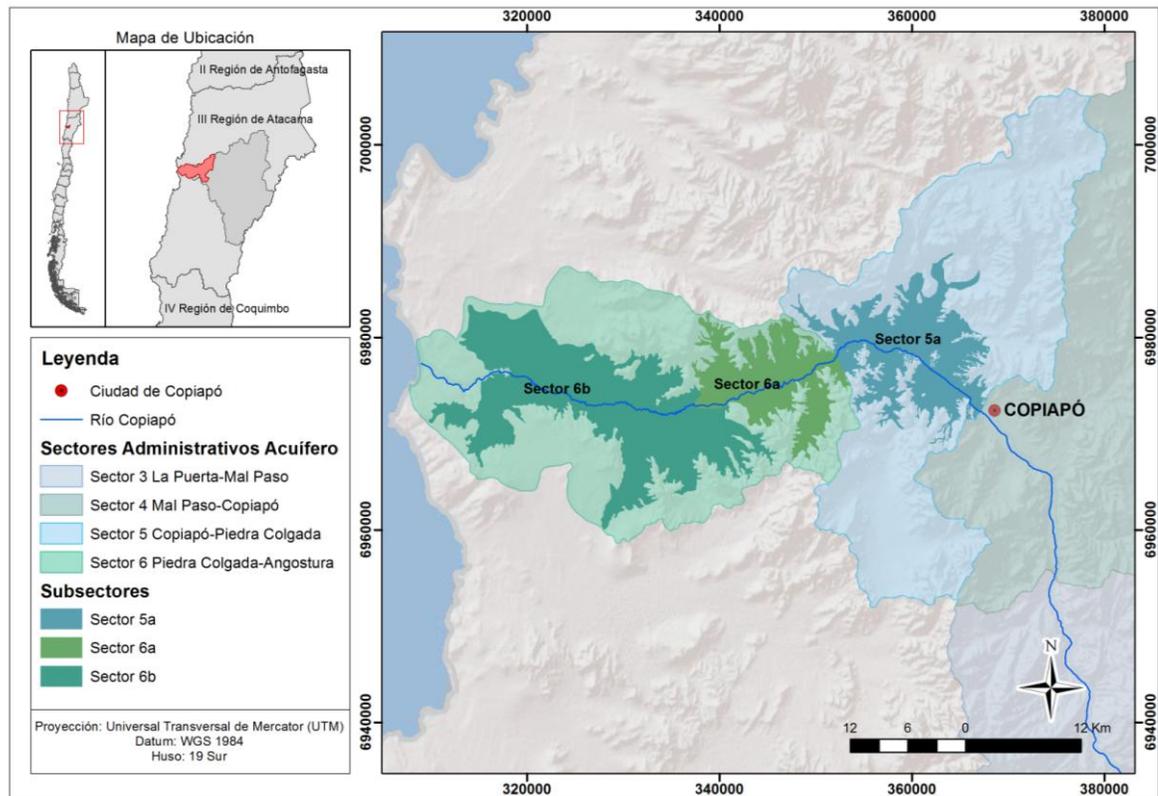


Figura 4. Sub-sectores utilizados para el análisis de la incorporación de una fuente no convencional de agua para satisfacer parte de la demanda de agua subterránea de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

Demanda hídrica del sector agrícola

Los principales cultivos identificados en el área de estudio se presentan en el Cuadro 4, los cuales corresponden al catastro de uso de suelo agrícola actual, levantado en terreno entre

noviembre de 2013 y enero de 2014 (Fuster et al., 2015b). Los cultivos fueron clasificados de acuerdo a los criterios definidos en el estudio “Sistema Piloto de Banco de Aguas geoespacializado en los sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó” (Fuster et al., 2015b), que buscó el mayor nivel de diferenciación posible. Según se observa, los cultivos que abarcan una mayor cantidad de hectáreas en estado activo corresponden a los Olivos, Parronales y Granados. De acuerdo a Fuster et al. (2015b), la categoría de Inactivos corresponde a terrenos que no se encuentran actualmente cultivados, pero que anteriormente tuvieron un uso agrícola, por lo que no corresponderían a zonas regadas. La Figura 5 muestra la cartografía de cultivos utilizada para el levantamiento de la demanda hídrica del sector agrícola.

Cuadro 4. Superficie regada de cultivos identificados en los sectores 5 y 6 del acuífero el valle del río Copiapó.

Cultivo	Superficie ha	Porcentaje %
Alcachofa	0,67	0,01
Cítricos	14,39	0,28
Empastadas	25,40	0,50
Flores	1,09	0,02
Forrajeras	120,24	2,35
Frutales	3,38	0,07
Granados	281,26	5,49
Hortalizas	164,50	3,21
Maíz	6,33	0,12
Olivos	1.382,06	26,97
Parras	1.007,24	19,66
Pasto	12,96	0,25
Pimiento Morrón	1,26	0,02
Tomate Aire Libre	37,09	0,72
Tomate Invernadero	46,81	0,91
Inactivo	2.019,74	39,41
Total	5.124,42	100,00

Fuente: Elaborado a partir de Fuster et al. (2015b)

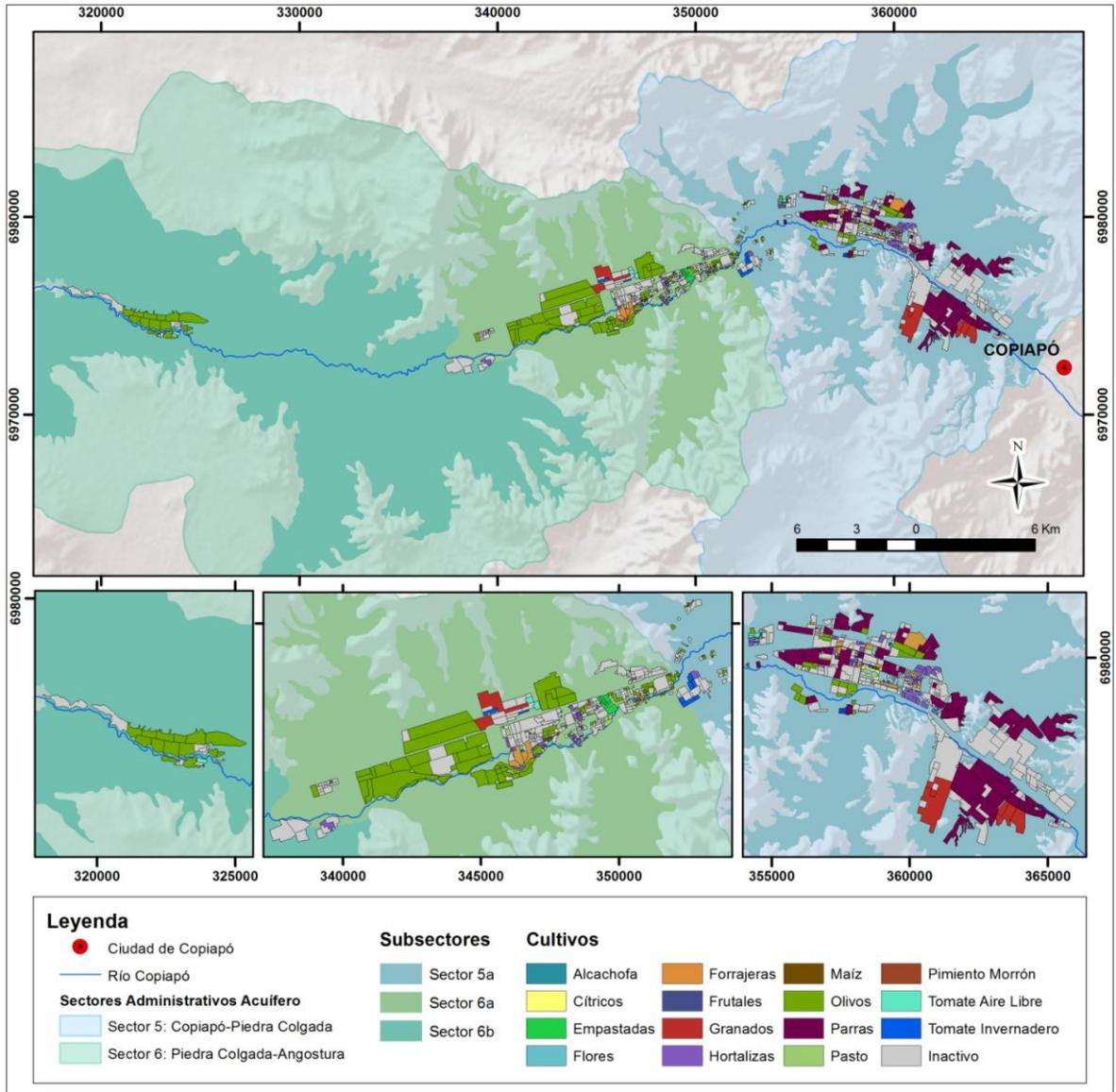


Figura 5. Cartografía correspondiente al catastro de uso de suelo agrícola actual en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

Los valores de K_c utilizados para la estimación de la Evapotranspiración de Cultivo se muestran en el Cuadro 5, los cuales fueron adaptados para los cultivos presentes en el área de estudio de acuerdo a Uribe (2014)², según su variación anual. Estos valores son teóricos debido a la falta de datos experimentales, sin embargo la obtención de valores experimentales a escala local contribuiría a mejorar las estimaciones de demanda de riego obtenidos en este estudio.

² Uribe, J. M. 2014, oct. Necesidades de agua de los Cultivos. [Entrevista Personal]. Santiago, Chile, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Cuadro 5. Valores mensuales de Kc para los cultivos identificados en los sectores 5 y 6 del acuífero el valle del río Copiapó.

Cultivo	Kc											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alcachofa	0,88	0,78	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,68	0,77	0,78	0,76	0,83
Cítricos	0,88	0,80	0,70	0,63	0,60	0,55	0,50	0,65	0,68	0,75	0,83	0,92
Empastadas	1,00	1,00	0,97	0,80	0,65	0,50	0,45	0,53	0,65	0,75	0,85	0,95
Flores	0,90	0,85	0,75	0,65	0,45	0,35	0,25	0,28	0,43	0,55	0,68	0,83
Forrajeras	1,10	0,95	0,83	0,68	0,55	0,45	0,40	0,43	0,55	0,76	0,88	1,05
Frutales	0,98	0,95	0,84	0,45	0,35	0,10	0,10	0,25	0,55	0,68	0,78	0,88
Granados	0,78	0,65	0,60	0,55	0,40	0,15	0,15	0,25	0,45	0,58	0,67	0,70
Hortalizas	0,98	0,78	0,55	0,40	0,34	0,25	0,25	0,38	0,55	0,74	0,85	0,98
Maíz	0,00	0,00	0,45	0,83	1,25	1,15	0,92	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00
Olivos	0,88	0,78	0,72	0,65	0,60	0,55	0,50	0,65	0,68	0,75	0,85	0,86
Parras	0,98	0,84	0,73	0,35	0,15	0,10	0,10	0,15	0,45	0,65	0,84	0,95
Pasto	0,88	0,82	0,78	0,76	0,72	0,70	0,68	0,74	0,80	0,84	0,85	0,87
Pimiento Morrón	1,10	0,88	0,65	0,40	0,00	0,00	0,00	0,35	0,55	0,75	0,85	0,98
Tomate Aire Libre	0,83	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,54	0,75	0,84	0,98
Tomate Invernadero	0,80	0,68	0,92	1,15	1,15	0,98	0,80	0,68	0,92	1,15	1,15	0,98

Fuente: Elaborado a partir de Uribe (2014)³

Los métodos de riego identificados en el área de estudio se presentan en el Cuadro 6. Según se puede observar, aproximadamente un 85% de la superficie es regada con sistemas de riego tecnificado por goteo, un sistema que aumenta el rendimiento y el ahorro de agua en cultivo de frutales (Bravo, 2013).

Cuadro 6. Métodos de riego identificados en los sectores 5 y 6 del acuífero el valle del río Copiapó, y superficie regada.

Método de Riego	Superficie ha	Porcentaje %
Aspersión	11,22	0,36
Goteo	2.626,75	84,61
Pivote	25,4	0,82
Surco	48,21	1,55
Taza	2,04	0,07
Tendido	391,06	12,60
Total	3.104,68	100,00

Fuente: Elaborado a partir de Fuster et al. (2015b)

³ Uribe, J. M. 2014, oct. Necesidades de agua de los Cultivos. [Entrevista Personal]. Santiago, Chile, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile

De acuerdo al Catastro Frutícola elaborado por CIREN (ODEPA y CIREN, 2011), aproximadamente un 90% de la superficie de frutales mayores de la Región de Atacama se riega por goteo, y un 9% por tendido. Esta misma tendencia se puede apreciar para todos los cultivos presentes en los sectores 5 y 6, donde un 13% de la superficie se riega por tendido. Esta superficie que se encuentra menos tecnificada corresponde principalmente al cultivo de Hortalizas, Forrajas, Maíz y pequeñas superficies de cultivos de frutales. En cuanto a los principales cultivos, Granados y Parronales se riegan en un 100% de su superficie mediante el método de goteo, mientras que en Olivos un 84% de la superficie cultivada se riega por goteo.

La demanda hídrica o Demanda Bruta de Riego calculada para los cultivos activos presentes en el área de estudio se presenta en el Cuadro 7. Esta corresponde a la demanda de agua total que representaría el sector agrícola actualmente, considerando la Evapotranspiración de Cultivo (ETc) de los cultivos activos, la Precipitación Efectiva (Ppef), la Eficiencia de Riego (ER) de los diferentes cultivos, así como su Superficie de Riego (SR). De acuerdo a Fuster et al. (2015b), existe una fracción de la demanda de riego que no se extrae del acuífero de Copiapó, si no que se satisface con otras fuentes de agua, las que corresponderían a aguas tratadas y afloramientos del río Copiapó (aguas superficiales), información que fue proporcionada por los mismos usuarios de aguas. Estas representan un 14% de la Demanda Bruta de Riego calculada, y son utilizadas para el riego de cultivos como Hortalizas y Forrajas, y en menor proporción de Olivos y Cítricos.

Cuadro 7. Demanda Bruta de Riego calculada para los cultivos activos presentes en los sectores 5 y 6 del acuífero el valle del río Copiapó, según fuente de abastecimiento.

Cultivo	Superficie ha	Demanda de Agua Subterránea	Demanda de Otras Fuentes	Demanda Bruta de Riego Total
		-----l/s-----		
Alcachofa	0,67	0,24		0,24
Cítricos	14,39	5,39	1,17	6,56
Empastadas	25,40	13,02		13,02
Flores	1,09	0,38		0,38
Forrajas	120,24	63,39	63,69	127,09
Frutales	3,38	2,75		2,75
Granados	281,26	82,87		82,87
Hortalizas	164,50	61,22	67,56	128,79
Maíz	6,33	2,54		2,54
Olivos	1.382,06	584,21	71,05	655,26
Parras	1.007,24	344,97		344,97
Pasto	12,96	9,06		9,06
Pimiento Morrón	1,26	0,45		0,45
Tomate Aire Libre	37,09	11,56		11,56
Tomate Invernadero	46,81	24,36		24,36
Total	3.104,68	1.206,42	203,47	1.409,89

En cuanto a los sectores estudiados, la mayor Demanda Bruta de Riego la representan los sectores 5a y 6a, donde se concentra un 53% y un 45% de la superficie cultivada en estado activo presente en el área de estudio, respectivamente (Cuadro 8). Este último (Sector 6a) extrae el total de su demanda, aproximadamente 640 l/s, desde el acuífero de Copiapó, mientras que los sectores 5a y 6b extraen un 20% y un 76% de su demanda respectivamente desde otras fuentes de agua según se mencionó anteriormente. En el caso del Sector 5a, este caudal corresponde principalmente a aguas tratadas, mientras que en el Sector 6b corresponde a afloramientos del río Copiapó cercanos a la desembocadura (Fuster et al., 2015b), de modo que el caudal de agua extraído desde el acuífero en este sector es considerablemente menor.

Cuadro 8. Demanda Bruta de Riego calculada para los sub-sectores estudiados, según fuente de abastecimiento.

Sector	Demanda de Agua Subterránea		Demanda de Otras Fuentes		Demanda Bruta de Riego Total	
	Superficie	Caudal	Superficie	Caudal	Superficie	Caudal
	ha	l/s	ha	l/s	ha	l/s
Sector 5a	1.464,07	543,91	117,30	132,42	1.581,37	676,33
Sector 6a	1.252,40	639,48	0,00	0,00	1.252,40	639,48
Sector 6b	41,36	23,03	229,55	71,05	270,91	94,07
Total	2.757,83	1.206,42	346,85	203,47	3.104,68	1.409,89

Los valores obtenidos para la demanda de riego del área de estudio se compararon con los presentados por DICTUC (2010) e HIDROMAS (2013) (Cuadro 9), donde se puede apreciar que en términos de superficie, existe una diferencia considerable con la presentada por DICTUC (2010), de casi 1.200 hectáreas, sin embargo HIDROMAS (2013) plantea que existiría una sobreestimación de la superficie plantada en el estudio de DICTUC, además de identificar una disminución de los cultivos de uva de mesa producto de la escasez del recurso hídrico, por la venta de DAA a usos no agrícolas y por el crecimiento del rubro inmobiliario, interesado en adquirir predios. Producto de esto, HIDROMAS (2013) ajustó el área y el caudal de demanda bruta al presentado en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Demanda Bruta de Riego para el sector agrícola en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, según bibliografía.

Sector	DICTUC (2010)		HIDROMAS (2013)		Elaboración Propia	
	Superficie	Caudal	Superficie	Caudal	Superficie	Caudal
	ha	l/s	ha	l/s	ha	l/s
5a	2.426,00	824,00	1.968,90	668,70	1.581,37	676,33
6a	1.393,00	532,00	1.130,50	431,80	1.252,40	639,48
6b	485,00	100,00	393,60	81,20	270,91	94,07
Total	4.304,00	1.456,00	3.493,00	1.181,70	3.104,68	1.409,89

En la Figura 6 se observa la Demanda Bruta de Riego anual calculada para los predios catastrados en Fuster et al. (2015b), y su distribución dentro del área de estudio, de acuerdo a la cartografía de uso de suelo agrícola actual.

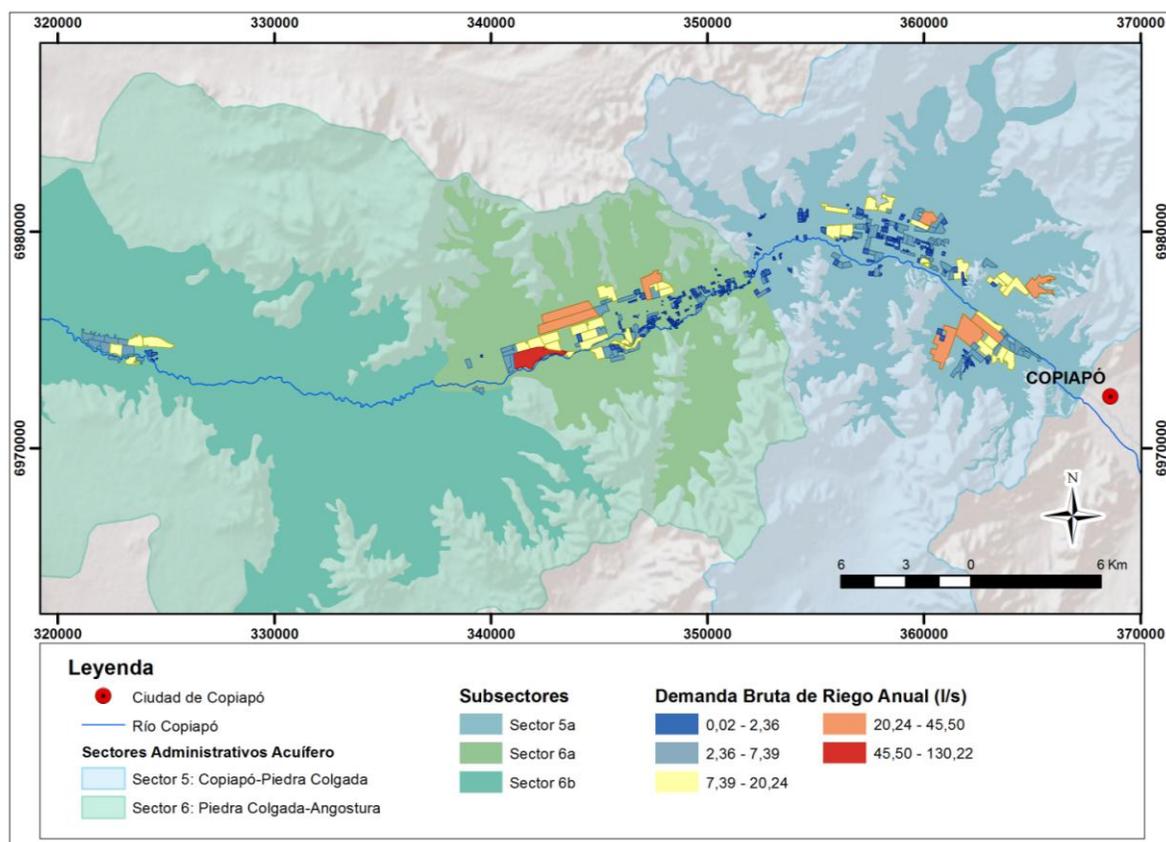


Figura 6. Demanda Bruta de Riego anual espacializada según los predios catastrados en la cartografía de uso de suelo agrícola actual.

Demanda hídrica de otros usos

La demanda hídrica actual de los principales otros usos del agua en el área de estudio, Minería y Agua Potable, se presenta en el Cuadro 10, según fue informado por el administrador de la Comunidad de Aguas Subterráneas de Copiapó - Piedra Colgada y Piedra Colgada - Desembocadura (CASUB), a partir de las mediciones de extracción que se realizan en los pozos registrados de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó mediante el Sistema de Control de Extracciones que se está implementando en el área de estudio, y del cual es supervisor. Sin embargo, esta información sólo fue proporcionada a nivel de sectores acuíferos, por lo que no existe un mayor detalle, a nivel de pozos, de las extracciones que realizan estos usos. Estos valores no corresponden necesariamente al caudal registrado en los DAA subterráneos para cada uso, si no que se refieren al caudal de agua que cada uno estaría efectivamente extrayendo.

Cuadro 10. Demanda de aguas subterráneas para los principales usos no agrícolas del agua en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, según CASUB.

Sector	Categoría de Uso			Total Sector
	Agua Potable	Minería	Otros	
Sector 5a	526,6	97,0	0,0	623,6
Sector 6a	0,0	0,0	0,0	0,0
Sector 6b	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	526,6	97,0	0,0	623,6

Fuente: Elaborado a partir de Fuster et al. (2015b)

Según se observa, actualmente la mayor demanda de aguas subterráneas en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río de Copiapó la representa el Agua Potable, con aproximadamente 527 l/s, mientras que la Minería extrae una pequeña fracción del caudal total, con 97 l/s. Según CASUB, actualmente no existe demanda de más usos además de estos, como Industria u otros. De la misma forma, no existen actualmente extracciones de estos usos (Agua Potable, Minería u Otros) en los sectores 6a y 6b, siendo el Sector 5a el único en el que existe una demanda de aguas subterráneas de parte de otros usos además de la Agricultura.

Esta demanda corresponde en su totalidad a extracciones desde el acuífero de Copiapó mediante pozos profundos, y no considera otras fuentes de agua. El suministro de agua potable en la cuenca del río Copiapó, a través de la empresa Aguas Chañar que conduce el agua para consumo a las ciudades de Copiapó y Tierra Amarilla, se abastece únicamente de aguas subterráneas, de las cuales extraería aproximadamente un 57% del sector 5 al año 2013, según determinó HIDROMAS (2013) a partir de datos de la propia empresa. La empresa Aguas Chañar, que obtenía toda su demanda de agua potable de los pozos que tenía en el sector 4, comienza a partir del año 2011 a explotar desde el sector 5 del acuífero de Copiapó, debido a la disminución de la producción de los pozos de sus plantas.

Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas

Se recopilaron los Roles de los usuarios vigentes de aguas subterráneas en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, al 31 de Diciembre de 2013, proporcionados por CASUB (Fuster et al., 2015a), en los que se identificó la categoría de uso de cada registro vigente actualmente, tanto en Mercedes Definitivas, Derechos Definitivos y Derechos Provisionales.

En el Cuadro 11 se muestra el caudal total registrado por todos los usuarios de aguas subterráneas vigentes, según sector acuífero y según uso, para el área de estudio. Según se muestra, el uso Agrícola concentra la mayor proporción de caudal otorgado en Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, con 75% del caudal total, seguido por el uso

Minería, con un 14% del total. La categoría de Otros usos, demuestra la baja participación de actividades como la Industria en el área de estudio (sólo un 5% del caudal total).

Cuadro 11. Caudal registrado en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó según categoría de uso.

Sector	Categoría de Uso				Total Sector
	Agrícola	Agua Potable	Minería	Otros	
	-----l/s-----				
Sector 5a	2.490,53	351,00	590,70	240,27	3.672,49
Sector 6a	1.586,08	0,00	172,99	57,13	1.816,20
Sector 6b	71,80	0,00	0,00	0,00	71,80
Total	4.148,40	351,00	763,69	297,40	5.560,50

Fuente: Elaborado a partir de Fuster et al. (2015a)

En tanto, el Sector 5a registra la mayor cantidad de DAA Subterráneos en todos los usos existentes en la zona, representando un 66% del caudal total de los tres sectores. En este sector se concentra la mayor cantidad de actividades productivas, y se encuentra la mayor cantidad de hectáreas cultivadas en estado activo. La Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A. (ECONSSA CHILE S.A.) registra a su nombre un total de 350 l/s en el Sector 5a, la cual transfirió el derecho de explotación de concesiones sanitarias a empresas operadoras privadas, en este caso Aguas Chañar S.A. (ECONSSA Chile, s.f.). En cuanto a la Minería, existen cuatro grandes usuarios que registran DAA Subterráneos en el Sector 5a, y dos en el Sector 6a (Cuadro 12). Sin embargo, actualmente sólo la mina Manto Verde operada por Anglo American, el cual registra 200 l/s a nombre de Anglo American Norte S.A. en el Sector 5a, se encontraría extrayendo agua, información que no se encuentra validada por DGA según indica HIDROMAS (2013).

Cuadro 12. Caudal registrado en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas con categoría de uso de Minería y Agua Potable, según titular.

Sector	Categoría de Uso	Usuario	Caudal
			l/s
5a	Agua Potable	Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A. (ECONSSA CHILE S.A.)	350,00
		Captaciones y Distribución de Aguas S.A.	1,00
	Minería	Compañía Minera del Pacífico S.A.	225,84
		Anglo American Norte S.A.	200,00
		Compañía Contractual Minera Candelaria	144,85
6a	Minería	Phelps Dodge Mining Services Inc.	20,01
		Compañía Contractual Minera Candelaria	92,99
		Sociedad Punta del Cobre S.A.	80,00

Fuente: Elaborado a partir de Fuster et al. (2015a)

Por otro lado, a pesar de que la Minería cuenta con un gran caudal otorgado en los sectores 5 y 6, aproximadamente 764 l/s, actualmente sólo se encontraría extrayendo un 13% de este total (ver Cuadro 10), ya que la mayor concentración de empresas mineras se presentaría en el sector 4 del acuífero, desde donde extraen la mayoría del agua que utilizan (DICTUC, 2010).

De la comparación entre la demanda actual de aguas subterráneas calculada para los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, y los caudales otorgados en DAA Subterráneos, se encontró que existe un gran número de derechos que no se encuentran en uso en el escenario actual (Cuadro 13), especialmente en aquellos derechos con categoría de uso Agrícola, que de acuerdo al caudal total registrado, aproximadamente 2.942 l/s no se estarían utilizando actualmente. En aquellos derechos con categoría de uso Minería, actualmente existen aproximadamente 667 l/s sin utilizar, y en la categoría de Otros existen aproximadamente 297 l/s que no se estarían utilizando. La única excepción se encuentra en el caso de los derechos con categoría de uso Agua Potable, que según se explicó, actualmente estaría extrayendo un caudal mayor al que posee registrado en DAA Subterráneos.

Cuadro 13. Caudal no utilizado de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas vigentes en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, de acuerdo a la demanda actual de aguas subterráneas, según categoría de uso.

Sector	Categoría de Uso				Total Sector
	Agrícola	Agua Potable	Minería	Otros	
	-----l/s-----				
Sector 5a	1.946,62	0,00	493,70	240,27	2.680,59
Sector 6a	946,60	0,00	172,99	57,13	1.176,72
Sector 6b	48,77	0,00	0,00	0,00	48,77
Total	2.941,98	0,00	666,69	297,40	3.906,07

Oferta de aguas subterráneas

A partir de la actualización del modelo de aguas subterráneas del acuífero del valle del río Copiapó realizada por HIDROMAS (2013), se obtuvo el balance hídrico promedio para los periodos 1993-2012, desde el modelo hidrogeológico correspondiente a la parte baja de la cuenca. Mediante este modelo, comprendido entre los sectores de La Puerta y Angostura, lo que corresponde a los sectores administrativos 3, 4, 5 y 6 del acuífero, se evidenció el desbalance del sector bajo del acuífero, donde las descargas por concepto de extracción desde pozos superan ampliamente a la recarga del acuífero. Esta situación deficitaria ha generado una disminución sostenida del volumen embalsado a tasas de 1,3 m³/s.

El modelo hidrogeológico de HIDROMAS (2013) consistió en una actualización de los modelos numéricos para los recursos hídricos del acuífero del río Copiapó desarrollados por DICTUC (2010) y SERNAGEOMIN (2012), complementando el catastro de la

demanda de aguas subterráneas con antecedentes más precisos de las demandas de agua potable y minería, considerando además información hidrométrica más reciente (precipitación, caudales superficiales, caudales de bombeo y niveles de agua subterránea).

El Cuadro 14 muestra los montos promedio de recarga superficial, afloramientos y flujos subterráneos de entrada y salida correspondientes al periodo 1993-2012, obtenidos del balance hídrico de cada sector estudiado del acuífero, de acuerdo a HIDROMAS (2013). La recarga superficial se define como recarga por infiltración desde las zonas agrícolas, infiltración desde canales e infiltración desde los tramos de ríos, además de la infiltración desde la descarga de una planta de tratamiento de aguas servidas en el Sector 5a, mientras que el paso de flujo subterráneo desde un sector acuífero al siguiente se representa por los flujos subterráneos de entrada y salida. La recarga superficial promedio del acuífero, en el periodo 1993-2012, para los sectores estudiados (sectores 5 y 6) es de 0,58 m³/s, mientras que la recarga superficial promedio en el periodo 1993-2012 para el acuífero entero es de 4,5 m³/s. La Figura 8 muestra la distribución histórica de la recarga superficial de los Sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

Cuadro 14. Parámetros de recarga superficial, flujos subterráneos y afloramientos del modelo hidrogeológico, según sub-sector acuífero.

Parámetros Modelo Hidrogeológico	Sector			Total
	5a	6a	6b	
	-----l/s-----			
Recarga Superficial	469	90	18	577
Flujo Subterráneo de Entrada	117	222	55	394
Afloramientos	1	29	88	118
Flujo Subterráneo de Salida	222	55	0	277

Fuente: Elaborado a partir de HIDROMAS (2013).

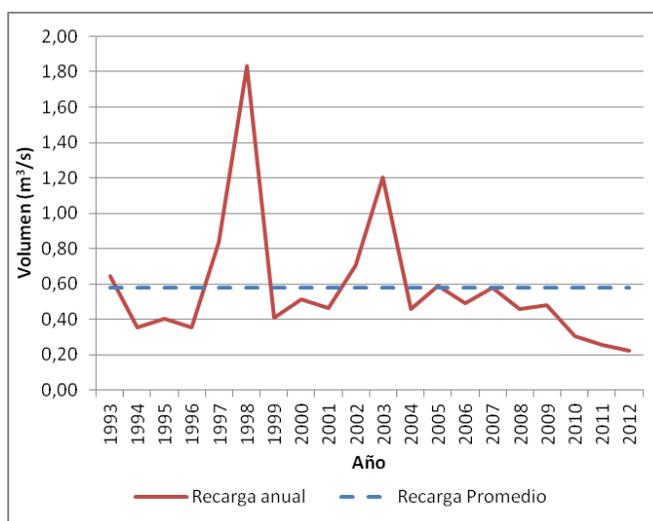


Figura 8. Recarga histórica de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, durante el periodo 1993-2012. Fuente: Elaborado a partir de HIDROMAS (2013).

Estimación del déficit hídrico

A partir de los balances hídricos elaborados por HIDROMAS (2013) para cada sector, desde donde se extrajeron los valores de recarga superficial, afloramientos y flujos subterráneos de entrada y salida, y de los valores de demanda hídrica obtenidos para los principales usos en el área de estudio, se elaboraron nuevos balances según los dos escenarios planteados en la metodología.

Escenario 1

Las figuras 9, 10 y 11 muestran los balances hídricos realizados para los tres sectores estudiados, según el Escenario 1. Los valores de bombeo representan la demanda actual de extracción de aguas desde el acuífero, de la que se consideran los tres usos principales: Agrícola, Agua Potable y Minería. Estos valores corresponden a la demanda agrícola de aguas subterráneas, que se obtuvo a partir de la Demanda Bruta de Riego calculada para los distintos cultivos, y a los montos de extracción de minería y agua potable informados por CASUB. El valor ΔV corresponde a la diferencia en el volumen almacenado del acuífero.

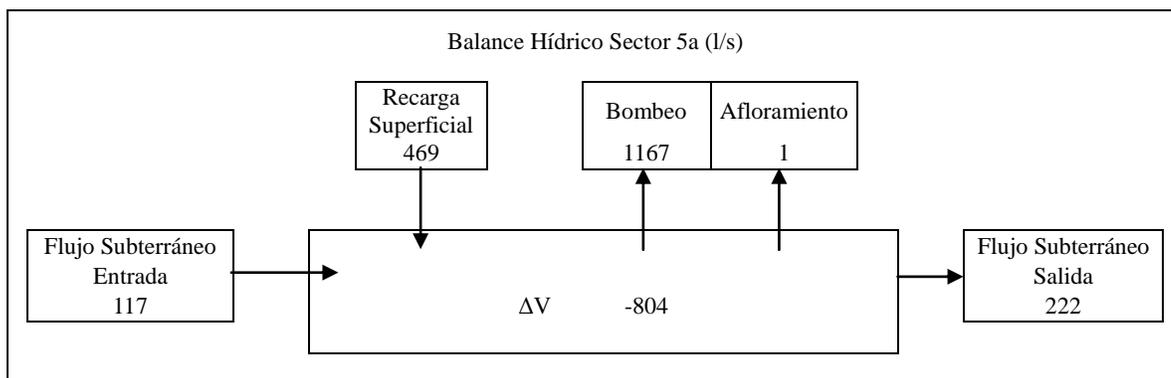


Figura 9. Balance Hídrico para el Sector 5a, según el Escenario 1.

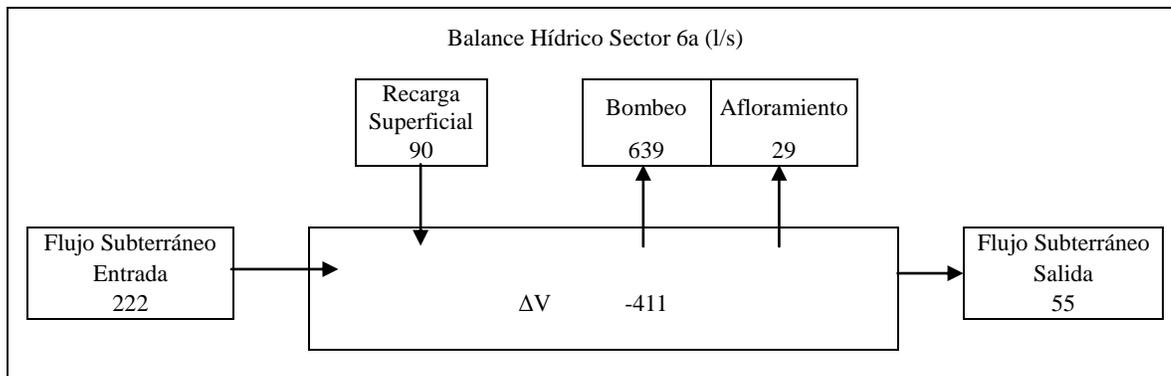


Figura 10. Balance Hídrico para el Sector 6a, según el Escenario 1.

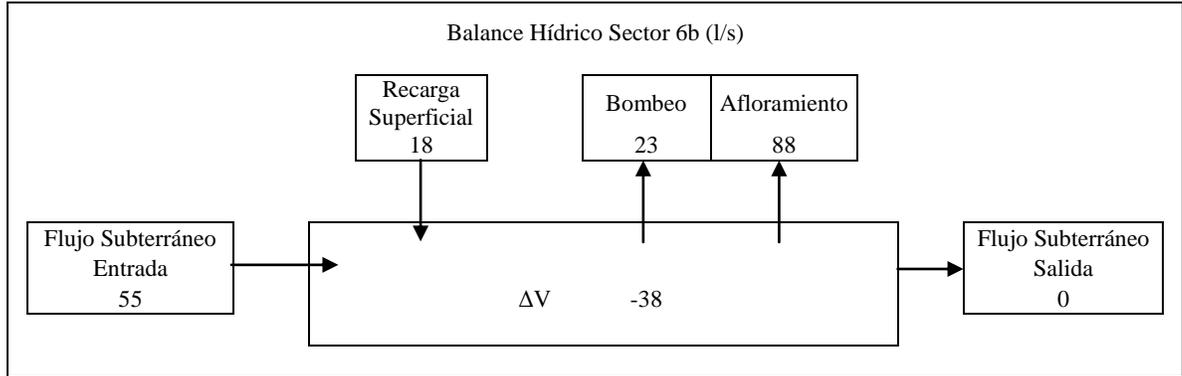


Figura 11. Balance Hídrico para el Sector 6b, según el Escenario 1.

Según se observa en las figuras 9,10 y 11, en los tres sectores estudiados la extracción de aguas desde el acuífero (bombeo) se encuentra por sobre la recarga superficial de este, y en el caso de los sectores 5a (Figura 9) y 6a (Figura 10), supera ampliamente a la recarga total. Esta situación determina que en los tres sectores existan balances negativos, lo que implica una disminución en el volumen embalsado del acuífero del orden de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Sector 5a, $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Sector 6a y $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Sector 6b. En tanto, el Sector 6b (Figura 11) posee la menor tasa de recarga superficial, y de la misma forma representa la menor demanda de bombeo. En esta zona, sin embargo, se presenta un desembalse considerable por medio de afloramientos, casi cinco veces mayor que la tasa de recarga. Esta situación se presenta en el sector de Angostura, uno de los únicos afloramientos que siguen entregando aguas en forma importante al cauce superficial en la zona terminal del acuífero, donde existe un alzamiento del basamento rocoso que limita el flujo subterráneo. Otros afloramientos en la zona de estudio se encuentran sin flujo, lo que se podría explicar por la secuencia de años secos de los últimos años y al descenso del nivel del acuífero causado por la explotación de las aguas subterráneas mediante pozos (HIDROMAS, 2013).

Los balances negativos resultantes de los balances hídricos realizados en los tres sectores representan el "déficit actual" de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, el que en total corresponde a 1.253 l/s , equivalentes a $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal que sería necesario compensar para satisfacer la demanda de aguas subterráneas de ambos sectores bajo este escenario, para de esta forma mantener en equilibrio las entradas y salidas de agua del acuífero.

Escenario 2

En este caso, la demanda hídrica se consideró según los valores de bombeo que se esperarían si es que se ejercieran todos los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas vigentes en el área de estudio, de acuerdo a la estructura actual de uso del agua. Este caudal corresponde a la demanda "potencial" de aguas subterráneas en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río de Copiapó.

Los valores de bombeo que representan los DAA Subterráneos ajustados se presentan en el Cuadro 15. Los caudales con categoría de uso Agrícola fueron ajustados de acuerdo a la variación mensual de la demanda de aguas subterráneas obtenida para la agricultura, considerando que se mantiene la misma estructura de cultivos para este escenario. El valor total del caudal registrado en los DAA Subterráneos se tomó como el mes de mayor demanda, y se construyó la curva anual a partir de este valor, de acuerdo a las figuras 12, 13 y 14. De esta forma, el valor de demanda anual de aguas subterráneas de los DAA con uso Agrícola es menor que el total registrado (ver Cuadro 11), pasando de 4.148 l/s a 2.147 l/s en total, al considerar la estacionalidad en el uso del recurso por parte de la agricultura.

Cuadro 15. Valores ajustados de bombeo de los principales usos del agua presentes en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, según los DAA Subterráneos vigentes.

Sector	Categoría de Uso				Total Sector
	Agrícola	Agua Potable	Minería	Otros	
-----l/s-----					
Sector 5a	1.177,86	351,00	590,70	240,27	2.359,82
Sector 6a	929,82	0,00	172,99	57,13	1.159,95
Sector 6b	39,11	0,00	0,00	0,00	39,11
Total	2.146,79	351,00	763,69	297,40	3.558,88

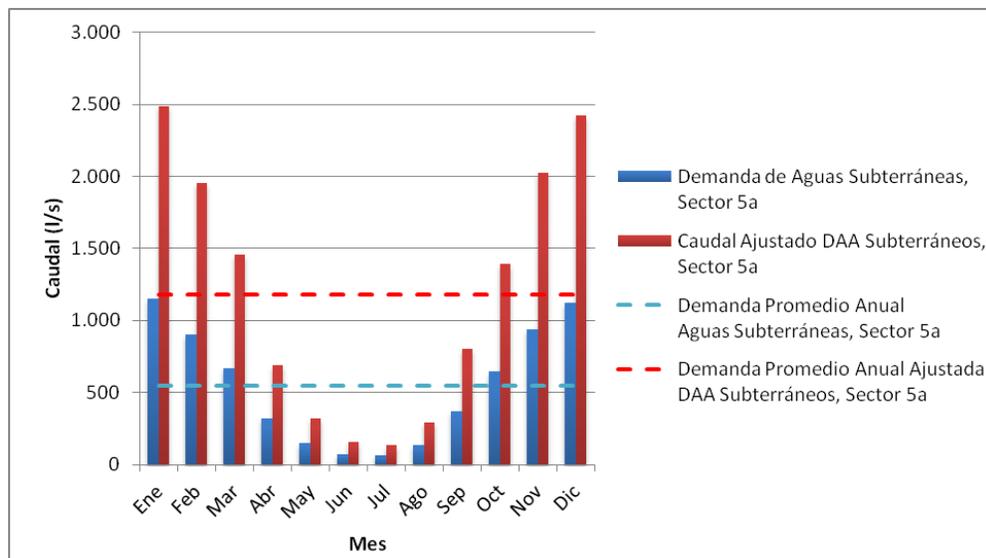


Figura 12. Curva de demanda de los DAA Subterráneos con categoría de uso Agrícola, ajustada según la demanda mensual de aguas subterráneas de la estructura de cultivos actual, para el Sector 5a.

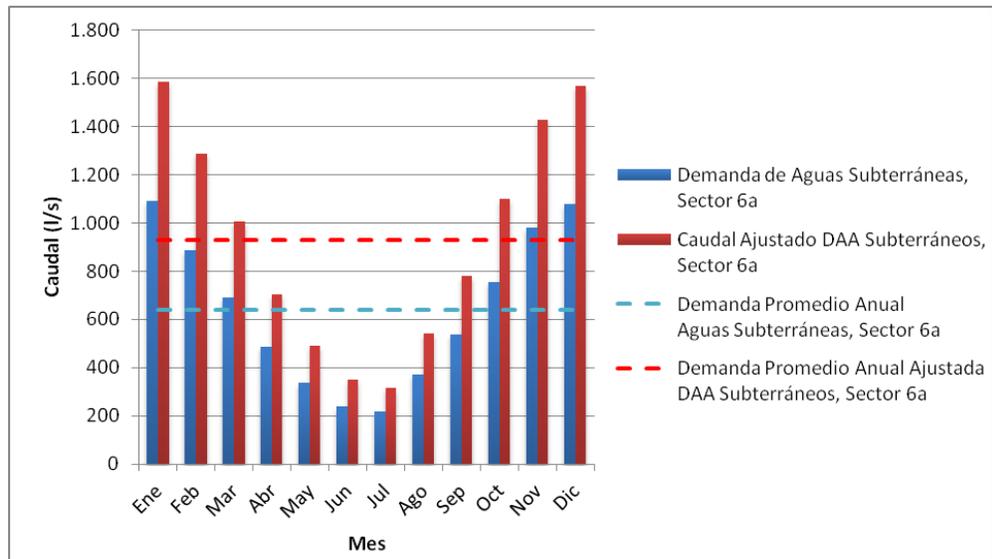


Figura 13. Curva de demanda de los DAA Subterráneos con categoría de uso Agrícola, ajustada según la demanda mensual de aguas subterráneas de la estructura de cultivos actual, para el Sector 6a.

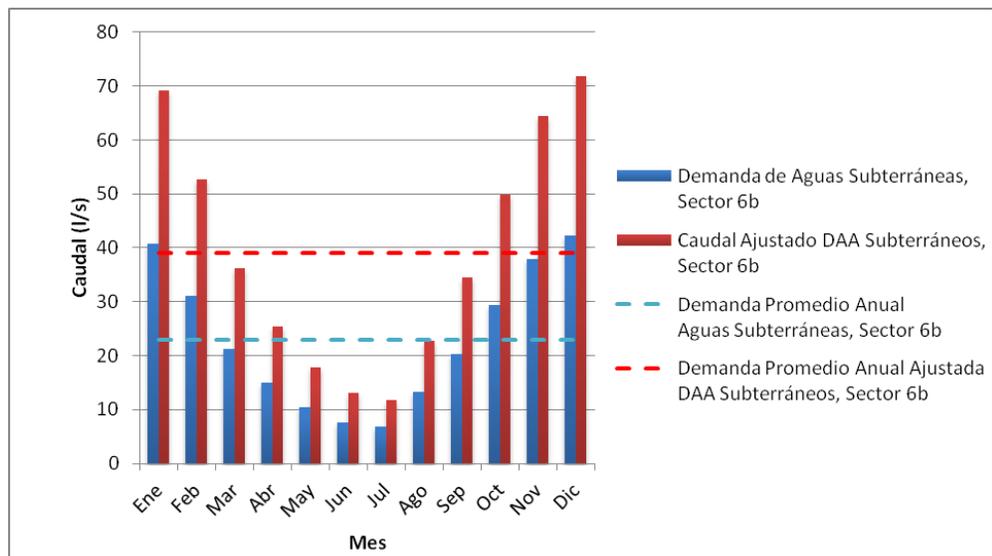


Figura 14. Curva de demanda de los DAA Subterráneos con categoría de uso Agrícola, ajustada según la demanda mensual de aguas subterráneas de la estructura de cultivos actual, para el Sector 6b.

En las figuras 15, 16 y 17 se muestran los balances hídricos de cada sector según el Escenario 2, de acuerdo a los valores de bombeo presentados en el Cuadro 15 y los parámetros extraídos de HIDROMAS (2013). Es importante señalar que en este caso, los balances hídricos calculados suponen que al aumentar la extracción de agua no se afectan los otros flujos de entrada o salida del sistema.

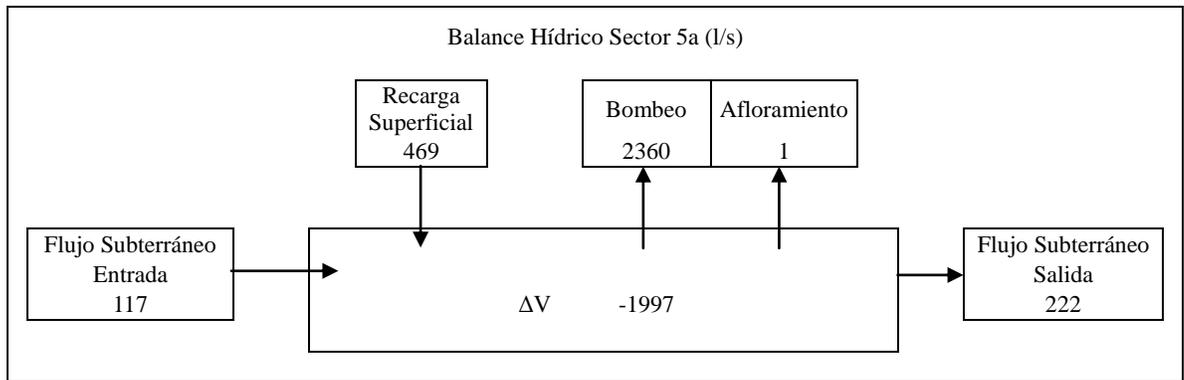


Figura 15. Balance Hídrico para el Sector 5a, según el Escenario 2.

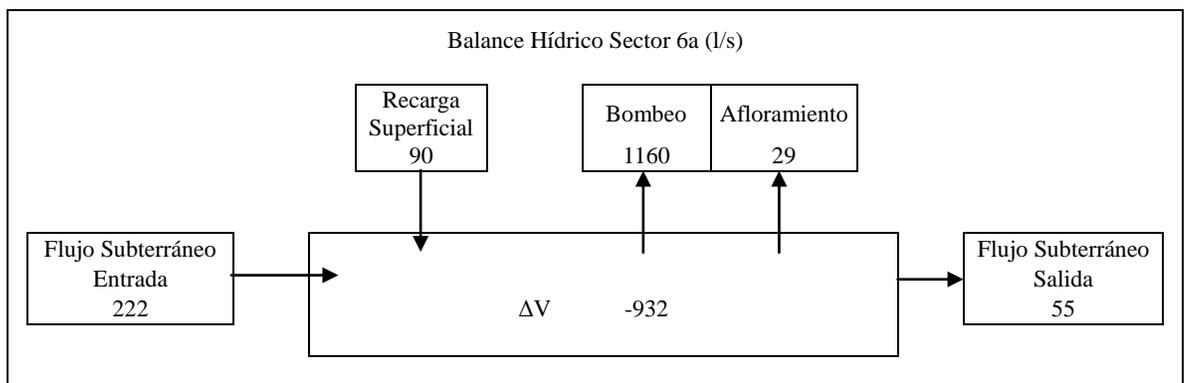


Figura 16. Balance Hídrico para el Sector 6a, según el Escenario 2.

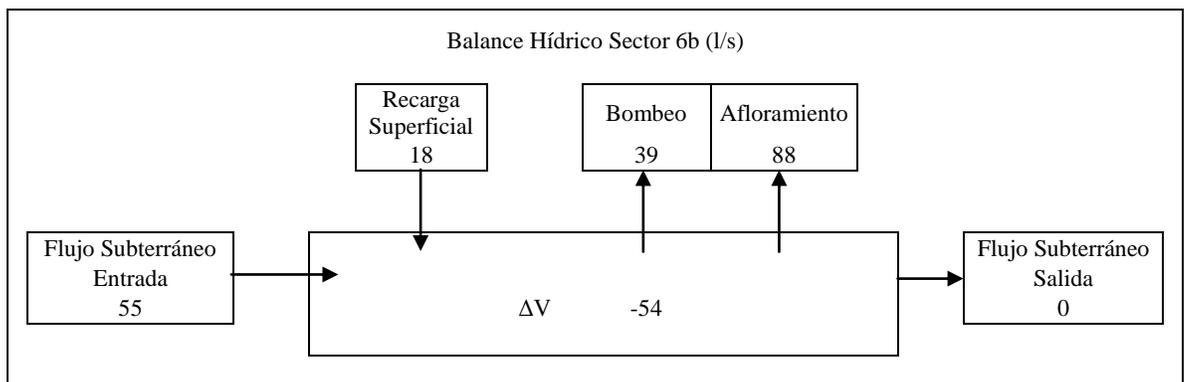


Figura 17. Balance Hídrico para el Sector 6b, según el Escenario 2.

Al considerar el total del caudal que se encuentra registrado en los DAA Subterráneos, la situación de desbalance en los tres subsectores estudiados se profundiza, ya que los valores de extracción por bombeo superan con creces a los valores de recarga para los sectores 5a (Figura 15) y 6a (Figura 16). Esto implica una disminución en el volumen embalsado del acuífero del orden de los $2 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Sector 5a, $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Sector 6a y $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Sector 6b, lo que significa un déficit un 248% mayor que el escenario anterior en el caso del Sector 5a, y un 227% y 142% mayor que el escenario anterior en el caso de los sectores 6a y 6b.

Estos balances negativos representan el "déficit potencial" de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, el que corresponde a 2.983 l/s en total, equivalentes a 2,98 m³/s. Este caudal de agua es el que sería necesario compensar para satisfacer la demanda de aguas subterráneas de ambos sectores bajo este escenario, y así mantener en equilibrio las entradas y salidas de agua del acuífero.

Si se consideran los valores entregados por HIDROMAS (2013) de recargas superficiales y subterráneas, afloramientos y flujos subterráneos de salida, la tasa máxima de agua que se podría explotar en forma sustentable es de 363 l/s en el Sector 5a y 228 l/s en el Sector 6a, mientras que el Sector 6b presenta una tasa negativa de -15 l/s, ya que en este último los afloramientos superan a la recarga, produciéndose un desembalse natural.

De esta forma, según el Escenario 1, sería necesario reducir en un 69% las demandas de los tres principales usos en el Sector 5a y en un 64% en el Sector 6a, así como en un 100% en el Sector 6b, para comenzar a explotar el acuífero de manera sustentable. Mientras que en el Escenario 2, sería necesario reducir en un 85% las demandas de los tres principales usos en el Sector 5a, en un 80% en el Sector 6a y en un 100% en el Sector 6b. Estos valores resultan considerablemente mayores que lo presentado por DGA (2009) para todo el acuífero, quien estimó que debía existir una reducción en los consumos en valores por debajo de un 50% para recuperar el acuífero, y lo recomendado por DICTUC (2010), quien define que las demandas debieran disminuir en al menos un 30% para generar una explotación sustentable en todo el acuífero.

Una reducción en la demanda y la consiguiente disminución en las extracciones de aguas subterráneas tiene un efecto importante en la regulación de los niveles de agua en el acuífero, puesto que según evidenció Vargas (2013), en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó las extracciones mediante pozos tienen un mayor efecto regulador sobre los niveles del acuífero que la misma recarga.

De no existir una reducción en los niveles de consumo evaluados, se espera ocurra un descenso sostenido de los niveles de agua subterránea en todo el acuífero, pero ni aún épocas de abundante recarga permitiría una recuperación significativa, en especial si se considera que dada la forma en que se recarga el sistema, el llenado del acuífero se produce desde aguas arriba hacia aguas abajo (DGA, 2009), por lo que la recuperación sería muy lenta. Esta tendencia se podrá revertir en la medida en que el desbalance entre ingresos y salidas de agua del acuífero se vaya minimizando (Golder, 2006), lo que se obtiene con medidas destinadas a aumentar los ingresos de agua a la cuenca, ya sea mediante trasvases de otras cuencas o tecnologías como la desalación.

Diseño de la infraestructura de riego extra-predial

De acuerdo a los caudales de agua que se deben compensar en cada sector estudiado, según ambos escenarios de análisis, se diseñó la infraestructura de riego extra-predial necesaria para transportar el agua desde la costa, donde es ofrecida por una fuente no convencional de agua, hasta los sectores donde es demandada según los principales usos identificados en el área de estudio.

Definición del trazado

En la Figura 18 se observan los usos de suelo presentes en el área de estudio, los que corresponden al Catastro de Bosque Nativo, la red vial, las fuentes de agua y la superficie utilizada por los cultivos agrícolas, a partir de los cuales se generó la superficie de fricción para el diseño del trazado de la tubería.

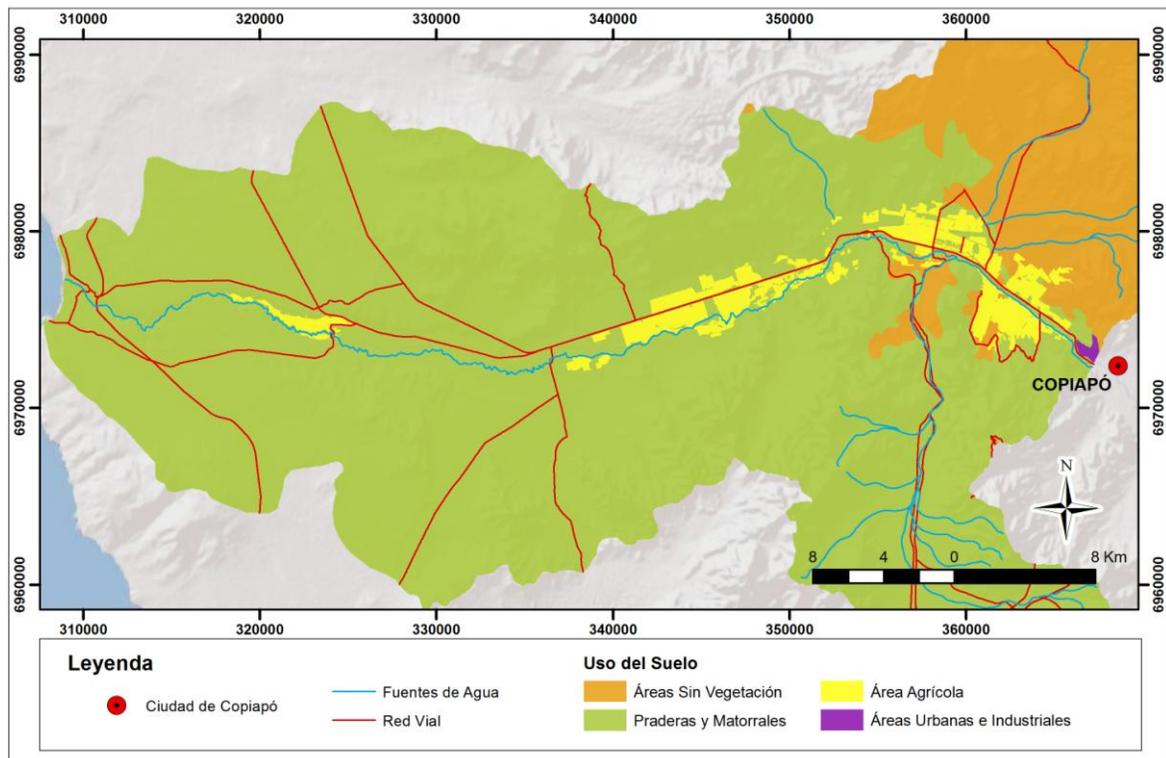


Figura 18. Usos de Suelo presentes en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

Como resultado se obtuvieron tres tramos de ruta dependientes entre sí, que comunican el punto de origen con los tres sub-sectores abastecidos, según se presenta en la Figura 19. El origen corresponde a una bocatoma a nivel de la costa, donde sería entregada el agua ofrecida por una fuente no convencional de agua, de acuerdo a Laboratorio de Análisis

Territorial (2013), desde donde es trasladada a los sectores según el caudal estimado de déficit de cada uno. Los puntos de entrega del agua a los distintos sub-sectores se ubicaron en la cota más alta de cada uno, a excepción del Sector 6b donde se ubicó en la cota más alta del área agrícola, de modo que los futuros costos de transporte del agua suministrada hacia los predios fueran los menores posibles para todos los usuarios, evitando los costos energéticos individuales para impulsar el agua valle arriba.

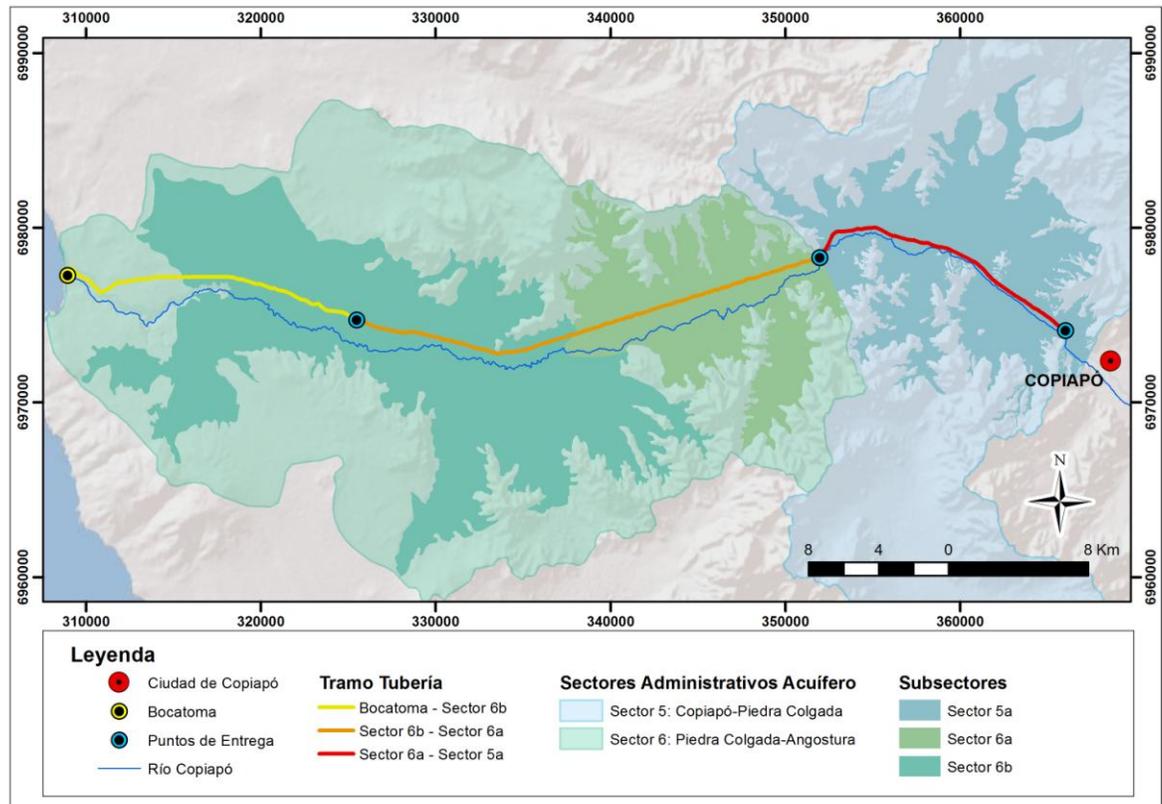


Figura 19. Trazado de la tubería de abastecimiento de la infraestructura de riego extra-predial.

La longitud de cada tramo de tubería se presenta en el Cuadro 16. Esta corresponde a la longitud real de superficie, o distancia en tres dimensiones del trazado a lo largo de la superficie, tomando en consideración las características del relieve.

Cuadro 16. Longitud de los tramos de tubería de la infraestructura de riego extra-predial, según el sector a abastecer.

Tramo	Sector Abastecido	Longitud
		m
Bocatoma - Sector 6b	Sector 6b	16.659,13
Sector 6b - Sector 6a	Sector 6a	27.793,29
Sector 6a - Sector 5a	Sector 5a	17.807,89
Total		62.260,31

Diseño de la infraestructura de riego

A partir del déficit hídrico que presentan los sectores acuíferos estudiados según ambos escenarios de análisis (ver figuras 9, 10 y 11, y figuras 15, 16 y 17), se definió el caudal que la infraestructura de riego extra-predial debe transportar a cada sector para satisfacer esos déficit, considerando para el dimensionamiento de la tubería el déficit de agua para la agricultura con un 85% de seguridad, según se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector, considerando el déficit de agua para la agricultura con un 85% de seguridad.

Sector	Escenario 1	Escenario 2
	-----l/s-----	
Sector 5a	1.165,77	2.957,67
Sector 6a	676,09	1.412,35
Sector 6b	40,31	68,47
Total	1.882,18	4.438,48

Cabe destacar que para el caso del Sector 6b, en ambos escenarios el déficit obtenido desde los balances hídricos realizados es mayor que la demanda de bombeo de aguas subterráneas (ver Figura 11 y Figura 17), debido a que en este sector se presentan importantes afloramientos. Es por este motivo que en el cálculo del caudal de diseño de la tubería no se consideró el déficit, sino que la demanda de bombeo de cada escenario, ya que este sería el máximo volumen de agua demandada en el sector para alguno de los usos principales, y dado que el agua incorporada para suplir el déficit tiene como objetivo compensar la demanda hídrica que existe en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó por parte de los usuarios identificados, ya sea parte de ésta (como en el caso de los sectores 5a y 6a), o en su totalidad (como en el caso del Sector 6b).

El caudal de diseño representa el caudal total que cada tramo de tubería debe transportar para abastecer todos los puntos de entrega (Laboratorio de Análisis Territorial, 2013), de modo que en aquellos tramos que son comunes para más de un punto de entrega, como el caso de los tramos Bocatoma - Sector 6b y Sector 6b - Sector 6a (ver Figura 19), el caudal de diseño consiste en la suma de los caudales de los sectores a abastecer. El detalle del déficit para los distintos usos del agua en los tres sectores estudiados, así como del caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector y del cálculo del caudal de diseño de la tubería, se presentan en el Apéndice II.

A continuación se presentan las características de diseño de la tubería (cuadros 18 y 19), como el caudal de diseño, la altitud de los distintos puntos de entrega, la longitud de cada tramo de tubería y el volumen de agua a satisfacer por tramo, según cada escenario. El volumen de agua a satisfacer o volumen total transportado se refiere al déficit hídrico anual por cada sector, obtenido a partir de los balances hídricos (con la excepción del Sector 6b

según se mencionó, en que este corresponde a la demanda total de bombeo), y corresponde a la suma del volumen de agua que debe transportar cada tramo en un año según los puntos de entrega a abastecer, del mismo modo que en el caudal de diseño. La altura de los puntos de entrega se indica en metros sobre el nivel del mar (msnm).

Cuadro 18. Características del diseño de la tubería, para el escenario de déficit actual (Escenario 1).

Tramo	Sector Abastecido	Altura punto entrega	Caudal de diseño	Longitud Tramo	Volumen Total Transportado
		msnm	m ³ /seg	m	m ³ /año
Bocatoma - Sector 6b	Sector 6b	108	1,88	17.807,89	39.072.170,93
Sector 6b - Sector 6a	Sector 6a	256	1,84	27.793,29	38.345.941,28
Sector 6a - Sector 5a	Sector 5a	354	1,17	16.659,13	25.369.401,37

Cuadro 19. Características del diseño de la tubería, para el escenario de déficit potencial (Escenario 2).

Tramo	Sector Abastecido	Altura punto entrega	Caudal de diseño	Longitud Tramo	Volumen Total Transportado
		msnm	m ³ /seg	m	m ³ /año
Bocatoma - Sector 6b	Sector 6b	108	4,39	17.807,89	93.595.158,65
Sector 6b - Sector 6a	Sector 6a	256	4,32	27.793,29	92.361.735,02
Sector 6a - Sector 5a	Sector 5a	354	2,96	16.659,13	62.971.828,74

En los cuadros 20 y 21 se presentan los requerimientos de potencia de bombeo del sistema de riego extra-predial, así como los costos del sistema o costos de las Obras Civiles, en millones de pesos, de acuerdo al pre-dimensionamiento realizado.

Cuadro 20. Requerimientos de potencia del equipo de elevación y costos de las Obras Civiles, según el pre-dimensionamiento realizado para el Escenario 1.

Tramo	Potencia del Equipo de Elevación Mecánica	Costos Obras Civiles				Costo Total Obras Civiles
		Costo tubería instalada	Costos unidades funcionales	Costos obras anexas		
	kW	-----MM\$-----				
Bocatoma - Sector 6b	4.386,16	28.674,73	24,58	3,11	28.702,42	
Sector 6b - Sector 6a	6.014,04	44.753,47	24,58	3,11	44.781,16	
Sector 6a - Sector 5a	2.493,95	22.317,11	19,02	3,04	22.339,17	
Total	12.894,15	95.745,31	68,17	9,27	95.822,75	

En el caso del Escenario 1, la potencia requerida para el equipo de elevación mecánica incluido en el pre-dimensionamiento del sistema de riego extra-predial es de un total de 12.894 kW.

Cuadro 21. Requerimientos de potencia del equipo de elevación y costos de las Obras Civiles, según el pre-dimensionamiento realizado para el Escenario 2.

Tramo	Potencia del Equipo de Elevación Mecánica kW	Costos Obras Civiles				Costo Total Obras Civiles
		Costo tubería instalada	Costos unidades funcionales	Costos obras anexas	Costo Total	
		-----MM\$-----				
Bocatoma - Sector 6b	10.805,93	38.312,15	36,82	3,23	38.352,20	
Sector 6b - Sector 6a	14.997,73	59.794,86	36,82	3,23	59.834,92	
Sector 6a - Sector 5a	6.424,58	31.332,83	30,52	3,18	31.366,53	
Total	32.228,24	129.439,84	104,17	9,64	129.553,65	

En el caso del Escenario 2, la potencia requerida para el equipo de elevación mecánica incluido en el pre-dimensionamiento del sistema de riego extra-predial es mucho mayor, aproximadamente 32.228 kW, ya que el total del volumen transportado por los tres tramos de tubería de acuerdo a este escenario es más del doble del escenario anterior.

Estimación de costos

Costo de suministro

El costo de suministro para cada escenario de análisis, que se compone de los costos de infraestructura y de transporte, se presenta en los cuadros 22 y 23. El costo total por metro cúbico de agua suministrada se asumió a un reparto igualitario del costo total anual de suministro, de modo que en los tres sectores evaluados el costo del metro cúbico de agua es el mismo, independiente del caudal demandado por cada uno.

Cuadro 22. Costo de Suministro del agua según el Escenario 1, el que se compone del Costo de Transporte y el Costo de Infraestructura.

Tramo	Costo de Suministro				Costo Total por m ³ de agua	
	Costo de Transporte	Costo de Infraestructura	Costo Total Anual	\$/m ³	US\$/m ³	
		-----MM\$-----				
Bocatoma - Sector 6b	1.773,07	1.594,58	3.367,65			
Sector 6b - Sector 6a	2.438,16	2.487,84	4.926,00	103,04	0,18	
Sector 6a - Sector 5a	1.056,86	1.241,06	2.297,92			
Total	5.268,09	5.323,49	10.591,57	-	-	

Cuadro 23. Costo de Suministro del agua según el Escenario 2, el que se compone del Costo de Transporte y el Costo de Infraestructura.

Tramo	Costo de Suministro				Costo Total por m ³ de agua	
	Costo de Transporte	Costo de Infraestructura	Costo Total Anual			
	-----MM\$-----			\$/m ³	US\$/m ³	
Bocatoma - Sector 6b	4.437,26	2.130,68	6.567,94			
Sector 6b - Sector 6a	6.172,61	3.324,16	9.496,77	82,24	0,14	
Sector 6a - Sector 5a	2.663,64	1.742,59	4.406,23			
Total	13.273,51	7.197,43	20.470,94	-	-	

El valor del kilowatt-hora (kWh) utilizado para el cálculo fue de 70,10 \$/kWh, y se utilizó el precio del dólar promedio para el año 2014, a un valor de \$570,37.

Según se observa, en el Escenario 1 los costos de transporte, que consideran el costo energético del sistema pre-diseñado, y los costos de infraestructura, que consideran la depreciación de las Obras Civiles dimensionadas, son similares entre sí. Si se separa el costo por metro cúbico de agua en estos dos elementos que lo componen, el costo de transporte corresponde a 51,3 \$/m³, mientras que el costo de infraestructura corresponde a 51,8 \$/m³. Por otro lado, en el Escenario 2 los costos de transporte son casi el doble de los costos de infraestructura. En este caso el costo de transporte corresponde a 53,3 \$/m³, mientras que el costo de infraestructura corresponde a 28,9 \$/m³. Esto permite evidenciar que transportar un caudal mayor de agua disminuye el costo en infraestructura por metro cúbico de agua transportada a casi la mitad, haciendo que la recuperación de la inversión en obras civiles necesarias para el funcionamiento del sistema de riego tenga un menor impacto en el costo final del agua entregada. Los costos energéticos en transporte por cada metro cúbico de agua se mantienen relativamente estables, con un aumento de 3 \$/m³ en el Escenario 2, lo que quiere decir que al aumentar el volumen bombeado los costos energéticos son también mayores, aunque en una baja proporción. En este proyecto, así como en las alternativas de abastecimiento de agua que se evalúan para satisfacer la demanda de agua del norte de Chile (INECON, 2014), el consumo eléctrico y su costo asociado es el principal costo de operación, lo que puede definir la conveniencia o no de realizar un proyecto según la capacidad local de abastecimiento de energía.

A pesar de que el costo por metro cúbico de agua transportada disminuye en el Escenario 2, el costo total de suministrar el agua necesaria para satisfacer el déficit de los tres sectores estudiados es mayor en este escenario, en un total de 9.879 millones de pesos.

Alternativas de suministro

En el estudio elaborado para la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas por INECON (2014), se realizó un análisis conceptual de las alternativas de

transporte de agua de sur a norte, las cuales contemplan maneras diferentes de satisfacer las demandas geográficas a través de nodos, trazados, capacidades y tecnologías distintas. Cada alternativa considera la demanda de distintos sectores económicos y localidades geográficas, pero las fuentes desde donde se obtendría el agua son las mismas, localizadas en la desembocadura de los ríos Biobío, Maule y Rapel, a excepción de los proyectos de desalación, que consideran que las fuentes de agua se localizan en las cercanías de los centros o nodos de consumo.

Las alternativas evaluadas consisten en tuberías submarinas, tuberías terrestres, transporte marino, naves tanqueras, y desalación, sin embargo sólo las dos primeras, además de la desalación que es una opción de suministro local, consideran el abastecimiento hasta la región de Atacama, por lo tanto a continuación se describirán únicamente estas alternativas, a partir de INECON (2014):

Alternativa de Tubería Submarina: Proyecto “Aquatacama”. El proyecto Aquatacama considera un trazado desde el río Biobío por el sur hasta Arica por el norte, con una longitud total de aproximadamente 2.500 kilómetros, y consiste en una tubería submarina denominada "flexipipe", que se conecta a tierra mediante tuberías rígidas de acero, tanto en los tramos de captación del agua de los ríos, como en la entrega a los nodos de transferencia a lo largo de la costa. El caudal de diseño es de 35 m³/s equivalente a un volumen anual de transporte de 1.104 millones de m³, con una inversión total estimada de aproximadamente 13.400 millones de dólares. Esta alternativa está orientada mayoritariamente a abastecer al sector agrícola, y en menor grado a la minería y consumo humano. El proyecto Aquatacama corresponde a una alternativa de transporte de agua completamente innovadora, de la cual no se conoce otra experiencia de estas características en el mundo, lo que constituye un importante componente de riesgo.

Alternativa de Tubería Terrestre: Proyecto “Vía Hídrica”. El proyecto Vía Hídrica considera el transporte de agua mediante una tubería terrestre, de acero, generalmente soterrada y con un trazado mayoritariamente próximo a carreteras y caminos existentes, entre ellos la Ruta 5. Se trata de una solución convencional de transporte implementada con éxito en muchos casos en el mundo. El recorrido de la tubería abarca desde el río Biobío en el sur, hasta Arica en el norte, con una distancia total de aproximadamente 2.500 kilómetros. La entrega de agua se realiza en los puntos de demanda a lo largo de su recorrido y no en la costa, y su diseño considera un caudal constante de 25 m³/s equivalente a un volumen de 788 millones de m³ anuales. Esta alternativa prevé la entrega de aproximadamente 5 m³/s para consumo humano, 15 m³/s a la minería y 5 m³/s a la agricultura del norte, entre las regiones de Atacama y Arica y Parinacota. La inversión total estimada en el proyecto alcanza aproximadamente a 7.300 millones de dólares.

Plantas desaladoras. Otra alternativa para el abastecimiento de agua es la utilización de plantas desaladoras de agua de mar, las que permiten dar una solución a la demanda del

consumo humano, la industria, la minería y la agricultura en términos locales. El estudio realizado para la DOH considera la evaluación de proyectos para plantas desaladoras con caudales que varían entre 1 m³/s y 2,5 m³/s de agua producida. Esta corresponde a una alternativa al transporte de agua desde el sur, ya que por su naturaleza y tecnología, las plantas desaladoras se pueden instalar en cualquier lugar de las costas de Chile y dada la experiencia nacional y mundial en la operación de este tipo de plantas, el proyecto no presenta dificultades desde el punto de vista del riesgo.

Las alternativas descritas son las únicas que consideran el abastecimiento de la localidad de Copiapó, y por lo tanto son las opciones que se podrían contemplar para el análisis de la incorporación de una fuente no convencional de agua en los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó. Sin embargo, no se cuenta con antecedentes del costo unitario del agua ofrecida por todas las alternativas por encontrarse sujetas a cláusulas de confidencialidad (INECON, 2014). Según se describió en la metodología, el análisis se realizó en base a la alternativa de la tubería submarina, de la que se cuenta con una estimación del precio por metro cúbico del agua ofrecida a partir de Laboratorio de Análisis Territorial (2013). Asimismo, la alternativa de la tubería submarina tiene como prioridad el abastecimiento del sector agrícola, actividad que tiene la mayor demanda de agua en el área de estudio así como el mayor caudal registrado e insatisfecho en DAA Subterráneos.

Costo del agua

El costo total del agua, esto quiere decir el costo de suministro más el costo base del agua puesta al nivel de la costa ofrecida por la alternativa de la tubería submarina, la que fue escogida como caso de estudio, se presenta en los cuadros 24 y 25. Según esta alternativa, el costo por metro cúbico de agua ofrecida a nivel de la costa es de US\$ 0,74, lo que equivale a 422,1 \$/m³.

Cuadro 24. Costo final del agua según el Escenario 1, el que se compone del Costo de Suministro y el Costo Base del agua ofrecida.

Tramo	Costo del Agua				
	Costo de Suministro	Costo Base (US\$ 0,74/m ³)	Costo Total Anual	Costo Total por m ³ de agua	
	-----MM\$-----			\$/m ³	US\$/m ³
Bocatoma - Sector 6b	3.367,65	16.491,41	19.859,06		
Sector 6b - Sector 6a	4.926,00	16.184,89	21.110,89	525,12	0,92
Sector 6a - Sector 5a	2.297,92	10.707,81	13.005,73		
Total	10.591,57	43.384,11	53.975,68		

Cuadro 25. Costo final del agua según el Escenario 2, el que se compone del Costo de Suministro y el Costo Base del agua ofrecida.

Tramo	Costo del Agua				
	Costo de Suministro	Costo Base (US\$ 0,74/m ³)	Costo Total Anual	Costo Total por m ³ de agua	
	-----MM\$-----			\$/m ³	US\$/m ³
Bocatoma - Sector 6b	6.567,94	39.504,24	46.072,18		
Sector 6b - Sector 6a	9.496,77	38.983,64	48.480,41	504,31	0,88
Sector 6a - Sector 5a	4.406,23	26.578,88	30.985,10		
Total	20.470,94	105.066,75	125.537,69		

En este caso, el costo base del agua es el mismo para ambos escenarios, de modo que la diferencia en el costo total unitario del agua entregada la hace el costo de suministro, presentado en el punto anterior. Debido a que el costo de suministro es proporcionalmente menor para el caso del Escenario 2, el costo total del metro cúbico agua es también menor que en el Escenario 1. Si bien, el volumen transportado según el Escenario 2 es más del doble que el transportado según el Escenario 1 (un 140% mayor), el costo del agua es tan sólo un 4% menor, por lo tanto, el costo del agua suministrada es poco sensible al volumen transportado, ya que este último no modifica significativamente el precio.

Al igual que en el caso anterior, a pesar de que el costo por metro cúbico de agua es menor en el Escenario 2, el costo total de satisfacer el déficit de los tres sectores estudiados es mayor para este escenario, pasando de aproximadamente 53.976 millones de pesos, que es el costo total de satisfacer el “déficit actual” de aguas subterráneas en el área de estudio, a aproximadamente 125.538 millones de pesos, que es el costo total de satisfacer el “déficit potencial” de aguas subterráneas en el área de estudio, si se ejercieran todos los Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas vigentes. Esto significa una diferencia de 71.562 millones de pesos.

Fundación Chile (Dourojeanni et al., 2012), quien realizó un estudio preliminar de análisis de impacto económico y social del Proyecto Aquatacama, estimó la disposición a pagar por el agua inyectada por esta alternativa (tubería submarina), por parte de la minería y del sector agrícola, en base al cálculo del PIB regional adicional que generaría la aplicación de esta nueva agua en la región de Atacama por ambas actividades y por lo tanto al ingreso marginal por metro cúbico de agua incorporada. Este valor sería de 0,35 US\$/m³ para la agricultura y 56 US\$/m³ para la minería, por cuanto esta actividad genera un mayor PIB para la región con el agua aportada. Según esto, las ventajas económicas y la mayor capacidad de pago se concentran en el sector minero, sin embargo el uso de agua por parte de este es mínimo con respecto a la agricultura, de no más de un 3% de la demanda total de la región. Por otro lado, la disposición o capacidad de pagar del sector agrícola es muy menor a lo requerido para satisfacer sus necesidades de agua, al ser el valor entregado por

Dourojeanni et al. (2012) para el sector agrícola casi un tercio del valor obtenido para el agua abastecida a los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó por este estudio, de aproximadamente $0,9 \text{ US\$/m}^3$ para ambos escenarios.

Por otro lado, como parte del estudio "Diagnóstico de la Demanda Hídrica en el Norte de Chile" de Laboratorio de Análisis Territorial (2013), se entrevistó a inversionistas agrícolas del sector de Tierra Amarilla y a agricultores de sectores bajos de la cuenca de Copiapó, los que se mostraron interesados en invertir en una posible expansión agrícola en el caso hipotético de existir disponibilidad hídrica a partir del agua suministrada por el proyecto de la tubería submarina, mencionando que este factor constituye la mayor limitante de la zona para el crecimiento del sector agrícola. Sin embargo, las posibilidades de invertir dependen del costo del recurso hídrico y de la rentabilidad de los cultivos, dentro de los cuales la uva de mesa es el preferido a utilizar, por su tradición en la zona y su rentabilidad. Si bien, de acuerdo al estudio en general no se tiene una noción clara en cuanto al costo del agua dentro del sistema productivo, los entrevistados se mostraron dispuestos a pagar alrededor de los $5.000 - 6.000 \text{ US\$/ha/año}$, considerando que el agua era conducida hasta sus predios. De acuerdo a esto, la disposición a pagar por el agua se encontraría alrededor de los $0,5 \text{ US\$/m}^3$ como máximo, si se considera la rentabilidad y las necesidades de agua de un cultivo de uva de mesa, valor que si bien es más alto que el estimado por Dourojeanni et al. (2012), sigue encontrándose por debajo del costo del agua estimado por este estudio para satisfacer el déficit hídrico de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

Evaluación económica

A partir de la información que fue recopilada en el área de estudio por Fuster et al. (2015c), y obtenida desde bibliografía, validada según la realidad local, se establecieron los supuestos necesarios para generar flujos de caja para cada cultivo evaluado. Los valores utilizados para los distintos parámetros que componen los flujos, son tomados como supuestos, dado que no son representativos de las condiciones particulares de los cultivos, sin embargo son asumidos como reales en la evaluación económica realizada.

De acuerdo a la información recopilada de bibliografía y validada en terreno mediante entrevistas a actores clave (ver Apéndice I), se determinaron los siguientes costos de Inversión por hectárea para los principales cultivos desarrollados en el área de estudio (Cuadro 26) según el catastro de uso de suelo agrícola, los cuales son Olivo variedad Arbequina, Olivo variedad Sevillana, Granado variedad Wonderful, Uva de Mesa variedad Red Globe, Uva de Mesa variedad Flame Seedless, Uva de Mesa variedad Thompson Seedless, y Tomate (tutorado y al aire libre).

Cuadro 26. Costos de Inversión por hectárea para el establecimiento de los principales cultivos de la zona del río Copiapó.

Cultivo	Sistema de Riego	Plantas e Insumos	Mano de Obra	Maquinarias y Herramientas	Otros	Total Inversión
	-----\$-----					
Olivo	1.600.000	1.110.240	100.000	110.000	584.048	3.504.288
Granado	1.600.000	2.530.000	160.000	492.500	956.500	5.739.000
Uva de Mesa	1.600.000	4.534.540	620.000	220.000	1.394.908	8.369.448
Tomate	1.600.000	0	0	0	0	1.600.000

La Inversión considera el establecimiento de los cultivos, antes de iniciar la producción (es decir en el año 0). El Sistema de Riego corresponde a un costo por unidad de superficie estándar para el área de estudio, de acuerdo a la información recopilada con los agricultores locales, y se refiere a un sistema de riego tecnificado, por goteo, sin considerar la instalación de un pozo profundo. Se consideró además la inversión en Plantas e Insumos, Mano de Obra, y Maquinarias y Herramientas necesarias para el establecimiento del cultivo, los que se refieren a los materiales, herramientas, equipos, y mano de obra necesarias para la preparación del suelo y la plantación del cultivo. En cuanto al ítem Otros, este se definió como un 20% extra para cada cultivo, que corresponde a costos no considerados y/o imprevistos. Estos costos, según lo observado y conversado con los productores, no varían según la variedad del cultivo implementada. En el caso del Tomate, al ser este un cultivo anual, sólo considera inversión en Sistema de Riego, ya que los costos derivados de la plantación, preparación de almácigos y entutorado entre otros, son considerados como Costos Directos. Un mayor detalle de los costos de Inversión se presenta en las fichas técnicas de los cultivos evaluados, elaboradas según la información recopilada en este estudio (Apéndice III).

Los valores recopilados a partir de las Fichas Técnicas de los cultivos evaluados (Fuster et al., 2015c), tanto de los Costos Directos, Rendimiento de los cultivos y el Precio de Venta Nacional e Internacional, se presentan en los cuadros 27 y 28, y con mayor detalle en el Apéndice III.

Cuadro 27. Costos Directos para la producción de los principales cultivos de la zona del río Copiapó.

Cultivo	Costo Mano de Obra	Costo Maquinaria	Costo Insumos	Total Costos Directos
	-----\$-----			
Olivo var. Arbequina	870.000	825.000	162.654	1.857.654
Olivo var. Sevillana	663.500	975.333	211.776	1.850.609
Granado var. Wonderful	1.920.000	1.375.000	773.921	4.068.921
Uva de Mesa var. Red Globe	2.849.158	907.500	1.204.987	4.961.645
Uva de Mesa var. Flame Seedless	3.105.000	1.003.750	1.084.383	5.193.133
Uva de Mesa var. Thompson Seedless	3.208.500	990.000	1.089.680	5.288.180
Tomate	3.910.250	1.232.000	6.247.104	11.389.354

Fuente: Elaborado a partir de Fuster et al. (2015c)

Estos valores no consideran el costo incurrido en el riego de los cultivos, ya sea en el bombeo de agua mediante pozos profundos o en el arriendo de ésta, y representan únicamente los costos asociados a la producción anual de cada cultivo, en labores que requieran Mano de Obra (como control de malezas, riego y fertilización, aplicación de pesticidas, poda, cosecha, etc.), Maquinarias (como rastraje, aplicación de agroquímicos, acarreo de cosecha, fertilización, etc.) e Insumos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc.).

Cuadro 28. Rendimiento de los principales cultivos de la zona del río Copiapó, y su Precio de Venta nacional e internacional.

Cultivo	Rendimiento	Precio de Venta Nacional	Precio de Venta Internacional
	kg/ha	-----\$/kg-----	
Olivo var. Arbequina	10.000	383	-
Olivo var. Sevillana	10.000	357	-
Granado var. Wonderful	20.000	50	869
Uva de Mesa var. Red Globe	26.438	262	743
Uva de Mesa var. Flame Seedless	15.680	505	785
Uva de Mesa var. Thompson Seedless	20.500	416	879
Tomate	93.250	269	-

Fuente: Elaborado a partir de Fuster et al. (2015c)

Para los cultivos de Olivo (en sus dos variedades) y de Tomate se consideró un 100% de la producción con destino nacional, mientras que para los cultivos de Granado y Uva de Mesa (en sus tres variedades) se consideró un 30% de la producción con destino nacional y un 70% con destino a exportación.

Para la evaluación económica de los cultivos del tipo frutales, se utilizó un horizonte de evaluación de 10 años, mientras que para la evaluación económica de las hortalizas, en este caso el Tomate, se utilizó un horizonte de evaluación de 4 años. En ambos casos, se consideraron dos tamaños de producción de acuerdo a la realidad del área de estudio según comunicación personal con agricultores locales, que corresponden a un tamaño de producción "pequeño", y un tamaño de producción "mediano-grande" (Cuadro 29). En el caso del Granado, se consideró únicamente un tamaño de producción mediano-grande, ya que no existen pequeños productores de Granado en la zona.

Cuadro 29. Tamaños de producción utilizados para la evaluación económica por cultivo.

Cultivo	Tamaño Producción	
	Pequeño	Mediano-Grande
	-----ha-----	
Olivo	10	100
Granado	-	70
Uva de Mesa	30	100
Tomate	1	10

De este modo, para cada cultivo se elaboraron dos flujos de caja diferentes, de acuerdo a cada tamaño de producción, a excepción del cultivo del Granado, generándose un total de 13 flujos de caja.

Para el caso de los Costos Indirectos, se definió una estructura de producción diferente para cada cultivo y cada tamaño de producción evaluado, en la que varía la cantidad de mano de obra estable necesaria para la mantención del cultivo. Dado que estos costos varían de acuerdo al tamaño de producción, y al año de producción de cada cultivo, se presentan en el Apéndice III.

Los Flujos de Caja se presentan en el Apéndice IV, los que representan la evaluación económica de cada proyecto, sin considerar costos en agua para riego. Los valores de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) de cada flujo, para cada cultivo, se presentan en el Cuadro 30 para los tamaños de producción pequeño, y en el Cuadro 31 para los tamaños de producción mediano-grande.

Cuadro 30. Indicadores económicos de rentabilidad, VAN y TIR, según la evaluación económica realizada a cada cultivo con un tamaño de producción "pequeño".

Cultivo	VAN	TIR
	\$	%
Uva de Mesa var. Red Globe	976.314.743	27,28
Uva de Mesa var. Thompson Seedless	743.880.058	23,32
Uva de Mesa var. Flame Seedless	121.581.490	14,28
Tomate	45.877.548	62,04
Olivo var. Arbequina	23.726.144	15,93
Olivo var. Sevillana	14.369.586	14,59

Cuadro 31. Indicadores económicos de rentabilidad, VAN y TIR, según la evaluación económica realizada a cada cultivo con un tamaño de producción "mediano-grande".

Cultivo	VAN	TIR
	\$	%
Uva de Mesa var. Red Globe	3.558.069.745	29,25
Uva de Mesa var. Thompson Seedless	2.787.678.314	25,15
Granado var. Wonderful	1.672.218.410	26,39
Uva de Mesa var. Flame Seedless	743.652.068	16,36
Tomate	721.689.297	94,79
Olivo var. Arbequina	344.343.980	17,86
Olivo var. Sevillana	250.778.400	16,64

Según se observa en los cuadros 30 y 31, todos los modelos resultan en un VAN positivo, siempre que no se consideren los costos asociados al agua para riego. De acuerdo a los parámetros utilizados y las tasas definidas, la producción de todos los cultivos evaluados resultaría recomendable. Tanto en la agricultura de pequeña escala como en la de gran escala el cultivo de la Uva de Mesa variedad Red Globe y variedad Thompson Seedless presentan las mayores rentabilidades, y por el contrario el cultivo del Olivo variedad Sevillana y variedad Arbequina posee las más bajas rentabilidades. El cultivo del Tomate, si bien no posee un VAN muy alto en comparación a los otros cultivos evaluados, si posee la TIR más alta, es decir, tiene un retorno mayor sobre el capital invertido en el proyecto.

Dado que los supuestos utilizados para la construcción de los diferentes flujos de caja consisten en supuestos generales, que son un reflejo de la realidad del área de estudio de acuerdo a la información levantada por Fuster et al. (2015c), los valores obtenidos para el VAN no deben ser tomados como la rentabilidad real de los cultivos de la zona, ya que esto depende de que se repliquen las condiciones particulares consideradas como supuestos en esta memoria, por lo que estos valores deben ser tomados como referencia.

Análisis de sensibilidad al precio del agua

En cuanto al análisis económico realizado a los distintos cultivos estudiados, se evaluó la capacidad de éstos de absorber el costo estimado del agua suministrada por una fuente externa mediante modelos económicos. Así, se evaluó la sensibilidad de los distintos flujos de caja al incluirse un costo por el agua de riego y se obtuvieron valores de equilibrio, según las condiciones y supuestos con los que fueron construidos éstos.

Como bien se mencionó antes, los resultados obtenidos de los flujos de caja elaborados corresponden a una referencia del comportamiento de los cultivos frente a parámetros de interés, como son el precio del agua y las necesidades hídricas de los cultivos, de acuerdo a los análisis de sensibilidad realizados. Por lo tanto, los resultados obtenidos deben observarse desde esta perspectiva.

La Figura 20 muestra la variación del VAN del proyecto (en millones de pesos) de cada cultivo frente a la incorporación de un parámetro correspondiente al "Precio del Agua", en pesos por metro cúbico de agua, al considerar los costos asociados al agua para riego de acuerdo a las necesidades hídricas de los cultivos. Se incluyen además dos líneas verticales, las que representan el Costo del Agua obtenido según ambos escenarios de análisis, para el agua suministrada por la alternativa de la tubería submarina a los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó.

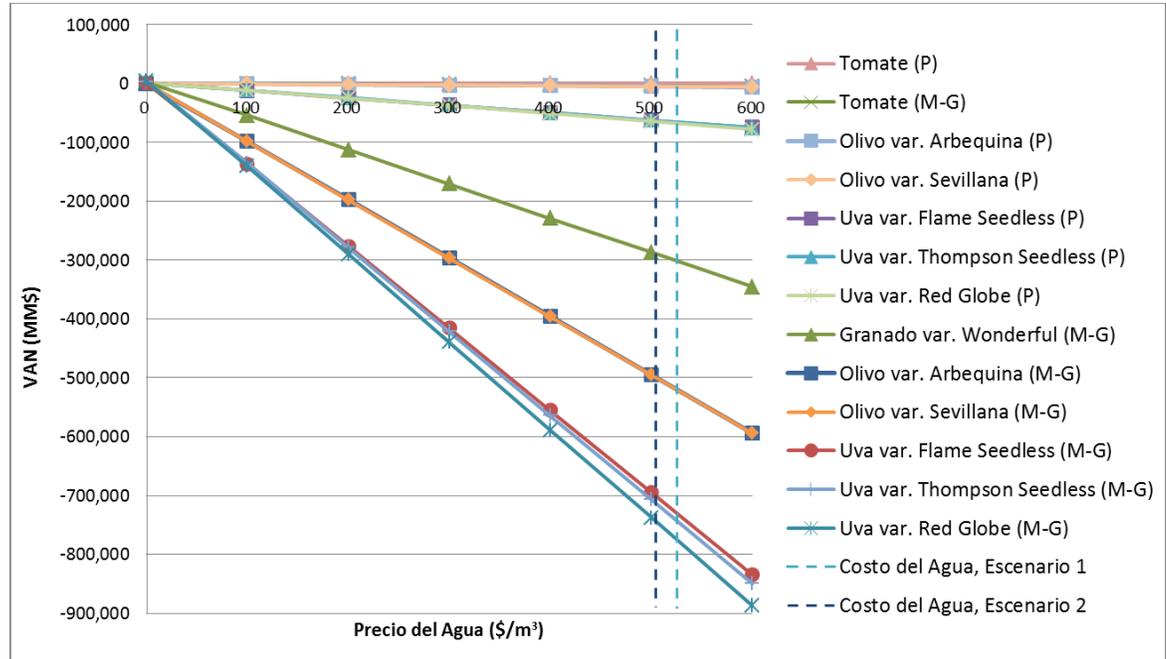


Figura 20. Variación del VAN de cada cultivo frente a la existencia de un cobro por el agua para riego, en pesos por metro cúbico de agua. (P= Pequeño; M-G= Mediano-Grande)

Según se presenta en la Figura 20, los cultivos que se realizan en un tamaño de producción mediano-grande son altamente sensibles ante la existencia de un cobro por el uso del agua de riego, haciendo inviable la actividad si se tuviesen que incurrir en este tipo de costos. Los cultivos que corresponden a un tamaño de producción pequeño si bien son menos sensibles en escala, presentan un comportamiento similar, haciendo no rentable económicamente la producción frente a la asignación de un precio para el agua de riego. Se destacan como los cultivos más sensibles la Uva de Mesa variedad Red Globe, variedad Thompson Seedless y variedad Flame Seedless así como el Olivo variedad Sevillana y variedad Arbequina, en ambas escalas. El cultivo del Tomate, tutorado y al aire libre, es el que presenta la menor sensibilidad frente al costo del agua, según se muestra en la Figura 21, especialmente en un tamaño de producción pequeño.

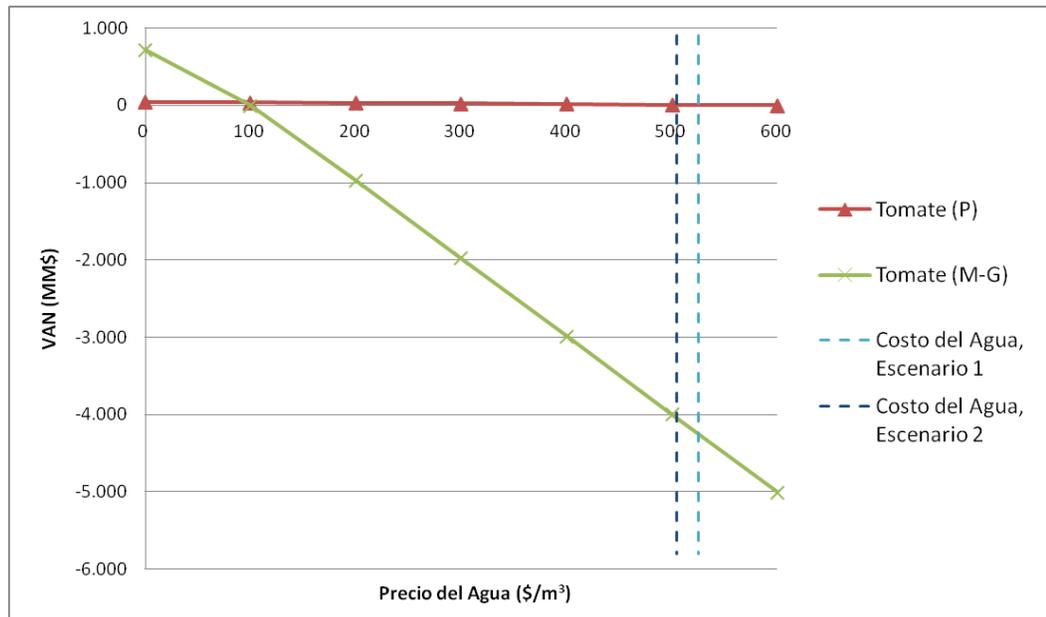


Figura 21. Variación del VAN del cultivo de Tomate (tutorado y al aire libre) frente a la existencia de un cobro por el agua para riego, en pesos por metro cúbico de agua. (P= Pequeño; M-G= Mediano-Grande)

A partir del análisis de sensibilización realizado, se determinó el punto de equilibrio en el precio del agua en el que el VAN tiene un valor cero, es decir el valor máximo en que puede variar el precio del agua de riego en la producción de cada cultivo, según las escalas definidas, para que el proyecto siga siendo rentable (Sapag, 2008). Este precio de equilibrio se muestra en el Cuadro 32 para una escala de producción pequeña, y en el Cuadro 33 para una escala de producción mediano-grande, de acuerdo a las necesidades hídricas de los cultivos maduros que se recogieron a partir de las Fichas Técnicas (Fuster et al., 2015c). Como complemento, en el Apéndice V se presenta un análisis de sensibilización del VAN de los distintos cultivos frente a los parámetros de "Precio del Agua" y "Necesidades Hídricas" de los cultivos, correspondiente a una tabla de doble entrada por cada flujo de caja elaborado.

Cuadro 32. Precio de equilibrio del agua para los principales cultivos de la zona del río Copiapó, según las necesidades hídricas del cultivo maduro, con un tamaño de producción "pequeño".

Cultivo	Necesidades Hídricas m ³ /ha	Precio Equilibrio \$/m ³
Tomate	9.855	637,43
Uva de Mesa var. Red Globe	11.500	12,82
Uva de Mesa var. Thompson Seedless	11.000	9,82
Olivo var. Arbequina	8.000	4,57
Olivo var. Sevillana	8.000	2,77
Uva de Mesa var. Flame Seedless	11.000	1,64

Cuadro 33. Precio de equilibrio del agua para los principales cultivos de la zona del río Copiapó, según las necesidades hídricas del cultivo maduro, con un tamaño de producción "mediano-grande".

Cultivo	Necesidades Hídricas m ³ /ha	Precio Equilibrio \$/m ³
Tomate	9.855	100,27
Granado var. Wonderful	9.000	4,82
Uva de Mesa var. Red Globe	11.500	4,23
Uva de Mesa var. Thompson Seedless	11.000	3,31
Uva de Mesa var. Flame Seedless	11.000	0,90
Olivo var. Arbequina	8.000	0,66
Olivo var. Sevillana	8.000	0,48

De forma similar a lo que se observa en las figuras 20 y 21, los cultivos evaluados presentan una gran sensibilidad al parámetro "Precio del Agua", ya que la variabilidad máxima de este parámetro que resistiría el proyecto, para seguir siendo rentable, es muy pequeña, especialmente para los cultivos de Olivo en sus dos variedades, de Uva de Mesa en sus tres variedades y de Granado variedad Wonderful, en ambas escalas. También en este caso el Tomate presenta una menor sensibilidad ante este parámetro, ya que según se observa, el precio máximo del agua que absorben los flujos del cultivo es mayor.

Según se presentó en el capítulo anterior, el precio del agua obtenido por este estudio según ambos escenarios de análisis es considerablemente mayor a otros valores de referencia que reflejan la disposición a pagar por el agua en la localidad de Copiapó, específicamente por parte del sector agrícola. De la misma forma, los precios de equilibrio resultantes de la sensibilización realizada a los flujos de caja de los principales cultivos desarrollados en el área de estudio sobre el parámetro del precio del agua resultan aún más desalentadores. Si bien estos valores corresponden a un modelo de carácter local y no a un estudio de caso, lo que quiere decir que los valores rescatados de los flujos de caja corresponden únicamente a una referencia, sí reflejan un acotado margen de posibilidades ante la existencia de un cobro por el agua para riego.

En este sentido, entre los cultivos evaluados se distinguen dos tendencias. Por un lado, los cultivos de Uva de Mesa variedad Red Globe, variedad Thompson Seedless y variedad Flame Seedless así como de Olivo variedad Sevillana y variedad Arbequina y de Granado variedad Wonderful, presentan un margen muy pequeño de acción frente a la necesidad de adquirir el agua para riego, con precios de equilibrio que van desde menos de 1 \$/m³ hasta los 13 \$/m³ aproximadamente, valores que distan mucho de los obtenidos en este estudio para el agua entregada, de 525 \$/m³ para el Escenario 1 y 504 \$/m³ para el Escenario 2. Estos márgenes son muy pequeños incluso si se considera el costo base del agua ofrecida por la tubería submarina, de 422 \$/m³, o el costo de suministro de la misma, si es que esta no tuviera un costo base, que fue estimado en 103 \$/m³ para el Escenario 1 y 82 \$/m³ para

el Escenario 2. Por otro lado el cultivo del Tomate es el único que sobrepasa la barrera de los 100 \$/m³ como punto de equilibrio, pero solo el Tomate en un tamaño de producción pequeña sería capaz de absorber los costos estimados para el agua de riego según los escenarios evaluados, al presentar un precio de equilibrio de 637 \$/m³.

Por lo tanto, y de acuerdo al análisis de sensibilidad realizado y al precio del agua suministrada por una fuente no-convencional de agua obtenido por este estudio para ambos escenarios de análisis, los cultivos evaluados no serían capaces de absorber el costo del agua para riego ofrecido por la alternativa de la tubería submarina, si ésta se dispusiera en los tres sub-sectores evaluados, el Sector 5a, el Sector 6a y el Sector 6b, según el caudal de agua que sería necesario transportar para mantener en equilibrio los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, con la única excepción del cultivo del Tomate, tutorado y al aire libre y en un tamaño de producción de 1 hectárea, que según las condiciones y supuestos con los que fueron construidos estos modelos económicos, sería capaz de costear el agua suministrada por la tubería submarina, sin tener pérdidas de rentabilidad, y en ambos escenarios de costo del recurso. Sin embargo, el que este cultivo sea el único capaz de costear el agua incorporada no es suficiente para darle viabilidad al proyecto de transportar agua desde las cuencas del sur de Chile hacia la zona norte del país, dado que la demanda que representa sobre el agua incorporada es muy baja.

Estos resultados se condicen con lo presentado por INECON (2014), quien realizó una evaluación social de los proyectos de aprovisionamiento de agua presentados a la DOH, pues los resultados obtenidos de estas evaluaciones sociales resultaron ser altamente negativos para todas las fuentes evaluadas, ya que los precios sociales del agua son insuficientes para obtener un resultado positivo. En el caso del sector agrícola, que representa la mayor demanda, su precio social, obtenido a partir de EMG Consultores (2011), no es suficiente para pagar el alto costo monetario que significan estas alternativas. Es decir, de acuerdo a INECON (2014), ninguno de los proyectos presentados sería socialmente rentable, incluyendo la alternativa de la tubería submarina, evaluada en este estudio.

De esta forma, para que el sector agrícola sea capaz de incorporar esta agua como parte de su sistema productivo según las condiciones previamente estudiadas, sería necesario evaluar medidas tendientes tanto al ahorro en el consumo del recurso hídrico, como a incentivos que permitan disminuir el costo final que el recurso tendría sobre los distintos usuarios de la cuenca, ya sea sobre los propios usuarios, como a las empresas generadoras de agua, como los incentivos tributarios que Arancibia (2009) analiza para las inversiones que puedan suplir el déficit hídrico a que se enfrenta la cuenca del Río Copiapó, en su informe para la Corporación para el Desarrollo de la Región de Atacama (CORPROA).

La rebaja necesaria en el costo final del recurso sobre los usuarios tendría que estimarse mediante un estudio más profundo de las capacidades de pago de los agricultores locales, sin embargo, y de acuerdo a los antecedentes presentados, a grandes rasgos debiese ser de al menos un 45%, según la disposición a pagar manifestada por los potenciales inversores encuestados por Laboratorio de Análisis Territorial (2013). En cuanto a las medidas de

eficiencia hídrica que podrían ser aplicadas a los cultivos, deberían implementarse mejoras tecnológicas que permitan un ahorro de al menos un 50% de la demanda de los cultivos, para encontrarse en condiciones de adquirir el agua al costo estimado por este estudio, según los antecedentes dados por los mismos potenciales inversores. Sin embargo, según el análisis de sensibilidad realizado a los flujos de caja a partir de las variables del precio del agua y de las necesidades hídricas de los cultivos, ni aún reducciones en un 50% de las necesidades de agua de los cultivos evaluarían los resultados ya obtenidos, según se puede apreciar en el análisis de sensibilidad del VAN a partir de estos dos factores, presentado en el Apéndice V.

Análisis de sensibilidad de parámetros críticos

Los resultados obtenidos de los flujos de caja corresponden a una modelación económica hecha en base a supuestos, los cuales fueron especificados en la sección de Metodología. Si bien estos fueron construidos en base a información levantada en terreno dentro del área de estudio, y en algunos casos, obtenida desde bibliografía pero validada con actores locales, los resultados del modelo pueden variar si alguno de estos supuestos se viera modificado.

De acuerdo al análisis de sensibilización unidimensional realizado en los 13 flujos de caja sobre los elementos principales que los componen, se estableció que los factores más críticos corresponden a aquellos que tienen directa relación con la producción, como son los Costos Directos, el Rendimiento y el Precio de Venta. Esto quiere decir que pequeñas variaciones en los valores asumidos como supuesto para cada uno, afectan fuertemente a la rentabilidad del negocio (representada por el indicador económico del VAN). Los resultados obtenidos de la sensibilización unidimensional del VAN de los cultivos evaluados se presentan en el Apéndice VI.

El poder visualizar qué variables tienen mayor efecto en el resultado frente a distintos grados de variación permite decidir acerca de la necesidad de realizar estudios más profundos de esas variables, para mejorar las estimaciones y reducir el grado de riesgo por error (Sapag, 2008). Por lo tanto resulta clave contar con información certera acerca de estos elementos del flujo de caja, a la escala a la que se requiera tomar las decisiones derivadas de la evaluación hecha. En este caso, a pesar de que los Costos Directos, el Rendimiento y el Precio de Venta fueron levantados con los mismos agricultores de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, esta información debe ser adecuadamente validada, para reducir el error en las modelaciones realizadas.

CONCLUSIONES

Los balances hídricos realizados indican que, de extraerse los volúmenes de agua requeridos tanto para el riego por parte de la agricultura, como para la demanda de agua potable y de la minería, y si se usan todos los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) Subterráneas vigentes actualmente en el área de estudio, se supera ampliamente la recarga de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, y es necesaria una reducción de las demandas en al menos un 64% para el caso de la demanda actual (Escenario 1), y un 80% para el caso de la demanda potencial (Escenario 2). Esto corrobora la necesidad de incorporar una fuente externa de agua para compensar el déficit existente en el área de estudio para lograr una explotación sustentable del acuífero, lo cual generaría una condición de equilibrio, sin afectar la actividad económica de los principales procesos productivos que dependen del agua en la zona.

El costo del agua suministrada por una fuente externa no convencional como la alternativa de la tubería submarina tendría un valor de 0,92 US\$/m³, equivalentes a 525 \$/m³ de agua puesta en los tres sub-sectores estudiados para el Escenario 1, y de 0,88 US\$/m³, equivalentes a 504 \$/m³ de agua para el Escenario 2 (al precio del dólar promedio para el año 2014), lo que significa un costo total anual de 53.976 millones de pesos para satisfacer el “déficit actual” de aguas subterráneas en el área de estudio según el Escenario 1, y de 125.538 millones de pesos para satisfacer el “déficit potencial” de aguas subterráneas en el área de estudio según el Escenario 2. Los costos de suministrar el agua necesaria para satisfacer el "déficit actual" y el "déficit potencial" del acuífero, así como el costo total del agua, resultaron ser altos, dada la disposición a pagar conocida para la zona, que se encuentra alrededor de los 0,5 US\$/m³ como máximo.

Del análisis económico realizado a los principales cultivos desarrollados en el área de estudio, Olivo variedad Arbequina, Olivo variedad Sevillana, Granado variedad Wonderful, Uva de Mesa variedad Red Globe, Uva de Mesa variedad Flame Seedless, Uva de Mesa variedad Thompson Seedless y Tomate, tutorado y al aire libre, se desprende que estos resultan rentables siempre que no se considere un costo por el agua de riego, ya que a partir de la sensibilización realizada en base al parámetro "Precio del Agua", se concluye que todos los cultivos evaluados resultan altamente sensibles, haciéndose no rentables frente a pequeñas variaciones en este parámetro, y según los precios de equilibrio obtenidos, no son capaces de absorber el costo del agua estimado según ambos escenarios de análisis. La única excepción corresponde al cultivo del Tomate, tutorado y al aire libre, en un tamaño de producción pequeña, que según las condiciones y supuestos con los que fueron construidos los flujos de caja, sería capaz de costear el agua, al costo estimado de suministro según la alternativa de la tubería submarina, sin tener pérdidas de rentabilidad, y en ambos escenarios de costo.

No obstante, se debe considerar que el análisis de sensibilidad realizado a los parámetros críticos de los flujos de caja construidos demostró que estos son altamente sensibles ante

parámetros que tienen directa relación con la producción, como son los Costos Directos, el Rendimiento y el Precio de Venta, además del parámetro del Precio del Agua, motivo por el cual estos modelos deben tomarse con precaución, y deben ser considerados una referencia para el análisis, puesto que no consisten en estudios de casos que reflejen la realidad predial, sino que representan una realidad local más amplia y diversa, por lo que es necesario validar los valores que representan estos parámetros, de modo de reducir el error en la toma de decisiones a partir de esta herramienta.

En función de los análisis realizados, y tomando en consideración que la demanda del sector agrícola representa un 66% de la demanda de bombeo, y un 75% del caudal otorgado en DAA Subterráneos en el área de estudio, es posible concluir que la incorporación de una fuente externa no convencional de agua para compensar parte de la demanda de agua subterránea de los sectores 5 y 6 del acuífero del valle del río Copiapó, en este caso una tubería submarina que disponga el agua proveniente desde el sur del país en distintos puntos a lo largo de la costa de la zona norte del país, no sería viable por cuanto la agricultura no sería capaz de establecer una demanda que permita la viabilidad del proyecto. Por lo tanto, la incorporación de agua al área estudiada es posible sólo con incentivos que permitan disminuir el costo final que el recurso tendría sobre los distintos usuarios, o dentro de sus sistemas productivos, especialmente en los usuarios del sector agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

Álamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. 1987, dic. Análisis y evaluación de los recursos hidrogeológicos del valle del río Copiapó - III Región: modelación de los recursos hídricos. Departamento de Hidrología, Dirección General de Aguas (DGA). Santiago, Chile: DGA. 2t.

Álamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. 1995, dic. Análisis y evaluación de los recursos hídricos en el valle del río Copiapó - III Región: informe final. (S.I.T. N°30), Departamento de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas (DGA). Santiago, Chile: DGA. 2t.

Allen, R; L. Pereira; D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. (Estudio FAO: Riego y Drenaje, no. 56), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia: FAO. xxii, 298p.

Arancibia, J. 2009, mar. Informe incentivos tributarios a la actividad productiva de producción de agua para actividad minera, riego y consumo humano. Corporación para el Desarrollo de la Región de Atacama (CORPROA) y Clúster Atacama. Santiago, Chile: CORPROA. 53p.

ASAGRIN. 2007a, nov. Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro: Tomate consumo mercado interno, Región de Tarapacá. Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP. [s.l.]: INDAP. 27p.

ASAGRIN. 2007b, nov. Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro: Uva de Mesa, Región de Coquimbo. Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP. [s.l.]: INDAP. 32p.

ASAGRIN. 2007c, nov. Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro: Olivas de Mesa, Región de Atacama. Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP. [s.l.]: INDAP. 29p.

ASAGRIN. 2007d, nov. Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro: Olivas Aceiteras, Región de Coquimbo. Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP. [s.l.]: INDAP. 32p.

Bravo, D. 2013. Análisis de la incorporación de agua desalada al sistema hídrico en la cuenca del río Copiapó. Memoria Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 60p.

Carmona, J. M. 2012. Análisis de viabilidad técnica económica del granado var. "Wonderful" para pequeños y medianos productores localizados en zonas semiáridas de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 193h.

Circular N° 52. Instruye sobre las modificaciones de la tasa del Impuesto de Primera Categoría, la gradualidad en que éstas entran en vigencia y sobre las normas relacionadas con los Pagos Provisionales Mensuales de los contribuyentes de la Primera Categoría, a raíz de las modificaciones efectuadas a la Ley sobre Impuesto a la Renta por la Ley N° 20.780 de 2014. [en línea]. Santiago, Chile: 10 de octubre de 2014. Recuperado en: <<http://www.sii.cl/documentos/circulares/2014/circu52.pdf>> Consultado el: 07 de noviembre de 2014.

Decreto con Fuerza de Ley N°850. Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 15.840, de 1964 y del DFL. N° 206, de 1960. [en línea]. 12 de septiembre de 1997. Santiago, Chile: 25 de febrero de 1998. Recuperado en: <<http://bcn.cl/1m081>> Consultado el: 21 de noviembre de 2014.

Decreto M.O.P. N°87. Declara Zona de Escasez a las comunas de Tierra Amarilla, Copiapó, alto del Carmen, Vallenar, Freirina y Huasco, región de Atacama. [en línea]. Santiago, Chile: 06 de febrero de 2015. Recuperado en: <http://www.dga.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Documents/decreto_87_2015.pdf> Consultado el: 03 de junio de 2015.

Decreto N°397. Aprueba Reglamento sobre Normas para Fomento de Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje. [en línea]. 21 de octubre de 1996. Santiago, Chile: 28 de mayo de 1997. Recuperado en: <<http://bcn.cl/1sfiq>> Consultado el: 07 de octubre de 2014.

Decreto N°98. Aprueba reglamento de la Ley N°18.450 de fomento a la inversión privada en obras de riego y drenaje, modificada por la Ley N° 20.401. [en línea]. 12 de noviembre de 2010. Santiago, Chile: 30 de junio de 2011. Recuperado en: <<http://bcn.cl/1nub5>> Consultado el: 12 de marzo de 2015.

DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2003, dic. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del río Copiapó. (S.I.T. N°87), Departamento de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas (DGA). [s.l.]: DGA. 225p.

DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2009, dic. Estrategia de recursos hídricos de la cuenca del río Copiapó: reporte complementario sobre la situación del acuífero de Copiapó entre La Puerta y Angostura. (S.D.T. N°296). [s.l.]: DGA. 36p

DICTUC S.A. 2010, ene. Análisis integrado de gestión en cuenca del río Copiapó. (S.I.T. N° 211), División de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas (DGA). Santiago, Chile: DGA. 5v.

Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. (Estudio FAO: Riego y Drenaje, no. 24), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia: FAO. 194p.

Douglas, D. H. 1994. Least-cost path in GIS using an accumulated cost surface and slope lines. *Cartographica: the international journal for Geographic Information and Geovisualization*, 31(3), 37-51.

Dourojeanni, A.; N. Jadue; G. León; K. Osborne and D. Serra. 2012, jul. Aquatacama Project: Preliminary Socio-Economic Analysis. [s.l]: Fundación Chile. 71p.

Ebrahimipour, A. R.; A. Alimohamadi; A. A. Alesheikh and H. Aghighi. 2009. Routing of Water Pipeline Using GIS and Genetic Algorithm. *Journal of Applied Sciences*, 9(23):4137-4145.

ECONSSA Chile (Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A.). s.f. Memoria Anual 2014. [s.l]: ECONSSA Chile. 81p.

EMELAT (Empresa Eléctrica Atacama S.A.). 2014, jun. Tarifas de Suministro Eléctrico - 1 de junio de 2014. [en línea]. Recuperado en: <<http://www.emelat.cl/mercadoelectrico/Tarifas/Pliego%20de%20Tarifas%20de%20Suministro%20El%C3%A9ctrico%20EMELAT%2001-06-2014.pdf>> Consultado el: 11 de marzo de 2015.

EMG Consultores S.A. 2011, jul. Estimación del Precio de Mercado y Precio Social de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas: informe final. Santiago, Chile: EMG Consultores. 140p.

Fuster, R.; A. de la Fuente; A. León; C. Bauer; N. Magner; L. González et al. 2015a, nov. Anexo Técnico 1. Informe Diagnóstico: Informe Técnico de Avance, Sistema Piloto de Banco de Aguas geoespacializado en los sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Copiapó, Chile: Universidad de Chile. 46p.

Fuster, R.; A. de la Fuente; A. León; C. Bauer; N. Magner; L. González et al. 2015b, nov. Anexo Técnico 4. Modelo de Demanda Hídrica: Informe Técnico de Avance, Sistema Piloto de Banco de Aguas geoespacializado en los sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Copiapó, Chile: Universidad de Chile. 36p.

Fuster, R.; A. de la Fuente; A. León; C. Bauer; N. Magner; L. González et al. 2015c, nov. Anexo Técnico 8. Cálculo de Productividad Económica del Agua como Valoración del Recurso Hídrico: Informe Técnico de Avance, Sistema Piloto de Banco de Aguas geoespacializado en los sectores 5 y 6 del acuífero de Copiapó. Departamento de Ciencias

Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Copiapó, Chile: Universidad de Chile. 102p.

Golder Associates S.A. 2006, jul. Diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca del río Copiapó y proposición de un modelo de explotación sustentable: informe final. (059-2707). Santiago, Chile: Golder Associates. 132p.

Hargreaves, G. H. and Z.A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*. 1(2): 96-99.

HIDROMAS CEF LIMITADA. 2013, dic. Actualización de la modelación integrada y subterránea del acuífero de la cuenca del río Copiapó. (S.I.T. N° 332), División de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas (DGA). Santiago, Chile: DGA. 239p.

INECON. 2014, ago. Estudio básico alternativas de conducción y aprovisionamiento de aguas desde el sur al norte de Chile: resumen ejecutivo. Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Santiago, Chile: DOH. 30p.

Iqbal, M.; F. Sattar and M. Nawaz. 2006, sep. Planning a Least Cost Gas Pipeline Route A GIS & SDSS Integration Approach. (pp. 126-130) In: 2006 International Conference on Advances in Space Technologies (ICAST): Space Technologies for Disaster Management and Rehabilitation. Islamabad, Pakistán: IEEE. 211p.

Laboratorio de Análisis Territorial, Facultad de Cs. Agronómicas, Universidad de Chile. 2013, sept. Diagnóstico de la Demanda Hídrica en el Norte de Chile. Comisión Nacional de Riego (CNR). Santiago, Chile: CNR. 260p.

Mínuta Técnica N°61. Cuantificación de la Disponibilidad de Agua Subterránea por sectores en el Acuífero del río del valle de Copiapó. Santiago, Chile: Depto. Adm. Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. 14p. 16 de agosto de 1997.

MOP (Ministerio de Obras Públicas), Chile. [2013]. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025. [s.l.]: Ministerio de Obras Públicas (MOP). 40p.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Chile y CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales), Chile. 2011. Catastro frutícola III Región de Atacama: principales resultados. Santiago, Chile: EDIMAR. 38p.

Ordenanza D.G.A. N° 39. Responde solicitud de información referida a materias propias de la DGA. [en línea]. Santiago, Chile: 15 de enero de 2014. Recuperado en: <<https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmTIPO=OFICIOFISCALIZACIONRESPUESTA&prmID=58435&prmNUMERO=764&prmRTE=5438>> Consultado el: 03 de junio de 2015.

Resolución D.G.A. N°162. Deja sin efecto Resolución D.G.A. N°750, de fecha 28 de diciembre de 2000; Alza zona de prohibición y declara área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas en las zonas acuíferas denominadas Copiapó-Piedra Colgada y Piedra Colgada-Desembocadura, III Región. Santiago, Chile: 10 de abril de 2001.

Recuperado en:
<http://www.dga.cl/administracionrecursoshidricos/areasderestriccion/areas%20de%20restriccion/res_162.pdf> Consultado el: 01 de abril de 2014.

Resolución D.G.A. N°304. Ordena Registro y declara organizada la Comunidad de Aguas Subterráneas Copiapó-Piedra Colgada - Piedra Colgada-Desembocadura, provincia de Copiapó, Tercera Región. Santiago, Chile: Departamento Legal, Registro de Organizaciones de Usuarios, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. 2p. 15 de marzo de 2005.

Resolución Exenta N°43. Fija vida útil normal a los bienes físicos del activo inmovilizado para los efectos de su depreciación, conforme a las normas del N° 5 del artículo 31 de la Ley de la Renta, contenida en el artículo 1° del D.L. N° 824, de 1974. [en línea]. Santiago, Chile: 26 de diciembre de 2002. Recuperado en:
<<http://www.sii.cl/documentos/resoluciones/2002/reso43.htm>> Consultado el: 28 de noviembre de 2014.

Sapag, N. y R. Sapag. 2008. Preparación y evaluación de proyectos. Quinta edición. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana. 445p.

SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería), Chile. 2012. Evaluación hidrogeológica de la cuenca del río Copiapó, con énfasis en la cuantificación, dinámica y calidad química de los recursos hídricos superficiales y subterráneos: Región de Atacama. (I.R. 12-49), Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Santiago, Chile: SERNAGEOMIN. 2v.

Smith, M. 1992. CROPWAT. A computer program for irrigation planning and management. (FAO Irrigation and Drainage Paper, no. 46), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia: FAO. 125p.

Uribe, J.; R. Cabrera; A. de la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas Bioclimático de Chile. Santiago, Chile: Laboratorio de Bioenergía y Biotecnología Ambiental, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 232p.

Vargas, C. 2013. Actualización del modelo hidrogeológico de la cuenca del río Copiapó para el acuífero entre La Puerta y Angostura. Memoria Ingeniero Civil. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 135p.

Williams, L. 2000. Grapevine water relations. (pp. 121-126). In: L. Peter. Raisin Production Manual. Oakland, EE.UU: Agriculture and Natural Resources (ANR), University of California. 295p. (Publication 3393).

Yu, C.; J. Lee and M. J. Munro-Stasiuk. 2003. Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(4): 361-376.

APÉNDICES

Apéndice I. Entrevistas de validación para valores de inversión

Se realizaron entrevistas con actores clave de los productores de los cultivos de Olivo variedad Arbequina, Olivo variedad Sevillana, Granado variedad Wonderful, Uva de Mesa variedad Red Globe, Uva de Mesa variedad Flame Seedless, Uva de Mesa variedad Thompson Seedless, y Tomate (tutorado y al aire libre), de modo de validar valores correspondientes a la Inversión para el establecimiento de los cultivos, obtenidos desde bibliografía (ASAGRIN, 2007a; ASAGRIN, 2007b; ASAGRIN, 2007c; ASAGRIN, 2007d, y Carmona, 2012). Las entrevistas se realizaron entre Septiembre y Diciembre del 2014, con los productores Jaime Acevedo (Acevedo, 2014)⁴, Guillermo Báez (Báez, 2014)⁵, Javier Garay (Garay, 2014)⁶ y Rafael Daviú (Daviú, 2014)⁷.

Cultivo de Olivo

Valores de Inversión para la implementación del cultivo. Revisar los siguientes valores de inversión, que corresponden a los costos en que se incurre para establecer el cultivo de Olivo var. Arbequina y var. Sevillana e indicar si la referencia es correcta según su experiencia, o si está sobre o sub-valorada, indicando el porcentaje de diferencia o el valor real, según corresponda.

Los montos a continuación se encuentran divididos en categorías de inversión: Sistema de Riego (que considera un sistema de riego por goteo sin pozo profundo, y elementos tales como tuberías, goteros, mangueras, bomba, filtros, sistema de fertirrigación, etc.); Plantas e Insumos para la plantación (que se refiere al material vegetal y otros insumos necesarios para la plantación, como las plantas, hoyadura, fertilización); Mano de Obra (necesaria para las labores de implementación como preparación del suelo, plantación, instalaciones, etc.), y Maquinarias y Herramientas (necesarias para las labores de implementación como limpieza del terreno, aradura y rastraje, preparación de camellones, etc.). El ítem Otros, se refiere a gastos en infraestructura general, y corresponde a un 20% del total de los ítems anteriores. Los costos en maquinaria se consideran como Jornadas Máquina (o Jornadas Tractor si corresponde), no se considera la compra de maquinarias. Los valores de referencia se encuentran en base a una hectárea de cultivo.

⁴ Acevedo, J. 2014, dic. Cultivo de Granado. [Entrevista Personal]. Copiapó, Fundo Valle del Sol, Chile.

⁵ Báez, G. 2014, dic. Cultivo de Uva de Mesa. [Entrevista Personal]. Copiapó, Agrícola Buenaventura, Chile.

⁶ Garay, J. 2014, dic. Cultivo de Olivo. [Entrevista Personal]. Copiapó, Fundo Mallorquina, Chile.

⁷ Daviú, R. 2014, dic. Cultivo de Olivo, pequeña producción. [Entrevista Personal]. Copiapó, Parcela 43, Hacienda San Pedro, Chile.

Cuadro 34. Valores de referencia de Inversión para el cultivo de Olivo var. Arbequina.

Ítem Inversión	Costo de Referencia	Diferencia	Costo real
	\$	%	\$
Plantas e Insumos			
Plantas de olivos	790.007		
Fertilización	50.034		
Hoyadura	105.334		
Total Plantas e Insumos	945.374		
Mano de obra			
Preparación Suelo	94.725		
Plantación	189.450		
Instalación sistema de riego	189.450		
Total Mano de obra	473.625		
Maquinarias y Herramientas			
Limpieza	12.630		
Aradura y rastrajes	126.300		
Camellones	126.300		
Plantación Flete externo	44.205		
Plantación Flete interno	31.575		
Total Maquinarias y Herramientas	341.010		
Sistema de riego			
Tuberías de PVC (50 mm)	252.600		
Conectores	3.031		
Goterros (4 litros / hora)	315.750		
Mangueras	202.080		
Bomba de 2 HP Fitting	378.900		
Fitting	126.300		
Filtro	189.450		
Sistema de fertirrigación	126.300		
Sistema eléctrico con tablero	1.010.400		
Total Sistema de riego	2.604.811		
Otros	872.964		
Total	5.237.784		

Fuente: Elaborado a partir de ASAGRIN (2007d).

Cuadro 35. Valores de referencia de Inversión para el cultivo de Olivo var. Sevillana.

Ítem Inversión	Costo de Referencia	Diferencia	Costo real
	\$	%	\$
Plantas e Insumos			
Plantas de olivos	592.979		
Fertilización	37.555		
Hoyadura	79.064		
Total Plantas e Insumos	709.598		
Mano de obra			
Preparación Suelo	94.725		
Plantación	189.450		
Instalación sistema de riego	189.450		
Total Mano de obra	473.625		
Maquinarias y Herramientas			
Limpieza	12.630		
Aradura y rastrajes	126.300		
Camellones	126.300		
Plantación Flete externo	44.205		
Plantación Flete interno	31.575		
Total Maquinarias y Herramientas	341.010		
Sistema de riego			
Tuberías de PVC (50 mm)	252.600		
Conectores	3.031		
Goteros (4 litros / hora)	236.813		
Mangueras	202.080		
Bomba de 2 HP	378.900		
Fitting	126.300		
Filtro	189.450		
Sistema de fertirrigación	126.300		
Sistema eléctrico con tablero	1.010.400		
Total Sistema de riego	2.525.874		
Otros	810.021		
Total	4.860.128		

Fuente: Elaborado a partir de ASAGRIN (2007c).

Cultivo de Granado

Valores de Inversión para la implementación del cultivo. Revisar los siguientes valores de inversión, que corresponden a los costos en que se incurre para establecer el cultivo de

Granado var. Wonderful e indicar si la referencia es correcta según su experiencia, o si está sobre o sub-valorada, indicando el porcentaje de diferencia o el valor real, según corresponda.

Los montos a continuación se encuentran divididos en categorías de inversión: Sistema de Riego (que considera un sistema de riego por goteo sin pozo profundo, y elementos tales como tuberías, goteros, mangueras, bomba, filtros, sistema de fertirrigación, etc.); Plantas e Insumos para la plantación (que se refiere al material vegetal y otros insumos necesarios para la plantación, como las plantas, hoyadura, fertilización, tutores); Mano de Obra (necesaria para las labores de implementación como preparación del suelo, plantación, instalaciones, etc.), y Maquinarias y Herramientas* (necesarias para las labores de implementación como limpieza del terreno, aradura y rastraje, preparación de camellones, etc.). El ítem Otros, se refiere a gastos en infraestructura general, y corresponde a un 20% del total de los ítems anteriores. Los costos en maquinaria se consideran como Jornadas Máquina (o Jornadas Tractor si corresponde), no se considera la compra de maquinarias.

Los valores de referencia se encuentran en base a una hectárea de cultivo.

Cuadro 36. Valores de referencia de Inversión para el cultivo de Granado var. Wonderful.

Ítem Inversión	Costo de Referencia	Diferencia	Costo real
	\$	%	\$
Plantas e Insumos			
Plantas	1.671.000		
Tutores	222.800		
Holladura plantación y tapado	557.000		
Cerco y alambrado	378.760		
Total Plantas e Insumos	2.829.560		
Mano de obra			
Despeje terreno	18.548		
Destroncar	41.775		
Retiro de troncos	55.143		
Estudio suelos	66.840		
Topografía	13.925		
Trazar	41.775		
Acarreo materiales	13.925		
Total Mano de obra	251.931		
Maquinarias y Herramientas			
Despeje terreno	33.420		
Destroncar	133.680		
Retiro de troncos	22.280		
Acamellonamiento	389.900		

Ítem Inversión	Costo de Referencia	Diferencia	Costo real
	\$	%	\$
Subsolado	44.560		
Aradura	13.368		
Rastraje	11.140		
Total Maquinarias y Herramientas	648.348		
Sistema de riego			
Riego	1.058.300		
Equipo fertilización	77.980		
Tranque 3000	646.120		
Bomba riego	55.700		
Caseta riego	69.625		
Total Sistema de riego	1.907.725		
Otros	1.127.513		
Total	6.765.077		

Fuente: Elaborado a partir de Carmona (2012).

Cultivo de Uva de Mesa

Valores de Inversión para la implementación del cultivo. Revisar los siguientes valores de inversión, que corresponden a los costos en que se incurre para establecer el cultivo de Uva de Mesa var. Red Globe, var. Flame Seedless y var. Thompson Seedless e indicar si la referencia es correcta según su experiencia, o si está sobre o sub-valorada, indicando el porcentaje de diferencia o el valor real, según corresponda.

Los montos a continuación se encuentran divididos en categorías de inversión: Sistema de Riego (que considera un sistema de riego por goteo sin pozo profundo, y elementos tales como tuberías, goteros, mangueras, bomba, filtros, sistema de fertirrigación, etc.); Plantas e Insumos para la plantación (que se refiere al material vegetal y otros insumos necesarios para la plantación, como las plantas, hoyadura, fertilización, esquineros, cabezales, rodrigones, alambres); Mano de Obra (necesaria para las labores de implementación como preparación del suelo, plantación, instalaciones, etc.), y Maquinarias y Herramientas* (necesarias para las labores de implementación como limpieza del terreno, aradura y rastraje, preparación de camellones, etc.). El ítem Otros, se refiere a gastos en infraestructura general, y corresponde a un 20% del total de los ítems anteriores. Los costos en maquinaria se consideran como Jornadas Máquina (o Jornadas Tractor si corresponde), no se considera la compra de maquinarias.

Los valores de referencia se encuentran en base a una hectárea de cultivo.

Cuadro 37. Valores de referencia de Inversión para el cultivo de Uva de Mesa var. Red Globe, var. Flame Seedless y var. Thompson Seedless.

Ítem Inversión	Costo de Referencia	Diferencia	Costo real
	\$	%	\$
Plantas e Insumos			
Plantas de vides	420.832		
Plantación	72.143		
Fertilización	120.238		
Hoyadura	36.122		
Malla Ursus (1,4 m x 100 m)	277.860		
Alambre de púas (16 x 500 m)	96.620		
Postes (4" x 2,4 m)	151.560		
Grampas (1 1/4)	3.410		
Esquineros (8-10")	90.936		
Cabezales (5" x 2,4 m)	202.080		
Rodrigones (2 -3")	913.806		
Alambre 17 / 15 acerado	359.702		
Alambre N° 6 galvanizado	181.872		
Alambre N°14 galvanizado	727.488		
Alambre N°12 galvanizado	99.019		
Total Plantas e Insumos	3.753.687		
Mano de obra			
Habilitación para la plantación	94.725		
Trazado y estacado	113.670		
Preparación del Suelo	378.900		
Plantación	9.473		
Instalación sistema de riego	189.450		
Total Mano de obra	786.218		
Maquinarias y Herramientas			
Limpieza	18.945		
Aradura y rastrajes	63.150		
Camellones	44.205		
Preparación Suelo Flete externo	44.205		
Preparación Suelo Flete interno	31.575		
Plantación Flete externo	44.205		
Plantación Flete interno	31.575		
Total Maquinarias y Herramientas	277.860		
Sistema de riego			
Tuberías de PVC 50 mm	252.600		
Conectores	3.031		
Goteros (4 l / h)	192.481		
Mangueras	288.974		
Bomba de 2 HP	378.900		

Ítem Inversión	Costo de Referencia	Diferencia	Costo real
	\$	%	\$
Fitting	126.300		
Filtro	189.450		
Sistema de fertirrigación	126.300		
Sistema eléctrico con tablero	1.010.400		
Total Sistema de riego	2.568.437		
Otros	1.477.240		
Total	8.863.442		

Fuente: Elaborado a partir de ASAGRIN (2007b)

Apéndice II. Cálculo del caudal de diseño

El Cuadro 38 muestra los valores de déficit hídrico para los distintos usos del agua existentes en el área de estudio, obtenidos desde los balances hídricos realizados para cada escenario, manteniendo la misma proporción que existe entre los distintos usos según la demanda de bombeo calculada, y a partir de los cuales se calculó el caudal necesario de transportar a cada sub-sector.

Cuadro 38. Déficit hídrico de cada sub-sector, para cada uso del agua y según ambos escenarios de análisis.

Sector	Escenario 1				Escenario 2				
	Agrícola	Agua Potable	Minería	Total	Agrícola	Agua Potable	Minería	Otros	Total
	-----l/s-----				-----l/s-----				
Sector 5a	374,79	362,83	66,84	804,46	996,67	297,01	499,83	203,31	1.996,82
Sector 6a	411,48	0,00	0,00	411,48	747,06	0,00	138,99	45,90	931,95
Sector 6b	23,03 ^a	0,00	0,00	23,03	39,11 ^a	0,00	0,00	0,00	39,11
Total	809,30	362,83	66,84	1.238,97	1.782,84	297,01	638,82	249,21	2.967,88

^a En este caso no corresponde al déficit, si no que a la demanda de bombeo

Se debe notar que en el caso del Sector 6b, el valor considerado como déficit a compensar no corresponde al déficit obtenido desde los balances hídricos realizados, si no que corresponde a la demanda de bombeo existente en ese sector según ambos escenarios, ya que según se señaló en la metodología de diseño de la infraestructura de riego, el déficit obtenido desde los balances hídricos en ese sector es mayor que la demanda de bombeo de aguas subterráneas debido a los afloramientos presentes, y dado que el agua incorporada para suplir el déficit tiene como objetivo compensar la demanda hídrica existente.

El Cuadro 39 muestra el caudal necesario de transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector de manera independiente, según los distintos usos del agua existentes en el área

de estudio. Según se puede observar, el caudal a transportar es mayor que el déficit ya que para el diseño de la tubería se considera el déficit de agua para la agricultura con un 85% de seguridad, de modo que esta sea capaz de transportar un volumen mayor a la demanda promedio anual, para abastecer el riego en los meses de mayor demanda.

Cuadro 39. Caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector, considerando el déficit de agua para la agricultura con un 85% de seguridad, para cada uso del agua y según ambos escenarios de análisis.

Sector	Escenario 1				Escenario 2				
	Agrícola	Agua Potable	Minería	Total	Agrícola	Agua Potable	Minería	Otros	Total
	-----l/s-----				-----l/s-----				
Sector 5a	736,11	362,83	66,84	1.165,77	1.957,51	297,01	499,83	203,31	2.957,67
Sector 6a	676,09	0,00	0,00	676,09	1.227,46	0,00	138,99	45,90	1.412,35
Sector 6b	40,31	0,00	0,00	40,31	68,47	0,00	0,00	0,00	68,47
Total	1.452,51	362,83	66,84	1.882,18	3.253,44	297,01	638,82	249,21	4.438,48

El caudal de diseño representa el caudal total a transportar por un tramo de tubería, necesario para abastecer todos los puntos de entrega (Laboratorio de Análisis Territorial, 2013), de modo que para su cálculo es necesario sumar los caudales requeridos para satisfacer el déficit de cada sub-sector alimentado por ésta, según se muestra en el Cuadro 40 para el Escenario 1, y en el Cuadro 41 para el Escenario 2. En el caso del primer tramo, Bocatoma - Sector 6b, este consiste en la suma de los caudales de los tres sub-sectores, 6b, 6a y 5a, en el caso del segundo tramo, Sector 6b - Sector 6a, este consiste en la suma de los caudales de los dos sub-sectores superiores, 6a y 5a, y en el caso del tercer tramo, Sector 6a - Sector 5a, este consiste en el caudal a transportar para satisfacer el déficit del Sector 5a. La suma de los caudales necesarios para satisfacer el déficit de cada sub-sector abastecido por un tramo de tubería, corresponde al caudal de diseño de ese tramo de tubería, parámetro luego utilizado para el pre-dimensionamiento del sistema de riego extra-predial, en metros cúbicos por segundo.

Cuadro 40. Cálculo del caudal de diseño de cada tramo de tubería del sistema de riego extra-predial, según el caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector alimentado, para el Escenario 1.

Tramo	Caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector			Total (Caudal de Diseño)
	Sector 5a	Sector 6a	Sector 6b	
	-----m ³ /s-----			
Bocatoma - Sector 6b	1,17	0,68	0,04	1,88
Sector 6b - Sector 6a	1,17	0,68	-	1,84
Sector 6a - Sector 5a	1,17	-	-	1,17

Cuadro 41. Cálculo del caudal de diseño de cada tramo de tubería del sistema de riego extra-predial, según el caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector alimentado, para el Escenario 2.

Tramo	Caudal a transportar para satisfacer el déficit de cada sub-sector			Total (Caudal de Diseño)
	Sector 5a	Sector 6a	Sector 6b	
	-----m ³ /s-----			
Bocatoma - Sector 6b	2,96	1,41	0,07	4,44
Sector 6b - Sector 6a	2,96	1,41	-	4,37
Sector 6a - Sector 5a	2,96	-	-	2,96

Apéndice III. Fichas Técnicas de los cultivos evaluados

Ficha Técnica Olivo

Inversión. Los costos de inversión para el establecimiento del cultivo del Olivo variedad Arbequina y variedad Sevillana, para 1 hectárea de superficie y con una densidad de plantación de 312 plantas por hectárea, se presentan en el Cuadro 42.

Cuadro 42. Costos de Inversión para el Olivo var. Arbequina y var. Sevillana.

Ítem	Unidad	Precio	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Plantas e Insumos				1.110.240
Plantas de olivos	c/u	2.000	330	660.000
Fertilizante (guano)	c/u	120	312	37.440
Tutores	c/u	423	312	132.000
Hoyadura. Fertilización. Tutorado. Plantación y Amarre	c/u	900	312	280.800
Mano de obra				100.000
Preparación Suelo	JH	10.000	10	100.000
Maquinarias y Herramientas				110.000
Limpieza	JM	50.000	0,2	10.000
Aradura y rastros	JM	50.000	2	100.000
Sistema de riego				1.600.000
Otros (20%)				584.048
Total Inversión				3.504.288

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c)

Costos Directos. Los Costos Directos para la producción del cultivo del Olivo variedad Arbequina se presentan en el Cuadro 43, y para el Olivo variedad Sevillana se presentan en el Cuadro 44.

Cuadro 43. Costos Directos de la producción del Olivo var. Arbequina.

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Mano de Obra				
Control de malezas	JH	15.000	3	45.000
Riego y fertilización	JH	15.000	24	360.000
Aplicación de pesticidas	JH	15.000	4	60.000
Poda	JH	15.000	6	90.000
Cosecha	JH	15.000	21	315.000
Costo Total Mano de Obra				870.000
Maquinaria				
Acarreo restos de poda	JM	55.000	2	110.000
Aplicación agroquímicos	JM	55.000	7	385.000
Acarreo de cosecha	JM	55.000	6	330.000
Costo Total Maquinaria				825.000
Insumos				
Fertilizantes				
Úrea granulada	kg	331	45	14.895
Superfosfato triple	kg	316	22,5	7.110
Nitrato de POTASIO		593	50	29.650
Herbicidas				
Roundup Ultramax	l	6.715	3	20.144
Fungicida				
Captan 80 WP	kg	7.358	4	29.434
Insecticida				
Zero 5 EC	l	21.871	1	21.871
Aceite sunspray	l	1.318	30	39.551
Costo Total Insumos				162.654
Total Costos Directos				1.857.654

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c)

Cuadro 44. Costos Directos de la producción del Olivo var. Sevillana.

Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Mano de Obra				
Control de malezas	JH	15.000	3,4	51.000
Riego y fertilización	JH	15.000	2,5	37.500
Aplicación de pesticidas	JH	15.000	2	30.000
Poda	JH	15.000	6,3	95.000
Cosecha	JH	15.000	30	450.000
Costo Total Mano de Obra				663.500
Maquinaria				
Acarreo restos de poda	JM	55.000	4,15	228.250
Aplicación agroquímicos	JM	55.000	4,75	261.250
Acarreo de cosecha	JM	55.000	7,3	403.333
Fertilización	JM	55.000	1,5	82.500
Costo Total Maquinaria				975.333
Insumos				
Fertilizantes				
Úrea granulada	Kg	331	113,3	37.513
Superfosfato triple	Kg	316	20	6.320
Nitrato potasio	Kg	593	35	20.755
Herbicidas				
Roundup Ultramax	L	6.715	3	20.144
Glifosato	L	3.000	5	15.000
Fungicida				
Captan 80 WP	Kg	7.358	4	29.434
Insecticida				
Troya 4EC	L	8.800	3	26.400
Clorpirifo	L	3.986	2	7.972
Zero 5 EC	L	21.871	1	21.871
Aceite sunspray	L	1.318	20	26.368
Costo Total Insumos				211.776
Total Costos Directos				1.850.609

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c)

Costos Indirectos. Los costos indirectos de la producción del Olivo variedad Arbequina y variedad Sevillana, por concepto de mano de obra estable, se presentan en el Cuadro 45 para un tamaño de producción de 10 hectáreas, y en el Cuadro 46 para un tamaño de producción de 100 hectáreas. Estos fueron definidos de acuerdo a comunicación personal

con el profesor Thomas Fichet Lagos (Fichet, 2014)⁸, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, y con los productores Javier Garay (Garay, 2014)⁹ y Rafael Daviú (Daviú, 2014)¹⁰.

Cuadro 45. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 10 ha de Olivo var. Sevillana y var. Arbequina.

Mano de Obra Estable	Año Producción	
	1-10	
	Cantidad	Costo Anual
	N°	\$
Administrador	0	0
Trabajadores de Planta	1	2,700,000
Total Anual		2,700,000

Fuente: Elaborado en base a Fichet (2014), Garay (2014) y Daviú (2014).

Cuadro 46. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 100 ha de Olivo var. Sevillana y var. Arbequina.

Mano de Obra Estable	Año Producción					
	1-2		3-4		5-10	
	Cantidad	Costo Anual	Cantidad	Costo Anual	Cantidad	Costo Anual
	N°	\$	N°	\$	N°	\$
Administrador	1	7,200,000	1	7,200,000	1	7,200,000
Trabajadores de Planta	3	8,100,000	3	8,100,000	3	8,100,000
Total Anual		15,300,000		15,300,000		15,300,000

Fuente: Elaborado en base a Fichet (2014), Garay (2014) y Daviú (2014).

Ficha Técnica Granado

Inversión. Los costos de inversión para el establecimiento del cultivo del Granado variedad Wonderful, para 1 hectárea de superficie y con una densidad de plantación de 1000 plantas por hectárea, se presentan en el Cuadro 47.

⁸ Fichet, T. 2014, nov. El cultivo del Olivo. [Entrevista Personal]. Santiago, Chile, Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

⁹ Garay, J. 2014, dic. Cultivo del Olivo. [Entrevista Personal]. Copiapó, Fundo Mallorquina, Chile.

¹⁰ Daviú, R. 2014, dic. Cultivo del Olivo, pequeña producción. [Entrevista Personal]. Copiapó, Parcela 43, Hacienda San Pedro, Chile.

Cuadro 47. Costos de Inversión para el Granado var. Wonderful.

Ítem	Unidad	Precio	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Plantas e Insumos				2.530.000
Plantas	c/u	1.700	1000	1.700.000
Tutores	c/u	230	1000	230.000
Hoyadura, plantación y tapado	c/u	600	1000	600.000
Mano de obra				160.000
Despeje terreno	JH	12.500	3	37.500
Estudio suelos	Global	60.000	1	60.000
Topografía	JH	12.500	1	12.500
Trazado	JH	12.500	3	37.500
Acarreo materiales	JH	12.500	1	12.500
Maquinarias y Herramientas				492.500
Despeje terreno	JM	35.000	1	35.000
Acamellonamiento	JM	38.000	10	380.000
Subsolado	JM	25.000	2	50.000
Aradura	JM	25.000	0,6	15.000
Rastraje	JM	25.000	0,5	12.500
Sistema de riego				1.600.000
Otros (20%)				956.500
Total Inversión				5.739.000

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c).

Costos Directos. Los Costos Directos para la producción del cultivo del Granado variedad Wonderful se presentan en el Cuadro 48.

Cuadro 48. Costos Directos de la producción del Granado var. Wonderful.

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Mano de Obra				
Control de malezas	JH	15.000	7	105.000
Riego y fertilización	JH	15.000	20	300.000
Aplicación de pesticidas	JH	15.000	4	60.000
Poda	JH	15.000	10	150.000
Desbrote y Raleo	JH	15.000	4	60.000
Cosecha	JH	15.000	83	1.245.000
Costo Total Mano de Obra				1.920.000

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Maquinaria				
Aplicación agroquímicos	JM	55.000	5	275.000
Acarreo de cosecha	JM	55.000	15	825.000
Fertilización	JM	55.000	5	275.000
Costo Total Maquinaria				1.375.000
Insumos				
Fertilizantes				
Nitrato de potasio	kg	593	270	160.110
Ac. Fosfórico	kg	672	100	67.200
Herbicidas				
Roundup	l	6.715	3,5	23.503
Fungicidas y pesticidas				
Zero 5 EC	l	21.871	0,6	13.122
Diazinon 40 WP	kg	8.168	4,8	39.206
Status SL	l	53.712	2,6	139.651
Nematicida				
Rugby	l	13.245	25	331.128
Costo Total Insumos				773.921
Total Costos Directos				4.068.921

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c).

Costos Indirectos. Los costos indirectos de la producción del Granado var. Wonderful, por concepto de mano de obra estable, se presentan en el Cuadro 49 para un tamaño de producción de 70 hectáreas. Estos fueron definidos de acuerdo a comunicación personal con el productor Jaime Acevedo (Acevedo, 2014)¹¹.

Cuadro 49. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 70 ha de Granado var. Wonderful.

Mano de Obra Estable	Año Producción					
	1-3		4-5		6-10	
	Cantidad	Costo Anual	Cantidad	Costo Anual	Cantidad	Costo Anual
N°	\$	N°	\$	N°	\$	
Administrador	1	7.200.000	1	7.200.000	1	7.200.000
Trabajadores de Planta	8	21.600.000	8	21.600.000	8	21.600.000
Total Anual		28.800.000		28.800.000		28.800.000

Fuente: Elaborado en base a Acevedo (2014).

¹¹ Acevedo, J. 2014, dic. Cultivo del Granado y cultivo del Tomate. [Entrevista Personal]. Copiapó, Fundo Valle del Sol – Ruta, Chile.

Ficha Técnica Uva de Mesa

Inversión. Los costos de inversión para el establecimiento del cultivo de la Uva de Mesa variedad Red Globe, variedad Flame Seedless y variedad Thompson Seedless, para una hectárea de superficie con una densidad de plantación de 1666 plantas por hectárea, se presentan en el Cuadro 50.

Cuadro 50. Costos de Inversión para la Uva de Mesa var. Red Globe, var. Flame Seedless y var. Thompson Seedless.

Ítem	Unidad	Precio \$	Cantidad Unidades/ha	Total \$
Plantas e Insumos				4.534.540
Plantas de vides	c/u	1.000	1666	1.666.000
Hoyadura y Plantación	c/u	90	1666	149.940
Fertilización	c/u	100	1666	166.600
Esquineros (8-10")	c/u	12.000	6	72.000
Cabezales (5" x 2,4 m)	c/u	2.000	80	160.000
Rodrigones (2 -3")	c/u	1.000	952	952.000
Alambre 17 / 15 acerado	kg	890	640	569.600
Alambre N° 6 galvanizado	kg	200	720	144.000
Alambre N°14 galvanizado	kg	800	720	576.000
Alambre N°12 galvanizado	kg	700	112	78.400
Mano de obra				620.000
Habilitación para la plantación	JH	10.000	10	100.000
Trazado y estacado	JH	10.000	12	120.000
Preparación del suelo	JH	10.000	40	400.000
Maquinarias y Herramientas				220.000
Limpieza	JM	50.000	0,3	15.000
Aradura y rastrajes	JM	50.000	1	50.000
Camellones	JM	50.000	0,7	35.000
Preparación Suelo Flete externo	JM	35.000	1	35.000
Preparación Suelo Flete interno	JM	50.000	0,5	25.000
Plantación Flete externo	JM	35.000	1	35.000
Plantación Flete interno	JM	50.000	0,5	25.000
Sistema de riego				1.600.000
Otros (20%)				1.394.908
Total Inversión				8.369.448

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c).

Costos Directos. Los Costos Directos para la producción del cultivo de la Uva de Mesa variedad Red Globe se presentan en el Cuadro 51, para la Uva de Mesa variedad Flame Seedless se presentan en el Cuadro 52 y para la Uva de Mesa variedad Thompson Seedless se presentan en el Cuadro 53.

Cuadro 51. Costos Directos de la producción de la Uva de Mesa var. Red Globe.

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Mano de Obra				
Control de malezas	JH	15.500	6,2	96.100
Riego y fertilización	JH	15.500	8,25	127.875
Aplicación de pesticidas	JH	15.500	8,4	130.200
Reponer postes	JH	15.500	3	46.500
Poda	JH	15.500	36	558.000
Amarre	JH	15.500	11,6	179.800
Deshoje	JH	15.500	16,4	254.200
Desbrote y raleo de racimos	JH	15.500	32,7	506.333
Arreglo de racimos	JH	15.500	16,5	255.750
Cosecha	JH	15.500	44,8	694.400
Costo Total Mano de Obra				2.849.158
Maquinaria				
Rastraje	JM	55.000	2	110.000
Aplicación agroquímicos	JM	55.000	8	440.000
Acarreo de cosecha	JM	55.000	4	220.000
Fertilización	JM	55.000	2,5	137.500
Costo Total Maquinaria				907.500
Insumos				
Fertilizantes				
Nitrato de potasio	kg	593	248	147.064
Nitrato de amonio	kg	414	350	144.900
Ac. Fosfórico	l	672	67	45.024
Herbicidas				
Roundup Ultramax	l	6.715	3,8	25.517
Paraquat	l	6.782	3	20.346
Fungicidas				
Amistar top	l	63.262	3	189.786
Azufre mojable	l	981	18,5	18.149
Bayletón 25%	kg	34.195	2,25	76.939
Benomyl 50% WP	kg	6.870	1,5	10.305

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Quintek	l	48.933	0,12	5.872
Triff mine WP	kg	30.767	0,2	6.153
Swtych	kg	107.310	1	107.310
Serenade SC	kg	10.970	6	65.820
Sulfo cup premium	kg	1.533	22	33.726
Azufre Superazufre	kg	793	20	15.860
Insecticidas				
Balazo 90 PS	kg	13.940	1	13.940
Regulador de crecimiento				
Ácido Giberélico	l	26.981	0,3	8.094
Otros				
Cianamida hidrogenada	l	5.229	51,67	270.182
Costo Total Insumos				1.204.987
Total Costos Directos				4.961.646

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c).

Cuadro 52. Costos Directos de la producción de la Uva de Mesa var. Flame Seedless.

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Mano de Obra				
Control de malezas	JH	15.000	3	45.000
Riego y fertilización	JH	15.000	10	150.000
Aplicación de pesticidas	JH	15.000	8	120.000
Reponer postes	JH	15.000	3	45.000
Poda	JH	15.000	38	570.000
Amarre	JH	15.000	8	120.000
Deshoje	JH	15.000	17	255.000
Desbrote y raleo de racimos	JH	15.000	40	600.000
Arreglo de racimos	JH	15.000	25	375.000
Cosecha	JH	15.000	55	825.000
Costo Total Mano de Obra				3.105.000
Maquinaria				
Rastraje	JM	55.000	2	110.000
Aplicación agroquímicos	JM	55.000	8	440.000
Acarreo de cosecha	JM	55.000	6,25	343.750
Fertilización	JM	55.000	2	110.000
Costo Total Maquinaria				1.003.750

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Insumos				
Fertilizantes				
Úrea granulada	kg	331	80	26.480
Nitrato de potasio	kg	593	87,5	51.888
Nitrato de amonio	kg	414	400	165.600
Ac. Fosfórico	l	672	30	20.160
Herbicidas				
Roundup Ultramax	l	6.715	8	53.720
Paraquat	l	6.782	3	20.346
Fungicida				
Amistar top	l	63.262	3	189.786
Azufre mojable	l	981	3,8	3.728
Bayletón 25%	kg	34.195	0,75	25.646
Benomyl 50% WP	kg	5.870	1,5	8.805
Quintek	l	48.933	0,12	5.872
Triff mine WP	kg	30.762	0,2	6.152
Swtych	kg	107.310	1	107.310
Serenade SC	l	10.970	6	65.820
Sulfo cup premium	kg	1.533	22	33.726
Azufre superazufre	kg	793	20	15.860
Insecticida				
Balazo 90 PS	kg	13.940	1	13.940
Regulador de crecimiento				
Ácido Giberélico	UNIDAD	26.981	0,3	8.094
Otros				
Cianamida hidrogenada	l	5.229	50	261.450
Costo Total Insumos				1.084.383
Total Costos Directos				5.193.133

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c).

Cuadro 53. Costos Directos de la producción de la Uva de Mesa var. Thompson Seedless.

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Mano de Obra				
Control de malezas	JH	15.500	3	46.500
Riego y fertilización	JH	15.500	10	155.000
Aplicación de pesticidas	JH	15.500	8	124.000
Reponer postes	JH	15.500	3	46.500
Poda	JH	15.500	38	589.000
Amarre	JH	15.500	8	124.000
Deshoje	JH	15.500	17	263.500
Desbrote y raleo de racimos	JH	15.500	40	620.000
Arreglo de racimos	JH	15.500	25	387.500
Cosecha	JH	15.500	55	852.500
Costo Total Mano de Obra				3.208.500
Maquinaria				
Rastraje	JM	55.000	2	110.000
Aplicación agroquímicos	JM	55.000	5	275.000
Acarreo de cosecha	JM	55.000	8	440.000
Fertilización	JM	55.000	3	165.000
Costo Total Maquinaria				990.000
Insumos				
Fertilizantes				
Úrea granulada	kg	311	80	24.880
Nitrato de potasio	kg	593	87,5	51.888
Nitrato de amonio	kg	414	400	165.600
Ac. Fosfórico	l	672	30	20.160
Herbicidas				
Roundup Ultramax	l	6.715	8	53.720
Paraquat	l	6.782	3	20.346
Fungicida				
Amistar top	l	63.262	3	189.786
Azufre mojable	l	981	3,8	3.728
Bayletón 25%	kg	34.195	0,75	25.646
Benomyl 50% WP	kg	6.870	1,5	10.305
Quintek	l	48.933	0,12	5.872
Triff mine WP	kg	30.767	0,2	6.153
Swtych	kg	107.310	1	107.310

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Serenade SC	l	10.970	6	65.820
Sulfo cup premium	kg	1.533	22	33.726
Azufre superazufre	kg	793	20	15.860
Insecticida				
Balazo 90 PS	kg	13.940	1	13.940
Regulador de crecimiento				
Ácido Giberélico	l	26.981	0,5	13.491
Otros				
Cianamida hidrogenada	l	5.229	50	261.450
Costo Total Insumos				1.089.680
Total Costos Directos				5.288.180

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c).

Costos Indirectos. Los costos indirectos de la producción de la Uva de Mesa variedad Red Globe, variedad Flame Seedless y variedad Thompson Seedless, por concepto de mano de obra estable, se presentan en el Cuadro 54 para un tamaño de producción de 30 hectáreas, y en el Cuadro 55 para un tamaño de producción de 100 hectáreas. Estos fueron definidos de acuerdo a comunicación personal con el profesor Rodrigo Callejas Rodríguez (Callejas, 2014)¹² de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, y con el productor Guillermo Báez (Báez, 2014)¹³.

Cuadro 54. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 30 ha de Uva de Mesa var. Red Globe, var. Flame Seedless y var. Thompson Seedless.

Mano de Obra Estable	Año Producción					
	1		2-4		5-10	
	Cantidad	Costo Anual	Cantidad	Costo Anual	Cantidad	Costo Anual
	Nº	\$	Nº	\$	Nº	\$
Administrador	1	7.200.000	1	7.200.000	1	7.200.000
Trabajadores de Planta	3	8.100.000	6	16.200.000	6	16.200.000
Total Anual		15.300.000		23.400.000		23.400.000

Fuente: Elaborado en base a Callejas (2014) y Báez (2014).

¹² Callejas, R. 2014, nov. El cultivo de la Uva de Mesa. [Entrevista Personal]. Santiago, Chile, Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

¹³ Báez, G. 2014, dic. Cultivo de Uva de Mesa. [Entrevista Personal]. Copiapó, Agrícola Buenaventura, Chile.

Cuadro 55. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 100 ha de Uva de Mesa var. Red Globe, var. Flame Seedless y var. Thompson Seedless.

Mano de Obra Estable	Año Producción					
	1-2		3-4		5-10	
	Cantidad	Costo Anual	Cantidad	Costo Anual	Cantidad	Costo Anual
	N°	\$	N°	\$	N°	\$
Administrador	1	7.200.000	1	7.200.000	1	7.200.000
Sub-Administrador	1	4.800.000	1	4.800.000	1	4.800.000
Trabajadores de Planta	7	18.900.000	10	27.000.000	12	32.400.000
Total Anual		30.900.000		39.000.000		44.400.000

Fuente: Elaborado en base a Callejas (2014) y Báez (2014).

Ficha Técnica Tomate

Inversión. Los costos de inversión para el establecimiento del cultivo del Tomate tutorado y al aire libre, para 1 hectárea de superficie, son de \$1.600.000, por concepto de Sistema de Riego.

Costos Directos. Los Costos Directos para la producción del cultivo del Tomate, tutorado y al aire libre, se presentan en el Cuadro 56.

Cuadro 56. Costos Directos de la producción del Tomate, tutorado y al aire libre.

Ítem/Labor	Unidad	Costo	Cantidad	Total
		\$	Unidades/ha	\$
Mano de Obra				
Preparación almácigos	JH	15.000	10	150.000
Postadura y alambrado	JH	15.000	78,75	1.181.250
Trasplante y replante	JH	15.000	14	210.000
Riego	JH	15.000	16	240.000
Aplicación de agroquímicos	JH	15.000	18	270.000
Aplicación de fertilizantes	JH	15.000	2,3	35.000
Poda	JH	15.000	28	420.000
Cosecha	JH	15.000	93,6	1.404.000
Costo Total Mano de Obra				3.910.250

Ítem/Labor	Unidad	Costo \$	Cantidad Unidades/ha	Total \$
Maquinaria				
Aradura y rastraje	JM	55.000	12,2	671.000
Acequiadura	JM	55.000	3	165.000
Melgadura	JM	55.000	3	165.000
Acarreo de insumos	JM	55.000	0,2	11.000
Acarreo de cosecha	JM	55.000	4	220.000
Costo Total Maquinaria				1.232.000
Insumos				
Insumos				
Plantas vivero	plantas	80	20,000	1.600.000
Fertilizantes				
Úrea granulada	kg	331	164,2	54.339
Superfosfato triple	kg	316	196,7	62.147
Sulfato de Potasio	kg	565	316,7	178.917
Nitrato de Potasio	kg	593	600	355.800
Nitrato de Calcio		310	200	62.000
Herbicidas y agroquímicos				
Sencor 480 SC	l	18.795	1	18.795
Benomyl 50% WP	kg	6.870	13	89.310
Dithane NT	kg	4.088	12	49.056
Ridomil Gold MZ 68 WP	kg	18.626	3	55.878
Ácido cítrico	kg	1.200	4,2	5.040
Furadan 10 G	kg	5.500	7	38.500
Engeo 247 SC	l	60.278	1,88	113.323
Ácido bórico	kg	675	10	6.750
Otros				
Cajas (toritos)	Cajas	500	4,354,5	2.177.250
Estructuras de entutorado	ha	385.000	1	385.000
Mulsh	\$/ha/temporada		420,000	420.000
Cinta riego	\$/ha/temporada		375,000	375.000
Pita/gareta	\$/ha/temporada		200,000	200.000
Costo Total Insumos				6.247.104
Total Costos Directos				11.389.354

Fuente: Elaborado en base a Fuster et al. (2015c).

Costos Indirectos. Los costos indirectos de la producción del cultivo del Tomate tutorado y al aire libre, por concepto de mano de obra estable, se presentan en el Cuadro 57 para un tamaño de producción de 1 hectárea, y en el Cuadro 58 para un tamaño de producción de 10 hectáreas. Estos fueron definidos de acuerdo a comunicación personal con el productor Jaime Acevedo (Acevedo, 2014)¹⁴.

Cuadro 57. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 1 ha de Tomate.

Mano de Obra Estable	Año Producción	
	1-4	
	Cantidad	Costo Anual
	N°	\$
Trabajadores de Planta	2	6.000.000
Total Anual		6.000.000

Fuente: Elaborado en base a Acevedo (2014).

Cuadro 58. Costos Indirectos por concepto de Mano de Obra estable para un tamaño de producción de 10 ha de Tomate.

Mano de Obra Estable	Año Producción	
	1-4	
	Cantidad	Costo Anual
	N°	\$
Administrador	1	6.000.000
Trabajadores de Planta	6	18.000.000
Total Anual		24.000.000

Fuente: Elaborado en base Acevedo (2014).

¹⁴ Acevedo, J. 2014, dic. Cultivo del Granado y cultivo del Tomate. [Entrevista Personal]. Copiapó, Fundo Valle del Sol – Ruta, Chile.

Apéndice IV. Flujos de Caja de los cultivos evaluados

Flujo de Caja Olivo variedad Arbequina

La variación anual de los Costos Directos desde inicio de producción, la que se estableció a partir de las labores de producción por año del cultivo del Olivo variedad Arbequina, obtenidas desde las Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro de INDAP (ASAGRIN, 2007d) y de las fichas técnicas obtenidas desde Fuster et al. (2015c), se presenta en el Cuadro 59, mientras que la variación anual de las necesidades hídricas del cultivo desde su establecimiento hasta su madurez, la que se determinó como un porcentaje de la demanda del cultivo en pleno rendimiento a partir de comunicación personal con el profesor Thomas Fichet Lagos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (Fichet, 2014)¹⁵, se presenta en el Cuadro 60. La variación anual del Rendimiento de cada cultivo, obtenida a partir de Fuster et al. (2015c) se presenta en el Cuadro 61. El Flujo de Caja para el cultivo del Olivo variedad Arbequina, en un tamaño de producción pequeño (10 hectáreas) se presenta en el Cuadro 62, y en un tamaño de producción mediano-grande (100 hectáreas) se presenta en el Cuadro 63.

Cuadro 59. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Olivo variedad Arbequina.

Ítem Costo	Año									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$/ha									
Costo Mano de Obra	209.700	216.900	487.500	509.100	667.500	727.500	870.000	870.000	870.000	870.000
Costo Maquinaria	128.333	183.333	425.333	524.333	641.667	770.000	825.000	825.000	825.000	825.000
Costo Insumos	110.003	112.131	122.571	124.699	129.981	147.547	142.511	142.511	142.511	142.511
Costo Total	448.036	512.364	1.035.405	1.158.132	1.439.147	1.645.047	1.837.511	1.837.511	1.837.511	1.837.511

Cuadro 60. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Olivo variedad Arbequina.

	Año									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	m ³ /ha									
	2.000	4.000	4.000	6.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000

¹⁵ Fichet, T. 2014, nov. El cultivo del Olivo. [Entrevista Personal]. Santiago, Chile, Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Cuadro 61. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Olivo variedad Arbequina.

Año									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kg/ha									
0	0	4.500	7.250	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

Cuadro 62. Flujo de Caja del cultivo de Olivo variedad Arbequina, en un tamaño de producción de 10 hectáreas.

ÍTEM/AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso		-	-	17.235.000	27.767.500	38.300.000	38.300.000	38.300.000	38.300.000	38.300.000	38.300.000
Costos Directos		-4.480.364	-5.123.643	-10.354.046	-11.581.324	-14.391.474	-16.450.467	-18.375.108	-18.375.108	-18.375.108	-18.375.108
Margen de Contribución		-4.480.364	-5.123.643	6.880.954	16.186.176	23.908.526	21.849.533	19.924.892	19.924.892	19.924.892	19.924.892
Costos Indirectos		-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000
Depreciación		-1.600.000	-1.600.000	-1.600.000	-1.600.000	-1.600.000	-1.600.000	-1.600.000	-1.600.000	-1.600.000	-1.600.000
Utilidad Bruta		-8.780.364	-9.423.643	2.580.954	11.886.176	19.608.526	17.549.533	15.624.892	15.624.892	15.624.892	15.624.892
Impuesto (21%)		-	-	- 542.000	-2.496.097	-4.117.791	-3.685.402	-3.281.227	-3.281.227	-3.281.227	-3.281.227
Utilidad Neta		-8.780.364	-9.423.643	2.038.954	9.390.079	15.490.736	13.864.131	12.343.665	12.343.665	12.343.665	12.343.665
Depreciación		1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000
Inversión	-35.042.880										
Capital de trabajo	-28.058.053										
Recuperación de capital de trabajo											28.058.053
Valor desecho											130.065.226
Flujo	-63.100.933	-7.180.364	-7.823.643	3.638.954	10.990.079	17.090.736	15.464.131	13.943.665	13.943.665	13.943.665	172.066.944

VNA(α)	\$23.726.144
α	12%
TIR	15,928%

Cuadro 63. Flujo de Caja del cultivo de Olivo variedad Arbequina, en un tamaño de producción de 100 hectáreas.

ÍTEM/AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso	-	-	172.350.000	277.675.000	383.000.000	383.000.000	383.000.000	383.000.000	383.000.000	383.000.000	383.000.000
Costos Directos	-44.803.641	-51.236.426	-103.540.458	-115.813.244	-143.914.735	-164.504.671	-183.751.080	-183.751.080	-183.751.080	-183.751.080	-183.751.080
Margen de Contribución	-44.803.641	-51.236.426	68.809.542	161.861.756	239.085.265	218.495.330	199.248.920	199.248.920	199.248.920	199.248.920	199.248.920
Costos Indirectos	-15.300.000	-15.300.000	-15.300.000	-15.300.000	-15.300.000	-15.300.000	-15.300.000	-15.300.000	-15.300.000	-15.300.000	-15.300.000
Depreciación	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000
Utilidad Bruta	-76.103.641	-82.536.426	37.509.542	130.561.756	207.785.265	187.195.330	167.948.920	167.948.920	167.948.920	167.948.920	167.948.920
Impuesto (21%)	-	-	-7.877.004	-27.417.969	-43.634.906	-39.311.019	-35.269.273	-35.269.273	-35.269.273	-35.269.273	-35.269.273
Utilidad Neta	-76.103.641	-82.536.426	29.632.538	103.143.787	164.150.359	147.884.310	132.679.647	132.679.647	132.679.647	132.679.647	132.679.647
Depreciación	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000
Inversión	-350.428.800										
Capital de trabajo	-245.480.525										
Recuperación de capital de trabajo											245.480.525
Valor desecho											1.384.219.255
Flujo	-595.909.325	-60.103.641	-66.536.426	45.632.538	119.143.787	180.150.359	163.884.310	148.679.647	148.679.647	148.679.647	1.778.379.427

VNA(α)	\$344.343.980
α	12%
TIR	17,858%

Flujo de Caja Olivo variedad Sevillana

La variación anual de los Costos Directos del cultivo del Olivo variedad Sevillana, la que se estableció a partir de las labores de producción por año obtenidas desde INDAP (ASAGRIN, 2007c) y de las fichas técnicas obtenidas desde Fuster et al. (2015c), se presenta en el Cuadro 64, mientras que la variación anual de las necesidades hídricas del cultivo desde su establecimiento hasta su madurez, la que se determinó a partir de comunicación personal con el profesor Thomas Fichet Lagos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (Fichet, 2014)¹⁶, se presenta en el Cuadro 65. La variación anual del Rendimiento del cultivo, obtenida a partir de Fuster et al. (2015c) se presenta en el Cuadro 66.

Cuadro 64. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Olivo variedad Sevillana.

Ítem Costo	Año									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$/ha									
Costo Mano de Obra	63.725	71.325	370.375	393.175	607.375	613.625	663.500	663.500	663.500	663.500
Costo Maquinaria	128.333	242.458	496.375	617.375	774.125	861.208	975.333	975.333	975.333	975.333
Costo Insumos	126.223	130.912	145.682	150.371	157.289	180.729	176.632	176.632	176.632	176.632
Costo Total	318.281	444.695	1.012.432	1.160.921	1.538.789	1.655.562	1.815.465	1.815.465	1.815.465	1.815.465

Cuadro 65. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Olivo variedad Sevillana.

Año									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m ³ /ha									
2.000	4.000	4.000	6.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000

Cuadro 66. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Olivo variedad Sevillana.

Año									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kg/ha									
0	0	4.500	7.250	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

¹⁶ Fichet, T. 2014, nov. El cultivo del Olivo. [Entrevista Personal]. Santiago, Chile, Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Flujo de Caja Granado variedad Wonderful

La variación anual de los Costos Directos desde inicio de producción del cultivo de Granado variedad Wonderful, la que se estableció a partir de las labores de producción por año obtenidas desde Carmona (2012) y de las fichas técnicas obtenidas desde Fuster et al. (2015c), se presenta en el Cuadro 69, mientras que la variación anual de las necesidades hídricas del cultivo desde su establecimiento hasta su madurez, la que se determinó a partir de comunicación personal con el profesor Thomas Fichet Lagos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (Fichet, 2014)¹⁷, se presenta en el Cuadro 70. La variación anual del Rendimiento del cultivo, obtenida a partir de Fuster et al. (2015c) se presenta en el Cuadro 71.

Cuadro 69. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Granado variedad Wonderful.

Ítem Costo	Año									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$/ha									
Costo Mano de Obra	447.300	489.300	956.100	1.272.600	1.758.150	1.920.000	1.920.000	1.920.000	1.920.000	1.920.000
Costo Maquinaria	412.500	412.500	805.750	962.500	1.094.500	1.375.000	1.375.000	1.375.000	1.375.000	1.375.000
Costo Insumos	331.376	419.731	542.544	754.727	754.727	754.727	754.727	754.727	754.727	754.727
Costo Total	1.191.176	1.321.531	2.304.394	2.989.827	3.607.377	4.049.727	4.049.727	4.049.727	4.049.727	4.049.727

Cuadro 70. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Granado variedad Wonderful.

Año									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m ³ /ha									
4.050	5.400	6.750	7.500	8.250	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000

Cuadro 71. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Granado variedad Wonderful.

Año									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kg/ha									
0	0	6.000	10.667	15.333	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000

¹⁷ Fichet, T. 2014, nov. El cultivo del Granado. [Entrevista Personal]. Santiago, Chile, Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Flujo de Caja Uva de Mesa variedad Flame Seedless

La variación anual de los Costos Directos del cultivo de Uva de Mesa variedad Flame Seedless, la que se estableció a partir de las labores de producción por año obtenidas desde INDAP (ASAGRIN, 2007b) y de las fichas técnicas obtenidas desde Fuster et al. (2015c), se presenta en el Cuadro 78, mientras que la variación anual de las necesidades hídricas del cultivo desde su establecimiento hasta su madurez, la que se determinó a partir de Williams (2000), se presenta en el Cuadro 79. La variación anual del Rendimiento del cultivo, obtenida a partir de Fuster et al. (2015c) se presenta en el Cuadro 80.

Cuadro 78. Variación anual de los Costos Directos del cultivo de Uva de Mesa variedad Flame Seedless.

Ítem Costo	Año									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$/ha									
Costo Mano de Obra	266.250	1.281.563	1.592.249	2.349.367	2.736.558	3.105.000	3.105.000	3.105.000	3.105.000	3.105.000
Costo Maquinaria	495.000	666.875	666.875	666.875	1.003.750	1.003.750	1.003.750	1.003.750	1.003.750	1.003.750
Costo Insumos	483.152	563.415	642.811	766.007	874.493	996.181	996.181	996.181	996.181	996.181
Costo Total	1.244.402	2.511.853	2.901.936	3.782.249	4.614.801	5.104.931	5.104.931	5.104.931	5.104.931	5.104.931

Cuadro 79. Variación anual de las Necesidades Hídricas del cultivo de Uva de Mesa variedad Flame Seedless.

Año									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m ³ /ha									
4.529	5.176	7.441	8.415	9.350	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000

Cuadro 80. Variación anual del Rendimiento del cultivo de Uva de Mesa variedad Flame Seedless.

Año									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kg/ha									
0	1.000	4.670	8.340	12.010	15.680	15.680	15.680	15.680	15.680

Cuadro 87. Flujo de Caja del cultivo de Uva de Mesa variedad Thompson Seedless, en un tamaño de producción de 100 hectáreas.

ÍTEM/AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso		-	-	333.045.000	925.125.000	1.517.205.000	1.517.205.000	1.517.205.000	1.517.205.000	1.517.205.000	1.517.205.000
Costos Directos		-124.333.128	-133.724.721	-313.143.865	-427.293.598	-520.159.167	-520.159.167	-520.159.167	-520.159.167	-520.159.167	-520.159.167
Margen de Contribución		-124.333.128	-133.724.721	19.901.135	497.831.402	997.045.833	997.045.833	997.045.833	997.045.833	997.045.833	997.045.833
Costos Indirectos		-30.900.000	-30.900.000	-39.000.000	-39.000.000	-44.400.000	-44.400.000	-44.400.000	-44.400.000	-44.400.000	-44.400.000
Depreciación		-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000	-16.000.000
Utilidad Bruta		-171.233.128	-180.624.721	-35.098.865	442.831.402	936.645.833	936.645.833	936.645.833	936.645.833	936.645.833	936.645.833
Impuesto (21%)		-	-	-	-92.994.594	-196.695.625	-196.695.625	-196.695.625	-196.695.625	-196.695.625	-196.695.625
Utilidad Neta		-171.233.128	-180.624.721	-35.098.865	349.836.807	739.950.208	739.950.208	739.950.208	739.950.208	739.950.208	739.950.208
Depreciación		16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000	16.000.000
Inversión	-836.944.800										
Capital de trabajo	-805.250.312										
Recuperación de capital de trabajo											805.250.312
Valor desecho											6.976.788.236
Flujo	-1.642.195.112	-155.233.128	-164.624.721	-19.098.865	365.836.807	755.950.208	755.950.208	755.950.208	755.950.208	755.950.208	8.537.988.756

VNA(α)	\$2.787.678.314
α	12%
TIR	25,150%

Flujo de Caja Tomate

La producción del Tomate, al ser un cultivo anual, no posee variación anual tanto de Costos Directos, como de sus necesidades hídricas y de su Rendimiento. El Flujo de Caja para el cultivo del Tomate, tutorado y al aire libre, en un tamaño de producción pequeño (1 hectárea) se presenta en el Cuadro 88, y en un tamaño de producción mediano-grande (10 hectáreas) se presenta en el Cuadro 89.

Cuadro 88. Flujo de Caja del cultivo de Tomate, tutorado y al aire libre, en un tamaño de producción de 1 hectárea.

ÍTEM/AÑO	0	1	2	3	4
Ingreso		25.084.250	25.084.250	25.084.250	25.084.250
Costos Directos		- 11.389.354	- 11.389.354	- 11.389.354	- 11.389.354
Margen de Contribución		13.694.896	13.694.896	13.694.896	13.694.896
Costos Indirectos		- 6.000.000	- 6.000.000	- 6.000.000	- 6.000.000
Depreciación		- 160.000	- 160.000	- 160.000	- 160.000
Utilidad Bruta		7.534.896	7.534.896	7.534.896	7.534.896
Impuesto (21%)		- 1.582.328	- 1.582.328	- 1.582.328	- 1.582.328
Utilidad Neta		5.952.568	5.952.568	5.952.568	5.952.568
Depreciación		160.000	160.000	160.000	160.000
Inversión	- 1.600.000				
Capital de trabajo	- 17.389.354				
Recuperación de capital de trabajo					17.389.354
Valor desecho					55.466.005
Flujo	- 18.989.354	6.112.568	6.112.568	6.112.568	78.967.927
VNA(α)	\$45.877.548				
α	12%				
TIR	62,045%				

Cuadro 89. Flujo de Caja del cultivo de Tomate, tutorado y al aire libre, en un tamaño de producción de 10 hectáreas.

ÍTEM/AÑO	0	1	2	3	4
Ingreso		250.842.500	250.842.500	250.842.500	250.842.500
Costos Directos		- 113.893.540	- 113.893.540	- 113.893.540	- 113.893.540
Margen de Contribución		136.948.960	136.948.960	136.948.960	136.948.960
Costos Indirectos		- 24.000.000	- 24.000.000	- 24.000.000	- 24.000.000
Depreciación		- 1.600.000	- 1.600.000	- 1.600.000	- 1.600.000
Utilidad Bruta		111.348.960	111.348.960	111.348.960	111.348.960
Impuesto (21%)		- 23.383.282	- 23.383.282	- 23.383.282	- 23.383.282
Utilidad Neta		87.965.678	87.965.678	87.965.678	87.965.678
Depreciación		1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000
Inversión	- 16.000.000				
Capital de trabajo	- 137.893.540				
Recuperación de capital de trabajo					137.893.540
Valor desecho					811.789.250
Flujo	- 153.893.540	89.565.678	89.565.678	89.565.678	1.039.248.469
VNA(α)	\$721.689.297				
α	12%				
TIR	94,788%				

Apéndice V. Sensibilización del VAN al precio del agua y las necesidades hídricas de los cultivos

A continuación se presenta la sensibilización del VAN de cada proyecto frente a los parámetros de "Precio del Agua" y "Necesidades Hídricas" de los cultivos, correspondiente a una tabla de doble entrada por cada flujo de caja elaborado. Los valores al interior de la tabla indican el valor del VAN en pesos, frente a la combinación de distintos valores de Precio del Agua y Necesidades Hídricas de cada cultivo, y en cada tamaño de producción evaluado, destacándose en oscuro la columna que corresponde a las necesidades hídricas de cada cultivo según la información levantada por Fuster et al. (2015c).

Cuadro 90. VAN (\$) del cultivo de Olivo var. Arbequina (10ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000
0	\$23.726.144	\$23.726.144	\$23.726.144	\$23.726.144	\$23.726.144	\$23.726.144	\$23.726.144
100	-\$382.653.219	-\$506.677.454	-\$630.701.689	-\$754.725.924	-\$878.750.159	-\$1.002.774.394	-\$1.126.798.629
200	-\$878.750.159	-\$1.126.798.629	-\$1.374.847.099	-\$1.622.895.570	-\$1.870.944.040	-\$2.118.992.510	-\$2.367.040.980
300	-\$1.374.847.099	-\$1.746.919.805	-\$2.118.992.510	-\$2.491.065.215	-\$2.863.137.920	-\$3.235.210.625	-\$3.607.283.330
400	-\$1.870.944.040	-\$2.367.040.980	-\$2.863.137.920	-\$3.359.234.860	-\$3.855.331.800	-\$4.351.428.740	-\$4.847.525.680
500	-\$2.367.040.980	-\$2.987.162.155	-\$3.607.283.330	-\$4.227.404.505	-\$4.847.525.680	-\$5.467.646.855	-\$6.087.768.031
600	-\$2.863.137.920	-\$3.607.283.330	-\$4.351.428.740	-\$5.095.574.150	-\$5.839.719.561	-\$6.583.864.971	-\$7.328.010.381

Cuadro 91. VAN (\$) del cultivo de Olivo var. Arbequina (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000
0	\$344.343.980	\$344.343.980	\$344.343.980	\$344.343.980	\$344.343.980	\$344.343.980	\$344.343.980
100	-\$48.295.761.412	-\$60.698.184.915	-\$73.100.608.418	-\$85.503.031.921	-\$97.905.455.424	-\$110.307.878.927	-\$122.710.302.430
200	-\$97.905.455.424	-\$122.710.302.430	-\$147.515.149.436	-\$172.319.996.443	-\$197.124.843.449	-\$221.929.690.455	-\$246.734.537.461
300	-\$147.515.149.436	-\$184.722.419.946	-\$221.929.690.455	-\$259.136.960.964	-\$296.344.231.473	-\$333.551.501.983	-\$370.758.772.492
400	-\$197.124.843.449	-\$246.734.537.461	-\$296.344.231.473	-\$345.953.925.486	-\$395.563.619.498	-\$445.173.313.510	-\$494.783.007.523
500	-\$246.734.537.461	-\$308.746.654.976	-\$370.758.772.492	-\$432.770.890.007	-\$494.783.007.523	-\$556.795.125.038	-\$618.807.242.553
600	-\$296.344.231.473	-\$370.758.772.492	-\$445.173.313.510	-\$519.587.854.529	-\$594.002.395.547	-\$668.416.936.566	-\$742.831.477.584

Cuadro 92. VAN (\$) del cultivo de Olivo var. Sevillana (10ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000
0	\$14.369.586	\$14.369.586	\$14.369.586	\$14.369.586	\$14.369.586	\$14.369.586	\$14.369.586
100	-\$406.399.179	-\$530.423.414	-\$654.447.649	-\$778.471.884	-\$902.496.119	-\$1.026.520.354	-\$1.150.544.589
200	-\$902.496.119	-\$1.150.544.589	-\$1.398.593.059	-\$1.646.641.529	-\$1.894.689.999	-\$2.142.738.469	-\$2.390.786.939
300	-\$1.398.593.059	-\$1.770.665.764	-\$2.142.738.469	-\$2.514.811.174	-\$2.886.883.879	-\$3.258.956.584	-\$3.631.029.289
400	-\$1.894.689.999	-\$2.390.786.939	-\$2.886.883.879	-\$3.382.980.819	-\$3.879.077.760	-\$4.375.174.700	-\$4.871.271.640
500	-\$2.390.786.939	-\$3.010.908.114	-\$3.631.029.289	-\$4.251.150.465	-\$4.871.271.640	-\$5.491.392.815	-\$6.111.513.990
600	-\$2.886.883.879	-\$3.631.029.289	-\$4.375.174.700	-\$5.119.320.110	-\$5.863.465.520	-\$6.607.610.930	-\$7.351.756.340

Cuadro 93. VAN (\$) del cultivo de Olivo var. Sevillana (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000
0	\$250.778.400	\$250.778.400	\$250.778.400	\$250.778.400	\$250.778.400	\$250.778.400	\$250.778.400
100	-\$48.533.221.006	-\$60.935.644.509	-\$73.338.068.013	-\$85.740.491.516	-\$98.142.915.019	-\$110.545.338.522	-\$122.947.762.025
200	-\$98.142.915.019	-\$122.947.762.025	-\$147.752.609.031	-\$172.557.456.037	-\$197.362.303.043	-\$222.167.150.049	-\$246.971.997.056
300	-\$147.752.609.031	-\$184.959.879.540	-\$222.167.150.049	-\$259.374.420.559	-\$296.581.691.068	-\$333.788.961.577	-\$370.996.232.086
400	-\$197.362.303.043	-\$246.971.997.056	-\$296.581.691.068	-\$346.191.385.080	-\$395.801.079.093	-\$445.410.773.105	-\$495.020.467.117
500	-\$246.971.997.056	-\$308.984.114.571	-\$370.996.232.086	-\$433.008.349.602	-\$495.020.467.117	-\$557.032.584.633	-\$619.044.702.148
600	-\$296.581.691.068	-\$370.996.232.086	-\$445.410.773.105	-\$519.825.314.123	-\$594.239.855.142	-\$668.654.396.160	-\$743.068.937.179

Cuadro 94. VAN (\$) del cultivo de Granado var. Wonderful (70ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000
0	\$1.690.946.774	\$1.690.946.774	\$1.690.946.774	\$1.690.946.774	\$1.690.946.774	\$1.690.946.774	\$1.690.946.774
100	-\$21.658.092.192	-\$28.134.543.894	-\$34.610.995.595	-\$41.087.447.296	-\$47.563.898.997	-\$54.040.350.698	-\$60.516.802.400
200	-\$47.563.898.997	-\$60.516.802.400	-\$73.469.705.802	-\$86.422.609.204	-\$99.375.512.607	-\$112.328.416.009	-\$125.281.319.412
300	-\$73.469.705.802	-\$92.899.060.906	-\$112.328.416.009	-\$131.757.771.113	-\$151.187.126.216	-\$170.616.481.320	-\$190.045.836.424
400	-\$99.375.512.607	-\$125.281.319.412	-\$151.187.126.216	-\$177.092.933.021	-\$202.998.739.826	-\$228.904.546.631	-\$254.810.353.436
500	-\$125.281.319.412	-\$157.663.577.918	-\$190.045.836.424	-\$222.428.094.930	-\$254.810.353.436	-\$287.192.611.941	-\$319.574.870.447
600	-\$151.187.126.216	-\$190.045.836.424	-\$228.904.546.631	-\$267.763.256.838	-\$306.621.967.045	-\$345.480.677.252	-\$384.339.387.459

Cuadro 95. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Red Globe (30ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	7.000	8.000	9.000	10.000	11.000	11.500	12.000
0	\$976.314.743	\$976.314.743	\$976.314.743	\$976.314.743	\$976.314.743	\$976.314.743	\$976.314.743
100	-\$5.660.895.587	-\$6.830.321.940	-\$7.999.748.293	-\$9.169.174.647	-\$10.338.601.000	-\$10.923.314.176	-\$11.508.027.353
200	-\$13.846.880.059	-\$16.185.732.765	-\$18.524.585.472	-\$20.863.438.178	-\$23.202.290.884	-\$24.371.717.237	-\$25.541.143.590
300	-\$22.032.864.531	-\$25.541.143.590	-\$29.049.422.650	-\$32.557.701.709	-\$36.065.980.769	-\$37.820.120.298	-\$39.574.259.828
400	-\$30.218.849.003	-\$34.896.554.415	-\$39.574.259.828	-\$44.251.965.241	-\$48.929.670.653	-\$51.268.523.359	-\$53.607.376.066
500	-\$38.404.833.475	-\$44.251.965.241	-\$50.099.097.006	-\$55.946.228.772	-\$61.793.360.538	-\$64.716.926.420	-\$67.640.492.303
600	-\$46.590.817.947	-\$53.607.376.066	-\$60.623.934.184	-\$67.640.492.303	-\$74.657.050.422	-\$78.165.329.481	-\$81.673.608.541

Cuadro 96. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Red Globe (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	7.000	8.000	9.000	10.000	11.000	11.500	12.000
0	\$3.558.069.745	\$3.558.069.745	\$3.558.069.745	\$3.558.069.745	\$3.558.069.745	\$3.558.069.745	\$3.558.069.745
100	-\$82.021.588.768	-\$95.015.214.914	-\$108.008.841.060	-\$121.002.467.206	-\$133.996.093.352	-\$140.492.906.425	-\$146.989.719.498
200	-\$172.976.971.790	-\$198.964.224.082	-\$224.951.476.373	-\$250.938.728.665	-\$276.925.980.957	-\$289.919.607.103	-\$302.913.233.249
300	-\$263.932.354.811	-\$302.913.233.249	-\$341.894.111.687	-\$380.874.990.125	-\$419.855.868.563	-\$439.346.307.781	-\$458.836.747.000
400	-\$354.887.737.833	-\$406.862.242.417	-\$458.836.747.000	-\$510.811.251.584	-\$562.785.756.168	-\$588.773.008.460	-\$614.760.260.752
500	-\$445.843.120.854	-\$510.811.251.584	-\$575.779.382.314	-\$640.747.513.043	-\$705.715.643.773	-\$738.199.709.138	-\$770.683.774.503
600	-\$536.798.503.876	-\$614.760.260.752	-\$692.722.017.627	-\$770.683.774.503	-\$848.645.531.378	-\$887.626.409.816	-\$926.607.288.254

Cuadro 97. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Flame Seedless (30ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000	11.000	12.000
\$/m ³							
0	\$121.581.490	\$121.581.490	\$121.581.490	\$121.581.490	\$121.581.490	\$121.581.490	\$121.581.490
100	-\$6.086.280.951	-\$7.228.497.359	-\$8.370.713.767	-\$9.512.930.176	-\$10.655.146.584	-\$11.797.362.992	-\$12.939.579.400
200	-\$12.939.579.400	-\$15.224.012.217	-\$17.508.445.033	-\$19.792.877.849	-\$22.077.310.666	-\$24.361.743.482	-\$26.646.176.299
300	-\$19.792.877.849	-\$23.219.527.074	-\$26.646.176.299	-\$30.072.825.523	-\$33.499.474.748	-\$36.926.123.972	-\$40.352.773.197
400	-\$26.646.176.299	-\$31.215.041.931	-\$35.783.907.564	-\$40.352.773.197	-\$44.921.638.830	-\$49.490.504.462	-\$54.059.370.095
500	-\$33.499.474.748	-\$39.210.556.789	-\$44.921.638.830	-\$50.632.720.870	-\$56.343.802.911	-\$62.054.884.952	-\$67.765.966.993
600	-\$40.352.773.197	-\$47.206.071.646	-\$54.059.370.095	-\$60.912.668.544	-\$67.765.966.993	-\$74.619.265.442	-\$81.472.563.892

Cuadro 98. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Flame Seedless (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000	11.000	12.000
\$/m ³							
0	\$743.652.068	\$743.652.068	\$743.652.068	\$743.652.068	\$743.652.068	\$743.652.068	\$743.652.068
100	-\$73.067.478.799	-\$85.758.772.223	-\$98.450.065.648	-\$111.141.359.072	-\$123.832.652.496	-\$136.523.945.921	-\$149.215.239.345
200	-\$149.215.239.345	-\$174.597.826.194	-\$199.980.413.042	-\$225.362.999.891	-\$250.745.586.740	-\$276.128.173.588	-\$301.510.760.437
300	-\$225.362.999.891	-\$263.436.880.164	-\$301.510.760.437	-\$339.584.640.710	-\$377.658.520.983	-\$415.732.401.256	-\$453.806.281.529
400	-\$301.510.760.437	-\$352.275.934.134	-\$403.041.107.832	-\$453.806.281.529	-\$504.571.455.226	-\$555.336.628.924	-\$606.101.802.621
500	-\$377.658.520.983	-\$441.114.988.105	-\$504.571.455.226	-\$568.027.922.348	-\$631.484.389.470	-\$694.940.856.591	-\$758.397.323.713
600	-\$453.806.281.529	-\$529.954.042.075	-\$606.101.802.621	-\$682.249.563.167	-\$758.397.323.713	-\$834.545.084.259	-\$910.692.844.805

Cuadro 99. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Thompson Seedless (30ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000	11.000	12.000
0	\$743.880.058	\$743.880.058	\$743.880.058	\$743.880.058	\$743.880.058	\$743.880.058	\$743.880.058
100	-\$4.941.032.261	-\$6.110.458.614	-\$7.279.884.967	-\$8.449.311.320	-\$9.618.737.673	-\$10.788.164.026	-\$11.957.590.379
200	-\$11.957.590.379	-\$14.296.443.086	-\$16.635.295.792	-\$18.974.148.498	-\$21.313.001.204	-\$23.651.853.911	-\$25.990.706.617
300	-\$18.974.148.498	-\$22.482.427.558	-\$25.990.706.617	-\$29.498.985.676	-\$33.007.264.736	-\$36.515.543.795	-\$40.023.822.855
400	-\$25.990.706.617	-\$30.668.412.029	-\$35.346.117.442	-\$40.023.822.855	-\$44.701.528.267	-\$49.379.233.680	-\$54.056.939.092
500	-\$33.007.264.736	-\$38.854.396.501	-\$44.701.528.267	-\$50.548.660.033	-\$56.395.791.798	-\$62.242.923.564	-\$68.090.055.330
600	-\$40.023.822.855	-\$47.040.380.973	-\$54.056.939.092	-\$61.073.497.211	-\$68.090.055.330	-\$75.106.613.449	-\$82.123.171.567

Cuadro 100. VAN (\$) del cultivo de Uva de Mesa var. Thompson Seedless (100ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	8.000	9.000	8.000	9.000	10.000	11.000	12.000
0	\$2.787.678.314	\$2.787.678.314	\$2.787.678.314	\$2.787.678.314	\$2.787.678.314	\$2.787.678.314	\$2.787.678.314
100	-\$70.554.387.714	-\$83.548.013.860	-\$96.541.640.006	-\$109.535.266.152	-\$122.528.892.298	-\$135.522.518.444	-\$148.516.144.590
200	-\$148.516.144.590	-\$174.503.396.882	-\$200.490.649.173	-\$226.477.901.465	-\$252.465.153.757	-\$278.452.406.049	-\$304.439.658.341
300	-\$226.477.901.465	-\$265.458.779.903	-\$304.439.658.341	-\$343.420.536.779	-\$382.401.415.217	-\$421.382.293.654	-\$460.363.172.092
400	-\$304.439.658.341	-\$356.414.162.925	-\$408.388.667.508	-\$460.363.172.092	-\$512.337.676.676	-\$564.312.181.260	-\$616.286.685.843
500	-\$382.401.415.217	-\$447.369.545.946	-\$512.337.676.676	-\$577.305.807.406	-\$642.273.938.135	-\$707.242.068.865	-\$772.210.199.595
600	-\$460.363.172.092	-\$538.324.928.968	-\$616.286.685.843	-\$694.248.442.719	-\$772.210.199.595	-\$850.171.956.470	-\$928.133.713.346

Cuadro 101. VAN (\$) del cultivo de Tomate (1ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	7.000	8.000	9.000	9.855	10.000	11.000	12.000
0	\$ 45.877.548	\$ 45.877.548	\$ 45.877.548	\$ 45.877.548	\$ 45.877.548	\$ 45.877.548	\$ 45.877.548
100	\$ 40.765.335	\$ 40.035.018	\$ 39.304.702	\$ 38.680.282	\$ 38.574.386	\$ 37.844.070	\$ 37.113.754
200	\$ 35.653.121	\$ 34.192.489	\$ 32.731.857	\$ 31.483.016	\$ 31.271.224	\$ 29.810.592	\$ 28.349.960
300	\$ 30.540.908	\$ 28.349.960	\$ 26.159.011	\$ 24.285.750	\$ 23.968.063	\$ 21.777.114	\$ 19.586.166
400	\$ 25.428.695	\$ 22.507.430	\$ 19.586.166	\$ 17.088.484	\$ 16.664.901	\$ 13.743.636	\$ 10.822.372
500	\$ 20.316.482	\$ 16.664.901	\$ 13.013.320	\$ 9.891.219	\$ 9.361.739	\$ 5.710.159	\$ 2.058.578
600	\$ 15.204.269	\$ 10.822.372	\$ 6.440.475	\$ 2.693.953	\$ 2.058.578	-\$ 2.323.319	-\$ 6.705.216

Cuadro 102. VAN (\$) del cultivo de Tomate (10ha) según las necesidades hídricas del cultivo y el precio del agua

Precio del Agua \$/m ³	Necesidades Hídricas del Cultivo maduro (m ³ /ha)						
	6.000	7.000	8.000	9.000	9.855	10.000	11.000
0	\$721.689.297	\$721.689.297	\$721.689.297	\$721.689.297	\$721.689.297	\$721.689.297	\$721.689.297
100	\$283.499.597	\$210.467.981	\$137.436.364	\$64.404.747	\$1.962.715	-\$8.626.869	-\$81.658.486
200	-\$178.356.522	-\$383.177.854	-\$587.999.186	-\$792.820.518	-\$967.942.756	-\$997.641.850	-\$1.202.463.181
300	-\$792.820.518	-\$1.100.052.516	-\$1.407.284.513	-\$1.714.516.511	-\$1.977.199.869	-\$2.021.748.509	-\$2.328.980.507
400	-\$1.407.284.513	-\$1.816.927.177	-\$2.226.569.841	-\$2.636.212.504	-\$2.986.456.982	-\$3.045.855.168	-\$3.455.497.832
500	-\$2.021.748.509	-\$2.533.801.839	-\$3.045.855.168	-\$3.557.908.498	-\$3.995.714.095	-\$4.069.961.827	-\$4.582.015.157
600	-\$2.636.212.504	-\$3.250.676.500	-\$3.865.140.496	-\$4.479.604.491	-\$5.004.971.207	-\$5.094.068.487	-\$5.708.532.482

Apéndice VI. Sensibilización unidimensional del VAN

El análisis unidimensional de sensibilización del VAN realizado para los trece flujos de caja elaborados, permitió determinar hasta dónde puede modificarse el valor de las principales variables para que cada proyecto siga siendo rentable. Los cuadros 103 y 104 muestran cuánto puede modificarse el valor de los principales elementos del flujo de caja, en porcentaje con respecto al valor de referencia, para que el VAN se haga cero, destacándose como los parámetros críticos o más sensibles aquellos que tienen directa relación con la producción, como los Costos Directos, el Rendimiento y el Precio de Venta, especialmente para los cultivos de Uva de Mesa variedad Flame Seedless, Olivo variedad Sevillana y Olivo variedad Arbequina.

Cuadro 103. Porcentaje máximo de variación de las principales variables de los flujos de caja para que cada proyecto siga siendo rentable, en cultivos de tamaño de producción "pequeño".

Cultivo	Variable del Flujo de Caja				
	Costos Directos	Rendimiento	Precio de Venta	Costos Indirectos	Inversión
			%		
Olivo var. Arbequina	+21,40	-12,44	-12,44	+96,01	+72,62
Olivo var. Sevillana	+13,39	-8,08	-8,08	+58,15	+43,98
Uva de Mesa var. Red Globe	+91,97	-39,49	-39,49	+459,80	+417,04
Uva de Mesa var. Flame Seedless	+11,08	-7,32	-7,32	+55,06	+51,93
Uva de Mesa var. Thompson Seedless	+68,31	-32,85	-32,85	+356,17	+317,75
Tomate	+55,16	-26,36	-26,36	+104,70	+3.898,61

Cuadro 104. Porcentaje máximo de variación de las principales variables de los flujos de caja para que cada proyecto siga siendo rentable, en cultivos de tamaño de producción "mediano-grande".

Cultivo	Variable del Flujo de Caja				
	Costos Directos	Rendimiento	Precio de Venta	Costos Indirectos	Inversión
			%		
Olivo var. Arbequina	+31,05	-18,05	-18,05	+245,89	+105,39
Olivo var. Sevillana	+23,37	-14,10	-14,10	+179,09	+76,75
Granado var. Wonderful	+85,43	-39,34	-39,34	+590,54	+446,44
Uva de Mesa var. Red Globe	+101,10	-43,41	-43,41	+929,92	+455,96
Uva de Mesa var. Flame Seedless	+20,35	-13,44	-13,44	+187,02	+95,30
Uva de Mesa var. Thompson Seedless	+76,67	-36,93	-36,93	+718,28	+357,23
Tomate	+86,76	-41,46	-41,46	+411,74	+6.132,82