



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL
PROGRAMA INTERFACULTADES

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA RECUPERACIÓN DE LA LAGUNA DE ACULEO

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para
optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental

CÉSAR RIVAS VICENCIO

Profesora Guía: PILAR BARRÍA SANDOVAL, Ph. D.

Santiago de Chile
2019



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL
PROGRAMA INTERFACULTADES

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magister en Gestión y Planificación Ambiental.

Profesora Guía

Nombre: Pilar Barría Sandoval

Nota: 7,0.

Firma

Profesor Consejero

Nombre: Cristián Chadwick Irarrázaval

Nota: 7,0.

Firma

Profesora Consejera

Nombre: Ana María Sancha Fernández

Nota: 5,9

Firma

Santiago, Chile
2019

Dedicado a mi madre que con su ejemplo me enseñó el sentido del propósito

*Progress is a message that we send;
One step closer to the future, one inch closer to the end.*

*I say progress is the synonym of time,
We are all aware of it, but it's nothing we refine.
And progress is the debt we all must pay,
Its convenience we all cherish, its pollution we disdain...*

...Progress, 'til there's nothing left to gain.

Progress, Bad Religion, No Control, 1989

*Extinction, degradation, the natural outcomes of our ordered lives,
Power, motivation; temporary fixtures for which we strive.
Something in our synapses assures us we're ok,
but in our disequilibrium, we simply cannot stay.
It's entropy, it's not a human issue, entropy, it's matter of course.*

Entropy, Bad Religion, Against the Grain, 1990

*When I look back and think,
When I ponder and ask Why?
I see my ancestors spend with careless abandon,
assuming eternal supply.*

Modern Man, Bad Religion, Against the Grain, 1990

AGRADECIMIENTOS

A mi profesora guía la Dra. Pilar Barría S. por su gran dedicación y apoyo en este proceso y a todo el equipo del proyecto FIC-R 2017 código BIP 40002646-0, especialmente al Dr. Cristian Chadwick por sus gentiles comentarios y observaciones, las que me permitieron mejorar enormemente este trabajo. También agradezco a Pablo Vivero y Jonás Valdivieso por toda su colaboración.

A Pablo García-Ch. por haberme invitado a participar en este proyecto y por facilitarme el material para comenzar a desarrollar esta tesis.

A toda mi familia por su gran apoyo, paciencia y comprensión, especialmente en los momentos difíciles. A mi madre, mi padre, hermanos, suegros, familiares, amigos y especialmente a mi mujer e hijo que se llevaron la parte más pesada de este proceso.

A mis colegas de Mejores Prácticas, especialmente a Pablo Baraña, por sus consejos y por todo su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros y profesores del programa MGPA por la gran experiencia que significó haber sido parte del Programa, especialmente a Catalina Garay por su amabilidad y excelente disposición para atender todas mis consultas.

A todas las personas de la comunidad de Aculeo que se dieron el tiempo para compartir sus visiones, opiniones y conocimientos en el marco de esta investigación y, especialmente, a las personas que me permitieron realizar observaciones y registros dentro de sus propiedades. También a las personas que gentilmente respondieron las consultas y cuestionarios que se incluyen en este documento.

Por último, un reconocimiento a todas las personas que buscan la forma de hacer un pequeño aporte a mejorar la calidad del ambiente, la conservación de los hábitats, la biodiversidad y los ecosistemas.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
3.	OBJETIVOS, ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS	7
3.1	Objetivo General	7
3.2	Objetivos Específicos.....	7
3.3	Alcance de la Investigación.....	7
3.4	Hipótesis.....	8
4.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MARCO TEÓRICO	9
4.1	Gestión de Recursos Hídricos	9
4.1.1	Gestión de humedales	12
4.1.2	Gestión de acuíferos	13
4.1.3	Fenómenos de reducción de cuerpos de agua, consecuencias y restauración...17	
4.1.4	Servicios ecosistémicos asociados a humedales y acuíferos	19
4.2	Análisis Multi-Criterio para la Gestión de Recursos Hídricos	22
4.2.1	El enfoque de Análisis Multi-Criterio (AMC).....	23
4.2.2	Técnicas de Análisis Multi-Criterio (AMC) aplicadas en la gestión hídrica.....	26
4.3	Escasez Hídrica	27
4.3.1	Aspectos legales-institucionales para la abordar la escasez hídrica en Chile	30
4.3.2	Respuesta institucional a la escasez hídrica en Aculeo	35
4.4	Visiones respecto a la Problemática de la Laguna de Aculeo	37
4.4.1	Percepción sobre las causas del estado de la laguna de Aculeo.....	37
4.4.2	Percepción sobre los efectos asociados al estado de la laguna de Aculeo	42
4.4.3	Medidas para enfrentar la escasez hídrica y recuperar la laguna de Aculeo	44
5.	MATERIALES Y METODOLOGÍA	50
5.1	Delimitación del Área de Estudio	52
5.2	Descripción Biofísica del Área de Estudio	55
5.2.1	Climatología del área de estudio.....	55
5.2.2	Hidrología e hidrogeología de la cuenca de Aculeo	56
5.2.3	Calidad del agua en la cuenca de Aculeo.....	61
5.2.4	Ecosistemas y medio biótico del área de estudio	62
5.3	Descripción Socioeconómica del Área de Estudio	64
5.3.1	Población de la cuenca de Aculeo	64
5.3.2	Presiones ambientales en la cuenca de Aculeo	64
5.4	Uso de Suelos y Balance Hídrico de la Cuenca de Aculeo	66
5.5	Valoración de Beneficios Asociados a la Recuperación de la Laguna de Aculeo.....	70
5.6	Selección de Propuestas y Determinación de Cursos de Acción para Recuperar la Laguna de Aculeo	73
5.7	Determinación de Criterios de Evaluación en las Dimensiones Ambiental, Social y Económica	74
5.8	Evaluación de Cursos de Acción Orientados a Recuperar la Laguna de Aculeo.....	74

6. RESULTADOS.....	79
6.1 Beneficios Asociados a la Recuperación de la Laguna de Aculeo	79
6.1.1 Estimación de beneficios por abastecimiento de agua para consumo humano...	79
6.1.2 Estimación de beneficios por abastecimiento de agua para la producción agrícola	82
6.1.3 Estimación de beneficios por la recuperación del turismo y las actividades recreativas	83
6.1.4 Estimación de beneficios por la recuperación del valor de las propiedades	84
6.1.5 Estimación de beneficios por la conservación del hábitat de la vida silvestre y la biodiversidad	85
6.2 Selección de Propuestas y Definición de Cursos de Acción	87
6.3 Criterios de Evaluación para la Recuperación de la Laguna de Aculeo	88
6.3.1 Complejidad técnico-legal	89
6.3.2 Riesgos ambientales	90
6.3.3 Impactos negativos	90
6.3.4 Barreras sociales.....	91
6.3.5 Aporte de agua al sistema	93
6.3.6 Viabilidad económica y financiera	94
6.4 Recopilación de Antecedentes sobre los Cursos de Acción	95
6.4.1 Recarga artificial del acuífero.....	96
6.4.2 Mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación y disminución de consumo de agua por riego de césped.....	107
6.4.3 Cambio de uso de suelo en cultivos y sustitución de césped.....	116
6.4.4 Reducción de extracciones	123
6.4.5 Reutilización de aguas grises	128
6.5 Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico	135
6.6 Balance Hídrico de la Laguna de Aculeo incorporando los Cursos de Acción.....	142
7. DISCUSIÓN.....	146
7.1 Usos del Suelo y Balance Hídrico de la Cuenca de Aculeo	146
7.2 Valoración de Beneficios.....	147
7.3 Aspectos sobre los Criterios de Evaluación.....	150
7.4 Cursos de Acción	152
7.5 Aplicabilidad del Método de Evaluación al Caso de Estudio	156
8. CONCLUSIONES.....	158
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	163
10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS	175
11. GLOSARIO	177
12. ANEXOS	181
Anexo 1. Derechos de Aprovechamiento de Aguas en la Cuenca de Aculeo.....	181
Anexo 2. Entrevistas realizadas en el marco del AVGC promovido por la ASCC.....	183
Anexo 3. Cuestionarios a Expertos y Actores Clave	195
Anexo 4. Memoria de Cálculo de Beneficios asociados a la Recuperación de la Laguna de Aculeo	210

a)	Abastecimiento de agua para consumo humano.....	211
b)	Abastecimiento de agua para la producción agrícola	211
c)	Recuperación del turismo y las actividades recreativas	212
d)	Recuperación del valor de las propiedades.....	212
Anexo 5. Selección de Propuestas para la Recuperación de la Laguna de Aculeo		215
Anexo 6. Evaluación de Cursos de Acción		217
Anexo 7. Matrices de Aplicación de la Técnica AHP		222
Anexo 8. Balance Hídrico para Escenarios de Aplicación de Medidas		226

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Servicios Ecosistémicos proporcionados o derivados de los humedales	21
Tabla 2. Servicios Ecosistémicos y Métodos de Valoración Económica	72
Tabla 3. Valores del índice de aleatoriedad de Saaty	77
Tabla 4. Criterio 1 Complejidad Técnico-Legal.....	90
Tabla 5. Criterio 2 Riegos Ambientales	90
Tabla 6. Criterio 3 Impactos Negativos.....	91
Tabla 7. Barreras sociales a la adaptación.....	92
Tabla 8. Criterio 4 Barreras Sociales	93
Tabla 9. Criterio 5 Aporte de Agua al Sistema.....	94
Tabla 10. Criterio 6 Impactos Negativos	95
Tabla 11. Eficiencias de aplicación de referencia.....	109
Tabla 12. Consumo domiciliario en la cuenca de Aculeo	134
Tabla 13. Evaluación de cursos de acción para recuperar la laguna de Aculeo.....	141
Tabla 14. Estimación del volumen potencial de aporte de agua al sistema por aplicación del conjunto de medidas	142
Tabla 15. Lista de DDA superficiales y subterráneos en la cuenca de Aculeo	181
Tabla 16. Entrevistas a la comunidad de Aculeo y a los actores clave.....	184
Tabla 17. Respuestas al Cuestionario a Expertos y Actores Clave	195
Tabla 18. Usos de suelo para los periodos 2006, 2012 y 2018.....	210
Tabla 19. Parámetros de consumo hídrico de la Cuenca de Aculeo para el periodo 2018	210
Tabla 20. Área, Volumen y altura de la laguna de Aculeo.....	210
Tabla 21. Costos de reparto para camiones aljibe	211
Tabla 22. Costos de los sistemas y fuentes de abastecimiento	211
Tabla 23. Parámetros de cálculo para beneficios por abastecimiento de agua para uso agrícola	211
Tabla 24. Parámetros de cálculo para beneficios por recuperación del turismo.....	212
Tabla 25. Valor de parcelas de Agrado en la comuna de Paine	212
Tabla 26. Superficie de Parcelas de Agrado en la cuenca de Aculeo.....	214
Tabla 28. Justificación del incumplimiento de criterios de selección de propuestas.....	215
Tabla 29. Costo de DAA en la cuenca del río Maipo RMS (2019)	217
Tabla 30. Parámetros económicos para la Recarga Artificial del Acuífero	217
Tabla 31. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Recarga Artificial del Acuífero	218
Tabla 32. Parámetros económicos para la Mejora de Eficiencia de los Sistemas de Irrigación.....	218
Tabla 33. Costo del traspaso de DAA por Mejora de Eficiencia de los Sistemas de Irrigación	218
Tabla 34. Inversión en Mejora de Eficiencia de los Sistemas de Irrigación	218
Tabla 35. Costos de Operación y Mantenimiento de los Sistemas de Irrigación	219
Tabla 36. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Mejora de Eficiencia de los Sistemas de Irrigación.....	219
Tabla 37. Parámetros económicos para la Disminución del Consumo de Agua por Riego de Césped en Parcelas de Agrado	219
Tabla 38. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Disminución del Consumo de Agua por Riego de Césped en Parcelas de Agrado.....	220
Tabla 39. Parámetros económicos para el Cambio de Uso de Suelo en Cultivos	220

Tabla 40. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera del Cambio de Uso de Suelo en Cultivos.....	220
Tabla 41. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Sustitución de Césped en Parcelas de Agrado.....	220
Tabla 42. Parámetros económicos de la Reducción de Extracciones	220
Tabla 43. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Reducción de Extracciones	221
Tabla 44. Parámetros económicos de la Reutilización de Aguas Grises	221
Tabla 45. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Reutilización de Aguas Grises	221
Tabla 46. Ponderaciones para Criterios y subcriterios AHP.....	222
Tabla 47. Matriz de Ponderaciones para Criterios de Evaluación.....	223
Tabla 48. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 1: Complejidad Técnico-Legal.....	223
Tabla 49. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 2: Riesgos Ambientales	223
Tabla 50. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 3: Impactos Negativos.....	224
Tabla 51. Matriz de Ponderaciones para el Criterio Barreras Sociales	224
Tabla 52. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 5: Aporte de Agua al Sistema	225
Tabla 53. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 6: Viabilidad Técnico-Económica.....	225
Tabla 54. Volumen embalsado en la laguna de Aculeo en cinco escenarios	226

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imágenes Satelitales de la Laguna de Aculeo 2009-2019.....	2
Figura 2. Modelo conceptual sistema cuenca laguna de Aculeo.....	52
Figura 3. Delimitación del área de estudio.....	53
Figura 4. Clasificación de usos de suelo en la localidad de Aculeo	66
Figura 5. Volúmenes afluentes anuales a la cuenca	67
Figura 6. Extracciones volumétricas anuales de agua en la cuenca de Aculeo.....	68
Figura 7. Volumen almacenado, afluentes y extracciones anuales de la laguna de Aculeo.....	69
Figura 8. Resumen de Criterios y Subcriterios de Evaluación	89
Figura 9. Ponderación de los criterios de evaluación de los cursos de acción	136
Figura 10. Puntuaciones para la recarga artificial del acuífero.....	137
Figura 11. Puntuaciones para la mejora de la eficiencia de los sistemas de irrigación en cultivos	137
Figura 12. Puntuaciones para la disminución de consumo de agua por riego de césped	138
Figura 13. Puntuaciones para el cambio de uso de suelo en cultivos.....	138
Figura 14. Puntuaciones para la sustitución de césped	139
Figura 15. Puntuaciones para la reducción de extracciones	139
Figura 16. Puntuaciones para la reutilización de aguas grises	140
Figura 17. Priorización de Cursos de Acción.....	141
Figura 18. Modelación del volumen de agua embalsado en la laguna de Aculeo en diferentes escenarios.....	144
Figura 19. Diferencias en el volumen de agua embalsado en la laguna de Aculeo para escenarios evaluados.....	144

RESUMEN

La *megasequía* experimentada en Chile a partir del año 2010 ha significado una importante disminución de las precipitaciones y de los reservorios de agua en la zona central del país. Conjuntamente, los modelos climáticos proyectan menores precipitaciones, veranos más calurosos y mayores tasas de evapotranspiración. Las medidas de adaptación y gestión sobre los recursos hídricos, la toma de decisiones y los mecanismos de participación serán fundamentales para enfrentar futuros escenarios de restricciones de consumo de agua y tensiones sociales como consecuencia de una mayor presión y competencia por el acceso a los recursos hídricos. La laguna de Aculeo en la Región Metropolitana de Santiago (RMS), Chile, solía tener alrededor de 12 km² de superficie y una profundidad de más de 6 metros. En la última década ha experimentado un dramático deterioro, marcado por un sostenido descenso de sus niveles, desapareciendo completamente en el verano de 2018. En la presente investigación se valoraron beneficios asociados a la recuperación de los niveles históricos, en términos de área y volumen, de la laguna de Aculeo, se seleccionaron propuestas para enfrentar la escasez hídrica, se definieron criterios de evaluación y se aplicó la técnica de Análisis Multi-Criterio denominada Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) para priorizar diversos cursos de acción, con el objetivo de contribuir al proceso de toma de decisiones. Se concluye que, si bien no es posible recuperar los niveles de la laguna de Aculeo previos a la *megasequía*, es posible llevar a cabo una recuperación parcial, mediante diversas medidas que apuntan principalmente a reducir la demanda hídrica en la cuenca y otorgar mayor seguridad hídrica al abastecimiento de agua para diversos usos, reduciendo la presión sobre los recursos hídricos y permitiendo la conservación de ecosistemas claves.

Palabras clave: Laguna de Aculeo, Reducción de Humedales Lacustres, Gestión Hídrica, Escasez Hídrica, Análisis Multi-Criterio, Proceso Analítico Jerárquico.

ABSTRACT

The mega-drought that Chile has experienced since 2010 has meant a major decrease in rainfall and water reservoirs in the central zone of the country. In addition, climate models projects lower rainfall, hotter summers and higher evapotranspiration rates. Adaptation and management measures on water resources, decision making, and participation mechanisms will be fundamental to face future scenarios of restricted water consumption and social unrest because of greater pressure and competition for access to water resources. '*Laguna de Aculeo*', a lake located in '*Región Metropolitana de Santiago*', Chile, used to have a surface around 12 km² and more than six meters depth. In the last decade, it has experienced a dramatic deterioration, marked by a sustained decline in its levels, desiccating completely in the summer of 2018. In the present research, benefits associated with the recovery of the historical levels, in terms of surface and volume, of '*Laguna de Aculeo*' were evaluated; proposals were selected to face water scarcity, evaluation criteria were defined and the Multi-Criteria Analysis technique named Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied to prioritize several action courses, with the aim of contributing to the decision-making process. Although, it is not possible to recover pre-mega-drought '*Laguna de Aculeo*' levels, it is possible a partial recovery through measures that aim mainly at reducing water demand in the basin and granting water security for several uses, reducing the pressure on water resources and allowing the preservation of key ecosystems.

Key words: Laguna de Aculeo, Lacustrine Wetland Shrinkage, Water Management, Water Scarcity, Multi-Criteria Analysis, Analytic Hierarchy Process.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a investigaciones recientes, 4.000 millones de personas viven bajo condiciones de severa escasez hídrica al menos un mes al año en el mundo (Mekonnen y Hoekstra, 2016). En el futuro se espera que las presiones existentes sobre los recursos hídricos se exacerbén debido al crecimiento demográfico, la expansión económica y el cambio climático (Goling y Arnell, 2013).

En Chile, la *megasequía* experimentada a partir del año 2010 (Boisier y otros, 2016) ha significado importantes impactos en la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales, generando efectos adversos en diversos humedales de la zona central del país (30-38° S). El volumen de agua almacenado en diferentes reservorios ha disminuido de manera dramática en la presente década (Garreaud y otros, 2017). La laguna de Aculeo, localizada en la comuna de Paine, Región Metropolitana de Santiago (RMS), es uno de los ejemplos que ha trascendido a nivel nacional e internacional, evidenciando un rápido deterioro durante la última década. Mientras que en el año 2010 su espejo de agua se extendía en un área de 12 km², en febrero de 2018 desapareció completamente (Garreaud, 2019). La Figura 1 presenta la evolución de la laguna de Aculeo a través de imágenes satelitales durante el periodo 2009-2019.

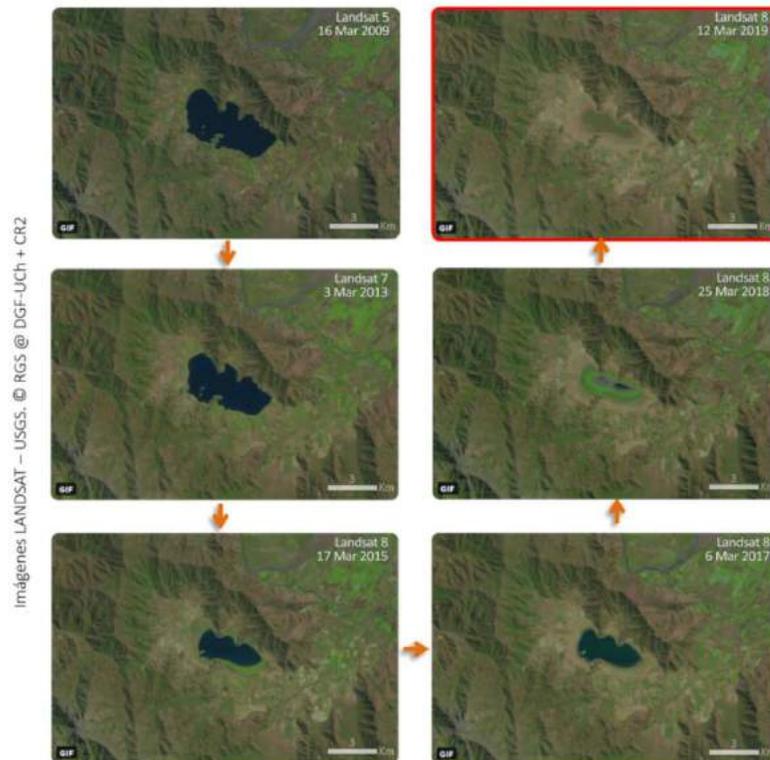


Figura 1. Imágenes Satelitales de la Laguna de Aculeo 2009-2019¹

La reducción constante del nivel de la laguna de Aculeo se atribuyó de manera preliminar a los siguientes factores (Universidad de Chile, 2017):

1. Disminución significativa de las precipitaciones en la cuenca (*megasequía*);
2. Incremento de las tasas de evapotranspiración (por aumento de las temperaturas);
3. Aumento de la extracción de aguas superficiales directamente desde la laguna y de sus afluentes (como consecuencia de la reducción de las precipitaciones);
4. Aumento de la extracción de agua de las napas freáticas a lo largo del valle de Aculeo, las que tendrían conexión hidráulica con la laguna.

¹ Fuente: artículo ¿Adiós a la laguna de Aculeo?, Rene Garreaud S., CR2, 18 de abril de 2019.

Algunos de los efectos negativos de la reducción del espejo de agua de la laguna de Aculeo y de los niveles del acuífero identificados preliminarmente son:

- Cortes y aumento de costos del abastecimiento de agua para consumo humano y agua de riego para la agricultura (Municipalidad de Paine, 2019 a y c).
- Depresión del sector turístico, mediante la reducción de la cantidad de visitantes, mermando los ingresos de la economía local (Cooperativa, 2018).
- Deterioro del paisaje y pérdida del valor de las propiedades (Cerdeira, 2018).
- Imposibilidad de realizar las actividades deportivas y recreativas que tradicionalmente se llevaban a cabo en la laguna de Aculeo (Charpentier, 2019).
- Pérdida del hábitat para múltiples especies (CR2, 2017).
- Conflictos sociales en torno a las causas del problema y la manera de enfrentarlo (Silva, 2017).

Las proyecciones climáticas para la zona central de Chile prevén que las precipitaciones disminuirán, mientras que la temperatura y, por lo tanto, las tasas de evapotranspiración se elevarán (Escenarios Hídricos 2030 Chile, 2018). Es probable que el consumo hídrico en la cuenca siga incrementándose debido al crecimiento de la población, el desarrollo inmobiliario y el sostenido aumento internacional en la demanda de alimentos (Conijna y otros, 2018).

2. DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La persistencia de la sequía y el aumento de la demanda por recursos hídricos podrían agravar la escasez hídrica y deteriorar aún más el sistema hidrológico de la cuenca de Aculeo, añadiendo problemas nuevos, tales como: la subsidencia de terrenos (por compactación del acuífero), el deterioro de la calidad del agua y la erosión de los suelos.

La sequía tiende a aumentar la presión sobre las aguas subterráneas pudiendo llevar a un uso insustentable del acuífero o a su sobreexplotación, es decir, a una situación en la que la extracción supera la recarga del acuífero por un tiempo prolongado, percibiéndose consecuencias negativas. A lo anterior, se suma el hecho de una menor recarga producto de la disminución sostenida en las precipitaciones. En casos como este el agua es minada y se convierte en un recurso no renovable (Jakeman y otros, 2016).

Una de las principales razones que justifican la evaluación de alternativas para recuperar la laguna de Aculeo se relaciona con el aumento de agua almacenada en el acuífero, lo que permite aumentar la seguridad hídrica de las actividades productivas y socioeconómicas que se llevan a cabo en la cuenca de Aculeo, incluyendo la moderación de efectos adversos por futuras sequías. A pesar de que, en principio, la mayor parte de las personas podría concordar con el objetivo de contar con mayores reservas de agua en la cuenca, determinar qué medidas deben llevarse a cabo para lograr este objetivo es sumamente complejo en la práctica.

A menudo la gestión de recursos hídricos se enmarca en lo que se denomina “*problemas insolucionables*”², donde cada problema es único, no hay una definición clara ni lógica del problema, el problema no tiene una resolución final, cada problema puede considerarse el síntoma de otro problema distinto y cada problema involucra criterios y objetivos múltiples que entran en conflicto entre sí. Las soluciones afectan a diversos componentes del sistema, por lo que una “solución” para una parte interesada, puede ser un “problema” para otra (Rittel y Webber, 1973).

La diversidad de valores e intereses que coexisten en el entorno social en el que se produce la escasez hídrica, hace improbable determinar una solución óptima al problema. En su lugar se plantea la posibilidad de mejorar las condiciones que actualmente prevalecen en la cuenca, mediante un análisis de los aspectos positivos y negativos de diferentes cursos de acción, posibilitando la materialización de acuerdos y la determinación de objetivos comunes en torno a prevenir que los impactos negativos de la escasez hídrica sigan agravándose y generando mayores situaciones de conflicto y deterioro ambiental, social y económico en la localidad de Aculeo.

En este estudio se han planteado preguntas como ¿Qué medidas pueden implementarse para recuperar la laguna de Aculeo? ¿Qué criterios deben cumplir estas medidas? y ¿Cómo determinar las medidas que deben priorizarse?

La evaluación de cursos de acción se basa en la aplicación de una metodología que permite incorporar múltiples criterios, incluyendo las preferencias de la comunidad y de los tomadores de decisión. En esta evaluación se utiliza la técnica denominada Proceso

² Del inglés “*wicked problems*” que también se traduce como “*problemas retorcidos*”.

Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés³), la que ha sido ampliamente utilizada en la gestión de recursos naturales, debido a que es relativamente fácil de aplicar, de comprender y de interpretar y puede complementarse con otros métodos como, por ejemplo, el Análisis Costo-Beneficio (ACB) (Schmoldt y otros, 2001). Lo anterior, la convierte en una herramienta de gran utilidad en el apoyo a la toma de decisiones.

El objetivo de la presente investigación es hacer una identificación, revisión y evaluación preliminar de las propuestas existentes para recuperar los niveles históricos de la laguna de Aculeo. Esta evaluación de cursos de acción permitirá priorizar un conjunto de medidas para ser evaluadas en mayor profundidad, mediante estudios de prefactibilidad o factibilidad técnico-económica.

³ Analytic Hierarchy Process.

3. OBJETIVOS, ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo General

Priorizar cursos de acción para recuperar los niveles históricos de la laguna de Aculeo en términos de área y volumen de agua mediante criterios ambientales, sociales y económicos.

3.2 Objetivos Específicos

- Valorar los principales beneficios asociados a la recuperación de los niveles históricos de la laguna de Aculeo.
- Seleccionar propuestas orientadas a recuperar los niveles históricos de la laguna de Aculeo.
- Determinar criterios de evaluación de cursos de acción en las dimensiones ambiental, social y económica.
- Evaluar cursos de acción orientados a recuperar los niveles históricos de la laguna de Aculeo.

3.3 Alcance de la Investigación

Los cursos de acción para recuperar la laguna de Aculeo se evaluarán a partir de los resultados de caracterización hidrogeológica, uso de suelo y balance hídrico para la

cuenca de Aculeo, realizadas en el marco del proyecto FIC-R 2017, Código BIP 40002646-0. El que, en adelante, se denominará FIC-Aculeo⁴.

En este estudio se consideró que los niveles históricos de la laguna de Aculeo corresponden a un área o espejo de agua de 12,44 km² y un volumen de agua embalsada de aproximadamente 42 millones de m³ de acuerdo al modelo “Geometría laguna Aculeo” determinado por el estudio DCE-DGA (1987).

3.4 Hipótesis

Es posible recuperar y mantener los niveles históricos de la laguna de Aculeo mediante cursos de acción dentro del marco regulatorio e institucional vigente.

⁴ Proyecto FIC-R 2017 Código BIP 40002646-0 “*Caracterización del consumo hídrico y del sistema hidrogeológico en la cuenca de Aculeo, determinación de posibles soluciones y campaña de educación ambiental*”, adjudicado a la Facultad de Ciencias Forestales y de Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile por el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) del Gobierno Regional Metropolitano.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MARCO TEÓRICO

4.1 Gestión de Recursos Hídricos

La gestión de recursos hídricos opera en el ambiente humano, el que presenta determinadas características sociales, políticas, culturales y económicas, por tanto, debe responder a múltiples objetivos y realizar compensaciones entre las demandas por el uso de los recursos hídricos y su sostenibilidad, considerando también la protección del ambiente. La gestión de recursos hídricos se traduce en una serie de problemas complejos con múltiples “grupos de interés” y “tomadores de decisión” que muchas veces tienen objetivos e intereses contrapuestos, cambiantes y multifacéticos.

En el ambiente humano existen factores socioeconómicos y de comportamiento subyacentes que influyen en la adopción prácticas y tecnologías para la gestión de recursos hídricos. La demanda por el uso de recursos hídricos es determinada por las condiciones prevalentes del mercado, las políticas económicas y en menor grado por los valores sociales⁵. Todo lo cual da forma a la evolución de la institucionalidad y su configuración (Jakeman y otros, 2016).

Para llevar a cabo una gestión eficaz de los sistemas hidrológicos, es necesario una comprensión de cómo el entorno humano se relaciona directa e indirectamente con estos. En muchos casos, las presiones ejercidas por los factores socioeconómicos dependen de políticas no relacionadas directamente con el agua, tales como el

⁵ Algunos de estos “factores” sociales incluyen, por ejemplo, la “preocupación” por los ecosistemas y las futuras generaciones.

desarrollo urbano, agrícola y/o energético. Asimismo, las dinámicas hídricas están influenciadas por el mercado global, los cambios tecnológicos y culturales.

En muchos países la gestión de recursos hídricos ha migrado hacia un enfoque “integrado”. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) se define como un proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinados de las aguas subterráneas y superficiales, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2011).

La GIRH apunta a lograr un equilibrio económico, social y ambiental sobre distintas escalas espaciotemporales, con el fin de maximizar el bienestar social, económico y de los ecosistemas, los que también se reconocen como usuarios del agua (Monsalve y Urrutia, 2005). El enfoque se aplica mediante una perspectiva sistémica y holística, donde cada actor reconoce que el uso y aprovechamiento del recurso debe realizarse sin el menoscabo de las posibilidades de satisfacer las necesidades de otros usuarios ni el deterioro acelerado de los ecosistemas. Por esta razón, la GIRH incorpora la flexibilidad y adaptabilidad como principios fundamentales.

Uno de los aspectos claves en la GIRH es la “gobernanza” la que comprende la promoción de la acción colectiva y responsable para asegurar el control, protección y la utilización socialmente sostenible de los recursos hídricos. La gobernanza se ve facilitada por el marco legal y regulatorio, el conocimiento y la conciencia de los desafíos en términos de sostenibilidad, la efectividad de las instituciones, las políticas y programas y la alineación de objetivos sociales con las estructuras financieras y de incentivos.

La gobernanza de las aguas subterráneas y superficiales es compleja y requiere coordinación a través de múltiples escalas espaciotemporales, sectores económicos y niveles administrativos (Schlager y Blomquist, 2008). Se han identificado cinco tipos de instrumentos para la gobernanza de los recursos hídricos (Kaufmann-Hayoz y otros, 2011):

- Instrumentos de comando y control: corresponden a estándares normativos, licencias y zonas de manejo. Estas herramientas apuntan a mejorar el comportamiento de un grupo objetivo, mediante la intervención estatal.
- Instrumentos económicos: corresponden a impuestos, subsidios, mercados del agua, entre otros, los que influyen las opciones microeconómicas de los agentes hacia “estados deseables”, mediante el ejercicio de influencias en los costos y beneficios de las posibles acciones.
- Acuerdos colaborativos: tiene como foco fortalecer la cooperación entre los usuarios de los recursos hídricos, mediante la mejora de las motivaciones no económicas (altruismo, reciprocidad, confianza y la preocupación por las futuras generaciones, entre otros).
- Instrumentos de comunicación y difusión: permiten distribuir la información y mejorar el conocimiento, las actitudes y/o motivaciones de los individuos, apoyando el proceso de toma de decisiones.
- Instrumentos de inversión: se orientan a mejorar la gestión de los recursos hídricos mediante proyectos de infraestructura, obras hidráulicas, entre otros.

Los sistemas hidrológicos y sociales, en conjunto con las interacciones e interrelaciones existentes entre estos, están sujetos a un amplio rango de incertidumbres en función de información y conocimiento limitado (Jakeman y otros, 2016). Idealmente, los tomadores

de decisión deberán desarrollar estrategias e instituciones que combinen los instrumentos de manera efectiva para obtener los resultados ambientales, sociales y económicos deseados o que se consideren aceptables por la comunidad y los diversos grupos de interés que componen el *sistema hidrosocial*, un sistema en el que no se ignora el “factor humano”, sino que las acciones antropogénicas se consideran parte integral del ciclo hidrológico y sus dinámicas (Sivapalan y otros, 2011).

4.1.1 Gestión de humedales

La Convención Ramsar entró en vigor en 1975 y tiene como objetivo “la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y en base a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo”. La Convención Ramsar proporciona una amplia definición de los humedales, los que corresponden a “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. La Convención Ramsar ha clasificado los humedales en 42 tipos, incluyendo lagos permanentes de agua dulce de más de 8 ha.

En Chile el Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales de la Ley N° 20.283, dictado por Decreto N° 82 de 2010 del Ministerio de Agricultura, estableció en su artículo 2 letra I), que para efectos de dicho reglamento, se entenderán como humedales los: “Ecosistemas asociados a sustratos saturados de agua en forma temporal o permanente, en los que existe y se desarrolla biota acuática y, han sido declarados Sitios Prioritarios de Conservación, por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, o sitios Ramsar. Para

efectos de delimitación, se considerará la presencia y extensión de la vegetación hidrófila. Tratándose de ambientes que carezcan de vegetación hidrófila se utilizará, para la delimitación, la presencia de otras expresiones de biota acuática”. Para la legislación chilena la caracterización de un humedal depende de la existencia de un acto de autoridad, que lo declare Sitio Ramsar o Sitio Prioritario de Conservación (Amstein, 2016).

En Chile, los humedales pueden estar protegidos dentro de distintas categorías, las que corresponden a: (i) Sitio Ramsar; (ii) Reserva Nacional, Parque Nacional o Monumento Natural; (iii) Santuario de la Naturaleza; (iv) Sitio Prioritario de Conservación; y (v) Parques y Reservas Marinas. Las categorías de protección restringen la realización de proyectos y/o actividades en los humedales o en áreas próximas a estos.

En caso que el humedal no se encuentre bajo ninguna categoría de protección, la realización de proyectos y actividades está sujeta a las normas previstas en la legislación. Es decir, la evaluación, mitigación, compensación y reparación formal de los impactos ambientales de los proyectos y/o actividades, dependerá de su ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

4.1.2 Gestión de acuíferos

Un acuífero es un sistema de sedimentos granulares que albergan agua subterránea; es continuo y está limitado por barreras topográficas o litológicas. Las aguas subterráneas son frecuentemente sometidas a niveles de explotación y agotamiento insostenibles debido a su característica de bienes comunes, es decir, los usuarios individuales no pueden excluir a otros (Ostrom, 1990). Incluso, en el caso de que los usuarios

individuales colaboren, estos no serán capaces de gestionar todos los impactos remotos de la extracción de agua.

De acuerdo a la recopilación realizada por Custodio (2002) los efectos negativos de la explotación de acuíferos son: (i) la progresiva disminución del nivel freático, con un incremento de los costos de explotación; (ii) la disminución progresiva de las descargas a cursos de agua superficiales y la reducción del área de humedales como consecuencia de la compensación entre la recarga y la extracción; (iii) la modificación del patrón de flujo de aguas subterráneas lo que puede favorecer la infiltración de aguas contaminadas; (iv) cambios en la calidad del agua y (v) disminución de la presión de los poros, lo que resulta en subsidencia del terreno donde los sedimentos no están consolidados.

Todos los lagos presentan interacción con las aguas subterráneas, conformando un mismo sistema hidrológico. El acuífero representa la mayor interfase con la que interactúa el lago. La superficie del lago en contacto con la atmósfera es mucho menor que la interfase con las aguas subterráneas en el lecho o álveo del lago. El espejo de agua de un lago corresponde a una intersección del nivel freático con la superficie terrestre (O'Sullivan y Reynolds, 2004).

Las potenciales fuentes de agua de un lago son: (i) precipitación directa, (ii) flujos superficiales de entrada (ríos, esteros, arroyos, entre otros) y (iii) recarga de aguas subterráneas. Las pérdidas de agua ocurren por (i) evaporación, (ii) flujos superficiales de salida, (iii) descarga de aguas subterráneas. La componente del sistema hidrológico que puede ser medida con menor incertidumbre es la escorrentía superficial, siendo los

métodos de cuantificación de los componentes atmosféricos y subterráneos mucho menos precisos y difíciles de predecir (O'Sullivan y Reynolds, 2004).

Dillon y otros (2012) establece que un acuífero puede ser llevado al equilibrio hidrológico de dos maneras, reduciendo la extracción y/o aumentando la oferta de recursos hídricos. Generalmente, los criterios para definir las acciones a seguir se enfocan en costos y beneficios económicos, hasta que el volumen demandado es reducido o el suministro es incrementado para abastecer un determinado déficit. Invariablemente, las estrategias que apuntan a incrementar la eficiencia hídrica se encuentran entre las alternativas más económicas a implementar (Dillon y otros, 2016).

Diversos autores han apuntado a que la mejora de eficiencia, especialmente en la agricultura, no siempre se traduce en una disminución del consumo global del recurso, pudiendo ocurrir el “*efecto rebote*” o “*paradoja de Jevons*” que establece que la mejora en la eficiencia en el uso de un recurso resulta en una mayor explotación de este por el conjunto de la sociedad. Dumont y otros (2013) concluyeron en un estudio realizado en España, que la modernización de prácticas de irrigación pudiese derivar en un “efecto rebote”, entre otras múltiples posibilidades.

Por otra parte, los ciclos hidrológicos pueden ser alterados significativamente por los cambios de uso de suelo. El cambio de uso de suelo influye en la recarga del acuífero y en la cantidad de contaminantes producidos de manera puntual o difusa. El cambio en la cobertura vegetal altera significativamente los patrones de evapotranspiración. Algunas prácticas agrícolas, como el arado, aumentan la permeabilidad de los suelos superiores, lo que facilita la infiltración más allá de la captura de la zona de la raíz. Alternativamente, la compactación del suelo como consecuencia del uso de maquinaria

pesada puede reducir la infiltración y aumentar la escorrentía superficial (Steuer y Hunt, 2001).

La urbanización influencia el régimen del flujo subsuperficial y la calidad del agua de tres maneras. El incremento en las superficies impermeables resulta en:

- i. Reducción de la infiltración y la recarga;
- ii. Reducción de la evapotranspiración; y
- iii. Posibles incrementos en la extracción de aguas subterráneas por las actividades comerciales e industriales y domicilios que construyen pozos y utilizan el agua para regar prados y jardines.

La recarga de un acuífero es espacial y temporalmente compleja, generalmente sigue un flujo descendente, pero puede también presentar flujos laterales en el caso de interacciones con acuíferos vecinos o con la superficie de cuerpos de agua tales como ríos o lagos (De Vries y Simmers, 2002). En el último caso, la dirección del flujo puede cambiar dependiendo de la temporada o la localización y está principalmente controlada por el gradiente de la columna de agua, la diferencia en la altura en el nivel freático del acuífero y el cuerpo de agua (Sophocleous, 2002). La recarga del acuífero se afectará principalmente por los cambios en los patrones de precipitación y el cambio de uso de suelos, especialmente cuando se sustituye vegetación nativa por cultivos agrícolas, ocurriendo cambios en la recarga asociados al desarrollo de sistemas de irrigación, lo que favorecerá la recarga si el suministro de agua es importado.

En el caso de acuíferos degradados las causas y efectos pueden pasar desapercibidos por un amplio periodo de tiempo, debido a que generalmente existe un retardo intrínseco

entre las acciones en un acuífero y sus resultados. En algunos sistemas los efectos de la sobreexplotación de las aguas subterráneas o la deficiente gestión del suelo no serán evidentes en la cantidad y/o calidad de las aguas durante años e incluso décadas. Este fenómeno también aplica a la recuperación de los acuíferos, donde incluso si la extracción se reduce a límites sostenibles, pueden pasar muchos años antes de que los efectos se puedan apreciar en la superficie terrestre (Jakeman y otros, 2016).

4.1.3 Fenómenos de reducción de cuerpos de agua, consecuencias y restauración

Los procesos naturales que determinan las tasas de desecación de un cuerpo de agua como un lago son, generalmente, lentos. Sin embargo, la intervención antrópica ha incrementado la velocidad en la que estos fenómenos ocurren (Choiński y otros, 2012).

A partir de mediados del siglo XX, comenzó a verificarse una degradación y reducción de lagos en diversos lugares del mundo y a gran escala. Uno de los casos más conocidos es el del Mar de Aral, localizado en Asia Central, en la frontera entre Kazajistán (al norte) y Uzbekistán (al sur), cuya superficie se ha reducido drásticamente a partir de 1960 (Micklin, 1988). La reducción del Mar de Aral ha sido calificada como uno de los mayores desastres ambientales de la historia reciente y ha dado lugar al fenómeno conocido como "*Síndrome del Mar de Aral*", el que se caracteriza por un daño a los paisajes naturales como resultado de la implementación de intervenciones de gran escala a los sistemas hidrológicos; tales como: desvíos de caudales, construcción de embalses e implementación de grandes sistemas de irrigación (Lüdeke y otros, 2004). Algunos ejemplos adicionales de este "síndrome" son: el Lago Walker en Nevada, Estados

Unidos (Beutel y otros, 2001), los lagos de la llanura de Jiangnan en China (Jingyun y otros, 2005), y el Lago Jelenino en Polonia (Choiński y otros, 2012).

El desastre del Mar de Aral es ilustrativo por dos aspectos. Primero por la subvaloración que los expertos realizaron sobre las consecuencias negativas de desviar los afluentes que alimentaban el cuerpo de agua, las que terminaron siendo catastróficas en términos, ambientales, sociales y económicos; y por la extrema complejidad inherente a la restauración de un cuerpo de agua lacustre, una vez que este ha comenzado un proceso de desecación (Micklin, 1988). Las medidas que se han evaluado para restaurar el Mar de Aral se enfocan en la contención del agua mediante diques, la mejora de la eficiencia de irrigación en la cuenca y también, proyectos de recarga artificial (Micklin, 2010). La experiencia respecto a las medidas de restauración, que comenzaron a implementarse hacia finales de la década de 1980 no han sido del todo exitosas y se considera altamente improbable restaurar el Mar de Aral a los niveles que presentaba antes de 1960 (Micklin, 2010).

Como un factor adicional a las intervenciones antrópicas directas, en las últimas décadas, se ha identificado que la reducción de los lagos está ocurriendo, además, como consecuencia de prolongadas sequías, que amenazan los ecosistemas, especialmente en regiones en las que el recurso hídrico está sujeto a importantes presiones. Grandes cuerpos de agua con una alta importancia, ecológica, económica y cultural, tales como el lago Urmia en Irán (Aghakouchak y otros, 2014) y el Mar de Galilea en Israel (Wine y otros, 2019), se están reduciendo de forma drástica y acelerada. Un cuerpo de agua que se reduce presenta un mecanismo de retroalimentación negativa, es decir, un mecanismo que resiste el cambio y promueve la estabilidad. Las pérdidas por evaporación disminuyen significativamente a medida que disminuye el espejo de agua o

área del lago, lo que lleva al sistema hacia un equilibrio. Este fenómeno puede ayudar a mejorar el balance hídrico si se complementa con acciones de restauración y preservación. La restauración de un cuerpo de agua sigue una curva logística, siendo inicialmente rápida, mientras el flujo ingresa al sistema y supera la evaporación y subsecuentemente, aproximándose a cero a medida que la evaporación neta aumenta (Micklin, 2010).

Las consecuencias directas de la reducción de humedales lacustres, para los casos mencionados anteriormente, son el deterioro de la calidad del agua, especialmente por incremento de la salinidad, pérdida del hábitat y la diversidad de especies y pérdidas económicas en sectores asociados a estos, tales como pesquerías, agricultura y turismo, entre otros.

Las medidas de restauración que se han propuesto para contrarrestar la desecación de los lagos, en la literatura citada en esta sección, son básicamente la reducción de la extracción de aguas subterráneas y superficiales y una disminución drástica de las demandas de agua existentes, especialmente en el sector agrícola. A un nivel más general, se ha identificado que se requiere un mayor entendimiento de los factores naturales y antrópicos que intervienen en la desecación de los ecosistemas lacustres y una mayor coordinación e integración de la gestión de recursos hídricos, tanto a nivel público, como a nivel privado.

4.1.4 Servicios ecosistémicos asociados a humedales y acuíferos

El ambiente proporciona bienestar a la sociedad a través de diversas funciones que son necesarias para el sustento de la vida en el planeta y el funcionamiento de la economía.

Para algunos bienes ambientales existen valores de mercado, a partir de los cuales se puede aproximar el valor económico, mientras que para otros bienes o parámetros de calidad ambiental no existen mercados, ni directos, ni relacionados. La valoración económica de los bienes ambientales permite medir no sólo bienes y servicios para los cuales no existe un mercado, sino que además cambios en la calidad de éstos.

El valor económico del ambiente comprende el valor de uso, referido a la utilización directa o indirecta de los recursos provistos por este, y el valor de no uso, referido al valor otorgado por su simple existencia (Morales y otros, 2011). El valor económico del ambiente se determina midiendo los distintos tipos de valor que las personas y la sociedad atribuyen a las distintas formas en que los bienes y servicios ambientales afectan su bienestar.

Los humedales son ecosistemas altamente productivos, que proporcionan una cantidad de bienes y servicios valiosos para la sociedad. La naturaleza de acceso abierto y la característica de bien público de los humedales a menudo resulta en una subvaloración en las decisiones que se relacionan con su uso y conservación (Brander y otros, 2006).

La valoración económica de un humedal permite estimar la relevancia de los costos y beneficios asociados a los componentes, funciones y propiedades de este ambiente desde el punto de vista de los diferentes actores socioculturales afectados, por lo que constituye una herramienta eficaz para una gestión integrada del ecosistema (Morales y otros, 2011). En muchos casos no existen precios de mercado para valorar los diferentes bienes y servicios que proveen los humedales, por lo anterior se utiliza el concepto de Servicios Ecosistémicos. Los que se definen como *“los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas”* (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

En la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio se definieron cuatro categorías de Servicios Ecosistémicos que contribuyen al bienestar humano: abastecimiento, regulación, soporte y culturales. Los Servicios Ecosistémicos proporcionados o derivados de los humedales se presentan en la Tabla 1⁶.

Tabla 1. Servicios Ecosistémicos proporcionados o derivados de los humedales

Categoría	Servicios	Ejemplo
Abastecimiento	Alimentos	Pesca, frutas y cereales
	Agua dulce	Almacenamiento y retención de agua para uso doméstico, agrícola e industrial
	Fibras y combustibles	Producción de madera, turba, forraje
	Bioquímicos	Extracción de medicinas y otros materiales de la biota
	Material genético	Resistencia a patógenos, especies ornamentales y otros
Regulación	Climática	Sumidero de gases de efecto invernadero, influencia en la temperatura local, precipitación y otros procesos climáticos.
	Hidrológica	Recarga y descarga de aguas subterráneas
	Calidad del agua	Retención, recuperación y remoción de excesos de nutrientes y otros contaminantes
	Erosión	Retención de suelos y sedimentos
	Amenazas naturales	Control de inundaciones, protección contra tormentas
	Polinización	Hábitat para polinizadores
Culturales	Espiritual e inspiracional	Fuente de inspiración, valores religiosos y espirituales asociados a los humedales y sus ecosistemas
	Recreacional	Oportunidad para el desarrollo de actividades recreativas
	Estético	Belleza escénica y valor estético derivado de los humedales y sus ecosistemas
	Educacional	Oportunidades para desarrollo de actividades educacionales formales e informales
Soporte	Formación de suelo	Retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica
	Recirculación de nutrientes	Almacenamiento, reciclaje, procesamiento y adquisición de nutrientes

⁶ Fuente: adaptación obtenida del documento *Ecosystems and Human Well-Being Wetlands and Water*, Millenium Ecosystem Assessment, 2005.

Por otra parte, los acuíferos proveen una serie de servicios ecosistémicos. Griebler y Avramov (2015), identifican los siguientes: i) purificación y almacenamiento de agua, conservando su calidad; ii) biodegradación activa de contaminantes antropogénicos e inactivación y eliminación de patógenos; iii) Reciclaje de nutrientes y; iv) mitigación de inundaciones y sequías.

4.2 Análisis Multi-Criterio para la Gestión de Recursos Hídricos

Como se señaló anteriormente, la mayor parte de las políticas y proyectos asociados a los recursos hídricos se caracteriza por presentar diversos objetivos que reflejan los intereses de diferentes individuos y grupos sociales. Frecuentemente, los objetivos y prioridades son antagonistas, por lo que la evaluación y comparación entre políticas, programas y proyectos para la gestión hídrica es una tarea ardua y compleja que no escapa al poder e influencia de los grupos de interés (Hajkowicz y Higgins, 2006).

El enfoque multicriterio es una herramienta desarrollada para apoyar a gestores y tomadores de decisión en la comparación de diversas alternativas utilizando una escala estandarizada de medida. De esta manera, compromete los distintos objetivos tomando en cuenta las preferencias y sesgos de los grupos de interés y tomadores de decisión.

Las bases filosóficas del enfoque multicriterio tienen por objeto proporcionar información sobre la naturaleza de los conflictos entre las distintas posturas declaradas por los grupos de interés y alcanzar un consenso entre estas. Es decir, la evaluación multicriterio no elimina los conflictos existentes, sino que los expone para lograr acuerdos impulsando a los grupos de interés a colaborar, ceder y transar.

El proceso de participación de los grupos de interés es crítico para una gestión efectiva de los recursos hídricos, porque garantiza que se considere, comparta y comprenda una amplia gama de intereses, conocimientos y perspectivas. La participación de los grupos de interés también es un proceso valioso para el aprendizaje mutuo, la reducción de conflictos y la creación de confianzas entre los distintos actores. El compromiso de los grupos de interés ayuda a desarrollar una mejor comprensión de las demandas sobre los recursos hídricos y asimilar de mejor manera la información pública y científica utilizada por los tomadores de decisión. Además, aquellos grupos que son excluidos de las discusiones sobre los recursos hídricos son, a menudo, los menos propensos a aceptar las soluciones propuestas a los problemas.

4.2.1 El enfoque de Análisis Multi-Criterio (AMC)

El Análisis Multi-Criterio (AMC) o Análisis Multi-Objetivo es un marco para clasificar y calificar el rendimiento global de diversas opciones de decisión frente a múltiples objetivos. Alternativamente permite clasificar y calificar múltiples soluciones para un determinado problema, considerando un número determinado de criterios.

Las decisiones son complejas cuando existen conflictos entre los distintos criterios o entre los diferentes grupos de interés. El AMC se aplica especialmente a decisiones importantes, donde las consecuencias son sustanciales, ya que conllevan impactos de largo plazo y afectan a un gran número de personas. En estos casos los errores en la toma de decisiones no pueden remediarse fácilmente.

El enfoque AMC ha tenido una amplia y creciente aplicación en el campo de la gestión hídrica, siendo utilizado extensamente en la evaluación de políticas hídricas, la planificación estratégica y la selección de infraestructuras (Hajkowicz y Collins, 2007). El

AMC mejora la transparencia, auditabilidad y rigor analítico de la toma de decisiones y puede definirse como un modelo de decisión que contiene:

- Una serie de opciones de decisión que requieren ser clasificadas o calificadas por los tomadores de decisión;
- Una serie de criterios, típicamente medibles en diferentes unidades; y
- Una serie de medidas de desempeño a las que se les otorgan ponderaciones o puntajes de acuerdo a los criterios determinados.

Las definiciones básicas para un AMC son:

- Decisión: elección de una de las alternativas posibles para solucionar un problema.
- Alternativas: cada una de las soluciones posibles a un problema, dotadas de ventajas y desventajas.
- Criterios: los distintos aspectos de la realidad que inciden de alguna manera en las ventajas o desventajas de las alternativas disponibles como soluciones al problema.

Los tipos de criterios son:

- Factores: aspectos que aumentan o disminuyen la valoración de una alternativa como solución al problema, pueden ser cuantitativos u ordinales.
- Restricciones: aspectos de la realidad que determinan que alternativas son válidas/aceptables y cuáles no como solución al problema. Las restricciones son siempre binarias.

Los criterios deben estructurarse de acuerdo a los siguientes principios:

- a) Exhaustividad: no falta ningún criterio que permita discriminar las alternativas.
- b) Coherencia: las preferencias globales del decisor son coherentes con las preferencias para cada criterio. Si dos alternativas x e y tienen la misma calificación en todos los criterios, la mejora de x en un criterio implica una preferencia global de x respecto a y .
- c) No redundancia: cuando la supresión de uno de los criterios no implica que el subconjunto de los restantes viole alguna de las propiedades anteriores.

De acuerdo a Linkov (2011) en las últimas décadas ha habido un importante crecimiento del uso de las técnicas de AMC, el que se atribuye a una mayor disponibilidad de información, el incremento de la complejidad en la toma de decisiones y la necesidad de transparencia en estos procesos, la que es demandada tanto por los grupos de interés, como por las regulaciones.

Los métodos de AMC requieren como información de entrada puntuaciones en varias dimensiones asociadas a diferentes alternativas y resultados. Estas puntuaciones se relacionan con pesos relativos a las compensaciones entre las diferentes dimensiones o ponderaciones. Es importante entender que el AMC no es un modelo o método que proporcione una respuesta "correcta", ni tampoco un análisis objetivo que libere a los tomadores de decisión de la responsabilidad de realizar juicios y determinaciones difíciles (Belton y Stewart, 2002).

4.2.2 Técnicas de Análisis Multi-Criterio (AMC) aplicadas en la gestión hídrica

Linkov (2011) realizó un análisis sobre los métodos de AMC utilizados en ciencias ambientales identificando aplicaciones y tendencias. Dentro de las ciencias ambientales identificó que, en el campo de la gestión hídrica, las principales técnicas utilizadas son: la Teoría de la Utilidad/Valor Multi-Atributo (abreviado como MAUT/MAVT por su sigla en inglés⁷) y el Proceso Analítico Jerárquico/en Red (abreviado como AHP/ANP por su sigla en inglés⁸). A continuación, se describen brevemente las técnicas referidas anteriormente:

- **MAUT/MAVT** (Keeney, 1976): transforma las puntuaciones de los diferentes niveles en funciones de utilidad. En un caso simple donde no hay estructura jerárquica y sin interacciones entre atributos, una alternativa tendría la utilidad $U = \sum_i w_i u_i(x_i)$, donde x_i es normalizado en un rango que va desde los peores hasta los mejores valores posibles; u_i se encuentra en un rango de 0 a 1 y refleja la actitud del tomador de decisión hacia el riesgo en torno al atributo i . Diversas técnicas permiten llevar a cabo modelos MAUT más sofisticados, con un decisor unitario que es capaz de expresar preferencias y realizar compensaciones claras para niveles específicos de logro. Este enfoque facilita opciones racionales en el sentido de que el curso de acción con la mayor utilidad esperada también será la alternativa preferida, de manera consistente con los axiomas de la teoría de la decisión.

⁷ Multi-Attribute Utility/Value Theory.

⁸ Analytic Hierarchy/Network Process.

- **AHP/ANP** (Saaty, 1994): corresponde a una familia de enfoques que utiliza comparaciones entre pares de criterios con la intención de establecer cuánto más importante es un criterio que el otro, lo que puede parecer simple, pero se complejiza cuando se involucran múltiples partes interesadas en el proceso. Las técnicas AHP y ANP pueden aplicarse incluso con datos incompletos o inconsistentes, mediante el uso de matrices (álgebra lineal), para producir ponderaciones, puntajes generales y medidas de consistencia. Como otros métodos de AMC, la técnica AHP produce puntajes para cada alternativa.

En la revisión de estudios que aplicaron múltiples métodos de AMC, Linkov (2011) observó que, en la mayoría de los casos, todos los métodos tienden a favorecer las mismas alternativas. Es decir, es poco probable que la priorización de una alternativa sea resultado de la técnica utilizada, sino que más bien es el resultado de las ponderaciones otorgadas por el evaluador en base a la información disponible.

4.3 Escasez Hídrica

El abastecimiento de agua a nivel global enfrenta diversos desafíos que se relacionan con:

- Brechas entre la oferta y la demanda debido a un rápido crecimiento económico y demográfico.
- Costos y requerimientos para alcanzar las futuras demandas.
- Cumplimiento de estándares de calidad del agua para diversos usos, incluyendo la conservación de ecosistemas.

La escasez hídrica es una brecha entre la oferta disponible y la demanda de agua dulce en un dominio específico, según los acuerdos institucionales vigentes y las condiciones de infraestructura, incluyendo los precios del recurso como los acuerdos que existan para su gestión (FAO, 2012). Se entiende que la escasez hídrica es un exceso de demanda sobre la oferta de recursos hídricos que existe en un determinado lugar y durante un periodo de tiempo determinado.

La escasez hídrica es fundamentalmente dinámica y variable en el tiempo como resultado de la variabilidad hidrológica, pero mayormente como una función de los enfoques políticos, administrativos y de planificación. Puede ocurrir como resultado de políticas de corto plazo, tales como la asignación excesiva de concesiones de uso del agua o la expansión excesiva de las áreas de irrigación con bajo o ningún cargo para los agricultores (FAO, 2012).

Es cada vez más reconocido por la literatura que la escasez hídrica no es simplemente el resultado de la carencia física del agua (déficit), sino que depende de las estructuras que determinan como el agua existente es regulada, distribuida y utilizada (Metha, 2014). En este sentido, las situaciones de escasez hídrica o demanda insatisfecha de agua pueden ser consecuencia de la carencia de un cuerpo legal adecuado para administrar las aguas, la extracción ilegal de agua, la infraestructura, las competencias técnicas y los factores climáticos, como la sequía.

Los principales efectos asociados a la escasez hídrica son demanda insatisfecha, tensiones entre usuarios, competencia por el agua, sobreexplotación de aguas subterráneas y flujos de agua insuficientes al entorno natural. La escasez de agua artificial o construida se refiere a la situación resultante del desarrollo exagerado de

infraestructuras hidráulicas para el nivel de suministro disponible, lo que conduce a una creciente carencia del recurso (FAO, 2012).

Por otra parte, la seguridad hídrica se define como la capacidad de acceder a cantidades suficientes de agua cumpliendo determinados criterios de calidad para uso domiciliario, industrial y agrícola, manteniendo estándares adecuados para la producción de alimentos y bienes, saneamiento ambiental y la protección de la salud de las personas (McNabb, 2019).

Otra definición de seguridad hídrica indica que no es sólo la ausencia de escasez, sino que es *“la capacidad adaptativa para salvaguardar la disponibilidad, el acceso y uso seguro y sustentable de agua en cantidad y calidad adecuada, confiable y resiliente para la salud humana, los sistemas de vida, los ecosistemas y las economías productivas”* (Sustainable Water Partnership, 2019).

Los riesgos asociados al abastecimiento de agua se controlan mediante el incremento del suministro de agua y la mejora de la productividad y/o eficiencia hídrica. La seguridad hídrica puede aumentarse mediante:

- Medios para expandir la oferta de recursos hídricos.
- Incremento en la eficiencia y productividad de los usos de agua existentes.
- Reducción de la demanda.

El análisis para aumentar la seguridad hídrica debe incluir:

- Medidas que aumenten la productividad agrícola para mejorar la eficiencia del uso de agua en la irrigación y los rendimientos de los cultivos.
- Medidas de eficiencia hídrica en la industria.
- Medidas enfocadas a incrementar el acceso, confiabilidad y sustentabilidad del suministro.

4.3.1 Aspectos legales-institucionales para la abordar la escasez hídrica en Chile

Las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorgan a los particulares mediante Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA). Este derecho se expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo (litros o metros cúbicos por segundo) permitiendo al titular usar y gozar de ellas en conformidad a la ley. Las aguas terrestres se clasifican en superficiales y subterráneas. Por lo tanto, los DAA son superficiales o subterráneos.

El marco normativo chileno considera la administración privada del recurso mediante las siguientes disposiciones del Código de Aguas (1981)⁹:

- Los DAA están garantizados como propiedad privada en la constitución.
- Un DAA es un bien susceptible de apropiación privada, cuyo titular puede gozar, usar y disponer.
- Las aguas superficiales y subterráneas se administran de manera separada.
- Separación del agua y la tierra, es decir el agua no está sujeta al terreno.
- El rol del Estado tiene como objeto el orden social y garantizar las libertades individuales, facilitando la interacción que generan los privados en el sistema de mercado.

⁹ Actualmente se discuten modificaciones al Código de Aguas.

En Chile la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) es el organismo del Estado encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico. Una de las acciones que pueden efectuarse en épocas de extraordinaria sequía es la denominada *Declaración de Zona de Escasez Hídrica*, acto administrativo que permite tomar decisiones respecto de las aguas en fuentes naturales y administrar el recurso hídrico de manera tal que se reduzcan al máximo los daños derivados de la escasez de agua. Dicha declaración es facultad del presidente de la República y es tramitada a petición o con informe de la DGA y tiene una extensión máxima de 6 meses no prorrogable (Código de Aguas, art. 314).

La declaración de área de restricción es procedente cuando existe grave riesgo de disminución de un acuífero, con el consecuente perjuicio a los derechos allí constituidos o reconocidos; en este escenario sólo pueden constituirse DAA provisionales¹⁰. La Zona de Prohibición nace de la necesidad de proteger el acuífero impidiendo la constitución de DAA de cualquier índole¹¹.

Actualmente en Chile, existe una importante brecha de información respecto a los DAA otorgados, ya que no todos los DAA fueron constituidos por la DGA. Existen DAA reconocidos por los tribunales de justicia y también establecidos por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Por lo anterior, en la práctica puede haber una mayor cantidad de DAA otorgados para una cuenca que los aparecen registrados en el Catastro Público de Aguas (CPA)¹² (DGA, 2016). La información sobre DAA está sujeta a constante

¹⁰ Arts. 65 y 66 CA y 30 a 34 Decreto N° 203, de 2014.

¹¹ Arts. 63 y 64 CA y 35 y 36 Decreto N° 203, de 2014.

¹² La DGA mantiene un registro denominado Catastro Público de Aguas (CPA) el que contiene datos, actos y antecedentes con relación al recurso, las obras de desarrollo del mismo, los derechos de aprovechamiento, los derechos reales constituidos sobre éstos y las obras construidas o que se construirán para ejercerlos.

modificación y actualización, por lo que el CPA no acredita la vigencia del dominio de los DAA registrados.

Dentro del grupo de “derechos reconocidos” el art. 56 del Código de Aguas establece que *“Cualquiera puede cavar en suelo propio pozos para las bebidas y usos domésticos, aunque de ello resulte menoscabarse el agua de que se alimente algún otro pozo; pero si de ello no reportare utilidad alguna, o no tanta que pueda compararse con el perjuicio ajeno, será obligado a cegarlos”*.

El término “uso doméstico” no está claramente definido y ha generado una discusión importante en torno a su interpretación y aplicación, ya que puede propender a la comisión de abusos, los que podrían ser importantes en época de escasez y sequía. Los tribunales entienden que el uso doméstico comprende la explotación no comercial del terreno. En el fallo 426-2011 de la Corte de Apelaciones de La Serena, se establece que el *“uso doméstico”* se extiende *“al regadío del jardín y plantas que ornamenten la propiedad”*; *“el concepto de doméstico desplaza la utilización del predio para fines económicos o comerciales”*, por lo que *“restringir su utilización solo en el interior de una vivienda, vulnera la facultad de los accionantes de usar, cabalmente, tales aguas subterráneas”*. Los tribunales han interpretado el “uso doméstico” como las actividades que desarrolla un grupo familiar para su mantención y sustento, incluyendo la explotación no comercial del terreno que este habita, para obtener los productos indispensables para su subsistencia o autoconsumo (Rivera, 2018).

Algunos obstáculos que enfrenta la institucionalidad para prevenir situaciones de escasez hídrica son:

- La ley no exige la adopción formal, previa y explícita de medidas que limiten la explotación del acuífero.
- La DGA no puede rechazar sin quebranto de la juridicidad, solicitudes de derechos si se ha acreditado la existencia de aguas, y no existen declaraciones previas debidamente tramitadas (zonas de prohibición y áreas de restricción), salvo que se haga una comprobación efectiva de que el nuevo derecho afectará derechos de terceros.
- La autoridad debe verificar si un pozo se encuentra en una zona de prohibición o en un área restringida, sin perjuicio de estar facultada para determinar la disponibilidad por medio de minutas e informes técnicos respecto del comportamiento de una zona acuífera.

De acuerdo al Banco Mundial (2013) las principales deficiencias de la institucionalidad para la gestión del agua en Chile son:

- a) Falta de consolidación e integración de la información generada por las instituciones involucradas en la gestión del agua;
- b) Inadecuada delimitación y coordinación de funciones entre los organismos que intervienen en la gestión de las aguas;
- c) Ausencia de una autoridad política superior que coordine las funciones e instituciones del Estado en relación con el agua;
- d) Falta de coordinación de los actores responsables de la gestión del agua a nivel local, en una misma unidad geográfica.

En Chile se ha implementado un sistema de gestión de recursos hídricos fragmentado, donde la intervención del Estado depende de múltiples instituciones cada una con

variadas funciones (DGA, DOH, CNR, SISS, entre otras). La actual institucionalidad chilena no permite enfrentar adecuadamente las situaciones de escasez hídrica, debido a la ausencia de planificación territorial y de una gestión integrada de los recursos hídricos, visiones de corto plazo y la generalizada desconfianza en el sistema (Urquiza y Billi, 2018).

A menudo la escasez hídrica se ve agravada por la extracción ilegal de agua. A pesar de la existencia de figuras penales específicas relacionadas con la extracción no autorizada de aguas, contenidas en los artículos 459 y 460 del Código Penal y de los esfuerzos desplegados durante los últimos años por la autoridad para aumentar la fiscalización y sanciones de dichas extracciones.

Durante el periodo comprendido entre 2010 y 2015 las autoridades chilenas decretaron situación de emergencia en 7 de las 15 regiones administrativas del país, aplicando medidas de gestión hídricas excepcionales y enviando paquetes de alivio a las comunidades locales (CR2, 2015).

En casos graves de escasez hídrica, como el que actualmente ocurre en la Provincia de La Ligua-Petorca, la DGA ha establecido mediante dos resoluciones¹³, la obligación de instalar y mantener un sistema de medición de caudales, volúmenes extraídos y niveles freáticos en las obras de captación de aguas subterráneas y un sistema de transmisión de la información que la remite a un “*Software de Control de Extracciones*”.

¹³ Res. Ex. DGA Región de Valparaíso N° 2.745 del 24 de octubre de 2018 y Res. Ex. DGA Región de Valparaíso N° 1588 del 25 de octubre de 2018.

El gobierno también ha optado por comprar DAA o promover “donaciones” de agua¹⁴, lo que tiene como principal objetivo aliviar la situación de las familias que actualmente se encuentran con un acceso excesivamente restringido al recurso hídrico. El denominado “Plan Petorca” cuenta con una inversión cercana a los 15.600 millones de pesos, comprendiendo 28 medidas para la instalación de flujómetros (Gobernación Provincia de Petorca, 2018).

4.3.2 Respuesta institucional a la escasez hídrica en Aculeo

La Dirección de Administración de Recursos Hídricos (DARH) a través de su Informe Técnico N° 89 del 17 de mayo de 2018 determinó que la recarga renovable en el nuevo SHAC denominado Laguna de Aculeo es de 306 l/s y que la demanda comprometida mediante DAA definitivos al 15 de mayo de 2018 es de 10.119.429 m³/año (321 l/s)¹⁵. Por lo anterior, la Resolución DGA N° 12 del 22 de junio de 2018 concluye que en el Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) Laguna de Aculeo la demanda comprometida supera la oferta estimada, verificándose la existencia de descensos de los niveles de aguas subterráneas en el pozo de monitoreo que el servicio opera en la zona, sumado al descenso del espejo de agua de la laguna de Aculeo, la que se encuentra estrechamente ligada al sistema de aguas subterráneas.

En 2018 se procedió a la aplicación del artículo 65 del Código de Aguas, declarándose Área de Restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas en el SHAC Laguna de Aculeo. La declaración de área de restricción da origen a una comunidad de

¹⁴ En el caso de Petorca dos sociedades agrícolas, Los Peumos y La Ligua Ltda. traspasarán agua de forma permanente y continua al sistema de Agua Potable Rural (APR) que entrega el recurso a las comunidades de Peñablanca y la Higuera. Estas empresas cederán un caudal de 5 l/s, lo que permitirá suministrar agua a 1.500 personas.

¹⁵ Los DAA para el total de la cuenca de Aculeo de acuerdo a la recopilación de información realizada en el marco del proyecto FIC-Aculeo se presentan en Anexo 1 y alcanzan un total de 522,4 l/s.

aguas formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidas en ella. Asimismo, el Servicio no consideró prudente otorgar nuevos DAA, en calidad de derechos provisionales, en función de los antecedentes que indican que se han producido descensos sostenidos significativos de los niveles estáticos del sector, comprometiendo tanto la sustentabilidad del acuífero, como los derechos de terceros previamente establecidos.

Posteriormente, en agosto de 2018 la DGA anunció un Plan de Recuperación de Laguna de Aculeo (DGA, 2018) con medidas tendientes a revertir la situación de la laguna y asegurar el consumo humano para la población que habita en las cercanías. El Plan busca reforzar las fiscalizaciones en el sector, intensificando el monitoreo de los pozos de aguas subterráneas, DAA denegados, cambios en puntos de captación y cierre de bocatomas. Además, se busca apoyar la constitución de *Comunidades de Aguas Subterráneas* y la promoción de acuerdos que tienen por objetivo lograr consensos entre los usuarios de DAA para disminuir la demanda de recursos hídricos. En caso que esto no se logre, es posible aplicar el art. 62 del Código de Aguas el que permite establecer la reducción temporal del ejercicio de los DAA.

Por último, la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC) adjudicó recursos por \$ 30 millones del Fondo de Producción Limpia para facilitar procesos de diálogo entre los actores en torno a la laguna de Aculeo, en un plazo de 12 meses con el objetivo de generar un Acuerdo Voluntario de Gestión de Cuencas (AVGC). Este proyecto fue presentado por la Municipalidad de Paine y la empresa Altos de Cantillana y busca instalar mecanismos de gobernanza de la cuenca que se orienten a la sustentabilidad en el largo plazo (ASCC, 2018).

4.4 Visiones respecto a la Problemática de la Laguna de Aculeo

El Código de Aguas establece en su art. 35 establece que *“Álveo o lecho de los lagos, lagunas, pantanos y demás aguas detenidas, es el suelo que ellas ocupan en su mayor altura ordinaria. Este suelo es de dominio privado, salvo cuando se trate de lagos navegables por buques de más de cien toneladas”*. De acuerdo al Ord. 798 del 30 de agosto de 2018 del SEREMI de Medio Ambiente de la Región Metropolitana de Santiago, sobre la situación ambiental de la laguna de Aculeo, en 1978 el Ministerio de Tierras y Colonización, establece que la Laguna de Aculeo es un bien nacional de uso público. En 1988 y en respuesta a consultas del propietario José Letelier, la SEREMI de Bienes Nacionales establece que *“el cauce de la laguna no es un bien nacional de uso público”*, ratificando esta conclusión en noviembre de 1990. En abril de 1994 un oficio de la Dirección de Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR) dictamina que *“la laguna no es navegable por buques de 100 toneladas”*.

Actualmente, la laguna de Aculeo está inscrita como tranque de regadío en el Conservador de Bienes Raíces (CBR) de Buin. No obstante, mediante el oficio ordinario N° 60 del año 2015, dicha entidad informó que en sus registros no existe constancia de inscripciones del álveo de la laguna de Aculeo.

4.4.1 Percepción sobre las causas del estado de la laguna de Aculeo

El presente análisis se realiza en base a una revisión bibliográfica, artículos de prensa, las Entrevistas de la ASCC en el contexto del AVGC y un cuestionario realizado en el marco de la presente investigación a expertos del sector académico, consultores y profesionales del sector público, todos con conocimientos sobre la administración de

recursos hídricos en Chile y la problemática de la laguna de Aculeo¹⁶. Se recoge también el trabajo realizado por CED en 2008 y 2010 y los resultados del PLADECO de Paine en 2015.

Oficialmente, la agencia del Estado a cargo de la administración de recursos hídricos ha determinado que, en el estado actual de la laguna de Aculeo, han influido factores naturales y antrópicos¹⁷. Dentro de los factores “naturales” se señala a la *megasequía* como la principal causa de la reducción del espejo de agua de la laguna de Aculeo. Entre los factores antrópicos se identifica la demanda de agua para riego como la variable más relevante con un promedio anual de 572 l/s y máximos mayores a 1.000 l/s, concluyendo que la cuenca es incapaz de suministrar la demanda de agua requerida por el total de cultivos presentes en la zona (DGA, 2018).

Otro factor antrópico relevante es el aumento demográfico con un desarrollo de la actividad turística en los sectores ribereños de la laguna de Aculeo y en las cercanías de las localidades de Rangue y Pintué. En el periodo estival la población flotante se estima en 4.000 personas (DGA, 2018).

Por último, se ha señalado que el desarrollo inmobiliario asociado a condominios con parcelas de agrado asentadas alrededor de la laguna de Aculeo ha generado un incremento de pozos de uso doméstico amparados en el artículo 56 del Código de Aguas (DGA, 2018). En la cuenca de Aculeo abundan los pozos y norias de uso doméstico, lo que es confirmado por las personas que habitan en la localidad (ver entrevistas AVGC, Anexo 2). Estos pozos son utilizados en todo tipo de viviendas, tanto aquellas que

¹⁶ Las consultas y respuestas por parte de la comunidad a las entrevistas del AVGC se presentan en Anexo 2.

¹⁷ La información oficial sobre el estado de la laguna de Aculeo se presenta en el informe de la Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) de la DGA mediante su informe técnico N° 89 de junio de 2018.

ocupan una pequeña superficie, como grandes parcelas de agrado con superficies superiores a 5.000 m², donde el 80-90% de la superficie corresponde a césped y vegetación exótica. En la mayoría de las parcelas de agrado y campings los pozos son utilizados para regar césped y llenar piscinas en época de verano.

Si bien, actualmente existe un “diagnóstico oficial”, la comunidad de Aculeo es diversa y no presenta una visión compartida sobre las causas del estado de la laguna. Algunos actores de la comunidad atribuyen el estado de la laguna de Aculeo a la extracción ilegal de agua y al desvío de sus afluentes, apuntando como uno de los principales factores de la escasez hídrica a la privatización del agua y la concentración de DAA, con escaso control, intervención y fiscalización por parte del Estado. Para una parte de la población el origen del problema se atribuye al hecho de que la demanda de agua superficial y subterránea, especialmente para uso agrícola, no ha sido ajustada a la nueva realidad.

En el caso de las empresas agrícolas hay diversas visiones respecto del problema. Los grandes agricultores tienden a responsabilizar al cambio climático y la sequía por la escasez hídrica y hacen énfasis en que la localidad de Aculeo ha sido tradicionalmente agrícola. Muchos agricultores cuentan con DAA desde la época de la Reforma Agraria (1962-1973). Estos grupos también hacen énfasis en el cambio que ha tenido la zona con la urbanización y la construcción de condominios y parcelas de agrado.

Las causas directas e indirectas del estado actual de la laguna identificadas por la comunidad, los expertos y actores claves se pueden resumir en las siguientes:

- Déficit severo y prolongado de precipitaciones (*megasequía*).

- Aumento de la extracción de aguas subterráneas mediante la proliferación de pozos profundos y de uso doméstico (amparados en el art. 56 del Código de Aguas).
- Extracción ilegal de agua en la cuenca.
- Intervención de afluentes de la laguna de Aculeo mediante desvíos de cauce.
- Producción agrícola.
- Sobrepoblación.
- Cambios en la estructura hidrogeológica del acuífero como consecuencia del terremoto de febrero de 2010.
- Estado legal de la laguna de Aculeo (tranque de regadío).

En general, existe la percepción compartida por la mayoría de los actores de que la ley no proporciona las herramientas para operar adecuadamente en situaciones de escasez hídrica, las respuestas son tardías y de escasa efectividad, no apuntando a las causas de fondo (ver Cuestionario realizado a Expertos y Actores Clave, Anexo 3). La mayoría de los expertos consultados coincide en que se requieren cambios legales e institucionales profundos.

Los aspectos a nivel legal-institucional que han sido identificados por los expertos consultados como influyentes en el estado actual de la laguna de Aculeo son:

- a. Planificación, legislación e institucionalidad
 - Inexistencia de planificación territorial:
 - Escasez de instrumentos de ordenamiento territorial.
 - Escasa planificación sobre desarrollo urbano y rural en la cuenca.

- Falta de actualización de la legislación e institucionalidad para responder apropiadamente al escenario actual (cambio climático, sequía, protección del patrimonio ambiental, demandas sociales, entre otros):
 - Inexistencia de un enfoque integrado en la gestión de recursos hídricos.
 - No hay mecanismos de gobernanza en la gestión de recursos hídricos.
 - Ninguna entidad ni organización tiene la potestad legal que se requiere para evaluar los escenarios que surgen en situaciones de escasez hídrica y tomar decisiones que permitan prevenir y anticiparse a los problemas derivados de esta.
 - El estado no cuenta con una entidad responsable ni con la debida planificación, presupuesto ni infraestructura para afrontar la escasez hídrica.
 - No existe una cultura de conservación (de recursos naturales) en el sector productivo ni en las políticas públicas.
 - Los programas de mejora de la eficiencia de los sistemas de riego patrocinados por la Comisión Nacional de Riego (CNR) se enfocan en aumentar la superficie irrigada con una presión e impacto mayor sobre los recursos hídricos, los balances hídricos de las cuencas y la biodiversidad.

- b. Gestión, fiscalización y control
 - No hay un adecuado control sobre las extracciones legales e ilegales.
 - El conocimiento sobre la disponibilidad de recursos hídricos es escaso e insuficiente para realizar un uso sustentable de estos.
 - En muchos casos la demanda supera la oferta de recursos hídricos atentando contra la sustentabilidad de estos.

- El otorgamiento de DAA no ha tenido un respaldo técnico ni ambiental que tome en cuenta las capacidades de los sistemas naturales, ni ha considerado la evolución de la presión antrópica y la variabilidad del clima.
- No existen mecanismos apropiados para ajustar la demanda con la disponibilidad de los recursos hídricos.
- Los ecosistemas no se consideran como usuarios de los recursos hídricos, por lo que su conservación se pone en riesgo.

4.4.2 Percepción sobre los efectos asociados al estado de la laguna de Aculeo

Todos los actores de la comunidad consultados afirman que el estado actual de la laguna de Aculeo les ha afectado negativamente¹⁸. En los últimos años el suministro de agua para consumo humano se ha visto afectado por cortes asociados a la disminución de la disponibilidad de agua y el descenso de los niveles del acuífero, especialmente en las zonas más pobladas de la cuenca de Aculeo Pintué, Los Hornos y Rangué. También se han visto afectados los domicilios que cuentan con pozos propios, los que en algunos casos se han secado por completo al descender los niveles del acuífero (Municipalidad de Paine, 2019 a y c).

La escasez hídrica ha deteriorado el paisaje, afectando el valor de las propiedades. Muchos propietarios han intentado vender sus terrenos y viviendas antes de que la crisis empeore. No obstante, ha existido una amplia difusión de la situación de la laguna de Aculeo en los medios de comunicación y las redes sociales, lo que ha dificultado la captación de compradores.

¹⁸ Con excepción de los arrieros, quienes han aprovechado la reducción de la laguna para el pastoreo de ganado (principalmente bovino y equino) gracias a la mayor disponibilidad de terrenos "libres" como consecuencia del retroceso del espejo de agua (Ver Anexo 2).

Los pequeños agricultores han sido afectados de manera importante por la escasez hídrica, ya que frecuentemente no pueden hacer frente a las pérdidas, reducción de ingresos y mayores costos que esta significa; disminuyendo sus ventas, producción y superficie cultivada. En muchos casos existe una imposibilidad de invertir en infraestructura para extracción, almacenamiento y distribución de agua o en la adquisición de DAA.

En casos extremos las alternativas que manejan los pequeños agricultores son vender o arrendar sus predios y reconvertirse. Muchos exagricultores se han empleado como cuidadores de segundas viviendas. Una parte importante de los habitantes ha migrado, dejando sus modos tradicionales de vida.

Las empresas ligadas al turismo y al comercio han sido afectadas severamente por la reducción de la laguna, ya que la mayor parte de estas se localiza en su ribera y basan sus ventas en el flujo de visitantes a la zona. La realización de actividades recreativas y deportes náuticos era un atractivo con el que actualmente no cuentan, por lo que los visitantes y turistas se han reducido de manera dramática, impactando de manera importante en los ingresos del turismo y comercio.

De acuerdo a la investigación que realizó Silva (2017) la comunidad de Aculeo identificó una disminución en la provisión de los servicios ecosistémicos durante la última década. Los servicios ecosistémicos que disminuyeron corresponden a Regulación hídrica (31%), Producción de cultivos (29%) y Polinización (25%). Evidenciando que no ha existido una armonía entre el crecimiento poblacional y la conservación de los servicios ecosistémicos.

Los efectos negativos que se han identificado por la comunidad de Aculeo son:

- Cortes en el suministro de agua potable (APRs).
- Agotamiento de pozos de uso doméstico.
- Pérdida del valor de las propiedades.
- Contracción de ingresos en el turismo, agricultura de subsistencia y el comercio.
- Disminución del flujo de visitantes a la localidad de Aculeo.
- Mayores costos de extracción de agua por profundización de pozos.
- Pérdidas en la pequeña agricultura asociadas a la insuficiencia de agua para irrigar los predios.
- Imposibilidad de realizar actividades recreativas (pesca, deportes náuticos, entre otros).

Los expertos del sector académico, la consultoría en gestión de recursos hídricos y el sector público identifican los siguientes efectos adversos asociados al estado actual de la laguna de Aculeo:

- Agotamiento del acuífero.
- Conflictos sociales y deterioro del tejido social.
- Desabastecimiento de agua para diversos usos.
- Desertificación.
- Pérdida del Patrimonio Ambiental
- Riesgo a la salud de la población, la conservación del ecosistema y la biodiversidad.

4.4.3 Medidas para enfrentar la escasez hídrica y recuperar la laguna de Aculeo

La cuenca de Aculeo, es una cuenca endorreica, que tiene como vaso receptor la laguna de Aculeo. Todas las actividades que se llevan a cabo en la cuenca influyen y generan impactos sobre el cuerpo de agua. El recambio de agua es muy bajo, debido a que el agua que entra apenas alcanza para suplir los déficits generados por la extracción en la temporada anterior. Este hecho afecta, tanto a la calidad del agua, como a los volúmenes de agua almacenados y progresivamente ha contribuido al deterioro del sistema (CED, 2008; CED, 2010).

En el año 2000, la corporación EcoAculeo apoyada por una agrupación de regantes de la localidad de Los Hornos, construyó una obra de regulación del nivel de la Laguna de Aculeo en el sector del Puente Rosario sobre el estero Aculeo o Santa Marta, que posteriormente las agencias dependientes del Ministerio de Obras Públicas ordenaron destruir¹⁹.

La corporación EcoAculeo presentó dos proyectos en el año 2008 y 2009 para regular la salida de agua mediante un pretil y mantener los niveles de la laguna de Aculeo, ambos proyectos fueron desistidos, no pudiendo concretar las obras²⁰.

Hasta ahora las medidas para enfrentar la crisis hídrica se han llevado a cabo de acuerdo a las posibilidades de cada sector, la capacidad para organizarse, captar la atención de

¹⁹ Información obtenida de la carta de las asociaciones de regantes de la localidad de Los Hornos enviada al Director Regional de la Región Metropolitana de Santiago de la DGA el día 20 de diciembre de 2000 en relación a la Res. DGA RM N° 1607 del 21 de noviembre de 2000. Disponible en el expediente de evaluación ambiental del proyecto "Regularización de las Aguas por medio de un Pretil en la Confluencia del Estero Rosario y Estero Aculeo". Enlace: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=3804754

²⁰ Información obtenida del expediente de evaluación ambiental del proyecto "Regularización de las Aguas por medio de un Pretil en la Confluencia del Estero Rosario y Estero Aculeo" disponible en http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=3804754 y el proyecto "Confluencia del estero rosario y estero Aculeo" disponible en http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=3124991.

los medios de comunicación y demandar acciones por parte de las autoridades locales y del gobierno central.

En caso de cortes de suministro y de agotamiento de pozos de uso doméstico se ha optado por recurrir a las mismas medidas que se han constatado en múltiples localidades de Chile afectadas por la escasez hídrica. En 2019 se invirtió un total de 140 millones de pesos para aumentar la capacidad de suministro del APR Rangue-Los Hornos (mediante habilitación de un nuevo pozo). Además, se utilizaron camiones aljibe y se realizaron campañas de donación de agua envasada para los habitantes de Aculeo (Municipalidad de Paine, 2019 a y c).

En el caso de la agroindustria se ha optado por profundizar pozos, construir tranques, intervenir los cursos de aguas superficiales, entre otras medidas paliativas. Las soluciones que se proponen de este sector se orientan a mejorar la infraestructura de riego y aportar “aguas invernales” a la laguna, es decir fuera de la temporada de riego (ver entrevistas AVGC, Anexo 2).

Uno de los proyectos que están llevando a cabo los regantes de Aculeo, junto con la Municipalidad de Paine, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Ministerio de Agricultura; es la rehabilitación del canal “El Aguilino” con el objetivo principal de disminuir las pérdidas que se producen por la conducción del agua desde el río Angostura, abasteciendo a 150 regantes con un total de 800 ha (Municipalidad de Paine, 2019 b).

El canal “El Aguilino” tiene una longitud de 22 km y se extiende entre la bocatoma ubicada en el Puente Águila Norte que cruza el río Angostura, donde posee una

capacidad de porteo nominal de 1,67 m³/s y el último marco, que se encuentra en el sector de la Cooperativa Pintué, cercano a la Laguna de Aculeo, donde es conducido al estero Pintué, a través de una tubería de 80 cm de diámetro, con una capacidad de porteo de 100 l/s (Consultorías Profesionales Agraria Ltda., 2017).

Las soluciones que se plantean desde la comunidad apuntan a reducir consumos que no se consideran críticos, restablecer los afluentes naturales y mejorar la eficiencia de los sistemas de riego y la capacidad de la infraestructura de transporte de agua. También se plantea el aumento de la oferta de recursos hídricos mediante la importación de agua desde el río Angostura y/o el río Maipo, fuentes que por su proximidad presentarían menores costos que otras alternativas.

Las medidas para enfrentar la escasez hídrica propuestas por los distintos actores se relacionan con las causas identificadas del problema y con los intereses y percepciones que las diferentes partes interesadas presentan²¹, estas se resumen en:

- Aumento y mejora de la fiscalización.
- Congelamiento de permisos de edificación.
- Detener el crecimiento de la población.
- Eliminación de los desvíos de afluentes y restauración de cauces, especialmente en el estero Pintué.
- Limite a la actividad agrícola y al agua destinada a riego.
- Mayor difusión de los acuerdos para la gestión de los recursos hídricos.

²¹ Las medidas propuestas por la comunidad se identificaron mediante entrevistas (Anexo 2).

- Mayor fiscalización de grandes agricultores y de la extracción agua mediante pozos profundos.
- Mejora de la mantención de los canales de distribución de agua para riego.
- Modificación de los cultivos existentes en la cuenca.
- Realización de campañas de educación para reducir el consumo de agua y utilizar los recursos hídricos de manera eficiente.
- Recarga de la laguna con agua importada.
- Reducción de la extracción ilegal de agua.
- Uso y reutilización de las aguas grises.

Las medidas que los expertos y actores claves consultados proponen para enfrentar la escasez hídrica y revertir el estado actual de la laguna de Aculeo son²²:

- Contención (mejora de la capacidad de embalse de la laguna).
- Aumento de la oferta de recursos hídricos mediante importación de agua.
- Protección de afluentes de la laguna.
- Reducción de la extracción ilegal.
- Mejora de la Fiscalización.
- Control y monitoreo de extracciones, especialmente en cultivos.
- Modificaciones a nivel legal-institucional.
- Realización de campañas de educación.
- Gestión del territorio y del uso del suelo.
- Gestión integrada de recursos hídricos con una visión de cuenca.
- Gestión de la demanda para que está no supere la recarga.

²² Ver respuestas a cuestionario realizado a expertos y actores clave (Anexo 3).

- Priorización de los usos de agua.
- Prorrato del agua de riego de acuerdo a disponibilidad.
- Sustitución de cultivos de alto consumo hídrico.
- Disminución de superficie con césped o del consumo de agua destinado a mantener el césped.
- Inversión en Infraestructuras para transporte, almacenamiento y distribución de agua.
- Establecimiento de mecanismos de gobernanza local.
- Medidas tipo *Nudge*²³.
- Potenciación de la organización de la comunidad con el apoyo de los Servicios Públicos.

Uno de los puntos en los que se ha podido constatar un cierto nivel de acuerdo para la gestión de recursos hídricos en la cuenca de Aculeo es la priorización de usos. Todos los expertos consultados concordaron al menos, en que el consumo humano y la agricultura de subsistencia deberían ser usos prioritarios, logrando también una convergencia importante en que los ecosistemas deberían considerarse como usuarios prioritarios del agua (ver Cuestionario realizado a Expertos y Actores Clave Anexo 3).

²³ Un *nudge* es cualquier factor de la arquitectura de las decisiones que modifica la conducta de las personas de una manera predecible, sin prohibir ninguna opción ni cambiar de forma significativa los incentivos económicos.

5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Los materiales y técnicas utilizadas en la presente evaluación corresponden a los siguientes:

Proceso Analítico Jerárquico (AHP): teoría general sobre juicios y valoraciones basada en escalas de razón que capturan la realidad percibida, siendo diferente de una asignación y normalización arbitraria de números. De acuerdo a Moreno (2002), la técnica AHP se puede sintetizar en los siguientes aspectos:

- Utiliza jerarquías (en general redes) para descomponer un problema complejo en partes más sencillas.
- Intenta reflejar el comportamiento de los individuos en la realidad, los elementos incluidos en cada conglomerado deben ser del mismo orden de magnitud (los individuos son más precisos al comparar elementos de la misma magnitud).
- Incorpora las preferencias de los actores entre elementos. Se determina con qué importancia, preferencia o verosimilitud el elemento que posee el atributo en mayor grado domina al otro.
- Utiliza una escala para incorporar los juicios o valoraciones del decisor. Esta escala es estrictamente positiva.
- Utiliza el método del vector propio para obtener las prioridades. A diferencia de otros métodos de AMC, la técnica AHP permite, dentro del propio proceso de resolución, evaluar analíticamente la consistencia del decisor a la hora de emitir los juicios.

- Las prioridades derivadas vienen dadas en una escala de razón. Las escalas de razón normalizadas corresponden a las prioridades de los elementos comparados, obtenidas según la técnica AHP, dando lugar a una escala absoluta.

La modelación del balance hídrico de la laguna de Aculeo en diferentes escenarios de aplicación de cursos de acción, se realizó mediante la herramienta computacional WEAP, la cual una vez calibrada con registros climáticos y de usos de suelo, puede explicar el comportamiento de la laguna Aculeo.

El software WEAP (Yates y otros, 2005 a y b) es una herramienta versátil ampliamente utilizada en Chile, la cual ha presentado un buen desempeño en la caracterización de la hidrología de cuencas de distintos tipos de climas y condiciones hidrogeológicas. Para desarrollar el balance, se necesitan como datos de entrada las forzantes climáticas (precipitación, temperatura), parámetros del suelo y del acuífero, coeficiente de cultivos, demandas de agua y extracciones de agua. Los datos utilizados corresponden al período 1997-2018.

La Figura 2 presenta el modelo conceptual del sistema cuenca laguna de Aculeo utilizado en WEAP.

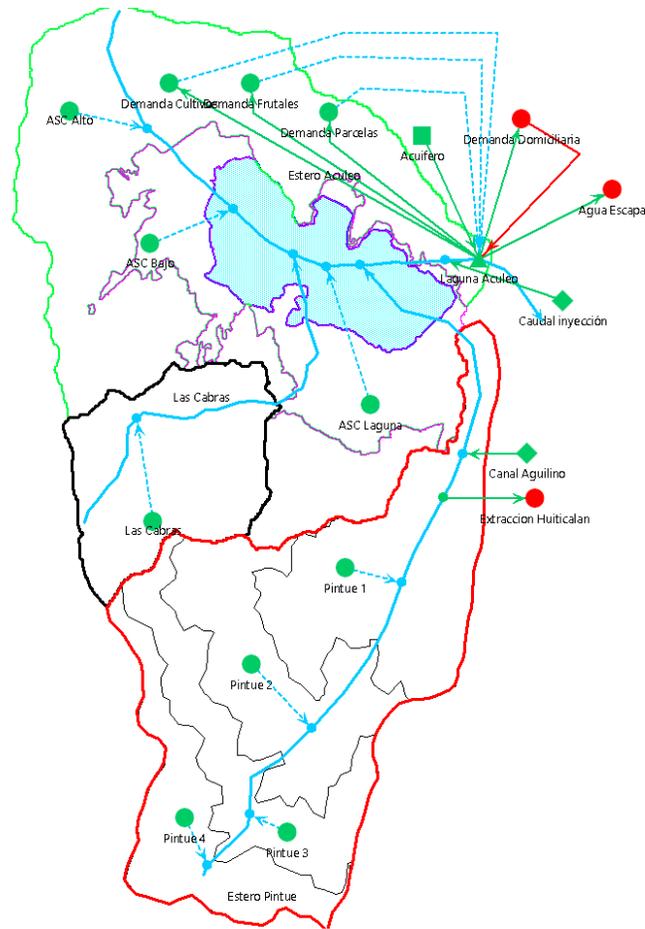


Figura 2. Modelo conceptual sistema cuenca laguna de Aculeo²⁴

5.1 Delimitación del Área de Estudio

La cuenca de Aculeo es parte de la cuenca de Santiago, que a su vez abarca la parte central de la hoya hidrográfica del río Maipo. Corresponde a un sector rodeado por cordones de cerros escarpados, que limitan la laguna de Aculeo y su extensa planicie de inundación.

²⁴ Fuente: Informe "Modelación Hidrológica Superficial de la cuenca de la laguna de Aculeo", junio, 2019, Proyecto FIC-R 2017 Código BIP 40002646-0.

La cuenca de Aculeo se localiza entre el paralelo sur $33^{\circ} 49'$ y el $33^{\circ} 52'$ y desde el meridiano oeste $70^{\circ} 53'$ al $70^{\circ} 56'$. El área de estudio comprende un conjunto de subcuencas con un total de aproximadamente 200 km^2 . La delimitación del área de estudio se presenta en la Figura 3.

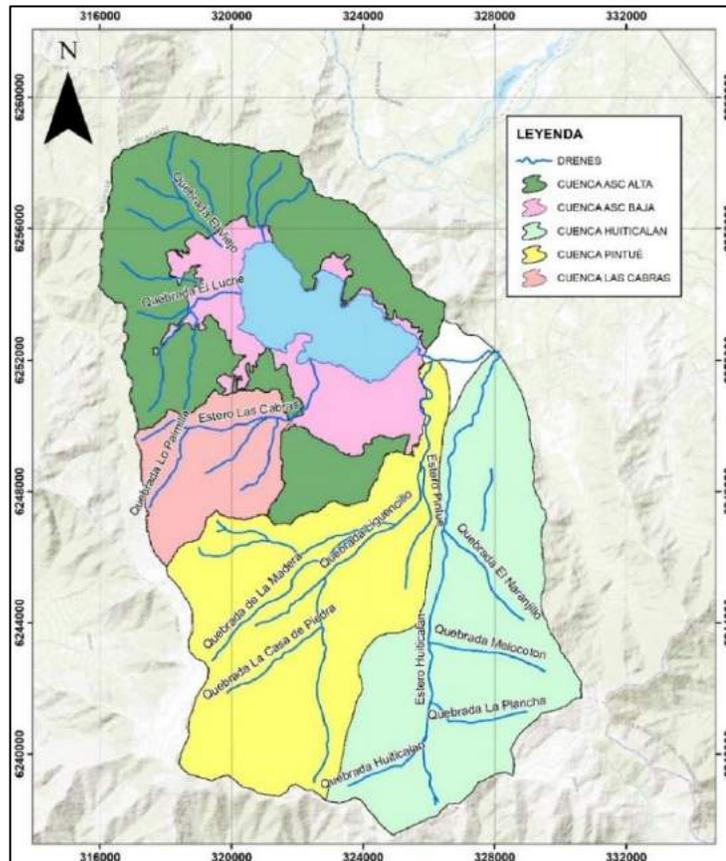


Figura 3. Delimitación del área de estudio²⁵

Dentro de las interacciones consideradas para las aguas superficiales se incluyen las cuencas de Aculeo Sin Las Cabras Alta (ASC Alta), Aculeo Sin Las Cabras Baja (ASC Baja), la cuenca del estero Las Cabras (Cuenca Las Cabras) y la Cuenca del estero Pintué (Cuenca Pintué). En el caso de las aguas subterráneas se añade, además, la

²⁵ Fuente: Informe "Modelación Hidrológica Superficial de la cuenca de la laguna de Aculeo", abril de 2019, Proyecto FIC-R 2017 Código BIP 40002646-0 (Hito 2).

cuenca del estero Huiticalán (Cuenca Huiticalán) por la posible conexión hidráulica que podría existir entre los respectivos acuíferos.

La delimitación del área de estudio se realiza en función de abarcar la mayor parte de procesos biofísicos y socioeconómicos asociados a los recursos hídricos y a los sistemas que estos forman. En esta delimitación se busca abarcar todas las influencias que interactúan, manteniendo al mismo tiempo la conceptualización tan compleja como sea necesario para realizar un análisis útil. Los distintos sistemas que operan en una cuenca (climático, hídrico, ecológico, social, político, económico, entre otros) lo hacen a diferentes escalas espaciotemporales que forman parte de procesos globales y regionales tales como los procesos climáticos, hasta escalas locales.

Los procesos biofísicos también operan en diferentes escalas y límites que suelen no ajustarse a los procesos socioeconómicos. En términos físicos, los flujos de agua están impulsados por la gravedad, en términos sociales pueden estar impulsados por consideraciones políticas económicas y/o culturales. Uno de los desafíos cruciales de integrar la evaluación y modelación de los diferentes sistemas es ajustar las múltiples escalas espaciotemporales de los procesos, sistemas e intereses que coexisten en un determinado lugar.

Por último, se acepta la existencia de incertidumbre, identificándola y cuantificándola tanto como sea posible, debido a que ningún sistema ambiental (natural o socioeconómico) puede ser caracterizado a la perfección, especialmente cuando muchas de sus características claves se infieren y/o son determinadas de manera deficiente.

5.2 Descripción Biofísica del Área de Estudio

5.2.1 Climatología del área de estudio

Según la clasificación de Köeppen y Fuenzalida, (SAG, 1979), el clima de la Región Metropolitana de Santiago (RMS) se caracteriza como mediterráneo con una estación seca prolongada de 6 a 8 meses y un invierno lluvioso. Se ha catalogado como región Mediterránea subhúmeda, donde en promedio la duración de la aridez es de 5 a 6 meses, presentando 1 a 2 meses semiáridos (Di Castri y Jajek, 1976). El clima actual de la RMS se caracteriza por veranos cálidos, con promedio de temperatura entre 28 y 30° C e inviernos fríos, con temperaturas mínimas entre 0 y 5° C. La mayor parte de la precipitación se concentra en los meses de junio, julio y agosto con rangos anuales que varían entre 200 a 500 mm (McPhee y otros, 2014). Las tendencias en los últimos 30 años indican que las temperaturas han incrementado en las estaciones meteorológicas que se encuentran a mayor altura, en conjunto con un descenso en las precipitaciones (Cortés y otros, 2012).

En la RMS la precipitación registró un descenso constante que se acentuó desde el año 2006 y posteriormente se ha mantenido con niveles cercanos a los 400 mm (Galleguillos y otros, 2018). La evapotranspiración (potencial y real) presenta valores relativamente estables desde el año 2011 en adelante, lo que implica que el déficit hídrico está regulado principalmente por la lluvia y por la demanda hídrica. En general, los análisis muestran que la principal causa de la escasez hídrica es la creciente declinación de las precipitaciones que es significativa dentro de toda la cuenca del Maipo (Galleguillos y otros, 2018). A lo anterior se añade la creciente demanda de agua para distintos usos, lo que agrava las situaciones de estrés hídrico.

La presencia de la Cordillera de la Costa y el alejamiento del mar son los principales factores que producen las características de continentalidad del clima de la RMS. El sector Altos de Cantillana presenta una variante, ya que parte del área considerada en este estudio se encuentra, por sobre los 1.500 msnm, lo que implica que “normalmente” se encuentre cubierta de nieve en los meses de invierno.

De acuerdo con la estación meteorológica “*Laguna Aculeo*”, la precipitación anual promedio en la zona (1960-2016) es de 526 mm. Del total precipitado en un año promedio, el 94% se produce en otoño-invierno (abril a septiembre) y el 6% restante se produce en primavera-verano (octubre a marzo). Respecto a las temperaturas, se observa para el periodo 1970-2016, que la temperatura mínima se produce en julio y la máxima en enero, con un promedio anual de 14,7 °C (ERIDANUS, 2016).

5.2.2 Hidrología e hidrogeología de la cuenca de Aculeo

La subcuenca Aculeo, correspondiente al área de aporte a la laguna de Aculeo, cubre aproximadamente 94 km². Corresponde a un sector rodeado por cordones de cerros escarpados, que limitan la laguna y su extensa planicie de inundación. El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) informa de áreas de alto riesgo de remociones en masa en este sector (Antinao y otros, 2003). Las cotas de terreno de la cuenca delimitada varían entre los 352 y 2.040 msnm.

El sistema hidrológico está compuesto por una serie de cuencas y quebradas que encausan el flujo de régimen pluvial hasta la laguna (ver Figura 3). Sus características principales son la elevada pendiente en zonas de captación y los reducidos caudales que generan. Dichos caudales presentan una gran diferencia entre crecida y estiaje. Los

primeros generados principalmente en otoño y los segundos en primavera, época en que incluso algunos esteros no presentan escurrimiento superficial. La zona alta se encuentra semicubierta por formaciones arbóreas y arbustivas, lo que determina que cierta cantidad de la precipitación sea aprovechada por la vegetación. En el tramo medio, el arrastre de material está condicionado por el uso actual del suelo (ERIDANUS, 2016).

Las características de la laguna de Aculeo previas a la *megasequía* de acuerdo al estudio DCE-DGA (1987) eran de:

- Profundidad máxima: 8,5 m.
- Área del espejo de agua: 12,44 km².
- Volumen: 41,79 millones de m³.
- Temperatura del agua: 10,7-30,4 ° C.
- Elevación promedio: 360 msnm²⁶.

Posteriormente, mediante un balance hídrico Vila (1992) calculó un volumen embalsado en la laguna de Aculeo de 46 millones de m³. Se ha documentado que la evaporación provoca una disminución del nivel de las aguas a finales del verano y principios del otoño (febrero a mayo).

La laguna de Aculeo evacúa naturalmente sus aguas a través del estero Aculeo, denominado también Santa Marta, que fluye hacia el estero Huiticalán. Luego de la junta de los esteros Aculeo y Huiticalán, el cauce se denomina estero Peralillo, el cual descarga sus aguas en el río Angostura, aproximadamente 5 km aguas arriba de la junta

²⁶ La elevación fue corregida de acuerdo al Estudio Topográfico realizado en el marco del proyecto FIC-Aculeo.

del río Angostura con el río Maipo a unos 3 km al oeste de la localidad de Valdivia de Paine.

El estero Pintué funciona como afluente especialmente en épocas de crecida por precipitación y/o deshielo y efluente de la laguna. Se construyó un muro que impide la descarga natural del estero Pintué, desviando las aguas hacia la laguna. En el año 2000 el estero Santa Marta fue canalizado y profundizado permitiendo extraer más agua desde la laguna hacia el río Angostura (Romero, 2012). En el verano de 2018 la laguna se secó por completo, situación que volvió a repetirse en el verano de 2019 (24Horas.cl TVN, 2018; T13, 2018; NASA, 2019).

Respecto al acuífero, en la cuenca de Aculeo existe un alto riesgo de inundaciones por lluvias intensas y crecidas asociadas, y por el drenaje deficiente en sectores, donde aparentemente existen horizontes impermeables arcillosos (Antinao y otros, 2003). El acuífero de Aculeo está alojado en los depósitos de gravas consolidadas y arenas medianamente consolidadas de edad pleistocénica, con intercalaciones de sedimentos lacustres generalmente arcillosos, de continuidad lateral variable. La cubeta de la laguna está excavada en un macizo andesítica, de relieve irregular, rellena con sedimentos clásticos, granulares con intercalaciones de sedimentos finos localmente arcillosos; que cubren esta secuencia, depósitos finos posiblemente cineríticos y suelo orgánico (Meneses, 2019).

El espesor de los sedimentos granulares que alojan el acuífero, varía entre 80-250 m, con una gran variabilidad granulométrica. Otras estimaciones del acuífero de Aculeo establecen un rango de 120-250 m, por lo que se ha estimado una capacidad de

almacenamiento de $2,6-3,5 \cdot 10^8 \text{ m}^3$, para una superficie aproximada de 50 km^2 (Dirección General de Aguas, 2018).

Las cuatro unidades hidrogeológicas que componen la cuenca son: sedimentos superficiales, arenas y gravas, sedimentos finos y roca fundamental. La unidad de gravas y arenas corresponde al acuífero que posee espesores de entre 100 a 200 m. Este acuífero se encuentra confinado en gran parte de la cuenca debido a la unidad de sedimentos finos y sedimentos superficiales, con excepción de las cercanías del estero Santa Marta o Aculeo (Meneses, 2019).

Los depósitos que albergan el acuífero presentan una porosidad promedio del 10% y velocidades de flujo de 5-1.400 m/día. Se observan mayores transmisividades en el acuífero del Maipo que en el acuífero de Aculeo, probablemente debido a que en Aculeo la granulometría es mucho menor que en el Maipo. Además, dentro de la misma cuenca de Aculeo se observan mayores transmisividades en las cercanías del estero Pintué lo que se asocia a una mayor carga hidráulica (Meneses, 2019).

Los niveles de la laguna de Aculeo se relacionan con los niveles de las napas de agua subterráneas del acuífero de Aculeo cuya área de recarga corresponde a 200 km^2 y con el drenaje de la cuenca aportante (misma área de recarga del acuífero excluyendo a la subcuenca de Huiticalán) cuya área es de 149 km^2 (Barría y otros, 2019). De acuerdo a la caracterización hidrogeológica realizada en el marco del proyecto FIC-Aculeo, cualquier extracción de agua merma el agua almacenada en el acuífero. Se incluye en esta área la subcuenca de Pintué y Huiticalán, debido a que eventualmente podría demostrarse que hay conexión subterránea entre el acuífero de Aculeo y el área de drenaje de estos dos esteros.

El flujo subterráneo se concentra desde los exteriores de la laguna hacia el centro de esta. Entre los esteros Pintué y Huiticalán existe una mayor carga hidráulica lo que implica un flujo desde este lugar hacia la laguna y hacia la salida de la cuenca. Las cotas hidráulicas en la cuenca de Aculeo van desde 345 a 361 msnm y en la cuenca del Maipo desde 331 a 339 msnm, lo que implica que si existiera una conexión entre los acuíferos de Aculeo y Maipo la dirección del flujo iría desde el acuífero Aculeo hacia el Maipo (Meneses, 2019).

Los niveles estáticos medidos en la cuenca a fines del invierno de 2018 descendieron rápidamente, alcanzando valores bajo la superficie del terreno entre 2,6 y 18,5 m sobre cotas en torno a 370-384 msnm (Meneses, 2019). De manera general se observa una baja de los niveles estáticos del acuífero desde octubre hasta mayo y un aumento de los mismos desde junio a septiembre (Meneses, 2019).

5.2.3 Calidad del agua en la cuenca de Aculeo

Previo a la situación actual de la laguna de Aculeo, diversos estudios dieron cuenta de una tendencia natural a la eutrofización del cuerpo de agua estudios (Mühlhauser y Vila, 1987). La DGA caracterizó a la laguna de Aculeo como un sistema *hipereutrófico*, siendo uno de los sistemas con mayor nivel trófico de la Red de Control de Lagos (2014), en un seguimiento de 20 lagos a nivel nacional durante el periodo 2000-2013. Esta condición se mantendría la mayor parte del ciclo anual y estaría favorecida por la baja profundidad de la cubeta, lo que permitiría una mayor síntesis de materia orgánica a través del proceso fotosintético y una mínima capacidad de recirculación de las masas de agua, en conjunto con el desarrollo de actividades que aceleran este proceso natural mediante la extracción de agua para riego (de cultivos y de parcelas ribereñas), los aportes de sedimentos desde laderas deforestadas por proyectos de urbanización y la contaminación de las aguas principalmente por productos agrícolas e hidrocarburos (CED, 2008).

El estudio de ERIDANUS (2016) realiza un análisis de la calidad de agua existente en la laguna de Aculeo previo a su desecación. Este análisis considera diversos parámetros fisicoquímicos para aguas superficiales y subterráneas. Se concluyó que, tanto las aguas superficiales, como subterráneas presentan un alto contenido de nutrientes (N y P) con una condición de hipereutrofización, bajas concentraciones de oxígeno disuelto, en torno a 1,7 mg/L y altas concentraciones de *clorofila "a"*, registrándose 640 µg/L en la primavera de 2016.

Una vez que los niveles de la laguna comenzaron a descender, esta fue utilizada progresivamente como pradera por los arrieros de la zona. La agrupación de Arrieros

informó mediante la entrevista realizada en el contexto del AVGC que se mantienen alrededor de 600 animales en el lecho de la laguna, acentuando la acumulación de materia orgánica, nutrientes y eutrofización de las aguas (ver Anexo 2).

5.2.4 Ecosistemas y medio biótico del área de estudio

La Laguna de Aculeo aparece mencionada en los Libros Rojos de Flora y Fauna, y en el Libro Rojo de Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica en Chile, en conjunto con la zona de Altos de Cantillana como “Prioridad I, Urgente”.

De acuerdo al Dto. 382/1998, la laguna Aculeo es hábitat y sitio de nidificación de especies de aves acuáticas migratorias, según censos realizados por la Corporación Nacional Forestal-Región Metropolitana. *“Estas aves deben ser protegidas en virtud del Convenio sobre la Conservación de Especies Migratorias de la Fauna Salvaje (CMS) y la Convención Relativa a las Zonas Húmedas de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de las Aves Acuáticas (RAMSAR)”*.

La fauna íctica ha sido diezmada por diversos episodios de mortandad masiva que se asocian a la característica de alta eutrofia en la laguna de Aculeo. El último episodio registrado, previo a la desecación completa de la laguna de Aculeo, ocurrió en la primavera de 2017.

En la cuenca de Aculeo se ubica la Reserva Natural Altos de Cantillana, la que está catalogada como un “área crítica” para la biodiversidad mundial y como un centro mundial para la diversidad de la flora. Esto, debido al alto grado de endemismo regional

y la riqueza de especies de la flora, pero que se encuentra altamente amenazada por la presencia humana (Silva, 2017).

La vegetación de esta zona se caracteriza por formaciones de:

- Matorral: entre las comunidades de matorral destacan el *Matorral Arborescente Esclerófilo*, *Matorral Esclerófilo Degradado* y *Matorral Esclerófilo Subandino*.
- Bosque Esclerófilo Costero: corresponde a renovales dominados por especies de hoja dura y coriáceas tales como Peumo (*Cryptocarya alba*), Boldo (*Peumus boldus*), Quillay (*Quillaja saponaria*), Litre (*Lithrea caustica*) y Bollén (*Kageneckia oblonga*). También se incluyen algunas especies en categorías de conservación, entre ellas, Avellanita (*Avellanita bustillosii*), Belloto (*Beilschmiedia miersii*), Guayacán (*Porlieria chilensis*), Naranjillo (*Citronella mucronata*), Lingue (*Persea lingue*), Pesebre (*Hypolepis poeppigii*) y Helechos nativos de Chile (*Dennstaedtia glauca*). Esta formación está presente en quebradas con exposición sur.
- Bosque Caducifolio: formaciones que se ubican, en la Meseta Altos de Cantillana ocupando sectores con pendientes escarpadas y exposición sur, entre los 1.400 y 1.900 m de altitud. La vegetación existente en el área de estudio se caracteriza por su adaptación al clima mediterráneo con inviernos fríos y lluviosos y veranos cálidos y secos. Los estratos que presenta estas formaciones son arbóreo, arbustivo y hierbas que ocupan las pendientes y colinas existentes en la cuenca.

5.3 Descripción Socioeconómica del Área de Estudio

5.3.1 Población de la cuenca de Aculeo

La laguna de Aculeo se encuentra en el distrito N° 4 de Aculeo, en la comuna de Paine, el que posee una población de 1.366 habitantes de acuerdo al censo abreviado realizado en 2017 (INE, 2018). El valle de Aculeo cuenta con una zona urbana (Pintué) y una zona rural. De acuerdo a los resultados del CENSO 2017 la variación de la población en la comuna de Paine respecto del último Censo 2002 fue de un 45,4%, prácticamente el doble que el crecimiento de la RMS, lo cual da cuenta de un importante dinamismo en la zona (BCN, 2017).

La presión demográfica en la comuna de Paine ha generado una serie de cambios, donde es posible identificar un desarrollo residencial poco armonioso, regido por los procesos de planificación urbana regional y comunal que extienden desmedidamente las áreas urbanizables sobre terrenos agrícolas y de protección ecológica (Equipo Multidisciplinario MGPA, 2008).

5.3.2 Presiones ambientales en la cuenca de Aculeo

Aculeo posee un alto valor ambiental, dada la alta biodiversidad en términos de flora y fauna y un gran valor paisajístico, especialmente en la zona del cordón del Cantillana. De acuerdo al informe de ERIDANUS (2016), existe una diversidad de actividades económicas las cuales se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Actividades silvícolas: corresponde al desarrollo de actividades de extracción de madera para leña y carbón de espino. La producción de carbón se concentra en los meses de septiembre y diciembre, siendo poco significativa (CED, 2010).
- Actividades agrícolas y ganaderas: la agricultura es la principal actividad productiva de la zona (CED, 2008), predominando la agricultura anual intensiva con cultivos tradicionales de trigo, maíz y grano seco. Las especies frutales destinados a la exportación o comercialización en el mercado nacional tienen alta relevancia, debido a la superficie cultivada y al consumo hídrico requerido. Las explotaciones frutícolas se relacionan principalmente con la comercialización local y exportación de los productos: kiwis, cítricos, cerezos, ciruelos y parronales. Se ha desarrollado una actividad ganadera conformada por bovinos y equinos, con uso intensivo de la ribera y el álveo de la laguna, aprovechando la reducción del espejo de agua (ERIDANUS, 2016).
- Urbanización: incluye la construcción de viviendas particulares, parcelas de agrado, complejos turísticos, entre otros.
- Turismo: en este grupo se incluyen actividades recreacionales dentro y fuera de la laguna, así como la existencia de rutas turísticas. La laguna de Aculeo tiene un alto valor en términos escénicos y paisajísticos. La Reserva privada Altos de Cantillana posee flora y fauna endémica.

Desde mediados de la década de los 80 han existido importantes transformaciones del territorio en la cuenca de Aculeo. Se han reducido las tierras agrícolas a causa del desarrollo inmobiliario de condominios y parcelas de agrado, lo que ha generado una disminución de los cultivos anuales. La actividad residencial corresponde a proyectos inmobiliarios desarrollados alrededor de la laguna Aculeo, lo que ha incrementado la intensidad de uso del suelo y el surgimiento de segundas residencias con la venta de

parcelas de agrado en los bordes de la laguna y de laderas de cerros circundantes (CED, 2010).

5.4 Uso de Suelos y Balance Hídrico de la Cuenca de Aculeo

El uso del suelo es un dato de entrada para el modelo hidrológico de la cuenca de Aculeo²⁷. Se seleccionaron categorías generales para realizar la clasificación de los suelos los años 2006, 2012 y 2018, usando interpolaciones en los años intermedios. La Figura 4 presenta la caracterización de usos de suelo para la cuenca de Aculeo realizada a partir de imágenes satelitales para los periodos 2006 (izquierda) y 2018 (derecha).

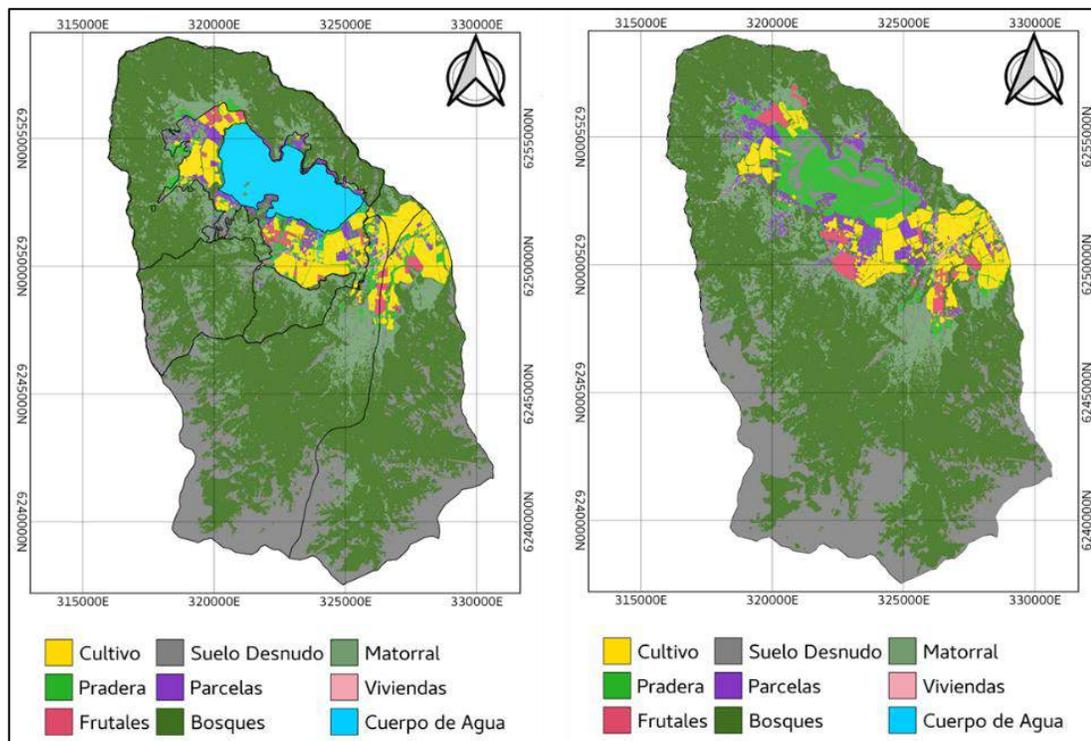


Figura 4. Clasificación de usos de suelo en la localidad de Aculeo²⁸

²⁷ En el marco del proyecto FIC-Aculeo se realizó una caracterización del uso de suelo mediante el análisis de imágenes satelitales, el uso de drones, además de diversas visitas para verificar que la clasificación realizada mediante imágenes satelitales y fotografías aéreas concordara con las observaciones en terreno.

²⁸ Fuente: Informe "Modelación Hidrológica Superficial de la cuenca de la laguna de Aculeo", junio de 2019, Proyecto FIC-R 2017 Código BIP 40002646-0 (Hito 3).

De acuerdo al Balance Hídrico de la Cuenca de Aculeo, la disminución del volumen afluente total simulado desde el año 1997-2017 es dramática. La Figura 5 presenta los volúmenes afluentes a la laguna de Aculeo.

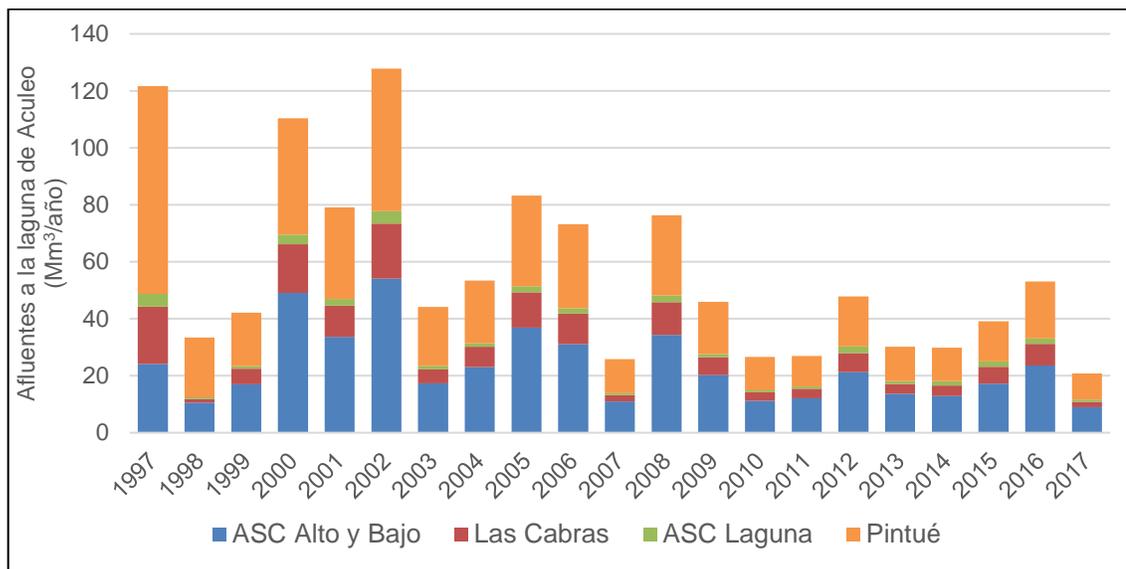


Figura 5. Volúmenes afluentes anuales a la cuenca²⁹

De acuerdo al análisis de uso de suelo realizado para el período 1997-2017, se obtiene que el promedio de extracciones anuales de la cuenca por riego es de 13,28 millones de m³. Comparando el promedio de volumen extraído en el periodo 1997-2006 con el del 2007-2017, se tiene un aumento de un 23% en las extracciones. La evolución de las extracciones para el periodo 1997-2017 se presenta en la Figura 6.

²⁹ Fuente: Informe "Modelación Hidrológica Superficial de la cuenca de la laguna de Aculeo", junio de 2019, Proyecto FIC-R 2017 Código BIP 40002646-0 (Hito 3).

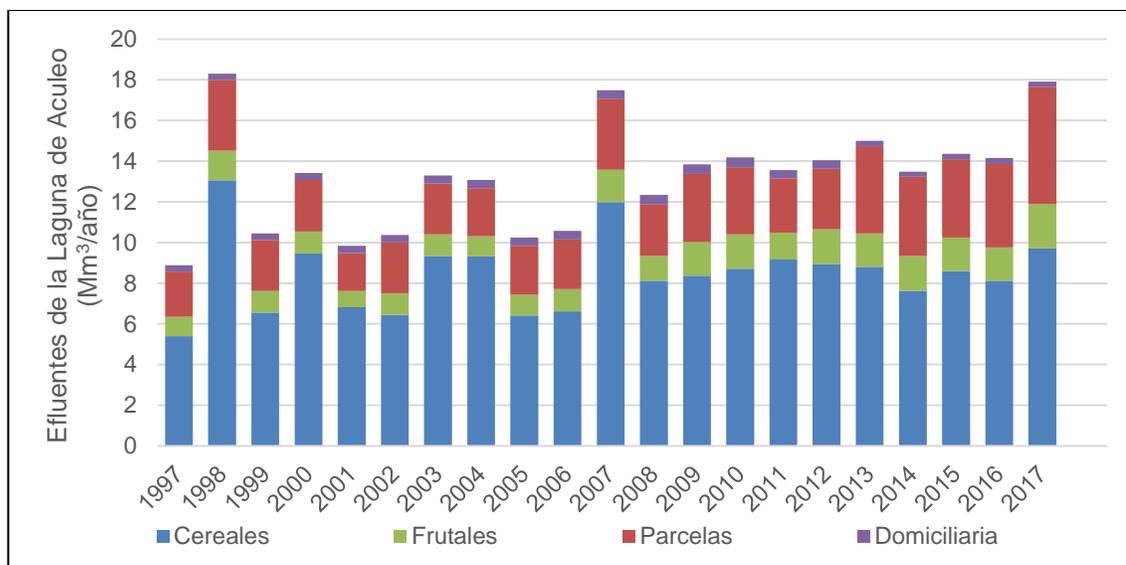


Figura 6. Extracciones volumétricas anuales de agua en la cuenca de Aculeo³⁰

El análisis de los volúmenes extraídos por año del sistema en términos porcentuales permite determinar que los cultivos de cereales han disminuido mientras que los cultivos de frutales han aumentado. Las parcelas de agrado corresponden al uso de suelo que presenta un mayor aumento en las extracciones totales en la cuenca. La demanda domiciliaria presenta un porcentaje de extracción de al menos un orden de magnitud menor que los demás usos. La Figura 7 presenta el volumen de la laguna, los caudales afluentes y las extracciones desde la laguna en el periodo 1997-2017, se observa que el volumen embalsado responde con cierta inercia al aumento o disminución en los caudales.

³⁰ Fuente: Informe "Modelación Hidrológica Superficial de la cuenca de la laguna de Aculeo", junio de 2019, Proyecto FIC-R 2017 Código BIP 40002646-0 (Hito 3).

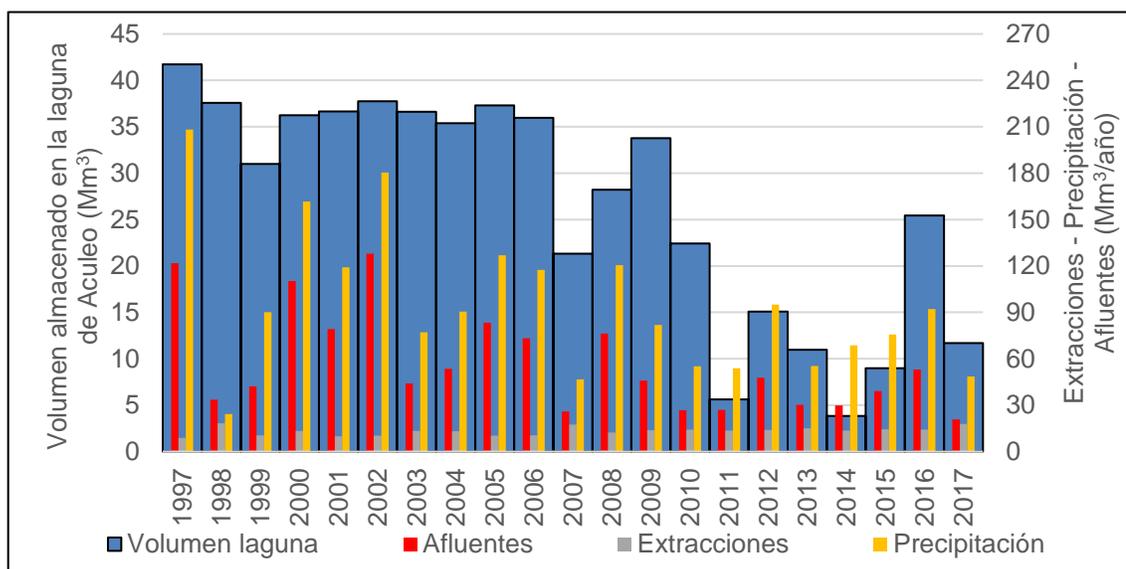


Figura 7. Volumen almacenado, afluentes y extracciones anuales de la laguna de Aculeo³¹

De acuerdo al Balance Hídrico de la cuenca de Aculeo, el estado de la laguna de Aculeo se debe a que la precipitación de la última década (2010-2018) es aproximadamente un 38% menor que el promedio histórico, mientras que el consumo de agua ha aumentado en aproximadamente un 23% desde la década de 1990. Si bien la agricultura es el principal consumidor del recurso en la cuenca (75%), sus consumos no han aumentado en las últimas décadas. El aumento del consumo de agua se puede asociar en parte al aumento de parcelas de agrado y condominios.

Los resultados del análisis realizado indican que el estado de la laguna de Aculeo se debe al efecto conjunto de la sequía y el consumo hídrico de la cuenca, siendo la sequía el factor más relevante. Frente al escenario en que no se produce aumento de consumo

³¹ Fuente: Informe "Modelación Hidrológica Superficial de la cuenca de la laguna de Aculeo", junio de 2019, Proyecto FIC-R 2017 Código BIP 40002646-0 (Hito 3).

de agua, es decir, manteniendo los consumos previos al año 2006 (antes del crecimiento inmobiliario y de los cultivos de frutales), es muy probable que el efecto de la sequía hubiese causado la desaparición de la laguna de Aculeo (Barría y otros, 2019).

5.5 Valoración de Beneficios Asociados a la Recuperación de la Laguna de Aculeo

La metodología que se llevará a cabo en esta investigación se obtuvo como resultado de la revisión de diversas publicaciones y del estudio de casos similares. Para cada etapa de la investigación se plantea un método ad-hoc que apunta a cumplir de manera satisfactoria los objetivos planteados.

La valoración económica para la recuperación de la laguna de Aculeo se llevó a cabo mediante las siguientes actividades:

- Recopilación y análisis de información bibliográfica y en terreno.
- Recopilación de información primaria mediante un cuestionario realizado a Expertos y Actores Clave (ver Anexo 3).
- Recopilación y análisis de información secundaria (ver Anexo 2).

La información recopilada fue principalmente de carácter cualitativo y en algunos casos cuantitativo. Para establecer valores cuantitativos en los casos en los que no existía información disponible se recurrió a supuestos y al uso de información económica obtenida en contextos similares. Se realizó una identificación de bienes y servicios ecosistémicos asociados a la laguna de Aculeo mediante una revisión bibliográfica.

Se determinaron valores económicos parciales que comprende valores de uso, asociados al uso directo y/o indirecto de los recursos que provee el área y el valor de no uso referido al valor de existencia del humedal. Estos valores son parciales debido a que solo consideran la diferencia de provisión de bienes y servicios ambientales de la laguna de Aculeo entre la situación actual, con un espejo de agua tendiente a 0 km² y la situación en una hipotética recuperación a los niveles históricos, con un espejo de agua en torno a 12,44 km².

Los métodos de valoración económica utilizados corresponden a:

- Valoración de mercado directa.
- Valoración de mercado indirecta.

Para los casos en los que no se pudo realizar una estimación del valor en base a los métodos previamente referidos, ya sea por falta de recursos económicos o limitaciones de tiempo, se aplicó la transferencia de beneficios de acuerdo a las recomendaciones de la Convención RAMSAR. Este método se emplea transfiriendo la información de estudios realizados con anterioridad, adaptando la estimación de beneficios desde otros contextos³².

Para cada servicio ecosistémico se utilizaron valores transferidos o aproximaciones mediante distintos métodos de valoración económica. Todos los valores económicos se estimaron en Unidades de Fomento (UF). Los servicios ecosistémicos y los métodos de Valoración Económica utilizados para la laguna de Aculeo, se presentan en la Tabla 2.

³² No se utilizó la valoración basada en encuestas.

Tabla 2. Servicios Ecosistémicos y Métodos de Valoración Económica

Servicios Ecosistémicos	Métodos de Valoración Económica				
	Precio de Mercado	Costo Evitado	Costo de Sustitución	Costo de viaje	Transferencia de beneficios
Servicios de aprovisionamiento					
Abastecimiento de agua consuntiva	X	X	X		
Servicios Culturales y Recreativos					
Recreación y Turismo	X				
Belleza escénica	X				
Servicio de soporte o apoyo					
Hábitat de Vida Silvestre y Biodiversidad					X

La valoración económica de la laguna de Aculeo consideró los siguientes aspectos metodológicos:

- En el caso de la utilización del método de “Transferencia de Beneficios” se utilizaron factores de ajuste mediante el método de transferencia por juicio de especialistas (Brander y otros, 2006).
- Se procuró utilizar valores conservadores para todas las estimaciones realizadas.
- Todos los valores de referencia fueron convertidos a UF mediante el valor promedio del Periodo de Referencia (PR).
- Para actualizar los valores se utilizó un valor UF-2019 de \$ 28.000 y un valor del dólar de \$ 680.

5.6 Selección de Propuestas y Determinación de Cursos de Acción para Recuperar la Laguna de Aculeo

Mediante la consulta a la comunidad que habita en Aculeo, al igual que a expertos y actores claves que cuentan con conocimiento de la situación de la cuenca y de la laguna de Aculeo, se identificó un total de 17 propuestas para enfrentar la escasez hídrica y recuperar la laguna de Aculeo.

La identificación de propuestas se realizó mediante una revisión y análisis de información primaria y secundaria aportada por el Cuestionario a Expertos y Actores Clave (Anexo 3) y las entrevistas realizadas en el marco del AVGC de la ASCC (Anexo 2).

La selección de propuestas se realizó mediante la determinación de criterios de selección, los que fueron evaluados mediante la elaboración de una matriz de cumplimiento en base al juicio del evaluador y la información disponible. La justificación del incumplimiento de los criterios de selección para las propuestas que fueron descartadas de la evaluación se presenta en Anexo 5.

La definición de criterios de selección de propuestas incluyó:

- Revisión de legislación sobre política de agua, publicaciones académicas sobre gestión hídrica y publicaciones de organismos nacionales e internacionales en la materia.
- Análisis preliminar del marco legal-institucional vigente.

Una vez seleccionadas las propuestas se replantearon manteniendo sus características fundamentales, a las que se denomina en esta investigación Cursos de Acción o Medidas.

5.7 Determinación de Criterios de Evaluación en las Dimensiones Ambiental, Social y Económica

Para la determinación de criterios de evaluación en las dimensiones ambiental, social y económica se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación de información y revisión bibliográfica sobre criterios de evaluación para proyectos y medidas de gestión hídrica.
- Visitas a terreno y dialogo con actores locales.
- Realización de cuestionario a expertos y actores clave.

5.8 Evaluación de Cursos de Acción Orientados a Recuperar la Laguna de Aculeo

La evaluación de cursos de acción se llevó a cabo mediante tres etapas, cada una con un conjunto de actividades:

Etapas I: recopilación de antecedentes sobre los cursos de acción seleccionados de acuerdo con los criterios de evaluación establecidos.

- Se realizó una revisión bibliográfica para los diferentes aspectos que involucran los criterios de evaluación establecidos para cada una de las propuestas seleccionadas.
- La evaluación de aportes de agua de cada medida se realizó en base a los parámetros utilizados en el balance hídrico de la cuenca de Aculeo para el periodo 2018.
- Las evaluaciones económicas se realizaron en base a un ACB que incorpora los principales costos y beneficios privados y sociales para cada Curso de Acción.
- La actualización de los flujos de caja para todas las medidas se realizó mediante el Valor Presente Neto (VPN) para un horizonte de evaluación de 5 años y una tasa de descuento del 6%, la que corresponde a la Tasa Social de Descuento (TSD) vigente³³.

Etapas II: aplicación de la técnica de AHP.

- Se realizó una comparación de la relevancia de cada criterio, determinando el nivel de importancia de un criterio de evaluación respecto a otro. El método AHP genera un peso o coeficiente para cada criterio, mientras mayor sea el peso o coeficiente de un criterio mayor es la dominancia o importancia de este.
- Las puntuaciones para cada criterio se establecieron en una escala de 1 a 9. La interpretación de las puntuaciones es:
 - 1: x e y son igualmente dominantes.
 - 3: x es moderadamente más dominante que y.

³³ De acuerdo al documento Precios Sociales 2018 del Sistema Nacional de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile.

- 5: x es más dominante que y.
- 7: x es considerablemente más dominante que y.
- 9: x es absolutamente más dominante que y.

Los valores 2, 4, 6 y 8 se interpretan como valores de comparación intermedios.

- Con los resultados de las comparaciones se elabora una matriz $m \times m$, para la calificación de cada variable. Se determinó la ponderación global para cada criterio mediante la determinación de promedios geométricos, vectores propios o auto vectores (*Eigen vectors*).
- Posteriormente, se forma una matriz para cada criterio realizando comparaciones respecto del nivel de cumplimiento de las alternativas en cada uno de los criterios de evaluación establecidos.
- El cálculo de la ponderación para el valor total de una alternativa se obtuvo mediante una suma ponderada lineal de sus puntuaciones en los criterios de evaluación determinados, lo que permite realizar una clasificación global de las alternativas. Los cálculos realizados por la técnica AHP siempre van guiados por la experiencia del usuario.
- Para cada matriz de comparación $m \times m$ se realizó un análisis de consistencia mediante la Razón de Consistencia (RC) la que se obtiene mediante el cociente del Índice de Consistencia (IC) y el Índice de Aleatoriedad (IA). La matriz es consistente cuando la Razón de Consistencia es menor al 10%.
 - **Índice de Consistencia (IC):** cuando una matriz es totalmente consistente, la suma normalizada de cada una de sus filas y la suma de los elementos de

cada columna, son recíprocos. Por lo tanto, la multiplicación de las matrices permite obtener la unidad.

- **Índice de Aleatoriedad (IA):** es el valor al que tendería el Índice de Consistencia (IC) si todos los valores se obtuvieran de manera completamente aleatoria. Existen muchas fórmulas y tablas donde se pueden consultar valores de este índice elaboradas por distintos autores. En este caso se usarán los valores calculados por Saaty (1994), presentados en la Tabla 3 para matrices $m < 11$.

Tabla 3. Valores del índice de aleatoriedad de Saaty

<i>m</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>IA</i>	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

- Se realizó una clasificación de los cursos de acción evaluados, priorizando aquellos que presentan mejor desempeño en términos globales, es decir respecto de todos los criterios de evaluación determinados. la mejor alternativa no es la que maximiza cada criterio, sino la que ofrece el mejor equilibrio entre estos.

Etapas III: aplicación del modelo *WEAP* en diferentes escenarios

- Se determinaron cinco escenarios de aplicación de medidas de gestión hídrica de acuerdo a los cursos de acción evaluados previamente y los resultados de la aplicación de la técnica AHP.
- Se realizó una modelación del balance hídrico de la laguna de Aculeo mediante el modelo *WEAP* en cinco escenarios en base a variables climáticas registradas

durante el periodo 1996-2018 y también para un escenario base sin aplicación de medidas de gestión hídrica.

- Se estimó el nivel de embalse de la laguna de Aculeo para cada escenario.
- Se estimó el caudal necesario para recuperar el volumen histórico de la laguna de Aculeo mediante el modelo *WEAP* en escenarios futuros que incorporan 1.000 series de clima, que mantienen las condiciones de megasequía en el tiempo.

6. RESULTADOS

Los resultados se han organizado en seis secciones de acuerdo con los objetivos específicos planteados, es decir, cada sección responde a un objetivo específico, con excepción del último objetivo específico, el que se presenta en las tres últimas secciones³⁴.

6.1 Beneficios Asociados a la Recuperación de la Laguna de Aculeo

La reducción o desaparición de la laguna de Aculeo tiene importantes efectos en términos económicos, sociales y ambientales tanto para sus habitantes, como para las personas que concurren a esta localidad. A continuación, se realiza una valoración de los principales beneficios asociados a la recuperación del espejo de agua de la laguna de Aculeo, como de su acuífero. Como se indicó en la sección 5.2.3, la laguna y el acuífero forman parte de un mismo sistema hidrológico y se encuentran interconectados³⁵.

6.1.1 Estimación de beneficios por abastecimiento de agua para consumo humano

El agua para consumo humano considera todas aquellas aguas, en su estado original o después de un tratamiento de potabilización, que son utilizadas para beber, cocinar,

³⁴ La primera de las tres últimas secciones consiste en una recopilación de antecedentes sobre cada curso de acción evaluado con el fin de realizar las comparaciones en pares; posteriormente se aborda la aplicación de la técnica AHP, evaluando el desempeño de cada curso de acción respecto de los criterios establecidos. Por último, se realiza una modelación del balance hídrico en seis escenarios con el objetivo de aceptar o rechazar la hipótesis de trabajo planteada en esta investigación.

³⁵ La recarga de la laguna implica una recarga del acuífero, al igual que la reducción del espejo de agua de la laguna implica un descenso de la cota hidráulica del acuífero. En la estimación de beneficios se considera que la recuperación de la laguna permitirá también proporcionar mayor seguridad a los sistemas de abastecimiento que extraen agua desde el acuífero.

preparar alimentos, higiene personal y otros usos domésticos, incluyendo la agricultura de subsistencia, independientemente de su origen y de la manera en la que se suministre al consumidor (redes de distribución, cisternas, depósitos, pozos de uso doméstico, entre otros).

Los efectos de los cortes del suministro de agua potable o la imposibilidad de extraer agua de pozos y norias de uso doméstico, se relacionan con una reducción del consumo de agua y la necesidad de recurrir a sistemas de abastecimiento alternativos. Las fuentes alternativas de agua a las que recurre la mayor parte de la población, tal y como ocurrió durante los veranos de 2018 y 2019 son camiones aljibe y agua envasada³⁶.

Los meses más críticos para el abastecimiento de agua potable coinciden con el inicio de la temporada de riego de los predios agrícolas, desde octubre hasta abril, en este periodo se producen cortes de suministro y se implementan los sistemas alternativos de abastecimiento, afectando a un porcentaje importante de la población de Aculeo. El costo de abastecimiento de agua para la población mediante sistemas alternativos se asocia a la contratación de camiones aljibe y a la adquisición de agua envasada principalmente para bebida³⁷. Se considera además que en una situación crítica la población tendería a reducir su consumo de agua.

En el balance hídrico de la cuenca de Aculeo se estimó para el año 2018 que el consumo de agua de la población residente es de 110 l/día y el consumo de la población flotante (turismo) corresponde a 166 l/día por un periodo de 5 meses (desde octubre a febrero)

³⁶ Una parte de la población también podría profundizar sus pozos de uso doméstico, no obstante, esta alternativa se descarta en este análisis debido a su alto costo (aproximadamente 250 UF Considerando una profundidad mayor a 12 m y menor a 50 m.

³⁷ Se asume un consumo para bebida de 3 l/persona/día.

para 7.000 visitas al año (Barría y otros, 2019), lo que equivale al consumo de 4.402 habitantes.

Debido a que se han realizado inversiones para aumentar la seguridad hídrica de la cuenca de Aculeo orientadas a extraer una mayor cantidad de agua del acuífero, mediante la habilitación de nuevos pozos o la profundización de los pozos existentes (principalmente en el APR Rangue-Los Hornos), podría asumirse que los costos de abastecimiento de agua para consumo humano por demanda insatisfecha se han reducido.

La información sobre la duración y extensión de los cortes de suministro y la cantidad de viviendas que no contaron con agua en sus pozos durante el periodo 2018-2019, no estuvo disponible en el transcurso de esta investigación. No obstante, mediante la realización de supuestos conservadores, se puede realizar una estimación preliminar de los efectos económicos de los cortes de suministro de agua para consumo humano en la cuenca de Aculeo. Para fines de esta evaluación se asumirá de manera conservadora que la demanda insatisfecha corresponde a un 5%, es decir, un corte de suministro total para la cuenca de 18 días, el que equivale a un déficit de 57.580 m³/año destinados a abastecer a la población residente y flotante. El beneficio de reducir esta brecha para la población de Aculeo mediante la recuperación del sistema laguna-acuífero equivaldría a 13.691 UF/año, reduciendo el costo promedio de abastecimiento de agua para consumo humano desde 0,06 a 0,01 UF/m³.

Los parámetros de cálculo de la estimación y el detalle de supuestos utilizados se presentan en Anexo 4.a.

6.1.2 Estimación de beneficios por abastecimiento de agua para la producción agrícola

De acuerdo a los análisis de uso de suelo realizados para la cuenca de Aculeo entre el año 2006 y 2018 la superficie cultivada se redujo en aproximadamente un 1%, desde 1.511 a 1.492 ha, considerando cultivos de cereales y frutales. Durante la última década ha aumentado la proporción de frutales en un 44%, mientras que la superficie cultivada con cereales se ha reducido en un 8% en el mismo periodo, aumentando el consumo total de agua de riego debido al mayor requerimiento hídrico de los frutales (Barría y otros, 2019). Se infiere que este aumento se ha basado principalmente en la extracción de aguas subterráneas, una vez que la laguna de Aculeo no pudo proporcionar los caudales otorgados mediante DAA. La desaparición de la laguna de Aculeo durante los periodos estivales de 2018 y 2019 ha significado una reducción de la disponibilidad de agua destinada a riego, la que se asume se aproxima al total de los DAA otorgados sobre este cuerpo de agua.

En base a la caracterización de uso de suelos y el balance hídrico de la cuenca de Aculeo (presentados en la sección 5.4) es posible estimar los ingresos asociados a la producción agrícola actual. Esta estimación considera rendimientos, precios y costos promedio para los cultivos producidos en la cuenca.

Considerando que sólo los DAA otorgados sobre la laguna de Aculeo equivalen a 135,5 l/s (26,1% de los DAA otorgados en la cuenca) y asumiendo que estas aguas se distribuyen de acuerdo a las proporciones en las que se presentan los dos tipos de cultivos considerados en este estudio (cereales y frutales). La reducción de beneficios anuales para el sector agrícola equivale a 28.375 UF/año, con un promedio ponderado

de beneficios anuales de 68 UF/ha cultivada. Los ingresos asociados a la disponibilidad de agua para riego se estiman en 418 UF/año por cada (1) l/s aplicado en cereales y 768 UF/año por cada (1) l/s aplicado en frutales. La reducción de ingresos se debe a que el agua es un factor limitante para la agricultura, es decir la reducción de la oferta de agua implica una reducción del área cultivada o de los rendimientos obtenidos.

La recuperación de la laguna de Aculeo podría aportar agua para la producción agrícola, permitiendo hacer efectivos los DAA superficiales sobre este cuerpo lacustre. Los parámetros de cálculo de la estimación y el detalle de supuestos utilizados se presentan en Anexo 4.b.

6.1.3 Estimación de beneficios por la recuperación del turismo y las actividades recreativas

El turismo y el comercio se han visto perjudicados por la reducción de la laguna de Aculeo, a través del descenso del flujo de visitantes a la zona, la que se estimó desde un máximo de 16.688 en 2012 hasta aproximadamente 7.000 visitantes por año en la actualidad (ERIDANUS, 2016). En base a supuestos conservadores que consideran la entrada a un centro turístico y un consumo moderado en el comercio local, se ha determinado un gasto por persona de aproximadamente 0,5 UF/visita. Se estima que la recuperación del turismo y de las actividades recreativas podría aportar 4.585 UF/año adicionales a la economía local.

Los parámetros de cálculo de la estimación y el detalle de supuestos utilizados se presentan en Anexo 4.c.

6.1.4 Estimación de beneficios por la recuperación del valor de las propiedades

La escasez hídrica afecta de manera importante al sector inmobiliario, ya que repercute en el valor de las propiedades y en el desarrollo de nuevos proyectos. La plusvalía de las propiedades se ve afectada por numerosos factores, incluyendo la accesibilidad, la ubicación, los servicios e infraestructura, el paisaje y los cambios en los atractivos de una zona.

A pesar de los múltiples factores que influyen en el valor de las propiedades, los habitantes de Aculeo reconocen que existe un impacto negativo atribuible a la escasez hídrica y al deterioro ambiental de la cuenca de Aculeo³⁸. Durante el transcurso de la presente investigación no fue posible identificar otros factores independientes que permitieran explicar este fenómeno.

De acuerdo a una nota de prensa, el valor de una parcela de agrado en la laguna de Aculeo llegaba a 4 UF/m² en la ribera de la laguna y 0,4 UF/m² en el valle de Aculeo durante el año 2014 (Economía y Negocios Online, 2014). Una revisión de los precios actuales de las parcelas de agrado permite determinar un valor máximo de 1,0 UF/m² y un valor promedio de 0,3 UF/m² (Anexo 4)³⁹.

Para estimar el impacto de la recuperación de la laguna de Aculeo en el valor de las propiedades, se estimaron valores promedio de venta y arriendo para parcelas de agrado, en base a una revisión de valores publicados en portales web. La diferencia entre el valor total de arriendo de las propiedades en la situación con laguna (2014) y la

³⁸ Ver respuestas a entrevistas AVGC en Anexo 2.

³⁹ La información sobre el valor de las propiedades es incompleta y puede ser poco fiable. No obstante, se utilizó la mejor información disponible a la fecha de la evaluación.

situación actual, representa el beneficio asociado a la recuperación del valor de las propiedades, el que se determinó en 98.847 UF/año.

Debido a que no se cuenta con suficiente información respecto a valores de arriendo actuales y pasados, se utilizó la razón entre valor de arriendo y el valor de venta de parcelas de agrado en UF/m² para un total de 82 propiedades dentro de la comuna de Paine.

Los parámetros de cálculo de la estimación y el detalle de supuestos utilizados se presentan en Anexo 4.d.

6.1.5 Estimación de beneficios por la conservación del hábitat de la vida silvestre y la biodiversidad

La conservación de los ecosistemas existentes en la cuenca de Aculeo se relaciona con el nivel del acuífero y la existencia de la laguna. No obstante, en la actualidad no se cuenta con una valoración económica de los Servicios Ecosistémicos que proporciona el humedal/acuífero ni los ecosistemas que existen en la cuenca.

Cuando no existen precios de mercado para valorar los servicios ecosistémicos, es posible identificar las preferencias declaradas de la población. Respecto a la posibilidad de recuperar la laguna, se ha realizado una transferencia de beneficios de un experimento de elección que tuvo por objetivo determinar el valor económico del humedal de Lengua ubicado en la ciudad de Concepción, Chile. Villota (2009) determinó las preferencias de las personas para un proyecto de turismo asociado a un programa de conservación, concluyendo que entre más especies estén presentes en el humedal y

mayor sea el área de éste, la disposición a pagar es mayor, como también es mayor la disposición a pagar si hay obras turísticas presentes en el humedal. Además, los resultados establecen que mientras mayor es el nivel de educación de la población aumenta la disposición a pagar por lo atributos ecológicos del área. Los resultados de este estudio establecen que por cada hectárea adicional del humedal los visitantes estarían dispuestos a pagar $7,3 \cdot 10^{-4}$ UF por visita, mientras que los habitantes de la zona estarían dispuestos a pagar $4,4 \cdot 10^{-4}$ UF mensualmente⁴⁰.

Mediante estos parámetros es posible valorar de manera preliminar el valor asociado a la conservación ecológica y paisajística de la recuperación de la laguna de Aculeo. Lo que se enuncia en la siguiente expresión:

$$VREP = A(v \cdot F_1 + P \cdot F_2 \cdot 12)$$

Ecuación 1

Donde:

VREP: Valor de Recuperación Ecológica y Paisajística.

v: visitas por año.

A: área de la laguna de Aculeo a recuperar (ha).

P: población de Aculeo.

F₁: factor para la disposición a pagar de los visitantes por superficie adicional del humedal (UF/ha/visita).

⁴⁰ La transferencia de beneficios se realizó mediante el método de transferencia por juicio de especialistas, considerando un factor de ajuste de los valores de referencia equivalente a 2, el que se determinó en base a la percepción del equipo evaluador. Se asumió que en la condición en la que se encuentra actualmente la laguna de Aculeo, los habitantes y visitantes tendrían una mayor disposición a pagar por su recuperación.

F₂: factor para la disposición a pagar de los habitantes por superficie adicional del humedal (UF/ha/mes).

Por lo tanto, para un total de 7.000 visitas por año y 3.366 habitantes el valor asociado a la recuperación del ecosistema y el paisaje de la cuenca de Aculeo es de 57.061 UF/año.

6.2 Selección de Propuestas y Definición de Cursos de Acción

Para seleccionar las propuestas realizadas por la comunidad, los expertos y actores clave se establecieron los siguientes criterios:

- i. Las medidas son viables en términos técnicos y legales. Es decir, existe experiencia a nivel nacional y/o internacional y no se requieren modificaciones legales o normativas para su implementación.
- ii. Las medidas pueden aportar cantidades significativas de agua al sistema laguna-acuífero de Aculeo de manera directa, tanto por la disminución de la demanda hídrica de la cuenca, como por un aumento de la oferta de recursos hídricos. Se consideran consumos no significativos aquellos menores a un 10% del consumo de la correspondiente categoría⁴¹.
- iii. El volumen de agua que la medida aporta al acuífero puede estimarse en base a la información disponible, al igual que los costos y beneficios básicos que se derivan de su implementación.

⁴¹ Si la medida se aplica a la reducción del consumo agrícola debe permitir una reducción teórica de al menos un 10% del volumen determinado en el balance hídrico de la cuenca para el periodo 2018 (sección 5.4).

- iv. La medida es adicional a las acciones que actualmente se están llevando a cabo en la cuenca (Municipalidad de Paine, Ministerios, AVGC, Declaración de Zona de Restricción, Control y Fiscalización, entre otros).

Mediante un análisis del cumplimiento de los criterios de selección (Anexo 5) y a una revisión bibliográfica, se replantearon las propuestas de la comunidad, los expertos y los actores clave, en los siguientes cursos de acción o medidas:

- Recarga artificial del acuífero.
- Mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación en cultivos y disminución de consumo de agua por riego de césped.
- Cambio de uso de suelo en cultivos y sustitución de césped.
- Reducción de extracciones.
- Reutilización de aguas grises.

6.3 Criterios de Evaluación para la Recuperación de la Laguna de Aculeo

La Figura 8 presenta un resumen de los criterios y subcriterios de evaluación que permitirán evaluar los cursos de acción en las dimensiones ambiental, social y económica.

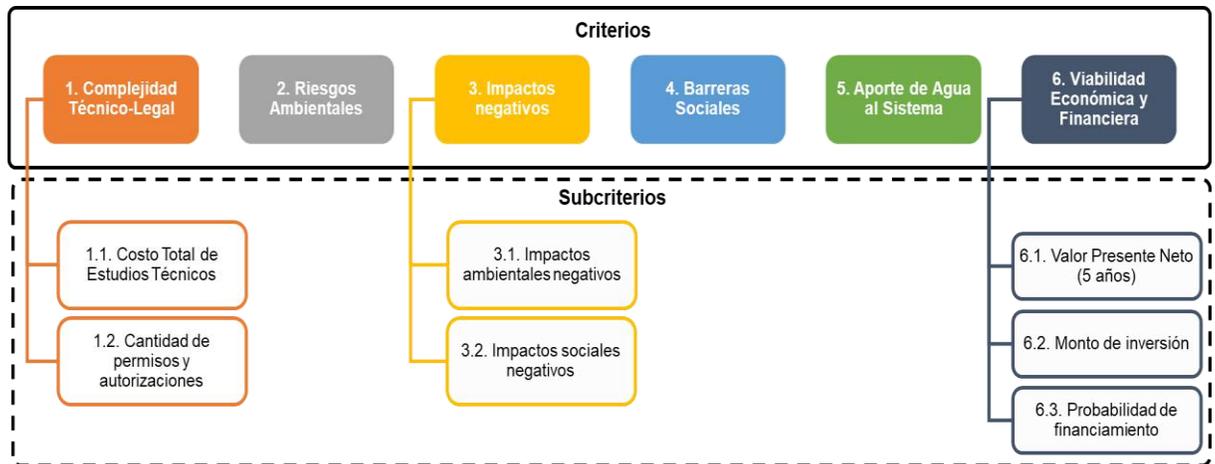


Figura 8. Resumen de Criterios y Subcriterios de Evaluación

A continuación, se desarrollan los criterios definidos para la evaluación de cursos de acción.

6.3.1 Complejidad técnico-legal

La medida presenta una baja complejidad técnico-legal cuando la necesidad de estudios técnicos y legales, en conjunto con la tramitación de permisos y autorizaciones es reducida y, por lo tanto, los costos de evaluación y los plazos requeridos para su implementación son acotados. La medida presenta alta complejidad técnico-legal cuando requiere una abundante cantidad de estudios técnicos, autorizaciones y/o permisos para su diseño, implementación y operación, redundando en altos costos de evaluación y tramitación y mayores plazos para su implementación.

Las medidas con baja Complejidad Técnico-Legal tendrán una ponderación mayor a aquellas que presenten una alta Complejidad Técnico-Legal. Los subcriterios e indicadores para evaluar el criterio *Complejidad Técnico-Legal* se presentan en la Tabla

4, con sus respectivas ponderaciones las que se establecieron de acuerdo al criterio del evaluador.

Tabla 4. Criterio 1 Complejidad Técnico-Legal

Criterio	Subcriterio	Indicador	Ponderación
Complejidad Técnico-Legal	Costo Total de Estudios Técnicos	Alto/Medio/Bajo	60%
	Cantidad de Permisos y Autorizaciones	Alto/Medio/Bajo	40%

6.3.2 Riesgos ambientales

Se refiere a la probabilidad de producir un daño ambiental, como consecuencia de la aplicación de una medida. Ciertas medidas podrían exacerbar los riesgos ambientales existentes en la cuenca o en el área de influencia de esta o introducir nuevos riesgos. Las medidas que no exacerben los riesgos existentes en la cuenca tendrán una mayor ponderación que aquellas que aumenten o introduzcan riesgos ambientales. El indicador para evaluar el criterio *Riesgos Ambientales* se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterio 2 Riesgos Ambientales

Criterio	Indicador
Riesgos Ambientales	Alto/Medio/Bajo

6.3.3 Impactos negativos

Los impactos negativos corresponden al efecto o alteración perjudicial que produce una medida en el ambiente respecto a una línea de base. Las medidas deben considerar los impactos socioambientales negativos producidos por su implementación. Cuando pueda anticiparse la existencia de impactos socioambientales negativos a partir de la

implementación de una medida, éstas serán calificadas con un puntaje menor. Aquellas medidas que no presenten impactos socioambientales negativos de importancia serán calificadas con un puntaje mayor. Adicionalmente, la ponderación de la medida considerará los casos en los que sea plausible implementar medidas de mitigación, compensación y/o reparación para los impactos negativos identificados. Los indicadores y subcriterios para evaluar el criterio *Impactos Negativos* se presenta en la Tabla 6, con sus respectivas ponderaciones las que se establecieron de acuerdo al criterio del evaluador.

Tabla 6. Criterio 3 Impactos Negativos

Criterio	Subcriterio	Indicador	Ponderación
Impactos Negativos	Impactos Ambientales Negativos	Alto/Medio/Bajo	50%
	Impactos Sociales Negativos	Alto/Medio/Bajo	50%

6.3.4 Barreras sociales

Por barreras sociales se entiende el conjunto de elementos psicológicos, conductuales y socioculturales que determinan como los individuos y las sociedades reaccionan a los retos impuestos por los cambios ambientales. Las barreras sociales a la adaptación se relacionan con procesos socioculturales imponiendo restricciones a los individuos y a las sociedades para llevar a cabo medidas adaptativas. La literatura sobre gestión de recursos naturales sostiene que las “barreras” para la acción colectiva o individual no recaen solamente en una falta de información o entendimiento de los problemas, sino que en factores sociales, culturales e institucionales (Jones, 2010).

Las barreras que frecuentemente se considerarán en la literatura se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Barreras sociales a la adaptación⁴²

Barreras Sociales	Ejemplos
Cognitivas	Creer que la incertidumbre es demasiada como para tomar medidas en el presente
	Falta de aceptación de los riesgos asociados con la implementación de las medidas
	El cambio no es visto como un problema. Existe una tentación de esperar que el impacto sea mayor para actuar.
Normativos	Las normas culturales desalientan el cambio y la innovación para adoptar nuevas prácticas
	Las formas tradicionales de actuar no son apropiadas para los nuevos escenarios
Institucionales	Inequidades institucionalizadas y discriminación social que excluye a determinados grupos sociales
	Rigidez social y cultural que impide la flexibilidad necesaria para llevar a cabo las acciones

Las barreras sociales se pueden expresar de diversas maneras, algunas manifestaciones aplicadas a la recuperación del sistema laguna-acuífero de Aculeo que se ha identificado son:

- Oposición a la implementación de medidas.
- Necesidad de colaboración activa por parte de los habitantes y usuarios para implementar la medida.
- Cambio de hábitos por una parte importante de la población.
- Cambios importantes en el modo en el que los diferentes grupos e individuos operan o interactúan.
- Baja valoración social de los beneficios de la implementación de una medida.
- No existen mecanismos para reducir o tratar la conflictividad entre los actores sociales.

⁴² Fuente: Jones, 2010.

Las medidas en las que pueda anticiparse la existencia de una o más barreras sociales de importancia serán calificadas con un puntaje menor. Aquellas medidas que presenten bajas barreras sociales serán calificadas con un puntaje mayor. El indicador para evaluar el criterio *Barreras Sociales* se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Criterio 4 Barreras Sociales

Criterio	Indicador
Barreras Sociales	Alto/Medio/Bajo

6.3.5 Aporte de agua al sistema

Para revertir la situación de escasez hídrica de la de la cuenca de Aculeo es necesario recargar el sistema laguna-acuífero, modificando el balance hídrico actual para incrementar gradualmente la cantidad de agua almacenada. Este objetivo se puede alcanzar mediante diversas técnicas y prácticas orientadas al aumento de la oferta y/o la reducción de la demanda de recursos hídricos en la cuenca. Las técnicas y prácticas que comúnmente se emplean para lograr este fin son la conservación de agua limitando su evaporación y contaminación, la mejora del desempeño de los sistemas de extracción, distribución y consumo, la recarga artificial de acuíferos, la mejora de la eficiencia de los sistemas de irrigación y la reutilización de aguas residuales tratadas, entre otras alternativas.

Para aumentar la cota hidráulica del acuífero y recuperar los niveles históricos de la laguna de Aculeo es necesario que las medidas de gestión hídrica aumenten de manera muy significativa la cantidad de agua almacenada. Es necesario señalar, que aún no se conoce con precisión la relación entre el nivel del acuífero y el espejo de agua de la laguna de Aculeo, debido a que la información hidrogeológica es insuficiente para

caracterizar apropiadamente el acuífero. No obstante, para alcanzar el nivel histórico de la laguna de Aculeo se estima que el acuífero debe aumentar su cota hidráulica hasta llegar a aproximadamente los 360 msnm de elevación, con un volumen de agua almacenada en la laguna de Aculeo de aproximadamente 35 millones de m³, de acuerdo a la geometría determinada por el estudio limnológico de laguna de Aculeo (DCE-DGA, 1987).

La ponderación de la medida será directamente proporcional a la cantidad de agua que esta pueda aportar al sistema laguna-acuífero, mediante la reducción de la demanda o el aumento de la oferta de recursos hídricos, considerando todas las pérdidas previsible y cuantificables. El indicador para evaluar el criterio de *Aporte de Agua al Sistema* se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Criterio 5 Aporte de Agua al Sistema

Criterio	Indicador
Aporte de Agua al Sistema	m ³ /año

6.3.6 Viabilidad económica y financiera

La viabilidad económica está determinada por la diferencia entre el costo y beneficio privado y social de una medida. Para que una medida sea viable económicamente debe promover el uso racional y/o eficiente de los recursos hídricos en la cuenca, reduciendo pérdidas, posibilitando la reutilización y/o aumentando la productividad de las actividades socioeconómicas. Para determinar si la medida es rentable o no, esta debe ser evaluada mediante un ACB, el que debe incorporar las externalidades en caso de que estas se produzcan. Los beneficios deben ser mayores que los costos.

La ponderación de las medidas será directamente proporcional al beneficio económico proporcionado por estas, e inversamente proporcional a los montos de inversión en términos comparativos. La viabilidad financiera estará dada por la disponibilidad de fondos para hacer frente a una inversión. Se entenderá que entre mayor sea la inversión la viabilidad financiera será menor, a menos que existan instrumentos de financiación disponibles y/o previsibles.

Los indicadores para evaluar el criterio de *Viabilidad Técnico-Económica* y los subcriterios se presentan en la Tabla 10, con sus respectivas ponderaciones las que se establecieron de acuerdo al criterio del evaluador.

Tabla 10. Criterio 6 Impactos Negativos

Criterio	Subcriterio	Indicador	Ponderación
Viabilidad Económica y Financiera	Valor Presente Neto (VPN)	UF/m ³	30%
	Monto de Inversión	UF/m ³	45%
	Probabilidad de Financiamiento	Alto/Medio/Bajo	25%

6.4 Recopilación de Antecedentes sobre los Cursos de Acción

Previo a evaluar los cursos de acción para recuperar la laguna de Aculeo, es necesario realizar una revisión de sus aspectos clave de acuerdo con los criterios de evaluación definidos. Como una forma de estimar los beneficios de manera general se ha calculado un beneficio compuesto considerando los siguientes aspectos:

- Ahorro monetario por abastecimiento de agua para consumo humano.
- Beneficios asociados al consumo de agua para producción agrícola.
- Ingresos asociados al turismo y las actividades recreativas.

- Recuperación del valor de las propiedades.
- Valor de conservación del hábitat para la vida silvestre y la biodiversidad (valor de existencia).

Los beneficios totales de recuperar la laguna de Aculeo ascienden a aproximadamente 290.000 UF/año. Es decir, el beneficio promedio por cada (1) m³ que ingresa al sistema es de 0,007 UF/año, considerando un volumen de agua mínimo para recuperar el sistema acuífero-laguna de Aculeo de aproximadamente 42 millones de m³. Este valor se utilizará para el cálculo de beneficios de todos los cursos de acción evaluados en función del volumen de agua aportado por unidad de tiempo, a menos que se indique expresamente lo contrario⁴³.

6.4.1 Recarga artificial del acuífero

La recarga artificial permite incrementar el flujo de aguas superficiales hacia los acuíferos, mediante un conjunto de técnicas hidrogeológicas, interviniendo el ciclo hidrológico "natural". A menudo se lleva a cabo disponiendo de agua superficial en surcos o zanjas almacenando agua para el corto, mediano y largo plazo, lo que presenta algunas ventajas frente al almacenamiento tradicional mediante embalses, ya que se minimizan las pérdidas por evaporación. La recarga artificial ha sido utilizada para:

- Restaurar acuíferos sobreexplotados;
- Conservar o aminorar los impactos de crecidas;

⁴³ Si bien, el impacto de la recuperación de la laguna de Aculeo en el valor de las propiedades puede ocurrir sólo cuando se alcanza cierto nivel del espejo del agua y es posible mantener ese nivel en el tiempo, por simplicidad se asumirá el efecto ocurre de igual manera con cada unidad de volumen de agua que ingresa al sistema.

- Almacenar y distribuir el agua;
- Tratar las aguas residuales; y/o
- Mejorar la calidad de agua superficial, aprovechando la capacidad de la zona no saturada para remover contaminantes.

Diversos estudios señalan que los sistemas de recarga de acuíferos son soluciones factibles para combatir la sequía y la sobreexplotación de acuíferos (Rupérez-Moreno y otros, 2019) No obstante, antes de llevar a cabo costosos estudios de factibilidad técnica mediante investigaciones hidrogeológicas y geofísicas, un primer paso es explorar el potencial de la Gestión de la Recarga de Acuíferos a través de estudios de gabinete para resolver dos cuestiones fundamentales. (i) Disponibilidad de una fuente confiable de agua y (ii) si el almacenamiento subterráneo presenta mejor desempeño económico que el almacenamiento superficial.

Las fuentes de obtención de agua para llevar a cabo una recarga artificial incluyen agua desde corrientes perennes o intermitentes que pueden o no estar reguladas por embalses, escurrimiento superficial de aguas lluvia (incluyendo aquellas provenientes de áreas urbanas), acueductos u otras instalaciones de transporte de aguas, zonas de irrigación, plantas de tratamiento de agua potable y plantas de tratamiento de aguas servidas e industriales.

En el caso de Aculeo el desafío de la recarga artificial es mayor, debido que todos los DAA se encuentran otorgados y los acuíferos se encuentran en cuencas que están declaradas como áreas de restricción o zonas de prohibición (acuífero de Paine). Las posibilidades se reducen a (i) desvío de aguas desde ríos en periodos de alto caudal o cuando ocurren inundaciones durante tormentas, lo que se conoce como aguas

suplementarias. (ii) captación de la escorrentía desde diversas fuentes y recarga focalizada en varios puntos. Un factor que posibilita en cierta medida la recarga artificial en la cuenca de Aculeo, donde el principal uso de suelo es agrícola, es que existe una gran cantidad de canales de regadío, que permiten el transporte de agua a diferentes sectores. La recarga artificial del acuífero se puede complementar con el proyecto de rehabilitación del canal El Aguilino, el que actualmente promueven los regantes de Aculeo, junto con la Municipalidad de Paine y el MOP⁴⁴.

i. Complejidad técnico-legal de la recarga artificial del acuífero

Para la RM se han realizado diversos análisis para la infiltración artificial, determinando los criterios que permiten establecer si un sector es adecuado o no para efectuar la recarga. Estos criterios son: un nivel estático superior a 45 m de profundidad y una permeabilidad del relleno superior a $7,5 \times 10^{-5}$ m/s. Dichos valores garantizan una capacidad de almacenamiento suficiente del acuífero en el sector. Además, debe incluirse la factibilidad de transportar agua hasta el sector elegido. En los lugares preseleccionados, debe revisarse la estratigrafía de pozos y perfiles cercanos para identificar la presencia de capas impermeables (Urtubia, 2015), las que se han verificado en el acuífero de Aculeo.

La recarga de acuíferos requiere suelos permeables, de lo contrario el agua debe ser inyectada en el acuífero mediante pozos. Para diseñar un sistema de recarga artificial de agua subterránea, las tasas de infiltración deben determinarse y la zona no saturada entre la superficie y el acuífero debe ser controlada para determinar una adecuada

⁴⁴ En esta evaluación no se consideran costos por transporte de agua debido a la existencia del proyecto de rehabilitación del Canal El Aguilino el que ha sido planteado por la Municipalidad de Paine y otras instituciones como una obra para recargar la laguna de Aculeo.

permeabilidad y la ausencia de contaminación. El acuífero debe ser lo suficientemente transmisoro para evitar acumulaciones o bolsones de agua.

Las aguas subterráneas de la cuenca de Aculeo fluyen hacia el río Angostura en dirección poniente-oriental. El estudio de la CNR (2013) determinó que el área localizada al sur del río Maipo no parece atractiva para proyectos de recarga artificial por tratarse de napas superficiales. Lo anterior indica que un proyecto de este tipo requiere un estudio de prefactibilidad que determine si es posible almacenar los caudales infiltrados.

Uno de los mayores problemas de los sistemas de recarga artificial es la colmatación del sistema de infiltración, lo que resulta en la reducción de las tasas de infiltración. Es necesario un pretratamiento del agua para reducir las partículas y un secado del sistema para permitir la fractura y extracción de la capa colmatante. Otra desventaja de este tipo de sistemas es la alta tasa de fallas que presentan por problemas de mantención inadecuada.

La infiltración puede ser superficial o profunda, existiendo diversos métodos en cada caso. Wilmans (2001) señala que los factores relevantes en el análisis hidrogeológico para la recarga artificial son:

- Materiales que conforman el acuífero (forma y tamaño) y fallas;
- Niveles piezométricos y profundidad de la roca;
- Transmisividad;
- Permeabilidad;
- Coeficiente de almacenamiento;
- Porosidad efectiva;

- Características químicas de los materiales presentes en la formación geológica;
- Existencia de bolsones de mayor permeabilidad.

El conocimiento de las condiciones del acuífero requiere investigación de campo y, si no se detectan defectos fatales, test de cuencas para predecir el desempeño del sistema. Asimismo, deben evaluarse aspectos relativos a la calidad de las aguas, especialmente respecto a la formación de capas de obstrucción en el fondo de la cuenca y en las zonas de infiltración, junto con reacciones geoquímicas en el acuífero. Debe considerarse que previo a la infiltración podría requerirse un filtrado para eliminar el exceso de sedimentos presentes en el agua.

Superados los aspectos técnicos de la recarga artificial, se requiere evaluar los aspectos legales, los que pueden traer impedimentos adicionales a los proyectos. Los aspectos más relevantes se relacionan con los DAA, los que pueden afectar la propiedad del agua infiltrada. La definición de la propiedad del agua recargada incentiva la inversión en la infraestructura que permite la recuperación de los volúmenes infiltrados y almacenados en el acuífero de manera posterior.

En Chile la recarga artificial de acuíferos debe contar con autorización previa de la DGA. Esta técnica está regulada por los artículos 66 y 47 del Dto. N° 203 de 2014⁴⁵. El Reglamento dispone que no se ocasione la colmatación del acuífero (concepto que no se precisa), ni la contaminación de las aguas (art. 49). Además, se regula el procedimiento y los requisitos para la constitución de derechos provisionales con cargo a las obras de recarga artificial (art. 50).

⁴⁵ "Reglamento sobre Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas.

Como compensación a quien haya ejecutado las obras de recarga artificial, se reconoce una preferencia para obtener derechos provisionales sobre las aguas inyectadas mientras se mantenga la recarga. Esta preferencia se refiere sólo al SHAC directamente influenciado por la recarga. Excepcionalmente podrá hacerse efectiva en un lugar distinto, pero siempre que esté claramente interrelacionado con el SHAC y que el o los puntos de captación del derecho provisional estén en una zona directamente influenciada por la recarga artificial. Para obtener la autorización se debe llevar a cabo un balance hídrico que determine el volumen adicional de agua que la infiltración produce en el SHAC donde se encuentra el punto de captación del derecho solicitado.

De acuerdo a Rivera (2015), la recarga artificial es un procedimiento complejo que envuelve numerosas aristas. Existen dudas respecto a la intervención que le corresponde en este proceso a las comunidades de aguas subterráneas y/o juntas de vigilancia en el sector en el que se pretende efectuar la recarga. Además, el Código de Aguas no aborda adecuadamente las implicancias que surgen de este tipo de proyectos.

Una de las principales restricciones que enfrenta un proyecto de recarga artificial en Aculeo es que no es posible constituir nuevos derechos consuntivos permanentes en ningún sector del río Maipo. Para el caso de los derechos eventuales, tampoco existe la posibilidad de constituir nuevos derechos consuntivos, dado que ya no hay recursos disponibles al cierre de la cuenca.

Se debe tener en cuenta que la recarga artificial no consume el agua, es decir, le correspondería pedir derechos de agua no consuntivos. Sin embargo, convertiría “agua superficial” en “agua subterránea”, por lo que debería regularse de manera especial,

mediante el otorgamiento de DAA eventuales consuntivos en el acuífero de El Monte y El Monte Nuevo o la adquisición de DAA para el proyecto.

Por último, es importante destacar que también pueden llevarse a cabo proyectos de recarga a pequeña escala, incluso a nivel domiciliario, infiltrando, por ejemplo, el agua de lluvia colectada desde los techos. La promoción esquemas que incorporen proyectos descentralizados de recarga artificial, conceptos que a nivel de diseño urbano actualmente están ganando bastante impulso (Hussey y Kay, 2015).

ii. Riesgos ambientales de la recarga artificial del acuífero

La recarga artificial de acuíferos requiere que las aguas infiltradas sean de la misma o mejor calidad que el agua del acuífero. Debe considerarse la vulnerabilidad del acuífero, la que es una propiedad intrínseca que depende de la sensibilidad que el sistema presenta ante impactos humanos y/o naturales. Iriarte (2003) evaluó la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos considerando para ello el espesor que alcanza la zona no saturada y la composición de ésta en relación con la facilidad de propagación de sustancias contaminantes. Para clasificar la vulnerabilidad se utilizan cinco categorías: extrema, alta, moderada, baja y muy baja o nula. Los parámetros que se utilizan para determinar la vulnerabilidad son tipo de acuífero (libres, cubiertos, semiconfinados y confinados), las características litológicas de los sedimentos o roca (granulometría y/o grado de fracturamiento) de la zona no saturada y su espesor. De acuerdo a Iriarte (2003) la zona de Aculeo presenta una vulnerabilidad Alta a Extrema.

Asimismo, la infiltración de agua mediante la recarga artificial de acuíferos puede generar problemas estructurales, tales como: esponjamiento, arrastre de finos o exceso de humedad en general.

iii. Impactos negativos de la recarga artificial del acuífero

Desde la perspectiva técnica es completamente factible transportar agua desde una cuenca a otra. No obstante, los impactos ambientales y los costos en términos económicos podrían hacer impracticables este tipo de proyectos. Incluso si llegará a ponerse en práctica un proyecto de recarga artificial del acuífero de Aculeo, las pérdidas por evaporación e infiltración, las abstracciones de agua y la presión por usar los recursos para irrigación podrían reducir de manera importante las expectativas iniciales sobre el volumen de agua recargado y almacenado.

Actualmente en Chile, se discuten esquemas de transferencia hídrica a gran escala, como por ejemplo el megaproyecto “Carretera Hídrica” que tiene por objetivo convertir al país en una potencia agroalimentaria regando un millón de hectáreas con agua importada desde la zona centro sur del país (Región del Bío-Bío) hasta la Región de Atacama (Corporación Reguemos Chile, 2019). Si bien, este proyecto se encuentra en una fase de preevaluación, ya cuenta con diversos detractores, que plantean serias dudas respecto a su viabilidad. Los aspectos controvertidos se relacionan con los impactos ambientales y sociales que se generarían y los altos costos de inversión, los que superan con creces la capacidad de financiamiento del MOP (Astorga, 2018). Además, se ha manifestado una férrea oposición de parte de comunidades indígenas de las zonas en las que se pretenden obtener los recursos hídricos (Briones, 2019).

Los impactos negativos de los proyectos de recarga artificial se relacionan con el efecto producido en las fuentes de importación de agua. Para mitigar los impactos negativos en la RMS la CNR (2013) propone realizar la infiltración a través de pozos de inyección con los excedentes de invierno del río Maipo. Lo anterior, a pesar de la naturaleza nival del

río, ya que la época en la que se producen las mayores crecidas es en los meses de verano debido a los deshielos. Urtubia (2015) propone realizar la infiltración durante el periodo estival, donde el caudal promedio del río Maipo alcanza un máximo promedio de 120 m³/s, considerando que el caudal transportado sea superior al de una probabilidad de excedencia del 20%.

iv. Barreras sociales de la recarga artificial del acuífero

La recarga artificial de acuíferos podría ocasionar conflictos entre las comunidades por el acceso del agua recargada. Si bien el Código de Aguas actual faculta a los usuarios para hacer recarga de acuíferos, la normativa específica sobre cómo llevarla a cabo es limitada.

Por otra parte, en la cuenca de Aculeo no se monitorean los volúmenes que se extraen del acuífero debido a la existencia de múltiples pozos no registrados o derechos no inscritos, lo que implica que el recurso sea poco controlable, desincentivando los proyectos de recarga artificial. En Chile los DAA se entregan en función de la recarga, lo que técnicamente es muy complejo de estimar. Además, debido a que no se conocen los flujos subterráneos, no puede asumirse que el total del volumen de agua inyectado o infiltrado en el acuífero permanecerá almacenado en este.

Las barreras sociales que se identifican para la Recarga Artificial del Acuífero son básicamente del tipo normativo e institucional. Lo anterior significa un cambio importante en la manera en que los actores operan actualmente.

v. Aporte de agua al sistema por recarga artificial del acuífero

De acuerdo al proyecto *“Mejoramiento de Infraestructura de Riego Canal Aguilino, Subterritorio 11, Paine”* y mediante el proyecto *“Obras de Rehabilitación Canal Aguilino”* El canal “El Aguilino” podría aportar 100 l/s en la zona del estero Pintué. Considerando que esta agua podría estar disponible durante un periodo aproximado de 4,5 meses de abril a julio, se podría obtener un flujo equivalente a aproximadamente 1,2 millones de m³/año. Este caudal puede complementarse en la temporada de riego mediante la adquisición de DAA. Se estima que mediante la adquisición de 63 l/s es posible alcanzar un flujo adicional de 2 millones de m³/año, totalizando aproximadamente 3,2 millones de m³/año.

Para determinar la recarga potencial del acuífero es necesario desarrollar un balance de suelos que considere las variables que influyen en la recarga, tales como: precipitación mensual, retención pluvial, capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, la profundidad de las raíces, la evapotranspiración real, el uso del suelo y la pendiente del terreno, entre otras variables. Con la utilización de estos modelos se obtiene un error de la recarga menor al 80% (Schosinsky, 2006). En este caso se ha determinado utilizar un factor de ajuste del 0,85 para incorporar pérdidas en la infiltración y almacenamiento, estimado un aporte por recarga artificial de alrededor de 2,7 millones de m³/año, mediante tres pozos de inyección. Este valor podría cambiar con mayor conocimiento de las propiedades hidrogeológicas del acuífero.

vi. Viabilidad económica y financiera de la recarga artificial del acuífero

Los aspectos económicos de la Recarga Artificial del Acuífero dependen de factores específicos de cada sitio. En general, la recarga es menos costosa cuando los suelos son permeables y cuando los acuíferos son del tipo “libre” y de agua dulce. Los costos

de la recarga mediante zanjas o surcos pueden ser hasta un orden de magnitud menor que los costos de la recarga mediante pozos de inyección.

En zonas urbanas la recarga es más atractiva que en zonas rurales ya que el factor de recuperación del agua es muy alto, se requieren pequeñas superficies y los acuíferos están protegidos de los usos del suelo en la superficie. En la RMS los costos de los terrenos pueden ser altos, por lo que las soluciones de recarga que se han evaluado se orientan principalmente a pozos de inyección, lo que implica un mayor tratamiento para alcanzar los estándares de calidad de agua requeridos y también mayores costos en términos de energía, por la necesidad de impulsión.

Las estimaciones de costos para la recarga de acuíferos en Chile son escasas y pueden variar significativamente respecto de la localización de los proyectos. Urtubia (2015), estimó un costo de aproximadamente 4.411 UF para la construcción de cada pozo de infiltración de 16" y 130 m de profundidad, infiltrando un caudal de 36 l/s. En este caso, cada pozo contempla una obra de captación desde el canal y una etapa de tratamiento previo a la infiltración. El proyecto de recarga considera bombas de inyección y unidades de filtro. Se considera además que se requieren estudios por un total de 1.985 UF para evaluar la factibilidad técnico-económica del proyecto.

Por otra parte, debido a que no pueden constituirse nuevos DAA en Aculeo al estar declarada como Zona de Restricción, debe considerarse la compra de los DAA o la "donación" voluntaria de los caudales requeridos, mientras esta agua no es utilizada por sus propietarios. Para complementar el caudal otorgado por los regantes de Aculeo se considera la compra de DAA por 63 l/s, con un costo aproximado de 27.760 UF. En

términos de operación se considera la mantención de un operario para la supervisión y mantenimiento de los pozos de infiltración con un costo de 386 UF/año.

El Valor Presente Neto (VPN) de esta medida, considerando los beneficios compuestos de la recuperación de la laguna de Aculeo para un periodo de 5 años es 9.802 UF, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 15%, recuperando la inversión en un periodo de 41 meses.

6.4.2 Mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación y disminución de consumo de agua por riego de césped

De acuerdo a los resultados del modelo de Balance Hídrico de la cuenca de Aculeo (sección 5.4), el consumo de agua en la cuenca de Aculeo para irrigación tanto para producción agrícola, como para el césped y la vegetación ornamental, representa un 92% de las extracciones de agua en la cuenca, por lo que aumentar la eficiencia de los sistemas de irrigación, significa extraer una menor cantidad de aguas superficiales o subterráneas que podrían quedar disponibles para recargar el sistema acuífero-laguna.

Mejorar los sistemas de irrigación significa hacer cambios a nivel de tecnologías y también de capacidades técnicas, especialmente de los operarios de dichos sistemas. En Chile cuando se aumenta la eficiencia de los sistemas de irrigación, usualmente el objetivo se orienta al aumento de la superficie irrigada, para consecuentemente aumentar la producción agrícola, lo que, en algunos casos, suele aumentar el consumo hídrico a nivel global. En el caso de Aculeo podría aumentarse la eficiencia de los sistemas de riego mediante el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos de

baja tecnificación, haciendo una transición hacia sistemas de mayor eficiencia (riego tecnificado) y utilizando el excedente para recargar el acuífero y recuperar la laguna.

Por otra parte, mejorar la eficiencia de los sistemas de irrigación en la producción agrícola es clave para la sustentabilidad del sector en la cuenca de Aculeo, ya que permite mitigar los efectos de futuras sequías y/o de una prolongación de la actual escasez hídrica.

Cuando se tecnifica el riego aumenta la eficiencia o al menos se mantiene en el tiempo. No obstante, es posible también que ésta disminuya por un uso excesivo de agua sobre los requerimientos hídricos reales de los cultivos, así como por un mantenimiento inadecuado de la funcionalidad de los equipos de riego (G&A Consultores, 2014).

Las “ineficiencias” que ocurren en los sistemas de riego se asocian a “pérdidas” en los sistemas de extracción, conducción e irrigación de agua a las plantas, a lo que se suma la evaporación de parte del agua que se extrae. Si bien algunos sistemas de riego pueden alcanzar eficiencias teóricas de aplicación de hasta un 90%, estos sistemas sólo pueden emplearse en cierto tipo de cultivos, lo que implica una serie de restricciones al momento de seleccionar que sistema o que mejoras llevar a cabo en cada caso. La Tabla 11 presenta las eficiencias teóricas de aplicación que se utilizan como referencia para proyectos de tecnificación de riego, de acuerdo a la CNR.

Tabla 11. Eficiencias de aplicación de referencia⁴⁶

Método de Riego	Eficiencia de Aplicación	
	Normal	Conducción Californiana
Tendido	30%	35%
Surcos	45%	50%
Surcos en contorno	50%	60%
Bordes en contorno	50%	65%
Bordes rectos	60%	65%
Pretilos	60%	65%
Tazas	65%	70%
Aspersión	75%	-
Microjet	85%	-
Micro aspersión	85%	-
Goteo	90%	-

Para disminuir el consumo hídrico en el riego de césped y jardines existen sistemas de riego similares a los que se aplican a los cultivos agrícolas. Entre los sistemas de riego que se aplican en áreas verdes se encuentran sistemas de riego por goteo, sistemas de riego por aspersión y difusión, sistemas de riego por microaspersión y nebulización, entre otros. Cada sistema presenta ventajas y desventajas y debe evaluarse caso a caso la conveniencia de aplicar uno u otro.

En áreas verdes y jardinería el principal objetivo no es la obtención de rendimientos, sino la supervivencia de la vegetación y su mantenimiento en unas condiciones estéticas aceptables, por lo anterior se hace necesario la adopción de medidas que permitan reducir un excesivo consumo de agua hacia cantidades que permitan asegurar el mantenimiento de las plantas en estado óptimo (Consejería de Agricultura y Pesca, 2010).

⁴⁶ Fuente: Bases de concursos públicos de fomento al riego de la CNR. La Eficiencia de Aplicación (Efa) es un componente de la eficiencia global de riego, ésta se refiere a la relación entre el volumen de agua almacenado en la zona de raíces (VZR) para uso consuntivo y el volumen total de agua aplicado. Los otros componentes considerados en la eficiencia global de riego son la Eficiencia de Conducción Externa (Efce) y Eficiencia de Conducción Interna (Efci).

En general se puede considerar que la eficiencia de aplicación para áreas verdes y jardines utilizando el riego localizado es de un 85-90%, mientras que en riego por aspersión este porcentaje desciende hasta un 70-80%, y en superficie hasta aproximadamente un 60% (Consejería de Agricultura y Pesca, 2010).

- i. Complejidad técnico-legal de la mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación y disminución de consumo de agua por riego de césped

En Chile existe una amplia experiencia en torno a la mejora de la eficiencia de los sistemas de riego. La CNR, es la entidad encargada de "*coordinar la formulación y materialización de la política nacional de riego, para el óptimo aprovechamiento de los recursos hídricos con énfasis en el riego y el drenaje*". Uno de sus principales objetivos es mejorar la eficiencia de riego, lo que se traduce en proyectos de desarrollo y transformación productiva y la optimización de inversiones y asignación de subsidios en riego y drenaje (aplicación de la Ley 18.450). Por lo anterior, se estima que existen todos los instrumentos legales y la capacidad técnica para llevar a cabo un proyecto de tecnificación de riego en la cuenca de Aculeo.

Por otra parte, no se requieren de permisos o autorizaciones especiales para aumentar la eficiencia de los sistemas de irrigación. En el caso de la mejora de los sistemas de riego de césped no se identifican complejidades técnicas o legales.

- ii. Riesgos ambientales de la mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación y disminución de consumo de agua por riego de césped

No se identifican riesgos asociados a la mejora de la eficiencia de los sistemas de riego ni para cultivos ni para el riego de jardines y césped. En el caso de la irrigación de cultivos es preciso contemplar la adquisición de DAA para transferir y asegurar el excedente o “ahorro” producido por las mejoras. La evidencia respecto a un posible “*efecto rebote*” en la mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación no es concluyente, debido a que cuantitativamente existe una fracción del consumo que puede recuperarse o que podría recargar el acuífero. El posible efecto rebote debe ser estudiado desde una perspectiva sistémica, en conjunto con otras consecuencias no deseadas que pudiesen ocurrir a partir de la mejora de eficiencia del uso de recursos hídricos en la irrigación de cultivos (Dumont y otros, 2013).

- iii. Impactos negativos de la mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación y disminución de consumo de agua por riego de césped

Los fertilizantes, pesticidas y sales contenidas en las aguas de riego son contaminantes que presentan con frecuencia las aguas subterráneas. La aplicación de una mayor cantidad de agua de, la que la zona radicular de los cultivos puede captar, produce un flujo del agua en exceso hacia las napas subterráneas que se encuentran bajo ésta, transportando los fertilizantes y pesticidas aplicados, los que se caracterizan por contener compuestos nitrogenados, fósforo, potasio y otros minerales y sustancias químicas (Langwaldt y Puhakka, 2000). La tecnificación del riego disminuiría el volumen de agua infiltrado, lo que podría aumentar las concentraciones de determinados contaminantes en el agua que percola hacia el acuífero, con posibles impactos locales.

- iv. Barreras sociales de la mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación y disminución de consumo de agua por riego de césped

Un factor que juega a favor de implementar mejoras en los sistemas de riego es que existe una amplia experiencia y, de las medidas evaluadas, es la única medida para la que el Estado cuenta con instrumentos de fomento, que actualmente se encuentran disponibles. Para aumentar la eficiencia de los sistemas de irrigación de la cuenca es fundamental la participación y el compromiso de los agricultores, especialmente de medianos y grandes y el apoyo de las entidades gubernamentales que permitan implementar nuevos sistemas de riego optimizando los sistemas existentes. Un punto importante que debe ser consensuado con los regantes es que la mejora de la eficiencia debe estar orientada a aumentar el nivel del acuífero y recuperar el nivel de la laguna de Aculeo y no, como tradicionalmente ocurre, a aumentar la superficie irrigada.

Por otra parte, se estima que el mayor porcentaje de agua lo podrían aportar los cultivos de cereales, los que en general tienden a emplear métodos más tradicionales de producción. Para los agricultores el hecho de tener que ceder el excedente en vez de utilizarlo en el aumento de la producción, puede repercutir en una desconfianza hacia el cumplimiento efectivo de este requerimiento por parte del resto del grupo, lo que podría desincentivar la mantención de la eficiencia de los sistemas de irrigación en el tiempo, asumiendo que no hay una forma de controlar que el excedente de agua se utilice efectivamente en la recarga del acuífero.

Para el aumento de eficiencia en los sistemas de riego, las barreras sociales se relacionan con la gran cantidad de personas e intereses que deben coordinarse y alinearse respecto a un objetivo común y con los métodos tradicionales de producción, los que pueden estar bastante arraigados en los agricultores. La desconfianza en el cumplimiento colectivo puede ser un importante desincentivo a lograr que se aplique de

manera efectiva una medida de este tipo, por lo que se propone que los excedentes o ahorros por eficiencia hídrica se aseguren mediante la adquisición de DAA.

Las parcelas de agrado, en la mayoría de los casos, cuentan con pozos de uso doméstico propios, los que en la práctica no presentan costos ni restricciones de consumo mientras puedan seguir aportando los caudales requeridos. La adopción de sistemas de riego más eficientes para césped, jardines y áreas verdes se constituye como una práctica voluntaria, que no cuenta con suficientes incentivos para su adopción, al no existir un cobro asociado a la explotación de pozos de uso doméstico.

- v. Aporte de agua al sistema por mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación y disminución de consumo de agua por riego de césped

El modelo de balance hídrico de la cuenca de Aculeo asumió una eficiencia global promedio de los sistemas de riego empleados en la zona de un 60%. Esto quiere decir que del total de agua que se extrae para riego, sólo el 60% es aprovechada por la planta, el 40% restante se evapora o se infiltra en el subsuelo, por lo que una parte de esta “pérdida” también contribuye a la recarga del acuífero, debido a la percolación profunda por debajo de la zona efectiva de raíces⁴⁷.

En el caso de Aculeo se extrae una cantidad importante de agua para el riego de césped en parcelas de agrado. Dada la gran cantidad de diferencias que puede existir en los

⁴⁷ Existe una alta complejidad en la estimación del porcentaje de agua de riego que se infiltra y recarga el acuífero a nivel de cuenca, para fines de este estudio el volumen que percola y se infiltra en el subsuelo recargando el acuífero se asumirá como un volumen equivalente al que se pierde por evaporación en los sistemas de conducción. El volumen que se infiltra depende de una cantidad importante de factores, tales como la pendiente del terreno, las características del cultivo, las características del suelo, la eficiencia de aplicación de cada sistema, variables meteorológicas, entre otras.

sistemas de riego, se asumió de manera conservadora que los sistemas de riegos de prados y jardines se encuentran en un rango de eficiencia del 70-80%.

Con el fin de considerar los volúmenes de agua que, preliminarmente, podrían aportarse al acuífero, se estimó un aumento de la eficiencia de los sistemas de riego, que permitiría llegar a un promedio ponderado del 70%, asumiendo que en cereales podría alcanzarse un máximo de 57,5%, en frutales un máximo del 90% y en parcelas de agrado un máximo de 85%.

Un aumento de un 10% de eficiencia de los sistemas de irrigación, en cultivos de cereales y frutales podría teóricamente reducir la extracción de agua en 2,7 millones de m³/año (considerando las demandas del año 2018). No obstante, se debe considerar que parte del agua que se aplica a los cultivos percola más allá de la zona de raíces, no pudiendo ser capturada por la planta y recargando efectivamente el acuífero. Un aumento de la eficiencia significa un menor volumen de percolación profunda, por lo que la mejora de un 10% en la eficiencia hídrica de los sistemas de irrigación aplicados a cultivos podrían aportar del orden de 1,4 millones de m³/año.

En el caso de los sistemas de riego de césped la mejora de eficiencia podría aportar cerca de 335 mil m³/año alcanzando una mejora de eficiencia de un 10% promedio en el total de parcelas de agrado (533 ha).

- vi. Viabilidad económica y financiera de la mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación y disminución de consumo de agua por riego de césped

De acuerdo a la literatura aumentar la eficiencia de los sistemas de riego es una de las medidas de mayor costo-efectividad para reducir la demanda hídrica de un cultivo (Jakeman y otros, 2016). Actualmente en Chile, existen instrumentos de fomento para la tecnificación del riego y la mejora de la eficiencia de los sistemas. El aumento de eficiencia permite también obtener ahorros en los sistemas de impulsión de agua, aunque a menudo estos ahorros se consideran poco significativos. El costo de aumentar la eficiencia para el riego se estima en un 57.628 UF/año. Este costo considera la inversión y puesta en marcha de los sistemas de riego para un total de aproximadamente 1.500 ha de cultivos, en base a la caracterización de uso de suelo del periodo 2018.

Debido a que el objetivo de esta medida es aumentar el nivel del acuífero, la propiedad del volumen excedente que se produce al aumentar la eficiencia de los sistemas de irrigación debe ser traspasada al Estado o a otra entidad para fines de conservación, lo que además se asocia a que este debe asumir un mayor costo de control y fiscalización, para evitar que la mayor disponibilidad de agua se utilice en el aumento de la superficie cultivada, produciendo un efecto contrario al que se busca. El traspaso de DAA desde los agricultores se ha valorado en un total de 19.040 UF. Lo que corresponde al 8% de los DAA otorgados en la cuenca equivalentes a un tercio del costo de mejora de eficiencia de irrigación.

Los costos de operación se estiman en 7.314 UF/año y los beneficios en un total de 6.604 UF/año. El VPN de esta medida, considerando los beneficios compuestos de la recuperación de la laguna de Aculeo para un periodo de 5 años es -75.148 UF (-57.186 UF sin la adquisición de DAA).

En el caso de la mejora de eficiencia en los sistemas de riego de césped se ha considerado una inversión de 5.530 UF, con un costo de operación y mantención de 1 UF/ha/año. El VPN de esta medida, considerando los beneficios compuestos de la recuperación de la laguna de Aculeo para un periodo de 5 años, es de -683 UF, con una TIR del 1%, recuperando la inversión en un periodo de 59 meses.

6.4.3 Cambio de uso de suelo en cultivos y sustitución de césped

La discusión sobre la relación entre la agricultura y la conservación de ecosistemas y biodiversidad ha generado un debate entre dos enfoques. Por una parte, está el enfoque orientado al incremento de productividad por área, separando espacialmente la producción de la conservación (en inglés el concepto se denomina *Land Sparing*), lo que podría resultar en la liberación de tierras para la conservación de la biodiversidad a nivel de paisajes (Phalan y otros, 2011). El otro enfoque se basa en la idea en que la agricultura alternativa, diversa y agroecológica puede mantener la biodiversidad a nivel de paisaje, concepto que apunta a integrar producción y conservación (*Land Sharing*) (Phalan y otros, 2011).

La medida propuesta consiste básicamente en revertir los cambios de uso de suelo en la cuenca, mediante dos vías complementarias. Por una parte, se propone la adquisición de terrenos dedicados a cultivos agrícolas de baja productividad y alto consumo hídrico, para restauración de la vegetación nativa (bosques y matorrales). Por otra parte, se propone que, en los domicilios con grandes superficies de terreno, especialmente en parcelas de agrado, se realice una sustitución del césped por vegetación adaptada a climas áridos y semi-áridos de bajo consumo hídrico.

Se espera que el cambio de uso de suelo modifique los requerimientos hídricos de la vegetación y consecuentemente la extracción directa de agua al eliminar la necesidad de irrigación⁴⁸.

i. Complejidad Técnico-Legal del Cambio de Uso de Suelo en Cultivos

En términos técnicos la sustitución de cultivos agrícolas por vegetación nativa es completamente factible. La menor producción agrícola podría compensarse en parte, con tecnologías agrícolas que incluyen la agricultura de precisión (prácticas de cultivo altamente tecnificadas que integran instrumentación para análisis geoespacial basado en sistemas de información geográfica para procesar datos sobre la variabilidad dentro del predio agrícola), cultivos transgénicos y la nanotecnología aplicada a la agricultura (Perfecto y Vandermeer, 2012).

En términos legales, existe una ley reciente, publicada en el Diario Oficial la Ley N° 20.930 en junio de 2016, que establece el Derecho Real de Conservación (DRC) Ambiental. El objetivo de la Ley de DRC es crear un instrumento que facilite y promueva la participación del sector privado en la conservación ambiental en Chile, complementando así el rol que realiza el Estado en esta materia. El DRC consiste en la facultad de conservar el patrimonio ambiental de un predio o de ciertos atributos o funciones de éste. Estos atributos o funciones pueden ser tangibles como lo son sus componentes bióticos (flora y fauna), abióticos como el agua y el suelo o intangibles, como el valor paisajístico y los servicios ecosistémicos. De esta manera se abre la posibilidad de que algunos propietarios puedan de manera voluntaria destinar sus

⁴⁸ En el caso de los cultivos agrícolas anuales las tasas de infiltración del acuífero pueden ser mayores en algunas etapas, aumentando la recarga. También se modificarán las tasas de infiltración y la captura de solutos.

predios a la conservación del patrimonio ambiental o que en caso de que los predios sean adquiridos mediante una transacción económica, puedan establecerse sus atributos en términos de conservación.

ii. Riesgos ambientales del cambio de uso de suelo en cultivos

Si bien, la disminución del área cultivada en la cuenca podría compensarse con un aumento en la productividad o en los rendimientos de los cultivos. No puede asumirse que este aumento de producción resulte en un incremento de cobertura de la vegetación natural. Por el contrario, se ha demostrado que este objetivo raramente ocurre en la práctica, es decir, el aumento de la producción agrícola no libera superficie para conservación, sino que causa una mayor expansión de las áreas de cultivo (Lambin y Meyfroidt, 2011).

La intensificación de la agricultura usando la modalidad de agricultura industrial frecuentemente conduce a una mayor erosión de las áreas naturales (Perfecto y Vandermeer, 2012). La evidencia empírica sugiere que los programas de intensificación agrícola bajo la modalidad industrial frecuentemente promueven las condiciones que resultan en la deforestación (Angelsen, 2010).

iii. Impactos negativos del cambio de uso de suelo en cultivos

Los impactos negativos que se identifican respecto al cambio de uso de suelo en cultivos se asocian con los cambios en los sistemas de vida de los habitantes de la cuenca y la pérdida de empleos en la agricultura, la que es una actividad económica de importancia en la zona.

Se estima que una reducción de un tercio de la superficie de cereales (400 ha) y un cuarto de la superficie de frutales (73 ha) en la cuenca de Aculeo podría significar una pérdida de alrededor de aproximadamente 15.860 Jornadas Hombre (JH) al año⁴⁹.

iv. Barreras Sociales del Cambio de Uso de Suelo en Cultivos y la Sustitución de Césped

El éxito de la sustitución de cultivos y la vegetación de alto consumo hídrico depende en gran medida de la participación de la comunidad. La adquisición de terrenos agrícolas para conservación puede ser llevada a cabo mediante la compra de terrenos que actualmente estén en venta o mediante la realización de ofertas a propietarios que cuenten con terrenos aptos para la sustitución de cultivos. También existe la posibilidad de lograr una sustitución voluntaria, mediante la introducción de prácticas agroecológicas.

Para mejorar las opciones de conservación existen básicamente dos posibilidades, aplicar el concepto de “intensificación sostenible” enfatizando en la alta productividad del sistema y los aspectos económicos y mercantilistas de la agricultura o aplicar el concepto de agroecología, que tiende a enfatizar los aspectos ecológicos y priorizar las economías campesinas, en este último caso, de acuerdo a Perfecto y Vandermeer (2012) es necesario, un cambio en la mentalidad productivista del agricultor por una mentalidad que tenga un énfasis en la sostenibilidad de la actividad.

⁴⁹ Esta estimación se basa en los costos de mano de obra promedio para cereales y frutales de las Fichas de Costo de ODEPA, asumiendo un costo de Jornada Hombre de 0,7 UF bruto, al que se aplicó un factor de corrección de mano de obra no calificada establecido en los “Precios Sociales Vigentes año 2018”, del Ministerio de Desarrollo Social.

Uno de los mayores desafíos de desarrollar una gestión sustentable de los recursos hídricos es la integración del uso del suelo, favoreciendo la participación de las partes interesadas. El trabajo de Murgue y otros (2015) propone una metodología participativa que combina técnicas “duras” y “blandas”, haciendo uso de representaciones espaciales del paisaje (mediante Sistemas de Información Geográfica), estimando los impactos potenciales en la extracción de recursos hídricos e involucrando activamente a la comunidad en el diseño de paisajes mediante talleres orientados a diseñar cambios en los sistemas de cultivos y su distribución espacial. De acuerdo a los resultados de la investigación, el enfoque de “*co-diseño*” proporciona un terreno fértil, para el surgimiento de opciones de cambio sobresalientes, creíbles y legítimas en la comunidad.

Existen estudios que evalúan los resultados de la gestión conjunta de suelos y agua. Por ejemplo, en Australia, Marshall (2001) concluye que la participación de la comunidad en procesos colaborativos no ocurre por accidente y que construirla es, en sí misma, un proyecto complejo que requiere inversiones sustanciales en liderazgo, construcción de esperanza, tiempo, capacidades y recursos financieros. No obstante, el beneficio de tener una comunidad comprometida compensa los costos de obtener los mismos resultados mediante la imposición.

En el caso de la sustitución de césped, las barreras sociales podrían ser menores, debido a que los efectos socioeconómicos no son tan severos como en el cambio de uso de suelo en cultivos. Aun así, es crucial la adopción voluntaria de la medida por una parte importante de la población, para que esta tenga un efecto significativo en el balance hídrico de la cuenca.

En una serie de entrevistas realizadas a habitantes de California que enfrentaban serias restricciones para mantener sus jardines, diversos entrevistados declararon que tuvieron grandes dificultades para renunciar al césped, pasando por todo tipo de sentimientos tales como pesar, rabia y depresión. Muchas personas sienten que están siendo atacadas en sus estilos de vida y las alternativas que existen como el pasto sintético o las plantas tolerantes a la sequía no son fácilmente adoptadas de manera voluntaria, siendo en muchos casos, la única opción debido al alto costo que presenta la mantención del césped o a las restricciones impuestas por la autoridad (Kurutz, 2014).

En el estado de California el césped está desapareciendo lentamente como consecuencia de la escasez hídrica, convirtiéndose en un bien de lujo. Se han llegado a implementar programas que incentivan a los residentes con hasta \$ 3.000 dólares americanos para convertir sus jardines con césped en paisajes hidro-eficientes (Kurutz, 2014).

En este sentido se identifican barreras sociales relacionadas al apego a las tradiciones, costumbres y hábitos de la población y la necesidad de colaboración activa de una parte importante de los habitantes de la cuenca. Se estima que los propietarios de parcelas de agrado son más de 1.000 personas y puede ser costoso lograr la participación y el involucramiento de todos ellos.

v. Aporte de agua al sistema por cambio de uso de suelo en cultivos

El aporte de agua por sustitución de cultivos y vegetación de alto consumo hídrico por bosque y matorral podría llegar a 2,1 millones de m³/año considerando intervenir a aproximadamente un 33% de la superficie de cereales y un 25% de la superficie cultivada

de frutales. No obstante, los cultivos presentan diferentes tasas de consumo y diferentes eficiencias de riego y por ende de extracción, por lo que la sustitución presenta mayor efectividad en los casos en los que la eficiencia de riego es baja. En el caso de sustituir el césped por vegetación de menor consumo hídrico, se estima un aporte al acuífero de 690 mil m³/año considerando una sustitución del 50% de la superficie cubierta con césped.

vi. Viabilidad económica y financiera del cambio de uso de suelo en cultivos

Para realizar el cambio de uso de suelos se ha asumido la adquisición de terrenos utilizados en cultivos de cereales en mayor proporción y frutales en una menor proporción debido a que usualmente tienden a tener una mayor productividad. Se ha asumido un costo de terrenos de 1,6 UF/m² en el caso de cereales y 2,6 UF/m² en el caso de frutales. Los terrenos agrícolas de menor valor⁵⁰ pueden situarse en torno a las 0,1-0,2 UF/m². Una vez adquiridos los terrenos se contempla su reforestación. CONAF ha publicado algunos indicadores para esta actividad, bordeando 24 UF/ha. Por último, se ha asumido un costo de mantención equivalente a un 10% del costo de reforestación al año

Debido a que estos predios dejarán de producir productos agrícolas se descontó como costos sociales los beneficios obtenidos de la producción y los empleos asociados a dicha superficie de terreno. En función de lo anterior, la inversión se estima en 7,9 millones de UF, con un costo de operación y mantención anual de 1.139 UF, Pérdidas en beneficios agrícolas por 29.113 UF/año y Pérdidas en empleos equivalentes a 7.023

⁵⁰ Para disminuir la especulación en la venta de terrenos se podría formar una comisión de tasadores independientes.

UF/año⁵¹. Los Beneficios se calculan en torno a los 10.262 UF/año. El VPN de esta medida, considerando los beneficios compuestos de la recuperación de la laguna de Aculeo para un periodo de 5 años es -7.567.569 UF.

Por otra parte, en la sustitución de césped se consideró que esta podría ocurrir de manera voluntaria, sin la necesidad de adquirir terrenos. En este caso los costos se reducen a establecer la nueva vegetación y a su mantención. La inversión se estima en 6.420 UF, con un costo de mantención de 642 UF/año y beneficios por 3.355 UF/año. El VPN de esta medida, considerando los beneficios compuestos de la recuperación de la laguna de Aculeo para un periodo de 5 años es de 4.726 UF, con una TIR del 32% y un periodo de recuperación de la inversión de 28 meses.

6.4.4 Reducción de extracciones

En diciembre de 2018 la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) anunció por primera vez que comprará derechos de agua para enfrentar la sequía que afecta el norte de la región de Valparaíso, especialmente a la Provincia de Petorca. Esta medida tiene por objetivo la obtención de 35,5 l/s en aquellos canales donde se pueda extraer el agua para redistribución (DGA, 2018).

En Aculeo se estimó que durante el 2018 el flujo de los principales esteros, tales como el estero Pintué y Las Cabras llegan a un total de 10 millones de m³/año, mientras que las extracciones alcanzan los 17,5 millones de m³/año, por lo que existe un desbalance que hasta ahora ha significado la reducción del nivel de la laguna de Aculeo y de su

⁵¹ Aplicando un factor de corrección de mano de obra no calificada de 0,62 de acuerdo a los precios sociales vigentes año 2018, Ministerio de Desarrollo Social.

acuífero. Continuar con las tasas de extracción actuales podría llegar a tener consecuencias más severas que las observadas hasta ahora para el desarrollo de las actividades socioeconómicas en la cuenca y la conservación de los ecosistemas.

i. Complejidad técnico-legal de la reducción de extracciones

En Chile existe al menos un caso, reciente, de adquisición de DAA como una manera de paliar la escasez hídrica que afecta a la provincia de Petorca. En este sentido, se advierte que la medida contaría con respaldo en términos legales. En términos técnicos y legales, una de las principales dificultades que enfrentaría una medida de este tipo sería el poder asegurar que efectivamente se produzcan las reducciones en el consumo de los recursos hídricos asociadas a la adquisición de DAA, lo que implica reducir al máximo posible la extracción ilegal y controlar de manera efectiva que se cumplan las extracciones autorizadas. Esta tarea si bien corresponde a la DGA, también podría formar parte de un eventual AVGC⁵², permitiendo mecanismos de control adicionales a los actuales y sistemas de información transparentes que den garantías a la comunidad, a las autoridades y a todos los usuarios del agua.

ii. Riesgos ambientales de la reducción de extracciones

El restablecimiento de afluentes pudiese tener riesgos asociados, ya que en algunos casos puede implicar inhabilitar las obras hidráulicas (bocatomas, pretilas, colectores, entre otros) que actualmente existen para alterar y/o desviar los cauces o derivar parte de los caudales de los esteros y quebradas. Los riesgos pueden manifestarse como

⁵² Como se mencionó anteriormente en la sección 4.3.1. durante el año 2019 comenzó la ejecución del AVGC para la cuenca de Aculeo. Ver: http://www.agenciasustentabilidad.cl/pagina/acuerdos_voluntarios_para_la_gestion

crecidas, inundaciones, aumento de la erosión de los cauces y embancamiento de la laguna por la mayor carga de sedimentos.

iii. Impactos negativos de la reducción de extracciones

Los principales impactos negativos se dan en el ámbito económico y social, debido a que los DAA se utilizan principalmente en la producción agrícola, lo que tendría como consecuencia la disminución de la superficie irrigada con una pérdida en términos productivos, afectando también los empleos generados en el sector. Este último impacto podría compensarse con una mayor oferta de empleos y de actividad económica en el sector turismo y en el comercio producto de una recuperación del flujo de visitantes a la laguna, como consecuencia de la eventual recuperación de sus niveles históricos. No obstante, esta eventual reconversión es sólo una posibilidad que puede no resultar factible en la práctica.

iv. Barreras sociales de la reducción de extracciones

La adquisición de DAA por parte del Estado fue abiertamente criticada por algunas ONGs y por otros sectores por el hecho de que previamente el Estado cedió a perpetuidad y de manera gratuita dichos DAA. Estas organizaciones cuestionan la legitimidad del mercado del agua en Chile y en especial el hecho de que el agua pueda transarse como un bien de mercado desatendiendo el acceso al agua para consumo humano y las consideraciones ecológicas que implica el sobre otorgamiento de DAA. Además, se advierte que la privatización del agua fomenta situaciones de sobreexplotación de los recursos hídricos creando zonas de escasez.

Por lo anterior, que el Estado adquiriera DAA en vez de reformar el sistema que permite la apropiación de los recursos hídricos por parte de privados, se considera como la prevalencia del interés económico por sobre el Derecho Humano al agua⁵³. De acuerdo a Rodrigo Mundaca, secretario general del movimiento de Defensa del Agua, la Tierra y la Protección del Medio Ambiente (MODATIMA) *“sigue prevaleciendo el sentido mercantil del agua. No están dando ninguna prioridad al consumo humano y al derecho al agua”*.⁵⁴ Para organizaciones como MODATIMMA, la Coordinadora por la Defensa del Agua y la Vida, entre otras⁵⁵ la compra de DAA por parte del Estado ha sido fuertemente criticada, debido a la escasa planificación que existe en torno a la explotación de un recurso tan vital como el agua.

La visión contraria tiende a enfocarse en los aspectos económicos del problema, esgrimiendo argumentos en torno a la asignación eficiente de los recursos y la concepción liberal de la libertad, en donde la planificación estatal es vista como coerción exterior influida por las ideologías políticas de los grupos de poder (Prieto, 2015). En este sentido la presión que pueden ejercer los grupos de interés frente medidas de este tipo podrían impedir que sean llevadas a la práctica en función de los intereses económicos que están en juego.

Por una parte, la medida de reducción de las extracciones mediante la adquisición de DAA sería vista como una legitimación de un “sistema de mercantilización injusto de los recursos naturales” y, por otra parte, sería vista como un “atentado al libre mercado”,

⁵³ Ver: <https://radio.uchile.cl/2019/02/14/rodrigo-mundaca-petorca-es-el-epicentro-de-la-violacion-del-derecho-al-agua/>

⁵⁴ Ver: <https://radio.uchile.cl/2019/01/12/crisis-hidrica-en-petorca-informe-del-indh-sostiene-que-la-sequia-se-ha-profundizado/>

⁵⁵ Ver página web de MODATIMA: <http://modatima.cl/propuestas/>; <http://www.derechoalagua.cl/2018/08/23/plan-hidrico-para-petorca-fue-desarrollado-por-los-empresarios-de-las-paltas/>

una pérdida de “neutralidad en la asignación de los recursos hídricos” y la apertura hacia “criterios de discrecionalidad”.

Por último, el contexto actual de apertura hacia los mercados internacionales y el aumento de la demanda por alimentos a nivel internacional generan incentivos importantes para que se pasen por alto los riesgos ambientales que enfrentan ciertos modelos productivos.

v. Aporte de agua al sistema por reducción de extracciones

En esta medida se propone reducir las extracciones de los esteros afluentes a la laguna en un 100%, reducir las extracciones que se realizan directamente desde la laguna en un 100% y reducir las extracciones de aguas subterráneas desde el acuífero en un 25%. Los DAA otorgados en la cuenca de Aculeo corresponden a aproximadamente 16,5 millones de m³/año, de los cuales el 63% corresponde a DAA subterráneas, un 8% corresponde a DAA superficiales en ríos y esteros y un 26% corresponde a DAA superficiales sobre la laguna de Aculeo (ver Anexo 1). Eliminar las intervenciones a afluentes y las extracciones en la laguna, junto con una reducción del 25% de DAA subterráneos podría aportar teóricamente 8,2 millones de m³/año, no obstante, como parte de estas aguas no están disponibles, se estima de manera conservadora que el aporte probable se reduciría en un 50% a un total de 4,1 millones de m³/año.

vi. Viabilidad económica y financiera de la reducción de extracciones

El 50% de los DAA permanentes y continuos en Aculeo corresponde a 260 l/s. Actualmente, los DAA en la zona sur de la RM se transan en un rango de 85-615 UF por

cada l/s (ver Anexo 6). Debido a que Paine ha sido declarado como “Zona de Prohibición” y El Monte como “Área de Restricción”, se considera, en función de la alta demanda y la escasa oferta de recursos hídricos, el precio de los DAA podría encontrarse en el percentil 90 de este rango, es decir aproximadamente 440 UF por cada l/s. La reducción permanente de DAA tendría un costo de inversión aproximado de 114.489 UF.

Por otra parte, la reducción de extracciones significa impedir que algunos predios puedan abastecerse de agua y por lo tanto de seguir produciendo (o restringir el abastecimiento del recurso). Por lo anterior, se debe considerar el costo social de reducir los beneficios del sector agrícola en aproximadamente 34.400 UF/año y los empleos en aproximadamente 3.384 UF/año⁵⁶. Además, se han considerado mayores costos de monitoreo, seguimiento y vigilancia, con el fin de reducir la extracción ilegal de aguas. Este costo se ha estimado con un 2,5%⁵⁷ de la inversión, lo que implica alrededor de 2.862 UF/año.

El VPN de esta medida, considerando los beneficios compuestos de la recuperación de la laguna de Aculeo para un periodo de 5 años es -201.614 UF. Este valor no considera beneficios asociados al agua para la producción agrícola.

6.4.5 Reutilización de aguas grises

Las prácticas de conservación de agua históricamente han sido vista como medidas temporales o de emergencia, utilizándose en épocas de sequía o de escasez hídrica.

⁵⁶ Aplicando un factor de corrección de mano de obra no calificada de 0,62 de acuerdo a los precios sociales vigentes año 2018, Ministerio de Desarrollo Social.

⁵⁷ No se tiene claridad sobre los costos de un eventual programa de monitoreo y control de extracciones en la cuenca de Aculeo. Existen estimaciones para otras cuencas, no obstante, se han considerado las recomendaciones del Protocolo Internacional de Medida y Verificación que establece que el control y monitoreo no puede exceder el 10% anual de los ahorros (IPMV, Volumen 1, 2010).

Las oportunidades de reutilización de aguas grises y residuales incluyen: (i) sustitución para aplicaciones que no requieren agua potable de alta calidad, (ii) aumentar el suministro de agua, proporcionando fuentes alternativas para abastecer las necesidades presentes y futuras, (iii) proteger los ecosistemas, (iv) reducir la necesidad de infraestructura hídrica y (v) cumplimiento de responsabilidad ambiental (Metcalf y Eddy, 2007).

Las aguas grises corresponden a aguas residuales domésticas excluyendo las aguas provenientes de inodoros y urinarios (a estas últimas se les denomina aguas negras). La reutilización de aguas grises permite disminuir la demanda de agua potable, ya que el porcentaje de aguas grises representa aproximadamente entre el 60 y el 70% del total de las aguas residuales que genera un domicilio (Franco, 2007). En algunos casos también se excluyen las aguas provenientes de cocinas y lavavajillas debido a su alto contenido orgánico que lleva al agotamiento de oxígeno y a un incremento de la actividad microbiológica.

En general, las aguas grises presentan menor cantidad de patógenos y nitrógeno y mayor cantidad de fósforo y una mayor tasa de decaimiento de contaminantes que las aguas negras. Los usos que pueden darse a las aguas grises son, entre otros: riego de áreas verdes y jardines, limpieza, agua para estanque de inodoros y urinarios, paisajismo y control de incendios, entre otros. En algunos casos pueden utilizarse en la agricultura, como uso recreacional y en restauración ambiental. En algunos países también se les utiliza para recargar acuíferos como una forma de prevenir la depresión de las napas subterráneas.

En Estados Unidos la aplicación más común a las aguas grises es el riego jardines residenciales utilizando principalmente aguas de lavado. La mayor parte de las aguas grises se utiliza sin ningún tratamiento (O'Connor y otros, 2008). Además de reducir la demanda de agua potable, la reutilización de aguas grises reduce la carga en fosas sépticas y plantas de tratamiento de aguas residuales. Diversos estados (Arizona, California, Nuevo México, Texas y Utah) cuentan con regulaciones y pautas de reutilización de aguas grises (WERF, 2006).

i. Complejidad técnico-legal de la reutilización de aguas grises

Actualmente Chile cuenta con la Ley 21.075 que Regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises. Esta ley establece que los sistemas de reutilización de aguas grises deberán contar con aprobación de proyecto y autorización de funcionamiento de la autoridad sanitaria regional.

Los sistemas de recolección, tratamiento y reutilización de aguas grises para fines de interés público que excedan el ámbito domiciliario podrán ser de iniciativa municipal, del Servicio de Vivienda y Urbanización o de otro órgano de la Administración del Estado con competencia sobre el territorio. El Reglamento establece el destino que podrá darse a las aguas grises tratadas, los que podrán ser:

- Urbanos: incluye el riego de jardines o descarga de aparatos sanitarios.
- Recreativos: incluye el riego de áreas verdes públicas, campos deportivos u otros con libre acceso al público.
- Ornamentales: incluye las áreas verdes y jardines ornamentales sin acceso al público.

- Industriales: incluye el uso en todo tipo de procesos industriales no destinados a productos alimenticios y fines de refrigeración no evaporativos.
- Ambientales: incluye el riego de especies reforestadas, la mantención de humedales y todo otro uso que contribuya a la conservación y sustentabilidad ambiental.

El artículo 9 de la ley establece las prohibiciones para la reutilización de aguas grises tratadas. Las prohibiciones son:

- Consumo humano y en general servicios de provisión de agua potable, así como riego de frutas y hortalizas que crecen a ras de suelo y suelen ser consumidas crudas por las personas, o que sirvan de alimento a animales que pueden transmitir afecciones a la salud humana.
- Procesos productivos de la industria alimenticia.
- Uso en establecimientos de salud en general.
- Cultivo acuícola de moluscos filtradores.
- Uso en piletas, piscinas y balnearios.
- Uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
- Uso en fuentes o piletas ornamentales en que exista riesgo de contacto del agua con las personas.
- Cualquier otro uso que la autoridad sanitaria considere riesgoso para la salud.

ii. Riesgos Ambientales de la Reutilización de Aguas Grises

Uno de los principales riesgos asociados a la reutilización de aguas grises se relaciona con la posibilidad de causar efectos en la salud humana mediante la transmisión de

patógenos y enfermedades. La población más expuesta a estos riesgos son los niños, ancianos y personas con compromiso inmunológico. El riesgo aumenta cuando existe un manejo centralizado de las aguas residuales, debido a que la diversidad de microorganismos patógenos aumenta con la población. Para controlar y disminuir riesgos de transmisión de enfermedades es posible llevar a cabo una serie de medidas tales como:

- Tratar las aguas grises de acuerdo a sus características y a la reutilización que se les dé.
- Desinfección⁵⁸.
- Evitar el uso de productos de limpieza que puedan contener sustancias químicas peligrosas.
- No almacenar aguas grises en zonas inundables.
- Almacenar las aguas grises en estanques tapados.

Por otra parte, existe incertidumbre respecto a cómo los múltiples compuestos químicos de uso doméstico, que interactúan en las aguas grises, pueden impactar en las áreas de irrigación, en la salud de las plantas y en la calidad del suelo. También podrían existir impactos potenciales en la calidad de las aguas subterráneas, los que aún no han sido estudiados a cabalidad (O'Connor y otros, 2008). Los estudios y la experiencia indican que las plantas de tratamiento de aguas residuales producen efluentes con un mínimo riesgo patogénico (USEPA, 2004). La aplicación mediante aspersores presente un muy bajo riesgo de afectar a la población mediante bio-aerosoles (Brooks y otros, 2004).

⁵⁸ Los riesgos de exposición a patógenos pueden reducirse mediante mecanismos de desinfección, tales como la radiación UV.

iii. Impactos negativos de la reutilización de aguas grises

Al-Hamaiedeh y Bino (2010) no identificaron impactos negativos en el uso de aguas grises tratadas para la irrigación de cultivos, especialmente de olivos, determinando que las propiedades químicas de los cultivos irrigados con agua dulce no se diferencian de aquellos irrigados con aguas grises. Por lo anterior, no se identifican impactos negativos de relevancia para sistemas de reutilización de aguas grises de pequeña escala. Los impactos negativos de la reutilización de aguas grises dependerán en gran medida de los sistemas de recolección, tratamiento y distribución que se utilicen y los usos aplicados a las aguas.

iv. Barreras sociales de la reutilización de aguas grises

De acuerdo a la literatura uno de los aspectos claves que influyen en la aceptación por parte del público de los sistemas de reutilización de aguas residuales (incluidas las aguas grises), es la seguridad química y microbiológica. Se ha identificado que la aceptación de la comunidad para proyectos de reutilización de agua depende en gran medida del tipo y la fuente de agua reutilizada y la aplicación que se le dé a esta. Todos estos aspectos están influidos por factores culturales y locales (O'Connor y otros, 2008).

Los riesgos percibidos por el público son a menudo uno de los principales factores que determinan la aceptación de los proyectos de reutilización de aguas residuales. La reutilización de aguas de lluvias es generalmente la opción que presenta mayor aceptación, frente a los proyectos orientados a reutilizar efluentes de aguas residuales tratadas (Fletcher y otros, 2008).

Los esfuerzos para promover sistemas de reutilización de aguas residuales no deben prescindir de la consideración y la implementación activa de las inquietudes de las partes interesadas. Para mejorar la aceptación de la comunidad sus opiniones y observaciones deben considerarse desde el principio en la conceptualización del programa de reutilización. La educación del público y de los tomadores de decisión locales es clave para el éxito (Miller, 2006).

Si bien, los sistemas de reutilización de aguas grises no requieren de grandes modificaciones en la manera en la que los actores operan, si puede existir una percepción de riesgo que podría dificultar su implementación.

v. Aporte de agua al sistema por reutilización de aguas grises

El consumo de agua para uso doméstico, de acuerdo al Balance Hídrico presentado en la sección 5.4, se ha estimado en los valores presentados en la Tabla 12.

Tabla 12. Consumo domiciliario en la cuenca de Aculeo

Consumo domiciliario	Demanda (m³/año)
Sector urbano	28.185
Sector rural	106.950
Sector Turismo	176.721
Total	311.856

Teniendo en cuenta el consumo de agua potable en la cuenca de Aculeo, y que actualmente los sistemas de reutilización de aguas grises se diseñan para reutilizar entre el 40-60% de las aguas residuales que produce un domicilio, este tipo de medida podría aportar una cantidad de aproximadamente 156.000 m³/año. La reutilización de aguas

grises presenta restricciones y por lo tanto sólo se considera su aplicación en el riego de jardines, prados y área verdes.

vi. Viabilidad económica y financiera de la reutilización de aguas grises

Franco (2007) determinó un costo de 0,007 UF/ m³ para un sistema de recolección y tratamiento de aguas grises en el norte de Chile. Investigaciones más recientes han determinado un costo de 110 UF para la instalación de un sistema que abastece el consumo equivalente a 85 personas/día, reduciendo el volumen de agua potable de la red pública en un 40% (Morales, 2013).

El costo de implementar sistemas de reutilización de aguas grises para todas las viviendas de Aculeo podría tener ascender a un total de aproximadamente 4.500 UF. Los costos de operación se aproximan a un 50% del costo del agua potable. Por lo que el sistema de reutilización de aguas grises reportaría un ahorro de aproximadamente 338 UF/año en el abastecimiento de agua para consumo humano evitando la extracción de agua que podría generar beneficios de 1.288 UF/año. El VPN de esta medida, considerando los beneficios compuestos de la recuperación de la laguna de Aculeo para un periodo de 5 años es 462 UF, con una TIR de 10%, recuperando la inversión en un periodo de 45 meses.

6.5 Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico

De acuerdo a la revisión bibliográfica y al juicio del evaluador se determinó que los criterios con mayor ponderación son la Viabilidad Económica y Financiera (29%) y el

Aporte de Agua al Sistema (24%), seguido por Impactos Negativos (19%), Barreras Sociales (14%), Riesgos Ambientales (10%) y Complejidad Técnico-Legal (5%).

La ponderación determinada para los criterios propuestos se presenta en la Figura 9.

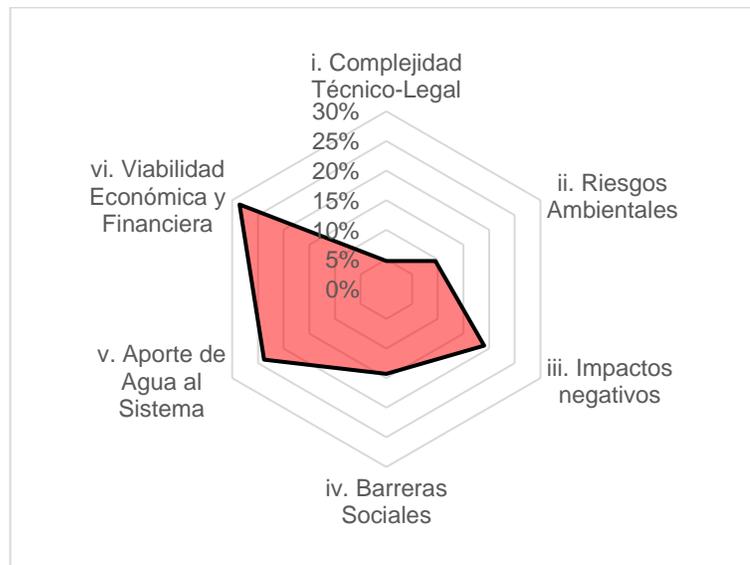


Figura 9. Ponderación de los criterios de evaluación de los cursos de acción

La Matriz de Criterios de Evaluación presenta un Índice de Consistencia Aleatorio para los seis criterios de 1,2. El Vector de Prioridad λ_{\max} es de 6 y el Factor de Consistencia de 0%, es decir, la matriz es consistente. La evaluación de estos criterios se presenta en el Anexo 7.

En base a la recopilación de información presentada en la sección 6.4 se determinaron puntuaciones para cada curso de acción respecto de los seis criterios de evaluación definidos. Las puntuaciones de los cursos de acción se realizaron en una escala continua de 1 a 9, donde 1 representa el peor desempeño y 9 el mejor. Las Figuras 10-16 presentan los resultados para los cursos de acción evaluados. La Matriz de Puntuaciones se presenta en Anexo 7.

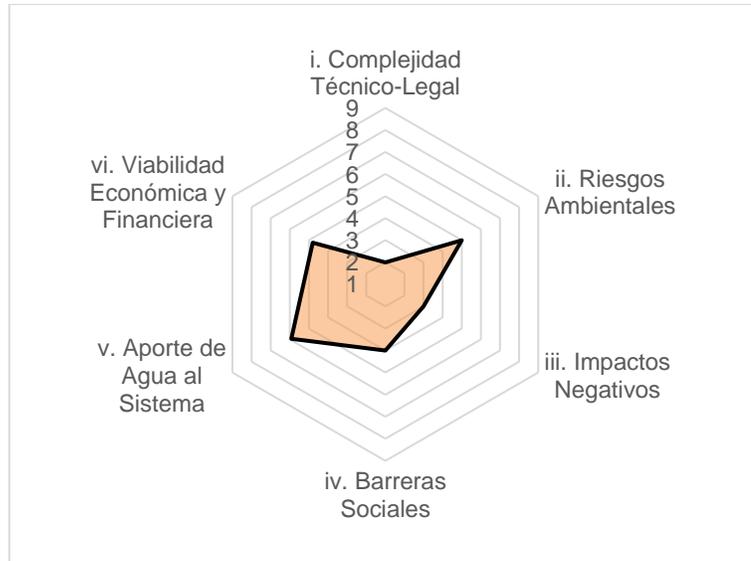


Figura 10. Puntuaciones para la recarga artificial del acuífero



Figura 11. Puntuaciones para la mejora de la eficiencia de los sistemas de irrigación en cultivos

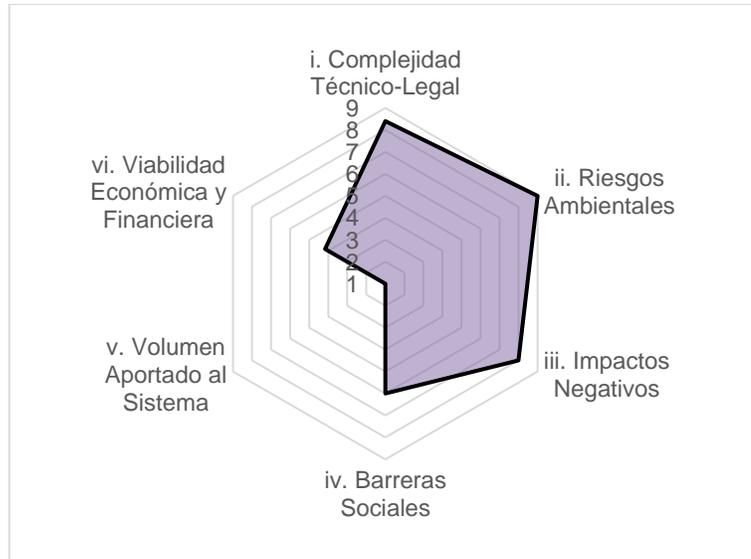


Figura 12. Puntuaciones para la disminución de consumo de agua por riego de césped

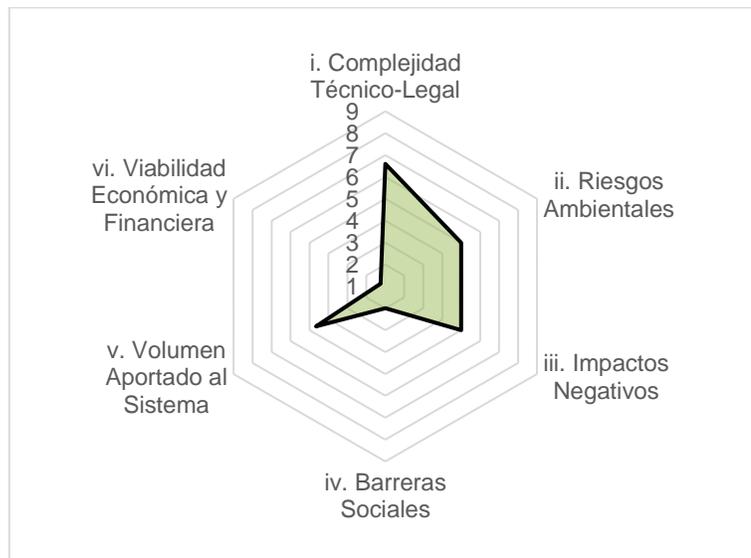


Figura 13. Puntuaciones para el cambio de uso de suelo en cultivos

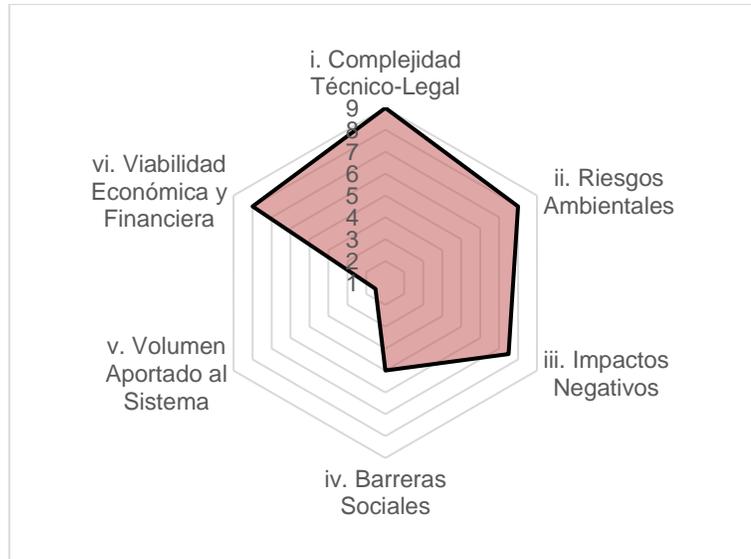


Figura 14. Puntuaciones para la sustitución de césped

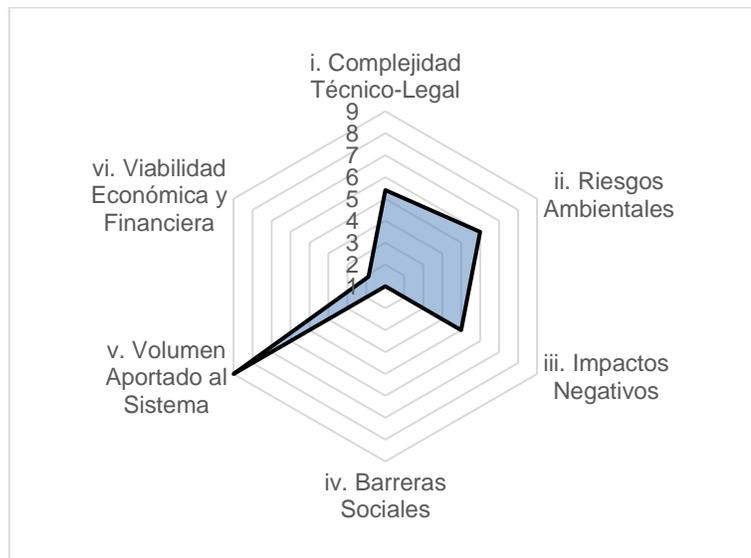


Figura 15. Puntuaciones para la reducción de extracciones

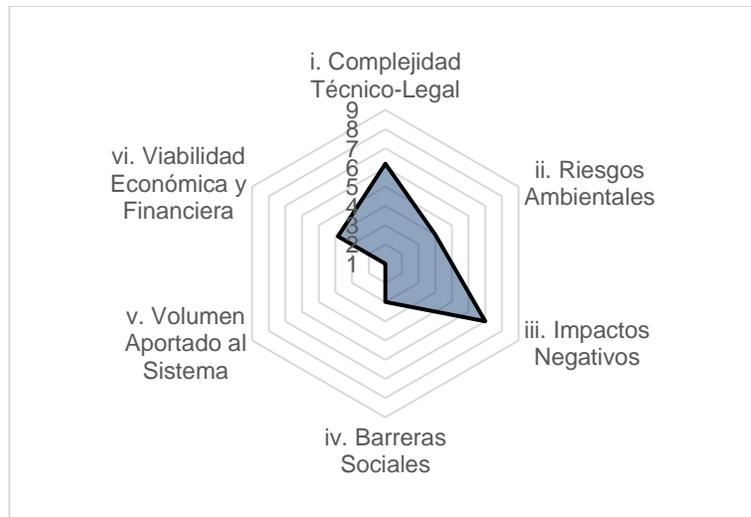


Figura 16. Puntuaciones para la reutilización de aguas grises

Los resultados para las medidas evaluadas de acuerdo a los criterios determinados se presentan en la Tabla 13. Un mayor porcentaje significa un mejor desempeño respecto a un criterio de evaluación. Las matrices de evaluación para cada curso de acción se presentan en Anexo 7.

Tabla 13. Evaluación de cursos de acción para recuperar la laguna de Aculeo

Ponderación Total	Complejidad Técnico-Legal	Riesgos Ambientales	Impactos Negativos	Barreras Sociales	Aporte de Agua al Sistema	Viabilidad Económica y Financiera
I. Recarga Artificial del Acuífero	5%	12%	7%	14%	23%	18%
II a). Mejora de la Eficiencia de los Sistemas de Irrigación en Cultivos	14%	14%	15%	25%	11%	11%
II b). Disminución del Consumo de Agua por Riego de Césped	19%	21%	19%	21%	4%	15%
III a). Cambio de Uso de Suelo en Cultivos	15%	12%	12%	7%	18%	5%
III b). Sustitución de Césped	21%	19%	18%	18%	6%	30%
IV. Reducción de Extracciones	12%	14%	12%	4%	35%	7%
V. Reutilización de Aguas Grises	14%	9%	17%	11%	4%	14%

La ponderación final de cada medida de acuerdo a los criterios de evaluación establecidos y sus respectivas ponderaciones se presenta en la Figura 17.

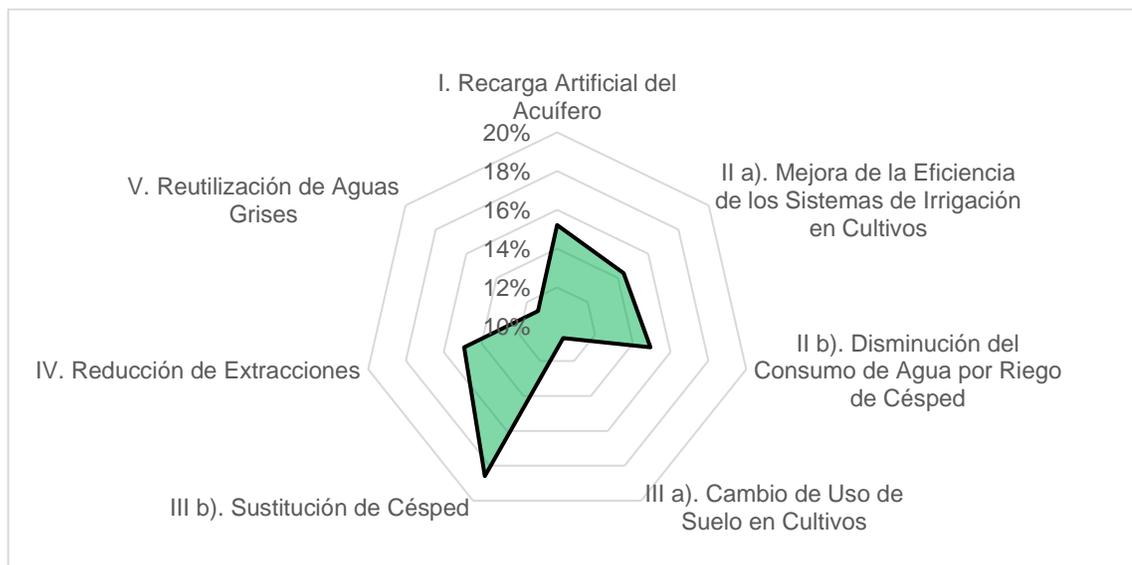


Figura 17. Priorización de Cursos de Acción

6.6 Balance Hídrico de la Laguna de Aculeo incorporando los Cursos de Acción

La aplicación de los cursos de acción en conjunto, excluyendo la reducción de extracciones, podría aportar un total de 214 l/s al sistema acuífero-laguna de Aculeo, como se detalla en la Tabla 14.

Tabla 14. Estimación del volumen potencial de aporte de agua al sistema por aplicación del conjunto de medidas

Curso de Acción	Asignación	Volumen (m ³ /año)	Caudal (l/s)
Recarga Artificial del Acuífero	100%	2.693.963	85
Mejora de la eficiencia de los Sistemas de Irrigación de Cereales	67%	858.297	27
Mejora de la eficiencia de Irrigación Frutales	75%	56.996	2
Disminución de Consumo de Agua por Riego Césped	50%	167.820	5
Sustitución de Cereales	33%	1.659.724	53
Sustitución de Frutales	25%	458.010	15
Sustitución de Césped	50%	692.441	22
Reutilización de Aguas Grises	100%	155.928	5
Total		6.743.179	214

La reducción de extracciones podría aportar alrededor de 130 l/s, no obstante, el análisis para llevarla a cabo y la interacción que presenta con el resto de las medidas es compleja y por lo tanto se debe estudiar en mayor profundidad. Para realizar una modelación del balance hídrico incorporando los cursos de acción, se definieron cinco escenarios de aplicación de medidas, de acuerdo a los resultados de la evaluación AHP. La medida que apunta a reducir las extracciones en la cuenca mediante la adquisición de DAA no pudo ser modelada y, por lo tanto, no se incluye en los escenarios evaluados. La reutilización de aguas grises fue excluida de la modelación, debido a su bajo aporte de agua al sistema en términos relativos. Los resultados de la modelación del balance hídrico en los escenarios evaluados se presentan en Anexo 8.

Los escenarios definidos para la modelación del Balance Hídrico aplicando los cursos de acción evaluados son los siguientes:

- Escenario Base: no hay aplicación de medidas de gestión hídrica ni de cursos de acción.
- Escenario 1: mejora de la eficiencia de los sistemas de irrigación de cultivos de cereales desde 50 a 60%.
- Escenario 2: disminución del consumo de agua para riego en parcelas de agrado, disminuyendo la extracción global de agua para riego de césped en un 12%.
- Escenario 3: recarga artificial del acuífero asumiendo un caudal constante de 100 l/s.
- Escenario 4: cambio de uso de suelo en cultivos con reforestación de vegetación nativa (un tercio de la superficie utilizada por cereales y un cuarto por frutales).
- Escenario 5: sustitución de césped en el 50% de las parcelas de agrado por vegetación nativa.

La Figura 18 presenta el volumen embalsado de la laguna para el escenario base y los 5 escenarios definidos. Se realizó la modelación como si se hubiesen adoptado las medidas en el pasado, debido a que no se conoce cuál será la serie de tiempo del clima futuro⁵⁹.

⁵⁹ La estimación de climas futuros requiere una gran capacidad de modelación, con al menos 1.000 series estocásticas de clima. Para evitar la complejidad de dicho análisis se realizó la modelación de las medidas con datos históricos de clima, analizando principalmente su impacto sobre el volumen embalsado de la laguna de Aculeo.

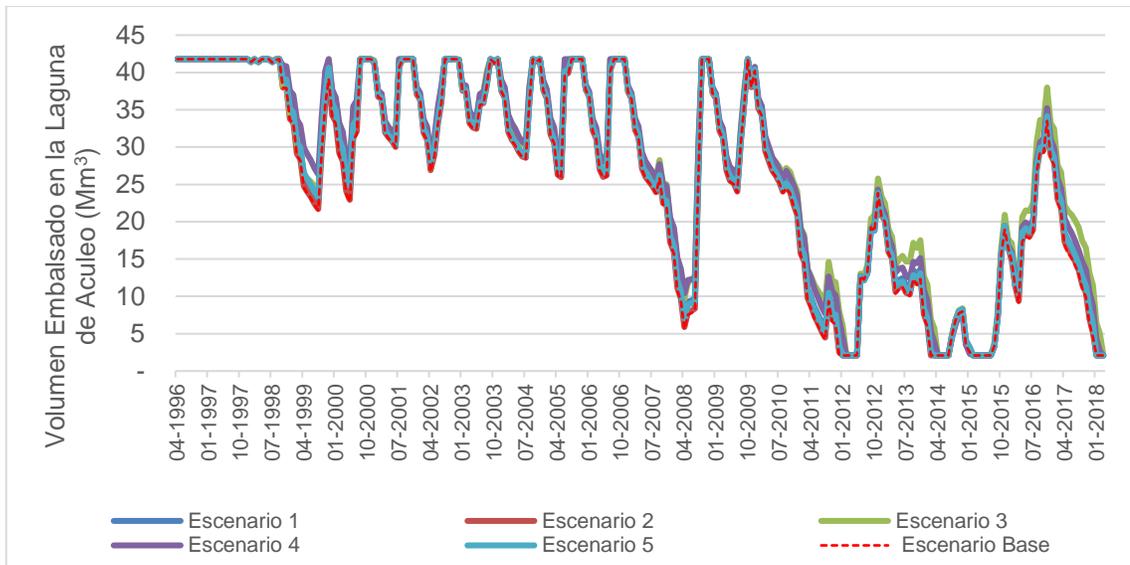


Figura 18. Modelación del volumen de agua embalsado en la laguna de Aculeo en diferentes escenarios

Las diferencias entre el Escenario Base y los escenarios evaluados se presentan en la Figura 19.

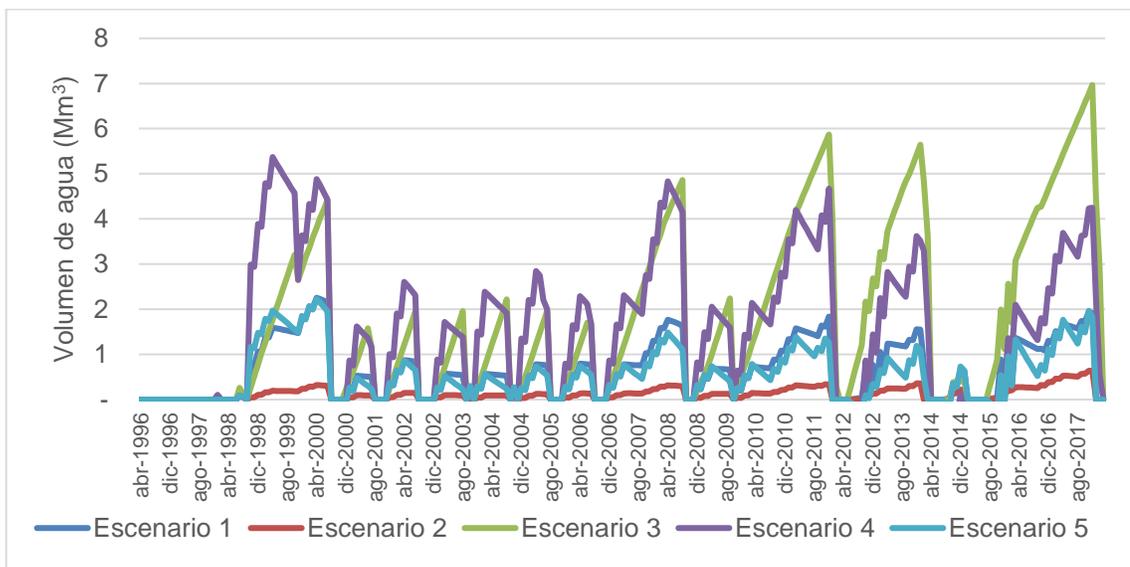


Figura 19. Diferencias en el volumen de agua embalsado en la laguna de Aculeo para escenarios evaluados

De acuerdo al Balance Hídrico de la cuenca de Aculeo (Barría y otros, 2019), el principal factor que explica el rápido descenso de los niveles de la laguna es el clima y no el uso

de suelo. Considerando un escenario de sequía futuro, y manteniendo los consumos de agua en la cuenca, se requiere un flujo constante de importación de agua de aproximadamente $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ para mantener los niveles históricos de la laguna de Aculeo (42 millones de m^3).

7. DISCUSIÓN

7.1 Usos del Suelo y Balance Hídrico de la Cuenca de Aculeo

Los resultados de la evaluación se basan en gran medida en la determinación de usos de suelo y en los resultados del modelo de balance hídrico de la cuenca de Aculeo que se desarrollaron en el marco del proyecto FIC-Aculeo. La metodología empleada permite obtener órdenes de magnitud que son relevantes para evaluar medidas de gestión y especialmente en esta primera etapa, descartar propuestas o definir aquellas que debiesen ser estudiadas en mayor profundidad. En esta etapa las tasas de consumo por uso de suelo presentan un cierto grado de incertidumbre⁶⁰ debido a que no se conocen con exactitud los tipos de cultivos, ni los sistemas de riego, ni sus eficiencias, para cerrar las eventuales brechas se utilizan supuestos conservadores.

Para fines de esta investigación se realizó una clasificación de los cultivos en dos categorías, cereales y frutales. Esta clasificación podría ser mejorada en base a un trabajo en terreno que permita establecer instancias de colaboración con los agricultores y recopilar información con mayor detalle. De esta forma, se podrían caracterizar, además de los cultivos, los sistemas de irrigación, determinando las eficiencias de irrigación para cada cultivo. Es pertinente realizar un análisis de costo/beneficio sobre si la mejora en la caracterización de los cultivos y los sistemas de irrigación en la cuenca permite mejorar de manera significativa los resultados del balance hídrico. En caso de optar por mejorar la eficiencia de los sistemas de irrigación esta información podría ser

⁶⁰ Los consumos hídricos de bosque y matorral presentan mayor incertidumbre, ya que por una parte la vegetación nativa ocupa la mayor parte del área de la cuenca y por otra, existen escasas referencias para los coeficientes utilizados en el cálculo de la evapotranspiración de la vegetación nativa.

recopilada y sistematizada mediante las agencias públicas a cargo (CNR, SEREMI de Agricultura, entre otros).

Actualmente no existe un control de las extracciones en la cuenca de Aculeo. La extracción mediante pozos de uso doméstico amparados en el Código de Aguas y la extracción ilegal es significativa. A este último problema, se suma el hecho de que el CPA no está actualizado y no incorpora la totalidad de los DAA otorgados. No fue posible determinar la cantidad de derechos de agua que estaban siendo efectivamente utilizados ni el porcentaje de utilización en base a los caudales autorizados. Por lo anterior, se asume que la incertidumbre asociada a las demandas de agua en la cuenca es relevante, no obstante, la estimación de tasas de consumo y extracción en base a usos de suelo permite reducir estas brechas de información debido que es independiente a los registros de consumo.

Para reducir la incertidumbre sobre la demanda hídrica es necesario establecer un monitoreo continuo de las extracciones que se llevan a cabo en la cuenca de Aculeo, mediante estaciones fluviométricas y mediciones de las extracciones de aguas subterráneas, incluyendo mediciones de flujo en las intervenciones o desvíos de cauce, los que en la actualidad no se controlan adecuadamente. Lo anterior junto con una adecuada fiscalización y sanción de infracciones, podría contribuir a recuperar el sistema laguna-acuífero de Aculeo de forma adicional a las medidas evaluadas.

7.2 Valoración de Beneficios

La valoración de beneficios económicos se realizó en base a una recopilación de antecedentes, el uso de supuestos conservadores y a la transferencia de beneficios de

estudios realizados en otros contextos. Los resultados indican que el principal beneficio de recuperar el sistema laguna-acuífero de Aculeo se asocia con el valor de las propiedades. Los bienes ambientales como atributos de los bienes inmuebles o raíces suelen evaluarse mediante el método de "Precios Hedónicos". La dificultad radica en establecer la proporción del precio del bien que refleja el atributo ambiental y el valor social relacionado con cambios en estos atributos.

En este trabajo se utilizaron aproximaciones simples para determinar como la recuperación del sistema laguna-acuífero afectaría el valor de las propiedades, el que corresponde a casi un 50% de los beneficios estimados en la presente evaluación. Un aspecto que podría variar estos resultados es el uso de los precios de venta en lugar de los precios de arriendo. Esta decisión influye especialmente si los cambios ambientales son transitorios, ya que los valores de venta no sólo reflejan el estado actual del atributo, sino que también los estados esperados en el futuro. En este caso se utilizaron los precios de arriendo, ya que se asumió la posibilidad de una recuperación de la laguna de Aculeo, la que podría ser parcial.

Para los otros beneficios evaluados sería preciso poder mejorar las brechas de información existentes, las que se relacionan con los supuestos realizados.

En el caso del agua para consumo humano es necesario una evaluación de los costos de abastecimiento, identificando el nivel de demanda insatisfecha y mejorando la evaluación sobre los costos de abastecimiento mediante sistemas alternativos. El hecho de que en la cuenca exista una gran cantidad de pozos de uso doméstico de los cuales no se conocen sus características, introduce alta incertidumbre en la magnitud real del problema. Estas estimaciones son complejas debido a la existencia de una gran cantidad

de segundas viviendas, por lo que la población flotante de Aculeo puede ser bastante alta y tener un impacto no menor en los consumos de agua de la cuenca, no obstante, la relevancia del consumo residencial y el turismo es menor en comparación con los consumos de cultivos agrícolas y riego de jardines en parcelas de agrado.

Respecto al abastecimiento de agua para consumo agrícola, como se mencionó anteriormente, sería importante caracterizar con mayor precisión los cultivos y los sistemas de riego existentes en la cuenca. La información pública sobre precios de venta y costos de diferentes tipos de cultivos es adecuada, pero podría mejorarse mediante la recopilación de información primaria.

En el caso de la valoración de beneficios para el turismo y comercio que se desarrolla en la cuenca, es necesario aplicar encuestas a los visitantes y estimar con mayor precisión la cantidad de visitantes que acuden a la cuenca en época estival y el gasto promedio que estos realizan, determinando de mejor forma el impacto de la desaparición de la laguna de Aculeo en la economía local.

Por último, la estimación de beneficios asociados al hábitat de vida silvestre y conservación de biodiversidad puede mejorarse enormemente con una recopilación de información primaria a través de encuestas que permitan determinar la disposición a pagar de los habitantes y visitantes de la cuenca de Aculeo por conservar el hábitat y la biodiversidad que se sustenta gracias al sistema laguna-acuífero. La entrevista semiestructurada en profundidad podría recoger de mejor manera los atributos del humedal que son importantes para cada sujeto.

Alternativamente, se podrían utilizar encuestas para mejorar los supuestos realizados en torno al factor de ajuste para la transferencia de beneficios, determinando además la demanda por servicios, infraestructura, atributos ambientales, cambios en la calidad o provisión de los servicios ambientales, entre otros aspectos. Brander y otros (2006), determinaron mediante un meta-análisis valores para humedales en el rango de US\$ 150-2.800 por ha/año. La valoración realizada en este análisis se encuentra dentro de este rango, pero en el tramo inferior (alrededor de USD 196 por ha/año).

Una investigación orientada a mejorar la valoración de beneficios podría ampliar el alcance incluyendo otros Servicios Ecosistémicos. Silva (2017) identificó un total de 22 servicios ecosistémicos en la cuenca de Aculeo que contribuyen de manera directa e indirecta a la comunidad, nuevas valoraciones podrían replantear las evaluaciones económicas realizadas, incluyendo aspectos que, por limitaciones de diversa índole, no pudieron ser incluidas en la presente investigación.

7.3 Aspectos sobre los Criterios de Evaluación

Los criterios de evaluación establecidos responden a la necesidad de que las medidas evaluadas puedan implementarse de manera efectiva, priorizando la utilización de recursos en aquellos cursos de acción que, en teoría, presentarían menores dificultades y obstáculos, contribuyendo a la vez a solucionar el problema de manera significativa. Usualmente, las medidas se evalúan en base a criterios técnico-económicos, adicionalmente algunos proyectos de inversión evalúan sus impactos ambientales y sociales. En este caso se ha intentado abordar un conjunto de criterios que comprenda una amplia gama de aspectos que deberían considerarse a la hora de plantear

soluciones a la escasez hídrica y a la restauración o conservación del patrimonio ambiental.

Los criterios establecidos en esta evaluación están pensados para responder con flexibilidad a distintos requerimientos y mejorarse o ampliarse, incorporando nuevos criterios y/o subcriterios. La adición de nuevos criterios y/o subcriterios dependerá en gran medida de la información disponible al momento de realizar la evaluación, aunque siempre es posible que más información, no signifique un impacto significativo en los resultados.

Por lo anterior, se proponen principalmente subcriterios que podrían incorporarse en la evaluación de cursos de acción, en caso de que estos pasen desde una conceptualización general a proyectos de inversión concretos. Los subcriterios que se propone incorporar en las matrices de evaluación son:

- Plazos de evaluación, tramitación, construcción y puesta en marcha: puede ser relevante especialmente en el caso de que se evalúen proyectos que requieran una mayor tramitación, por ejemplo, ingresando obligatoriamente al Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA).
- Vulnerabilidades en la cuenca: incorporar información de cómo la medida interactúa con las vulnerabilidades ambientales y sociales existentes en la cuenca.
- Medidas de control de riesgos: incorporar información de las medidas de control de riesgos que dispone el proyecto, evaluando si estas son adecuadas y efectivas.

- **Medidas de Mitigación:** en caso de que el proyecto genere impactos ambientales y sociales relevantes, se debería evaluar si contempla medidas de mitigación y si estas son adecuadas y efectivas.
- **Mejoras socioambientales adicionales:** algunas medidas podrían tener impactos socioambientales positivos respecto de aspectos diferentes al aumento de agua almacenada en el sistema laguna-acuífero. Por ejemplo, el cambio de uso de suelo en cultivos podría ayudar a mejorar la preservación de especies de flora y fauna, junto con una mejora del paisaje y la calidad ambiental de la cuenca.

7.4 Cursos de Acción

En caso de considerar la aplicación de varias medidas debe tenerse en cuenta la interacción que pueda existir entre éstas. En algunos casos las medidas pueden complementarse, en otros casos disminuirán los volúmenes potenciales de aporte de agua al sistema. De la misma forma pueden ocurrir interacciones negativas o positivas en otros ámbitos. A continuación, se realiza una revisión de las interacciones previsibles para cada medida.

Recarga Artificial del Acuífero: si bien en Aculeo existe infraestructura para facilitar el transporte de agua, aún no queda claro desde un punto de vista legal ni técnico que el agua recargada pueda permanecer almacenada en el acuífero por el tiempo suficiente para recuperar los niveles del acuífero y de la laguna. La mayor disponibilidad de agua puede desincentivar los esfuerzos orientados a reducir la demanda de recursos hídricos o a mejorar la eficiencia de los sistemas de irrigación, debido al poco control que existe sobre las extracciones.

Mejora de Eficiencia de los Sistemas de Irrigación: usualmente la mejora de la eficiencia en los sistemas de riego está orientada al aumento de la superficie cultivada. En este caso se ha propuesto mantener la superficie cultivada y los tipos de cultivo, utilizando el excedente de agua para la recarga del sistema laguna-acuífero. El cumplimiento de este objetivo es complejo ya que la eficiencia es variable en el tiempo y las estimaciones teóricas podrían no ocurrir en la práctica. No obstante, con ciertos márgenes de seguridad se podrían estimar ahorros que se asegurasen con la adquisición de DAA y un control exhaustivo de las extracciones que se realizan en la cuenca. La compra de DAA aumentará los montos a invertir, reduciendo los beneficios de la mejora de eficiencia de los sistemas de irrigación y la viabilidad financiera y económica de esta medida.

Otra aproximación para reducir el consumo de agua para irrigación de cultivos es el cambio a de especies a otras menos intensivas en consumo hídrico. La factibilidad de esta alternativa debe ser evaluada caso a caso. En frutales, la inversión para cambiar de una especie a otra puede ser alta. Además, la alta demanda internacional por alimentos intensivos en consumo hídrico, tales como paltas y cerezas, desincentivan la conversión de los cultivos. Es bastante aceptado que el cambio climático significará veranos más calurosos, lo que incrementará las necesidades de irrigación de los cultivos, reduciendo los ahorros por mejora de la eficiencia hídrica y de esta manera la cantidad de agua que esta medida podría aportar.

Disminución del consumo de agua para riego de césped: la disminución de consumo de agua para césped es una de las medidas que podría implementarse de manera más rápida y simple, debido a que presenta bajos costos en comparación con otro tipo de medidas y no requiere cambios profundos en la manera en la que los actores operan, es

decir, es una medida de carácter pasivo. Una mejora de los sistemas de irrigación de prados, jardines y áreas verdes, en conjunto con la sustitución de parte del césped, podría reducir de manera importante la extracción de agua del sector residencial y aumentar la seguridad de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano.

Cambio de uso de suelo en cultivos: el cambio de uso de suelo en cultivos reducirá la cantidad máxima de agua que podría obtenerse por la mejora de la eficiencia en los sistemas de irrigación. En caso de comprar terrenos agrícolas para realizar una sustitución de vegetación, el agua utilizada en el riego de dicha superficie puede ser vendida a otros productores, reduciendo la cantidad de agua que la medida podría proporcionar. En este caso sería importante complementar el cambio de uso de suelo con una compra de los DAA asociados al caudal utilizado para la irrigación de dicha superficie. No obstante, el costo de adquirir terrenos y DAA, junto con sustituir la vegetación y controlar la extracción de agua en el acuífero y en la cuenca, podría hacer inviable esta alternativa desde el punto de vista económico.

Sustitución de césped: si bien, la sustitución de césped es una medida que podría ser aplicada de manera rápida y a bajo costo, puede presentar mayores resistencias sociales por parte de la comunidad, debido al arraigo que las personas sienten hacia los “prados y jardines”. Este dilema se ha vivido en otras regiones del mundo, en donde la escasez hídrica, el racionamiento de agua y la intensificación de la sequía ha significado que las personas tengan que priorizar los usos de agua y optar por rodear sus viviendas con vegetación tolerante a la sequía. Lo anterior como resultado de políticas impulsadas desde las autoridades o por las crecientes restricciones de consumo hídrico.

La sustitución de césped podría enmarcarse en un programa de conservación del hábitat y la biodiversidad de la cuenca, mitigando el impacto que presenta la reducción del sistema laguna-acuífero y la urbanización para los ecosistemas.

Reducción de extracciones: la reducción de extracciones del acuífero mediante la compra de DAA presenta un alto costo, pero podría ser una medida efectiva de aporte de agua al sistema laguna-acuífero. Durante los últimos años se ha observado en la cuenca una conversión de terrenos agrícolas en parcelas de agrado, lo que podría ocurrir también con los cultivos que no puedan ser regados debido a la transferencia de DAA. Las parcelas de agrado presentan altos consumos hídricos debido a que, en promedio, más del 80% de su superficie está cubierta por césped.

Para que esta medida pueda ser efectiva, sería necesario que la reducción de extracciones se complemente con una reconversión de los terrenos, evitando ya sea de manera voluntaria o mediante otro tipo de instrumentos (comando y control) que se mantenga en los terrenos vegetación de alto consumo hídrico. La reducción de extracciones debe complementarse con medidas que apunten a reducir la extracción ilegal de agua y a controlar que las extracciones legales no sobrepasen los caudales autorizados.

Reutilización de Aguas Grises: de acuerdo a la normativa chilena no es posible utilizar aguas grises en el riego de cultivos, pero si es posible utilizarlas en el riego de áreas verdes y jardines. La reutilización de aguas grises podría reducir la demanda de agua para riego principalmente en parcelas de agrado, colegios, recintos deportivos y otros establecimientos, complementándose con las medidas orientadas a reducir el consumo de agua por mantención del césped.

7.5 Aplicabilidad del Método de Evaluación al Caso de Estudio

La toma de decisiones en base a técnicas de AMC permite abordar problemas complejos. Los resultados obtenidos en torno a la priorización de cursos de acción son el producto de la información revisada y analizada y los juicios que de manera consciente o inconsciente influyeron en las puntuaciones definidas para cada caso. Los modelos y casos de estudio alcanzan un punto en el que sus retornos disminuyen en términos en los que la práctica avanza, a menos que los modelos sean suministrados con información de mayor calidad que les permita conectar de mejor manera con la realidad.

Si bien los resultados finales no presentan ponderaciones tan diferentes entre las diversas medidas, considerando que la ponderación inferior corresponde a un 11% para *Cambio de Uso de Suelo en Cultivos* y la ponderación superior corresponde a 18% para la *Sustitución de Césped*. Debe considerarse que la importancia que se le da a cada criterio proviene una valoración subjetiva e intersubjetiva en base a la revisión bibliográfica y la información primaria y secundaria aportada por la comunidad, los expertos y actores clave. En este proceso es clave la forma en la que se determinan las puntuaciones y la información base que permite realizar las comparaciones entre los diferentes cursos de acción evaluados, idealmente deberían incorporarse mecanismos participativos para realizar este análisis.

La técnica AHP permite la participación de la comunidad en la toma de decisiones, es simple de llevar a cabo y de comprender y proporciona transparencia al proceso. La metodología empleada tiene la ventaja de no enfocarse en un solo aspecto del problema incorporando múltiples enfoques y criterios de manera que las recomendaciones

realizadas sean útiles, aplicables y no presenten efectos contraproducentes para otros aspectos del problema en las dimensiones ambiental, social y económica.

La técnica AHP permite explicitar y transparentar las preferencias, intereses, sesgos, juicios y prejuicios de individuos y grupos sociales, los que están implícitos en las puntuaciones otorgadas a cada criterio y cada opción evaluada. Una particularidad de la aplicación de esta técnica es que expone los conflictos para identificar los aspectos que producen tensión, facilitando el dialogo y el logro de acuerdos y convirtiéndola en una herramienta eminentemente participativa. Este hecho puede ser una ventaja por sobre otros métodos que pretenden imparcialidad, neutralidad y objetividad, pudiendo aumentar las probabilidades de éxito de una eventual implementación de medidas de recuperación de los niveles de la laguna de Aculeo.

8. CONCLUSIONES

Los principales beneficios asociados a la recuperación del sistema laguna-acuífero de Aculeo, se relacionan con:

- Ahorros por abastecimiento de agua para consumo humano: 13.691 UF/año (US\$ 563.747).
- Beneficios por abastecimiento de agua para producción agrícola: 28.326 UF/año (US\$ 1.166.357).
- Recuperación del turismo y las actividades recreativas: 4.585 UF/año (US\$ 188.774).
- Recuperación del valor de las propiedades: 98.847 UF/año (US\$ 4.070.186).
- Conservación del hábitat de la vida silvestre y la biodiversidad: 57.061 UF/año (US\$ 2.349.557).

Los criterios ambientales, sociales y económicos para evaluar cursos de acción para la recuperación de la laguna de Aculeo determinados en el presente análisis son:

1. Complejidad Técnico-Legal.
2. Riesgos Ambientales.
3. Impactos Negativos.

4. Barreras Sociales.
5. Aporte de Agua al Sistema.
6. Viabilidad Económica y Financiera.

Estos criterios responden a las múltiples visiones, intereses y percepciones que tiene la comunidad, los actores clave y los expertos respecto a las causas de la actual escasez hídrica que enfrenta la cuenca de Aculeo y la manera en la que debería abordarse la situación.

De las propuestas realizadas en diversas instancias por la comunidad, expertos y actores clave, se seleccionaron y definieron siete cursos de acción para ser evaluados mediante la técnica AHP. Las medidas que deberían priorizarse según esta evaluación son, en orden de mayor a menor prioridad:

1. Sustitución de césped (19%).
2. Disminución del consumo de agua en el riego de césped (15%).
3. Recarga artificial del acuífero (15%).
4. Reducción de extracciones (15%).
5. Mejora de la eficiencia de los sistemas de irrigación (14%).
6. Reutilización de aguas grises (11%).
7. Cambio de uso de suelo en cultivos (11%).

El curso de acción que presenta un mejor desempeño de acuerdo a los criterios establecidos es la sustitución del césped por vegetación tolerante a la sequía.

Las modelaciones indican que para recuperar la laguna de Aculeo a sus “niveles históricos”, las medidas adoptadas tendrían que llegar a generar un caudal de ingreso de agua al sistema de aproximadamente 1,1 m³/s. Las medidas evaluadas no permiten recuperar los niveles históricos de la laguna de Aculeo, rechazándose la hipótesis de este estudio. No obstante, en conjunto podrían alcanzar aproximadamente un quinto del volumen de agua requerido, lo que podría aliviar la escasez hídrica que actualmente enfrenta Aculeo y evitar que la situación siga empeorando mediante la sobreexplotación del acuífero del que depende el abastecimiento de agua para diversos usos, especialmente consumo humano, agricultura de subsistencia y la mantención y conservación de ecosistemas vitales.

Los escenarios que podrían aportar una mayor cantidad de agua en estas condiciones son la reducción de extracciones, la recarga artificial del acuífero desde fuentes externas a la cuenca y la sustitución de cultivos por vegetación nativa.

Existe un conjunto de condiciones naturales y provocadas por los sistemas organizacionales, que se constituyen como desventajas para la implementación de soluciones a la escasez hídrica y al deterioro ambiental de la cuenca de Aculeo. La legislación actual es uno de los principales obstáculos, debido a que las medidas que potencialmente podrían aportar una mayor cantidad de recursos hídricos al sistema laguna-acuífero presentan altos costos sociales y

económicos, siendo una parte importante de estos costos, la adquisición de DAA, en un mercado donde el control y la transparencia son escasos y existe poca claridad de la oferta y demanda real de recursos hídricos.

En estas condiciones se considera que el fenómeno de desecación de la laguna es con una alta probabilidad irreversible, debido a los extraordinarios obstáculos técnicos, legales y económicos que deben superarse para que la cuenca retorne a las condiciones previas al año 2010. Sin embargo, podría ser factible realizar una recuperación parcial del sistema orientada a mantener su funcionalidad, conservar ecosistemas claves y mantener la biodiversidad de la cuenca, previniendo también mayores impactos ambientales, sociales y económicos asociados a la escasez hídrica, especialmente en las inciertas condiciones climáticas que se desarrollarán en el futuro.

Las proyecciones sobre el clima futuro de la zona central de Chile apuntan a que habrá aumentos de temperatura durante la temporada de riego, aumentando los requerimientos hídricos de los cultivos y la presión por obtener una mayor cantidad de recursos hídricos para mantener el *status quo*. Parte de las medidas que se han planteado en este trabajo, podrían mitigar dichos requerimientos. De continuar la disminución sostenida de los niveles del acuífero se espera que este se compacte disminuyendo su capacidad de almacenamiento y/o que se produzcan fenómenos de subsidencia que pongan en riesgo la propiedad, la infraestructura e incluso a la población. Existe el riesgo que el volumen de agua almacenado en el acuífero sea aún menor, no permitiendo sostener las funciones

ecológicas, culturales, recreativas y el abastecimiento de recursos hídricos para distintos usos o que estas funciones y actividades se vean degradadas de manera significativa.

Los problemas complejos, como el que vive la cuenca de Aculeo tenderán a incrementarse. El desafío para las comunidades y los grupos de interés es prepararse para tomar ventaja de las oportunidades que surgen de las crisis, impulsando los cambios que permitan llevar a cabo una gestión de recursos hídricos y del uso del suelo que pueda sostenerse en el tiempo e implementando medidas de mitigación que les proporcionen una mayor seguridad hídrica para los usos prioritarios que estos definan. El mayor desafío es consensuar un nivel aceptable de trastornos, distribuyendo los costos de la escasez hídrica de manera equitativa. Las técnicas de AMC, especialmente el Proceso Analítico Jerárquico podría contribuir al proceso de toma de decisiones y fomentar la participación para lograr la implementación de medidas, exponer conflictos, comprometer voluntades y consensuar esfuerzos, permitiendo, además, identificar y reducir barreras sociales para la adaptación al cambio climático.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

24HORAS.CL TVN. 9 de mayo de 2018. Obtenido de Desolador panorama en la laguna de Aculeo: Se secó por completo. Obtenido de: <https://www.24horas.cl/nacional/desolador-panorama-en-la-laguna-de-aculeo-se-seco-por-completo--2707321#>

AGHAKOUCHAK, A., NOROUZI, H., MADANI, K., MIRCHI, A., NAZEMI, A. 2014. Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action. *Journal of Great Lakes Research*, 307-311.

AL-HAMAIEDEH, H., BINO, M. 2010. Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, 256 (115–119).

ÁLVAREZ, P., VEGA, P. 2009. Attitudes and Sustainable Behaviours. Implications for the Environmental Education. *Revista de Psicodidáctica*, 14(2), 245-260.

AMSTEIN, S. 2016. Los humedales y su Protección Jurídica en Chile - Memoria para optar al grado de Licenciada en Ciencias Jurídicas y Sociales. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

ANGELSEN, A. 2010. Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production. *Proceedings of the National*, 107:19639-19644.

ANTINAO, J., FERNÁNDEZ, J., NARANJO, J., VILLARROEL, P. 2003. Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones de la Cuenca de Santiago. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

ASCC. 4 de diciembre de 2018. www.agenciasustentabilidad.cl. Obtenido de Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático. Obtenido de: [http://www.agenciasustentabilidad.cl/noticias/aprueban_casi_\\$100_millones_para](http://www.agenciasustentabilidad.cl/noticias/aprueban_casi_$100_millones_para)

ASTORGA, E. 2018. El Proyecto Carretera Hídrica. *InduAmbiente* (153 julio-agosto), 91. Obtenido de: <https://www.induambiente.com/opinion/el-proyecto-de-carretera-hidrica>

BANCO MUNDIAL. 2013. Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. Unidad de Ambiente y Aguas, Departamento de Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe.

BARRÍA, P., CHADWICK, C., VALDIVIESO, J., DÍAZ, R. 2019. Modelación hidrológica superficial de la cuenca de la laguna de Aculeo - Hito 3 Proyecto FIC-R 2017 código BIP 40002646-0. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza⁶¹.

⁶¹ Este trabajo no ha sido publicado a la fecha de finalización del presente documento, por lo que se utilizó una versión preliminar, la que contiene resultados sujetos a modificaciones.

- BCN. 2017. reportescomunales.bcn.cl. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <http://reportescomunales.bcn.cl/2017/index.php/Paine/Poblaci%C3%B3n>
- BELTON, V., STEWART, T. 2002. Multiple Criteria Decision Analysis - An Integrated Approach. Springer-Science+Business Media, B.V.
- BEUTEL, M., HORNE, A., ROTH, J., BARRATT, N. 2001. Limnological effects of anthropogenic desiccation of a large, saline lake, Walker Lake, Nevada. *Hydrobiologia*, 91-105.
- BOISIER, J., RONDANELLI, R., GARREAUD, R., MUÑOZ, F. 2016. Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters* 43(1), 413-421.
- BRANDER, L., FLORAX, R., VERMAAT, J. 2006. The Empirics of Wetland Valuation: A Comprehensive Summary and a Meta-Analysis of the Literature. *Environmental & Resource Economics*, 33: 223–250.
- BRIONES, N. 21 de abril de 2019. Comunidades de Alto Bío Bío demandarán al Estado para evitar construcción de carretera hídrica. Región del Bío Bío, Chile. Recuperado el 28 de mayo de 2019, de <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2019/04/21/comunidades-de-alto-bio-bio-demandaran-al-estado-para-evitar-construccion-de-carretera-hidrica.shtml>
- BROOKS, J., GERBA, C., PEPPER, I. 2004. Aerosol emission, fate, and transport from municipal and animal waste. *Journal of Residual Science Technology*, 1:13–25.
- BROWN, C., GRANTHAM, T., MATTHEWS, J., PALMER, M., SPENCE, C., WILBY, R., BAEZA, A. 2016. Sustainable water management under future uncertainty with eco-engineering decision scaling. *Nature Climate Change*, 6, 25–34.
- CAOWMIA. 2007. Water for food, water for life. A comprehensive assessment of water management. London: Earthscan and International Water Management Institute.
- CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR2). 2015. La megasequía 2010-2015: una lección para el futuro. Santiago.
- CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR2). 10 de noviembre de 2017. www.cr2.cl. Obtenido de: <http://www.cr2.cl/mortandad-de-peces-en-laguna-de-aculeo-el-fenomeno-que-influyo-se-llama-eutroficacion-las-ultimas-noticias/>
- CENTRO DE ESTUDIOS DEL DESARROLLO. 2010. Conservación y Gestión Sustentable del Bosque y Matorral Esclerófilo. Santiago: Ministerio de Agricultura de Chile.

CENTRO DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO. 2008. Diseño y Ejecución de un Programa de Gestión Ambiental Participativo para la Cuenca de Aculeo, Región Metropolitana de Santiago. Santiago: CED.

CERDA, R. 3 de junio de 2018. ¿Por qué nos autodestruimos? El problema de la sequía en la laguna de Aculeo. El Mostrador. Obtenido de: <https://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2018/06/03/por-que-nos-autodestruimos-el-problema-de-la-sequia-en-la-laguna-de-aculeo/>

CHARPENTIER, D. 20 de marzo de 2019. Las impactantes imágenes de la laguna de Aculeo seca por completo. Chile. Obtenido de: <https://www.biobiochile.cl/noticias/sociedad/debate/2019/03/20/las-impactantes-imagenes-de-la-laguna-de-aculeo-seca-por-completo.shtml>

CHOIŃSKI, A., PTAK, M., STRZELCZAK, A. 2012. Examples of lake disappearance as an effect of reclamation works in Poland. *Limnological Review*, 161-167.

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO (CNR). 2013. Estudio Diagnóstico de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota a la Región del Maule. Santiago: Ministerio de Agricultura.

CONIJNA, J., BINDRABAN, P., SCHRÖDER, J., JONGSCHAAP, R. 2018. Can our global food system meet food demand within planetary boundaries? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 251, 244–256.

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. 2010. Manual de Riego de Jardines. Sevilla: Junta de Andalucía.

CONSULTORÍAS PROFESIONALES AGRARIA LTDA. 2017. Perfil "Proyecto Mejoramiento de Infraestructura de Riego Canal Aguilino, Subterritoio 11, Paine" - Tercer Informe de Avance. Municipalidad de Paine.

COOPERATIVA. 10 de mayo de 2018. cooperativa.cl. Obtenido de: <https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/medioambiente/alcalde-de-paine-el-panorama-en-la-laguna-de-aculeo-es-desolador/2018-05-10/082503.html>

CORPORACIÓN REGUEMOS CHILE. 01 de mayo de 2019. reguemoschile.cl. Obtenido de: <http://www.reguemoschile.cl/>

CORTÉS, G., SCHALLER, S., ROJAS, M., GARCIA, L., DESCALZI, A., VARGAS, L., MCPHEE, J. 2012. Assessment of the current climate and expected climate changes in the Metropolitan Region of Santiago de Chile. *UFZ Reports* 03/2012, Helmholtz Centre for Environmental Research UFZ.

CUSTODIO, E. 2002. Aquifer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeology Journal* 10 2, 254–277, doi:10.1007/s10040-002-0188-6.

DCE-DGA. 1987. Estudio Limnológico de la Laguna Aculeo. Santiago: Estudio elaborado por Dpto. de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, para la Dirección General de Aguas.

DE VRIES, J., SIMMERS, I. 2002. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*, 10:5–17.

DI CASTRI, F., JAJEK, E. 1976. *Bioclimatología de Chile*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.

DIARIO FINANCIERO. 19 de febrero de 2018. El precio de las parcelas de agrado en Colina se ha disparado 225% en cinco años. *Diario Financiero*. Obtenido de <https://www.df.cl/noticias/empresas/construccion/el-precio-de-las-parcelas-en-colina-se-ha-disparado-225-en-cinco-anos/2018-02-19/140534.html>

DILLON, P., FERNANDEZ, E., TUINHOF, A. 2012. Management of aquifer recharge and discharge processes and aquifer equilibrium states. En G. G.-A. Action, *Groundwater Governance Synthesis Report*. GEF-FAO.

DILLON, P., ARSHAD, M. 2016. Managed Aquifer Recharge in Integrated Water Resource Management. En A. Jakeman, O. Barreteau, R. Hunt, J.-D. Rinaudo, & A. Ross, *Integrates Groundwater Management - Concepts, Approaches and Challenges* págs. 435-452. Springer Open.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2014. Evaluación de la Condición Trófica de la Red de Control de Lagos de la DGA. Santiago: Ministerio de Obras Públicas de Chile.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2016. Atlas del Agua Chile 2016. Santiago, Chile: Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2018. Estudio Geofísico de Gravimetría, Proyecto Laguna de Aculeo, Región Metropolitana. Santiago.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2018. Agua para Petorca. B. d. Públicas, Ed. Sendas del Agua (4). Recuperado el 20 de junio de 2019, de:

<http://www.dga.cl/estudiospublicaciones/Documents/Sendas%20del%20Agua%20N%C2%B0%204%202018.pdf>

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 8 de agosto de 2018. Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas. Obtenido de:

<http://www.dga.cl>: <http://www.dga.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=548>

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2018. Informe Técnico del Departamento de Administración de Recursos Hídricos N° 89 - Reevaluación de la Delimitación y de la

Disponibilidad de Recursos Hídricos Subterráneos en el Sector Acuífero El Monte, en la Región Metropolitana. Santiago: Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile.

DUMONT, A., MAYOR, B., LÓPEZ-GUNN, E. 2013. Is the rebound effect or Jevons paradox a useful concept for better management of water resources? Insights from the irrigation modernisation process in Spain. *Aquatic Procedia*, Volume 1, 64-76.

ECONOMÍA Y NEGOCIOS ONLINE. 5 de enero de 2014. Hasta \$7 millones cuesta tener un metro de terreno en la orilla de un lago. Chile. Obtenido de <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=115807>

EQUIPO MULTIDISCIPLINARIO MGPA. 2008. Gestión Ambiental Integrada para la Comuna de Paine. Santiago: Universidad de Chile.

ERIDANUS. 2016. Monitoreo Ambiental de Ecosistemas Acuáticos Estratégicos - Laguna de Aculeo. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente.

ESCENARIOS HÍDRICOS 2030 CHILE. 2018. Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile. Obtenido de: www.escenarioshidricos.cl

<https://www.escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2018/07/radiografia-del-agua.pdf>

FALCÓN, E., SÁNCHEZ, J. 1967. Estudio hidrogeológico del revenimiento periódico de los terrenos del área Viluco, Paine, Valdivia de Paine, Provincia de Santiago. Santiago: Instituto de Investigaciones Geológicas.

FAO. 2012. Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security. Roma: FAO Water Reports.

FLETCHER, D., DELETIC, V., MITCHELL, HATT, B. 2008. Reuse of urban runoff – A review of recent advances and remaining challenges. *Journal of Environmental Quality*, 116-127.

FRANCO, M. V. 2007. Tratamiento y Reutilización de Aguas Grises con Aplicación a Caso en Chile. Santiago: Universidad de Chile.

GA CONSULTORES. 2014. Diagnóstico de la Eficiencia de Aplicación del Riego en Chile. Santiago: Comisión Nacional de Riego CNR.

GALLEGUILLOS, M., ZAMBRANO, M., PUELMA, C., JOPIA, A. 2018. Evaluación espacio-temporal del déficit hídrico para las cuencas de Chile a partir de información satelital. Recuperado el 14 de enero de 2019, de Escenarios Hidricos 2030.

<https://www.escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2018/08/Indice-SPElok.pdf>

GARCÉS, J. 2005. Paradigmas del conocimiento y sistemas de gestión de los recursos hídricos: La gestión integrada de cuencas hidrográficas.

- GARCÉS, J. A. 2005. Gestión de Recursos Hídricos en Chile: Proposición de un modelo de gestión integrada para la cuenca Maipo Mapocho. Santiago.
- GARREAUD, R. 18 de abril de 2019. Análisis: ¿Adiós a la laguna de Aculeo? Obtenido de CR2.cl: <http://www.cr2.cl/adios-a-la-laguna-de-aculeo>
- GARREAUD, R., ALVAREZ-GARRETON, C., BARICHIVICH, J., BOISIER, J., CHRISTIE, D., GALLEGUILLOS, M., ZAMBRANO-BIGIARIN, M. 2017. The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21, 6307-6327.
- GEOEXPLORACIONES. 2018. Estudio Geofísico de Gravimetría Proyecto Laguna Aculeo, Región Metropolitana. Santiago.
- GOBERNACIÓN PROVINCIA DE PETORCA. 21 de agosto de 2018. <http://www.gobernacionpetorca.gov.cl>.
- GOLING, S., ARNELL, N. 2013. A global assessment of the impact of climate change. *Climatic Change*, 371-385.
- GRIEBLER, C., AVRAMOV, M. 2015. Groundwater ecosystem services: a review. *Groundwater–Surface-Water Interactions*, Volume 34, N° 1.
- GWP. 21 de diciembre de 2011. Global Water Partnership South America. Obtenido de <https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/por-que/PRINCIPALES-DESAFIOS/Que-es-la-GIRH/>
- HAJKOWICZ, S., HIGGINS A. 2006. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research* 184 (2008) 255–265.
- HAJKOWICZ, S., COLLINS, K. 2007. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. S. Link, Ed. *Water Resources Management*, Volume 21, pp 1553–1566.
- HANCOCK, P., HUNT, R., BOULTON, A. 2009. Preface: hydrogeoecology, the interdisciplinary study of groundwater dependent ecosystems. *Hydrogeology*, 171, 1-4.
- HAUSER, A. 1990. Hoja Rancagua, VI Región 1:250000, Carta Hidrogeológica de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- HOCKEY, T. 2007. *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Springer.
- HOFHERR, G. 2018. Caracterización del acuífero de Aculeo. Santiago.
- HUNT, R., WILCOX, D. 2003. Ecohydrology – why hydrologists should care. *Ground Water*, 413.

- HUSSEY, K., KAY, E. 2015. The Opportunities and Challenges of Implementing 'Water Sensitive Urban Design': Lessons from Stormwater Management in Victoria, Australia. En D. K. Grafton Q., Understanding and Managing Urban Water in Transition - Global Issues in Water Policy. Dordrecht: Springer.
- INMAN, D., JEFFREY, P. 2006. A review of residential demand-side management tool performance and influences on implementation effectiveness. *Urban Water Journal* 3 3, 127-143.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). 2018. Censo 2017. Obtenido de <http://www.censo2017.cl/servicio-de-mapas/>
- IRIARTE, S. 2003. Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago, Región Metropolitana de Santiago, Escala 1:100.000. Santiago: SERNAGEOMIN.
- JAKEMAN, A., BARRETEAU, O., HUNT, R., RINAUDO, J.D., ROSS, A. 2016. Integrated Groundwater Management: Concepts, Approaches and Challenges. Springer Open.
- JINGYUN, F., SHENG, R., SHUQING, Z. 2005. Human-induced long-term changes in the lakes of the Jiangnan Plain, Central Yangtze. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 34:186.
- JONES, L. 2010. Overcoming social barriers to adaptation. Overseas Development Institute, Background Note.
- KAUFMANN-HAYOZ, R., BATTIG, C., BRUPPACHER, S., DEFILA, R., DI GIULIO, A., FLURY-KLEUBLER, P., FRIEDERICH, U. 2011. A typology of tools for building sustainable strategies. Changing things – moving people.
- KEENEY, R. H. 1976. Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. John Wiley Sons.
- KURUTZ, S. 12 de marzo de 2014. Brown Is the New Green. The New York Times. Obtenido de <https://www.nytimes.com/2014/03/13/garden/brown-is-the-new-green.html>
- LAMBIN, E., MEYFROIDT, P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Science*, 108:3465-3472.
- LANGWALDT, J., PUHAKKA, J. 2000. On-site biological remediation of contaminated groundwater: a review. *Environmental Pollution*, 107, 187±197.
- LINKOV, I. 2011. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of The Total Environment*, 409, 3578-3594.
- LINTON, J., BUDDS, J. 2014. The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. *Geoforum*, 170-180.
- LÜDEKE, M., PETSCHHEL-HELD, G., SCHELLNHUBER, H.-J. 2004. Syndromes of Global Change: The First Panoramic View. *Science for Policy Making*.

- MARSHALL, G. 2001. Institutionalising Cost Sharing for Catchment Management: Lessons from Land and Water Management Planning in Australia. River Symposium. Brisbane.
- MARTINIC, I. miércoles 9 de mayo de 2018. La laguna de Aculeo se secó por completo y vecinos ruegan por lluvias para recuperarla. El Mercurio.
- MASSUEL, S., RIAUX, J., MOLLE, F., KUPER, M., OGILVIE, A., COLLARD, A.-L., BARRETEAU, O. 2018. Inspiring a Broader Socio-Hydrological Negotiation Approach With Interdisciplinary Field-Based Experience. *Water Resources Research*, 54, 2510–2522.
- MCNABB, D. 2019. *Global Pathways to Water Sustainability*. Springer.
- MCPHEE, J., CORTÉS, G., ROJAS, M., GARCIA, L., DESCALZI, A., VARGAS, L. 2014. Downscaling Climate Changes for Santiago: What Effects can be Expected? En K. Krellenberg, B. Hansjurgens, *Climate Adaptation Santiago* págs. 19-42. Leipzig: Springer.
- MEKONNEN, M., HOEKSTRA, A. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances* 2, Vol. 2, no. 2, e1500323.
- MENESES, R. 2019. Informe de Caracterización del acuífero de Aculeo. Universidad de Chile, Santiago.
- METCALF & EDDY. 2007. *Water reuse. Issues, technologies, and applications*. New York: McGraw-Hill Publisher.
- METHA, L. 2014. Water and Human Development. *World Development*, (59) 59-69.
- MICKLIN, P. 1988. Desiccation of the Aral Sea: A Water Management Disaster in Soviet Union. *Science*, Sep 2;2414870:1170-6.
- MICKLIN, P. 2006. The Aral Sea Disaster. *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35:47-72.
- MICKLIN, P. 2010. The Past, present, and future Aral Sea. *Lakes Reservoirs: Research and Management*, (15) 193-213.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Global Assessment Reports*. Washington DC.: Island Press.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*. Washington DC: World Resources Institute.
- MILLER, G. 2006. Integrated concepts in water reuse: Managing global water needs. *Desalination*, 187:65–75.

MILOVIC, J. 2000. Estudio geológico ambiental para el ordenamiento territorial de la mitad sur de la cuenca de Santiago. Memoria para optar al título de Geólogo. Concepción: Universidad de Concepción.

MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL (MDS) DEL GOBIERNO DE CHILE. 2018. Precios Sociales 2018, Sistema Nacional de Inversiones.

MONSALVE, E., URRUTIA, N. 2005. Propuesta Metodológica de Manejo Integral de la Disponibilidad del Recurso Hídrico Cuenca Río Quindío. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Santiago de Cali: Universidad del Valle, Instituto Cinara.

MORALES, E. 2013. Evaluación de Alternativas de Sistemas Paralelos de Reuso de Aguas Grises en un Edificio Público. Universidad del Bío-Bío, Concepción.

MORALES, P., SCOTT, S., FERNÁNDEZ, F., GONZÁLEZ, P., VIVANCO, E., SOTO, M., ARIAS, J. 2011. Valoración económica de 4 humedales altoandinos de la I región Huasco, Coposa, Caya y Lirima. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Economía Agraria y Servicio Agrícola y Ganadero del Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile.

MORENO, J. 2002. El Proceso Analítico Jerárquico AHP. Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA 1, 28-77.

MÜHLHAUSER, H., VILA, I. 1987. Eutrofización, impacto en un ecosistema acuático montañoso. Arch. Biol. Med. Exp. 20, 117-124.

MUNICIPALIDAD DE PAINE. 10 de Noviembre de 2017. www.paine.cl. Obtenido de:

<http://www.paine.cl/alcalde-vergara-gestiona-financiamiento-de-proyecto-que-abastecerla-laguna-aculeo/>

MUNICIPALIDAD DE PAINE. 01 de febrero de 2019a. [paine.cl](http://www.paine.cl). Recuperado el 7 de febrero de 2019, de: <http://www.paine.cl/municipio-refuerza-entrega-de-agua-potable-a-localidades-de-rangue-y-los-hornos/>

MUNICIPALIDAD DE PAINE. 27 de febrero de 2019b. [paine.cl](http://www.paine.cl). Obtenido de:

<http://www.paine.cl/mesa-de-trabajo-y-terreno-de-la-rehabilitacion-del-canal-aguilino/>

MUNICIPALIDAD DE PAINE. 8 de marzo de 2019c. [paine.cl](http://www.paine.cl). Obtenido de:

<http://www.paine.cl/apr-rangue-regulariza-el-servicio-de-agua-potable-rural/>

MURGUE, C., THEROND, O., LEENHARDT, D. 2015. Toward integrated water and agricultural land management: Participatory design of agricultural landscapes. Land Use Policy 45, 52–63.

- NASA. 12 de Marzo de 2019. NASA Earth Observatory. Obtenido de https://earthobservatory.nasa.gov/images/144836/lake-aculeo-dries-up?fbclid=IwAR1M_5n3J99tNSETMDc9GzTRGpq8Yjb6amYCjn7PIXaf1R33_Zh5pA9C37s
- O'CONNOR, G., ELLIOTT, H., BASTIAN, R. 2008. Degraded Water Reuse: An Overview. *Journal of Environmental Quality*, 157-68.
- OÑATE, E. 1998. Aplicación de un análisis sistémico al estudio del proceso de eutrofización de la Laguna de Aculeo. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Aplicadas. Santiago: Facultad de Geografía de la Universidad de Santiago de Chile.
- OSTROM, E. 1990. *Governing the Commons - The Evolution of Institutions for Collective Action. The Political Economy of Institutions and Decisions*, Cambridge University Press.
- O'SULLIVAN, P., REYNOLDS, C. 2004. *The Lakes Handbook Volume 1 - Limnology and Limnetic Ecology*. Blackweel Science Ltd.
- PERFECTO, I., VANDERMEER, J. 2012. Separación o integración para la conservación de biodiversidad: la ideología detrás del debate landsharing". *Ecosistemas*, 21 1-2: 180-191. Enero-Agosto 2012.
- PHALAN, B., ONIAL, M., BALMFORD, A., GREEN, R. 2011. Reconciling Food Production and Biodiversity Conservation: Land Sharing and Reconciling Food Production and Biodiversity Conservation: Land Sharing and. *Science* 333, 1289.
- PRIETO, M. 2015. La Ecología apolítica del modelo de aguas chileno. En B. Bustos, M. Prieto, J. Barton, *Ecología Política en Chile* págs. 143-164. Santiago: Editorial Universitaria.
- RITTEL, H., WEBBER, M. 1973. Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, Vol. 4, N° 2, pp. 155-169.
- RIVERA, D. 2015. Diagnóstico jurídico de las aguas subterráneas. *Lus et Praxis* (2), 225-266.
- RIVERA, D. junio de 2018. Alumbrando conflictos: disponibilidad y asignación de derechos de aguas subterráneas en la jurisprudencia chilena. *Revista de Derecho*, XXXI - N° 1, 159-183.
- ROMERO, F. 2012. Causas de Deterioro Ambiental de la Laguna de Aculeo. Documento desarrollado por la Corporación Aculeufu en el marco del proyecto "Gestión y sensibilización ambiental para la conservación de la Laguna de Aculeo.
- RUPÉREZ-MORENO, C., PÉREZ-SÁNCHEZ, J., SENENT-APARICIO, J., FLORES-ASENJO, P., PAZ-APARICIO, C. 2019. Cost-Benefit Analysis of the Managed Aquifer Recharge System for Irrigation under Climate Change Conditions in Southern Spain. *Water* (9), 343.
- SAATY, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.

SAATY, T. L. 1994. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. RWS Publications.

SAG. 1979. Recursos Naturales de la Zona de la Laguna de Aculeo, Región Metropolitana. Santiago: Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero.

SCHLAGER, E., BLOMQUIST, W. 2008. Embracing Watershed Politics. Boulder, Colorado: University Press of Colorado.

SCHMOLDT, D., KANGAS, J., MENDOZA, G., PESONEN, M. 2001. The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making. Springer Science+Business Media, LLC.

SCHOSINSKY, G. 2006. Cálculo de la Recarga Potencial de Acuíferos Mediante un Balance Hídrico de Suelos. Revista Geológica de América Central, 13-30.

SELLES, D., GANA, P. 2001. Geología del área Talagante - San Francisco de Mostazal, Regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Santiago: Carta Geológica de Chile - Serie Geología Básica.

SILVA, P. 2017. Evaluación del Sistema Socio-Ecológico de la Cuenca de Aculeo en la comuna de Paine, Región Metropolitana - Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago: Universidad de Chile.

SIVAPALAN, M., SAVENIJE, H., BLÖSCHL, G. 2011. Socio-hydrology: A new science of people and water. Hydrological Process 26 8, 1270-1276.

SOPHOCLEOUS, M. 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeology Journal, 10:52-67.

STEUER, J., HUNT, R. 2001. Use of a watershed-modeling approach to assess hydrologic effects of urbanization, North Fork Pheasant Branch basin near Middleton, Wisconsin. Middleton: U.S. Geological Survey.

SUSTAINABLE WATER PARTNERSHIP. 22 de enero de 2019. Obtenido de: <https://www.swpwater.org/what-is-water-security/>

T13. 10 de Mayo de 2018. T13. Obtenido de: <https://www.t13.cl/noticia/nacional/video-imagenes-drone-impactante-antes-y-despues-laguna-aculeo>

UBILLA, G. 2015. Modelo Territorial: Sistema Síntesis de la Región Metropolitana de Santiago. Santiago: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.

UBILLA, G., Echaiz-Alarcón, R. 2014. Evaluación Ambiental Estratégica Fase 2. Diagnóstico Ambiental Estratégico de la Región Metropolitana de Santiago. Santiago: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.

UNEP. 2008. Vital water graphics – an overview of the state of the world's fresh and marine waters 2nd Edition ed.. Nairobi: United Nations Environment Programme.

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (CFCN) DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE. 2017. Caracterización del consumo hídrico y del sistema hidrogeológico en la cuenca de Aculeo, determinación de posibles soluciones y campaña de educación ambiental. Santiago: Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza.

URQUIZA, A., BILLI, M. 2018. Water markets and social-ecological resilience to water stress in the context of climate change: an analysis of the Limarí Basin, Chile. *Environment, Development and Sustainability*.

URRUTIA, B., PARRAGUEZ, C. 2015. Gestión de la Recarga en la Cuenca de Santiago: sectores y métodos para su implementación. La Serena: XIV Congreso Geológico Chileno.

URTUBIA, B. 2015. Análisis para la infiltración artificial de agua en la cuenca de Santiago, Memoria para Optar al Título de Geóloga. Santiago: Universidad de Chile.

USEPA. 2004. Guidelines for water reuse. Cincinnati, OH.: EPA 625/R-04/108. USEPA.

VALENCIA, C. 2018. Transformaciones socio-territoriales derivadas de la urbanización del suelo, Laguna de Aculeo, Paine. Santiago: Universidad Academia de Humanismo Cristiano.

VILLOTA, L. 2009. Valoración Económica del Humedal de Lengua mediante Experimentos de Elección. *Panorama Socioeconómico*, 2738, pp. 32-43.

WADA, Y., VAN BEEK, L., BIERKENS, M. 2012. Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment. *Water Resources Research*, 48.

WERF. 2006. Long-term effects of landscape irrigation using household. Alexandria, VA.: Water Environment Research Foundation.

WILMANS, W. 2001. Recarga Artificial de acuíferos en la zona alta del río Mapocho. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

WINE, L., RIMMER, A., LARONNE, J. 2019. Agriculture, diversions, and drought shrinking Galilee Sea. *Science of the Total Environment* 651, pp. 70-83.

YAÑEZ, C. Jueves 10 de Mayo de 2018. El plan para recuperar la laguna de Aculeo. La Tercera.

YATES, D., SIEBER, J., PURKEY, D., HUBER-LEE, A. 2005a. WEAP21: A demand, priority, and preference driven water planning model: Part 2, Aiding freshwater ecosystem service evaluation. *Water International* 30(4), 487-500.

YATES D, PURKEY D, SIEBER J. 2005b WEAP21-A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model: Part 2: Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation. *Water Int* 30(4).

10. SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACB: Análisis Costo Beneficio.

AHP: Analytic Hiercahy Process (Proceso Analítico Jerárquico).

AMC: Análisis Multi-Criterio.

ANP: Analytic Network Process (Proceso Analítico en Red).

APR: Agua Potable Rural.

ASC: Aculeo sin Las Cabras.

ASCC: Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático.

AVGC: Acuerdo Voluntario de Gestión de Cuencas.

CED: Centro de Estudios para el Desarrollo.

CNR: Comisión Nacional de Riego del Ministerio de Agricultura.

CPA: Catastro Público de Aguas.

CR2: Centro de Ciencia para el Clima y la Resiliencia.

DAA: Derechos de Aprovechamiento de Agua.

DARH: Departamento de Administración de Recursos Hídricos.

DGA: Dirección General de Aguas.

DIRECTEMAR: Dirección de Territorio Marítimo y Marina Mercante.

DOH: Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

DRC: Derecho Real de Conservación.

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

FIC: Fondo de Innovación para la Competitividad Regional.

GIRH: Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

INE: Instituto Nacional de Estadísticas.

MAP: Movimiento por el Agua Paine.

MAUT: Multi-Attribute Utility Theory (Teoría de la Utilidad Multi-Atributo).

MAVT: Multi Attribute Value Theory (Teoría del Valor Multi-Atributo).

MODATIMA: Movimiento por la Defensa del Territorio y el Medio Ambiente.

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

ONG: Organizaciones No Gubernamentales.

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

PR: Periodo de Referencia.

PRMS: Plan Regulador Metropolitano de Santiago.

SAG: Servicio Agrícola Ganadero.

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

SEREMI: Secretaría Regional Ministerial.

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería.

SHAC: Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

VPN: Valor Presente Neto.

11. GLOSARIO

Acuífero: es un sistema de sedimentos granulares que albergan agua subterránea; es continuo y está limitado por barreras topográficas o litológicas.

Análisis Multi-Criterio (AMC): un modelo de decisión que contiene:

- Una serie de opciones de decisión que requieren ser clasificadas o calificadas por los tomadores de decisión;
- Una serie de criterios, típicamente medibles en diferentes unidades; y
- Una serie de medidas de desempeño a las que se les otorgan ponderaciones o puntajes de acuerdo a los criterios determinados.

Área de almacenamiento: es la superficie de terreno que cubre el sector de depósitos sedimentarios que albergan recursos de agua subterránea.

Área de consumo del acuífero: corresponde al área en que la extracción de recursos de agua subterránea incide en los niveles estáticos del acuífero. Generalmente corresponde al área de almacenamiento.

Asociaciones de Canalistas: son organizaciones de usuarios conformadas por titulares de derechos de aprovechamiento individuales o comunidades de aguas que comparten una obra hidráulica de aprovechamiento común, mediante la cual captan las aguas desde una fuente natural, conduciéndola y distribuyéndola entre sus miembros conforme a derecho. Incluyen las organizaciones de regantes con personalidad jurídica previas al Código de Aguas de 1981. En estos casos, la mayoría de las organizaciones se formaban de hecho y no tenían personalidad jurídica (a excepción de la Sociedad del Canal del Maipo). Están asociadas comúnmente a los canales matrices del sistema de riego cuya fuente es el río. Para su funcionamiento necesitan aprobación del presidente de la República.

Coefficiente de almacenamiento (S): es el volumen de agua que se puede almacenar o extraer por cada unidad de cambio de cota y unidad de área.

Comunidad de aguas subterráneas: son aquellas organizaciones de usuarios formadas por el conjunto de titulares de derecho que aprovechan las aguas de un mismo SHAC o acuífero. Su función principal es el control de extracciones con el objeto de regular la explotación del acuífero a través del manejo de la información de usuarios, pozos y disponibilidad del recurso del SHAC o acuífero.

Comunidad de aguas superficiales: son aquellas organizaciones de usuarios conformadas por todos los titulares de derechos de aguas que captan, conducen y distribuyen, las aguas a que tienen derecho en la fuente natural por medio de una obra hidráulica de aprovechamiento común.

Comunidad de Aguas: organización de usuarios que distribuye el recurso de acuerdo a derechos de aprovechamiento que poseen los usuarios en cada una de las obras que le son comunes. Se pueden clasificar como formalizadas y no formalizadas (o de hecho). Las comunidades formalizadas están bajo el proceso que indica la ley. Por otro lado, las comunidades no organizadas o de hecho no pueden imponer acuerdos a sus miembros y no están formalmente organizadas a pesar de su existencia de hecho.

Consumo sustentable de agua subterránea: es el uso de agua subterránea de manera tal de evitar el agotamiento y asegurar su disponibilidad para generaciones futuras. Inciden en el consumo sustentable, los regadíos, las demandas actuales y futuras, el manejo del regadío, de los cultivos, del poblamiento, entre otros factores.

Cuenca de un acuífero: corresponde al área drenada por cursos de agua, quebradas, esteros o ríos, que aportan a un acuífero.

Depósitos aluviales: corresponden a gravas arenas y limos transportados por agua de ríos y quebradas. Generalmente de clastos redondeados con proporciones variables de matriz de sedimentos más finos o arcillas.

Depósitos coluviales: corresponden a fragmentos de roca transportados únicamente por gravedad, que se acumulan en la base de cerros de fuerte pendiente.

Depósitos de remoción en masa: corresponden a depósitos transportados de manera rápida como corrientes de barro, caída de bloques, entre otros. Estos fenómenos son gatillados por lluvias intensas, sismos y eventualmente por intervenciones antropogénicas.

Efecto Rebote (Paradoja de Jevons): la mejora en la eficiencia en el uso de un recurso resulta en una mayor explotación del recurso por el conjunto de la sociedad. La paradoja de Jevons es un efecto rebote mayor al 100%. Ambos términos se utilizan de manera intercambiable.

Escasez hídrica: es una brecha entre la oferta disponible y la demanda de agua dulce en un dominio específico, según los acuerdos institucionales vigentes y las condiciones de infraestructura, incluyendo los precios del recurso como los acuerdos que existan para su gestión. Se entiende que la escasez hídrica es un exceso de demanda sobre la oferta de recursos hídricos que existe en un determinado lugar y durante un periodo de tiempo determinado.

Espejo de Agua: la superficie del agua expuesta y en contacto con la atmósfera de los ecosistemas lénticos (i.e.: lagos, laguna, estanques y represas artificiales).

Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH): proceso estructurado que promueve la gestión coordinada de las aguas subterráneas y superficiales y otros recursos asociados. Al mismo tiempo, toma en cuenta las interacciones de políticas no relacionadas directamente con el agua, para lograr un equilibrio económico, social y ambiental sobre distintas escalas

espaciotemporales, con el fin de maximizar el bienestar social, económico y de los ecosistemas, los que también se reconocen como usuarios del agua.

Gobernanza en la Gestión Hídrica: promoción de la acción colectiva y responsable para asegurar el control, protección y la utilización socialmente sostenible de los recursos hídricos.

Humedal: extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.

Juntas de Vigilancia: son aquellas organizaciones de usuarios formadas por comunidades de aguas, asociaciones de canalistas y las personas naturales o jurídicas que ejercen su derecho de aprovechamiento sobre aguas superficiales en forma individual, con jurisdicción sobre una cuenca u hoya hidrográfica o parte de esta. Su objeto principal consiste en administrar y distribuir las aguas entre sus miembros conforme a derecho, como, asimismo, conservar, mejorar, construir y explotar las obras de aprovechamiento común.

Megasequía: evento observado desde el año 2010 en el territorio comprendido entre las regiones Coquimbo y de la Araucanía, consiste en un déficit de precipitaciones cercano al 30% que ha permanecido desde entonces en forma ininterrumpida y ocurre en la década más cálida de los últimos 100 años, exacerbando el déficit hídrico a través de la evaporación desde lagos, embalses y cultivos. La persistencia temporal y la extensión espacial de la actual sequía son extraordinarias en el registro histórico (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2015).

Nivel freático: nivel a partir del cual aflora agua subterránea. La superficie obtenida por los niveles de varios pozos se llama superficie freática. Cuando se bombea un pozo, el nivel freático desciende y el nuevo nivel se llama nivel dinámico.

Seguridad hídrica: capacidad de acceder a cantidades suficientes de agua cumpliendo determinados criterios de calidad para uso domiciliario, industrial y agrícola, manteniendo estándares adecuados para la producción de alimentos y bienes, saneamiento ambiental y la protección de la salud de las personas.

Servicios Ecosistémicos: los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas.

Sistemas Hidrosociales: acoplamiento de sistemas hidrológicos y sociales que están interconectados de manera dinámica y co-evolucionan.

Volumen disponible: corresponde a la suma de los volúmenes sustentables y provisionales estimados en un SHAC y que es posible otorgar como derechos definitivos y provisionales, respectivamente.

Volumen provisional: es la cantidad de agua anual asociada a derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas del tipo provisional, constituidos en un SHAC que ha sido declarado como Área de Restricción. La metodología para estimar este volumen se presenta en la Resolución DGA N° 2455 del 10 de agosto de 2011.

Volumen sustentable: es la cantidad de agua anual asociada a la recarga del acuífero, es decir, al flujo de agua que lo alimenta naturalmente que proviene de precipitaciones, embalsamientos y escurrimientos superficiales y subterráneos (DGA, 2013). El volumen sustentable es aquel susceptible de constituir como derecho de aprovechamiento de aguas con carácter de definitivo.

Volumen total comprometido: es la cantidad de agua que corresponde a todos los derechos constituidos y reconocidos y a las solicitudes tramitadas conforme a los artículos transitorios 2° (Código de Aguas, 1981), 3°, 4° y 6° (Ley N° 20.017, 2005). Se incluyen, además, las solicitudes pendientes tramitadas conforme al artículo 4° transitorio, siempre y cuando el sector acuífero no esté considerado en la ley N° 20.411 (2009).

Volumen total solicitado: es la cantidad de agua anual que corresponde a todas las solicitudes tanto resueltas como en trámite.

12. ANEXOS

Anexo 1. Derechos de Aprovechamiento de Aguas en la Cuenca de Aculeo

Los DAA otorgados en la cuenca de Aculeo suman en conjunto 522,4 l/s, un total de 194,2 l/s corresponden a DAA superficiales y 328,2 l/s corresponde a DAA subterráneos.

Tabla 15. Lista de DDA superficiales y subterráneos en la cuenca de Aculeo⁶²

Nombre Titular	Clasificación	Caudal instantáneo (l/s)	Caudal anual (m ³ /año)
SOCIEDAD AGRICOLA LOS BOLDOS LIMITADA	Quebrada	8,5	268.056
SOCIEDAD AGRICOLA LOS BOLDOS LIMITADA	Quebrada	3	94.608
SOCIEDAD AGRICOLA LOS BOLDOS LIMITADA	Quebrada	1,5	47.304
SOCIEDAD AGRICOLA LOS BOLDOS LIMITADA	Quebrada	0,4	12.614
SOCIEDAD AGRICOLA LOS BOLDOS LTDA.	Quebrada	2,6	81.994
SOCIEDAD AGRICOLA LOS BOLDOS LTDA.	Quebrada	0,1	3.154
SOCIEDAD AGRICOLA LOS BOLDOS LTDA.	Rio/Estero	16,7	526.651
SOCIEDAD AGRICOLA LOS BOLDOS LTDA.	Rio/Estero	4,9	154.526
SOCIEDAD AGRICOLA LOS BOLDOS LTDA.	Rio/Estero	4,7	148.219
MARTA LETELIER LLONA	Lago/Laguna	50	1.576.800
OSCAR ORLANDO CUEVAS CONTRERAS	Lago/Laguna	6	189.216
JOSE LETELIER LLONA Y OTRO	Lago/Laguna	40	1.261.440
WERNER HARTMUT GRAHSLER	Lago/Laguna	20	630.720
LUIS EDUARDO ZEGERS PRADO	Vertiente	0,1	3.154
LUISA ELIANA PALMIÑO LOPEZ	Vertiente	0,2	6.307
CARMEN LUISA LETELIER VALDES	Lago/Laguna	20,5	646.488
LUZ LETELIER LLONA	Rio/Estero	15	473.040
FRANCISCO JAVIER FUENTES BERARDI	Acuífero	6	189.216
COMITE DE APR RANGUE - LOS HORNOS	Acuífero	6	189.216
COMITE DE APR RANGUE - LOS HORNOS	Acuífero	3,5	110.376
ALFONSO DEL CARMEN ALLENDES ROJAS	Acuífero	1,8	56.765
SARA ROSA ALLENDES ROJAS	Acuífero	0,5	15.768
EDUARDO CONTRERAS HERRERA	Acuífero	0,1	3.154
EDUARDO CONTRERAS HERRERA	Acuífero	0,1	3.154
CLODOMIRO VICENTE CAVIEDES MEDINA Y OTROS	Acuífero	0,5	15.768
CLODOMIRO VICENTE CAVIEDES MEDINA Y OTROS	Acuífero	0,4	12.614
CLODOMIRO VICENTE CAVIEDES MEDINA Y OTROS	Acuífero	1,8	56.765
CLODOMIRO VICENTE CAVIEDES MEDINA	Acuífero	0,2	6.307
CLODOMIRO VICENTE CAVIEDES MEDINA Y OTROS	Acuífero	0,2	6.307
CRISTIAN PORTOLA SARRIA	Acuífero	0,6	18.922
COOPERATIVA PINTUE LTDA.	Acuífero	50	1.576.800
CESAR VASQUEZ RAMIREZ	Acuífero	5,5	173.448

⁶² Fuente: Elaboración propia en base a información publicada en CPA, con fecha de actualización de los DAA del 16 de noviembre de 2018.

Nombre Titular	Clasificación	Caudal (l/s)	Caudal anual (m³/año)
JUAN NOE ECHEVERRIA NN	Acuífero	11,7	368.971
INMOBILIARIA MARINA SAN FRANCISCO S.A.	Acuífero	5	157.680
CECILIA VERONICA MABE FINKE	Acuífero	13	409.968
SOC. AGRICOLA HACIENDA DE ACULEO LIMITADA	Acuífero	40	1.261.440
ALDO PIETRO GALLAZZI PERONI	Acuífero	13	409.968
WALTER ALFREDO CASERA CHEVALIER	Acuífero	18	567.648
BOSFORO SOCIEDAD CIVIL DE RENTAS LIMITADA	Acuífero	15	473.040
AGRICOLA Y GANADERA SIGLO VEINTE LIMITADA	Acuífero	25	788.400
ALDO PIETRO GALLAZZI PERONI	Acuífero	0	-
COMITE DE AGUA POTABLE RURAL EL VINCULO	Acuífero	40	1.261.440
SOCIEDAD AGRICOLA LOS HORNOS LTDA.	Acuífero	1,2	37.843
INMOBILIARIA E INVERSIONES ASTURIAS LTDA.	Acuífero	7,2	227.059
INMOBILIARIA E INVERSIONES ASTURIAS LTDA.	Acuífero	3,5	110.376
INMOBILIARIA E INVERSIONES ASTURIAS LTDA.	Acuífero	5,5	173.448
INMOBILIARIA E INVERSIONES ASTURIAS LTDA.	Acuífero	4,5	141.912
ITALO CANTELE BERTOLONE Y OTROS	Acuífero	0,6	18.922
SOCIEDAD AGRICOLA LOS HORNOS LTDA.	Acuífero	4	126.144
CARLOS OMAR GIADACH ROJAS Y OTROS	Acuífero	7,5	236.520
CLAUDIO GONZALO VALLETE VALDERRAMA	Acuífero	0,3	9.461
AGRICOLA CEREZOS DE ACULEO LIMITADA	Acuífero	6	189.216
AGRICOLA CEREZOS DE ACULEO LIMITADA	Acuífero	12	378.432
FRANCISCO JAVIER FUENTES BERARDI	Acuífero	2	63.072
FRANCISCO JAVIER FUENTES BERARDI	Acuífero	2	63.072
MYRNA VINKA MARINOVIC DE LA LASTRA	Acuífero	0,5	15.768
MYRNA VINKA MARINOVIC DE LA LASTRA	Acuífero	4	126.144
MYRNA VINKA MARINOVIC DE LA LASTRA	Acuífero	1,5	47.304
MYRNA VINKA MARINOVIC DE LA LASTRA	Acuífero	2,5	78.840
MYRNA VINKA MARINOVIC DE LA LASTRA	Acuífero	1	31.536
AGRICOLA DEL SOL Y COMPAÑÍA	Acuífero	4,5	141.912
Total		522,4	16.474.406

Anexo 2. Entrevistas realizadas en el marco del AVGC promovido por la ASCC

Actores locales y grupos de interés: en la cuenca de Aculeo conviven múltiples grupos sociales que pueden clasificarse en diversas categorías de acuerdo a las actividades socioeconómicas que estos llevan a cabo. Los proyectos que han realizado instituciones como el CED (2008) y la ASCC (2019), identifican los siguientes grupos de interés en la cuenca de Aculeo.

a. Comunidad

- Residentes permanentes.
- Residentes de segunda vivienda.
- Condominios: El Castaño, Bahía Ranque, Bosques de Aculeo, Península del León, Piedra de Molino, Parque Cantillana, Huertos de Rangue, Alto Laguna, Santa Paulina, El Belloto.
- Juntas de vecinos: Rangue, Pintué, Los Hornos (150 familias), Rosario, Huiticalán, Abrantes, El Manzanito y El Vínculo.
- Organizaciones Sociales: EcoAculeo, Asociación de Huasos y Campesinos, Que No Muera Aculeo, CAVA, Movimiento por el Agua Paine, Fundación Tierra Viva, Agrupación por los Derechos de los Ganaderos y Agricultores (60 personas).
- Cantores.
- Agrupación de Artesanos y Productores de Aculeo.

b. Instituciones

- Agua Potable Rural: APR Rangue-Los Hornos (atiende a 3.000 personas), APR El Vínculo.
- Organizaciones de usuarios de agua de la cuenca de Aculeo: canalistas del Huiticalán, canalistas del Aguilino (160 regantes), Regantes de Los Hornos, Cooperativa Pintué.
- Municipalidad de Paine.
- Autoridades locales (carabineros, bomberos, otros).
- Dirección General de Aguas.
- Dirección de Obras Hidráulicas.
- Ministerio de Medio Ambiente.
- Ministerio de Agricultura.
- Ministerio de Bienes Nacionales.

c. Empresas

- Grandes Productores Agrícolas: Agrícola Garcés, Agrícola Aculeo, Santiago Fuentes, Juan Noé, Antonio Solo de Zaldívar, Agrícola El Belloto, Dr. Ferrario.

- Campings y Centros Turísticos: Reserva Altos de Cantillana, Pintué, Los Pingüinos, El Pantanal, El Maki, Bocaguao, El Vagón, Windsurf, Los Álamos, Los Pitios, San Alberto, Cartagena, El Maitén, entre otros.
- Comercio: Lassen Haus, Fuente Ovejuna, Sleepy Hollow, El Rincón de Aculeo, Restaurant Donde Juan Manuel, Cervecería Altos de Cantillana, Restaurant El Gran Chaparral, Donde Yolita, Tentación Sushi-Fusión, Empanadas El Cristo, Restaurant Prima, Las Picadas del Tío, Centro de Eventos Don Gabo, Oasis del Cantillana, Donde Luciana.
- Pequeños agricultores: Cooperativa Pintué, Raúl Gárate, Luis Soto, Alfonso Ortiz, Luis Henríquez, Jaime Catalán, Fernando Donaire.
- Arrieros (100 familias).
- Inmobiliarias.

Tabla 16. Entrevistas a la comunidad de Aculeo y a los actores clave⁶³

Nombre	Isabel Toledo
Sector	Residentes y Propietarios
Rol	Presidenta, reelecta en septiembre lleva 5 años.
Organización	Junta de Vecinos Los Hornos, 150 familias.
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	La laguna se fue secando. Terremoto + Sequia
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Condominios con pozos profundos desde hace 15/16 años. Agrícolas de 6 años atrás. 3 empresas agrícolas de Cerezos, que ponen los ventiladores entre julio y agosto
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Llegaron los cerezos y mi pozo se secó. Tenía invernaderos y ya ni puedo secarlo 3 millones cuesta un pozo de 12 metros uno más profundo cuesta 6/7 millones
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Paralizar los pozos profundos. Recuperar la Laguna
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	Sr Garcés tiene pozo de 103 metros vs 50. El Gobierno que la DOH fiscalice los pozos profundos. El alcalde apoya a los grandes empresarios agrícolas.
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	Gobierno, DOH, DGA, Municipio
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud. se involucre comprometidamente?	3 JdV Pintue, Solo de Zaldívar, CAVA/ Agustín Villena, su patrón, el presidente de CAVA & helicóptero.
¿Cuánto confía en la capacidad de los actores de lograr acuerdos para la gestión de la cuenca?	0
¿Cuál es su nivel de conocimiento del resto de actores involucrados en la gestión de la cuenca?	3

Nombre	Andrés Villaseca
Sector	Residentes y Propietarios
Rol	Presidente
Organización	Corporación Adelanto CAVA
Percepción del cambio en el acuífero.	Todos han ido construyendo sus norias y pozos
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	Todo cambió a raíz del terremoto, cuando muchos pozos se rompieron y muchos quedaron sin agua en casa. Antes no podíamos ni usar los baños cuando veníamos los fines de semana.
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Tenemos razones para creer que en al menos un 75% -80% se debe a los desvíos de agua de los grandes agricultores.

⁶³ Fuente: ASCC, 2019.

¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	El valor de nuestras propiedades se ve afectado. Muchos quieren vender, pero muy pocos están dispuestos a comprar en esta situación
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	ya no puede seguir creciendo ni el agro ni los condominios, pero pueden convivir. El ganado es un problema cuando está sin control.
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	Los agricultores en mayor medida son responsables del desvío de aguas de las tres quebradas: estero Pintué, las Cabras y el Cepillo.
¿Cómo tendría que ser un proceso de diálogo en la cuenca?	Importante contar con una Ecuación, con el polinomio, que asigne un % de responsabilidades en la extracción de agua a cada sector.
¿Cómo se visualiza participando / contribuyendo en el proceso?	Representando a CAVA y laguneros
¿Cuál cree que es la solución a este problema?	<ul style="list-style-type: none"> - Congelar nuevos permisos de edificación. - Que Santiago Fuentes no ocupe agua del Estero Pintué. - Limitar la agricultura. - Límite sustentable al riego agrícola. - Límite al riego que sea proporcional.
¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	Comunicando al chat de laguneros
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	El alcalde, MOP, DGA. Laguneros, Agricultores, Pueblo.
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud se involucre comprometidamente?	Deben estar los grandes agricultores: Solo de Zaldívar, Santiago Fuentes, Juan Noé, el gerente general de Agrícola Garcés: Hernán Garcés o Sebastián Warner.
Otros comentarios	¿Hasta dónde estamos dispuestos a llegar? Llega un momento en que resulta difícil controlar a los más exaltados. Podrían llegar a darse expresiones de violencia. Los ribereños querían la laguna llena pero no tan llena. Crearon EcoAculeo para manejar el pretil en la parcela llamada La Llave. Pero estaba muy sesgado hacia la Laguna y nunca los cerros. Por eso CAVA tenía una vocación más de Valle que de Laguna, pero no hemos logrado hacer CAVA más inclusiva. Hasta el Escudo de Paine tiene la laguna y la agricultura. Debemos convivir.
¿Cuál es la fuente del agua que utiliza para riego y cuál para agua potable?	Cada parcela tiene su propia noria. No nos fiamos del agua subterránea para potable, Traemos agua potable de fuera. NO somos del APR.
¿Cuenta con derechos de agua constituidos o es un pozo de uso domiciliario?	Antes los pozos eran hasta 12 m Hoy llegan hasta los 29 m.
¿pertenece a alguna sociedad de canalistas o junta de vigilancia?	En este condominio "El Castaño" hay 180 parcelas -de agrado- de las cuales, solo 20 llegan el fin de semana.
¿Cuánto confía en la capacidad de los actores de lograr acuerdos para la gestión de la cuenca?	6
¿Cuál es su nivel de conocimiento del resto de actores involucrados en la gestión de la cuenca?	6
¿Cuál es su fuente de agua para el consumo de agua potable?,	Traemos de fuera el agua potable. No nos fiamos del agua para tomar, porque las fosas pueden afectar a las napas de donde sacamos el agua de las norias
¿Tiene alguna otra fuente de agua para el consumo domiciliario? (incluye consumo humano, piscinas, riego de jardín, otros)	Cada uno tiene su noria en el condominio
De acuerdo a lo informado por su cuenta de APR	No tiene APR
¿cuántas veces al día la utiliza, en que meses del año?,	Solo viene en fines de semana.
¿Cuál es su capacidad y con qué frecuencia la llena?	En general, la llenan una vez al año y se va rellenando lo que se evapora cada dos semanas

Nombre	Viola González
Sector	Residentes y Propietarios
Rol	Ex presidenta de Junta de Vecinos Rangué 2000-2008, Emprendedora en agricultura orgánica y gastronomía (sopaipillas, calzones rotos integrales, agua de hierbas. Miembro de Red de Agricultura orgánica
Organización	Movimiento por el Agua en Paine
Percepción del cambio en el acuífero.	Bajó el nivel del agua. Dejó de llover.
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	Ha ido bajando. La laguna se secó, pero ahora estamos secando las napas

¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado? ¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	Sí hubo uno antes, en los sesenta.
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Que llueve menos y ahora reside más gente que consume más agua, y algunas grandes empresas agrícolas que se aprovechan de la poca agua que hay.
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Antes mi negocio se llenaba de turistas y ahora ya no, pasa cerrado.
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Que se desarrolle el turismo, que vengan más visitantes, que se llene la laguna.
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	El municipio y el Estado, que entregó muchos derechos (de agua)
¿Cómo tendría que ser un proceso de diálogo en la cuenca?	Para todos, que tenga efecto
¿cuál cree que es la solución a este problema?	Poner un regador en la laguna.
¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	"Tapar la Noria". Proyecto fotovoltaico financiado CN Riego la vegetación mantiene la humedad.
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	Autoridades, municipios, alcaldes, SAG, DGA, Gobernadores
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud. se involucre comprometidamente?	Todos
¿Cuál es el área cultivada (ha) en su predio?,	su jardín Huerto orgánico con invernaderos, menos de 1 ha.
¿Qué tipo de cultivos posee?	Tomate, ají, lechuga, tomate, albahaca, aromáticas, frutales
¿Cuál es su sistema de riego?	Riego por goteo.
¿En qué período o meses del año riega?,	Todo el año
¿tiene algún sistema de acumulación o estanque en su propiedad?	No
Información de fuentes de agua.	1 kg de Tomates necesita 18 litros de agua.
¿Cuál es la fuente del agua que utiliza para riego y cuál para agua potable?	Noria propia para riego APR para agua potable.
¿Cuenta con derechos de agua constituidos o es un pozo de uso domiciliario?	La noria la heredó de su padre, y les salvó para el terremoto
¿pertenece a alguna sociedad de canalistas o junta de vigilancia?	No
¿Cuánto confía en la capacidad de los actores de lograr acuerdos para la gestión de la cuenca?	5
¿Cuál es su nivel de conocimiento del resto de actores involucrados en la gestión de la cuenca?	7

Nombre	Cristian Mellado
Sector	Movimientos Sociales
Rol	Impulsor ex QNMA, impulsor MAP, influenciador en redes sociales.
Organización	Movimiento por el Agua Paine
Percepción del cambio en el acuífero.	Desde el 2014 empezaron a desviar las aguas invernales del Estero Pintué hacia fuera de la cuenca.
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	De 1200 ha de agua en año 85, en 2014 bajo a 800 ha y después a 500 ha
¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado? ¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	Desvío de aguas desde 2014.
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Desvío 1: 900 metros más arriba del Paso Godoy, hace un arco superficial. Desvío 2: Paso Godoy: del estero Pintué al Canal Huiticalán. Hipótesis no confirmada: podría haber un dren francés que pase por encima del estero Huiticalán. Desvío 3: los regantes de Cooperativa Pintué tienen derechos de agua de las Quebradas Ramadillo, Liquencillo, La tela, La Madera: Son desviados por debajo del Pintué, con un canal de ladrillos, que funciona desde los Letelier. La Cooperativa Pintué está manejada por los Letelier. La laguna es un ornitorrinco legal.

¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Ya no vive en la cuenca. Se fue a vivir allá hace dos años con su familia, pero se separó.
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Si Santiago Fuentes deja de desviar el agua en su predio, la laguna se recupera en dos inviernos.
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	Santiago Fuentes, alcalde y DGA
¿Cómo tendría que ser un proceso de diálogo en la cuenca?	No creo en el AVGC, porque está impulsado por el alcalde y la Reserva, que están a favor de los agricultores
¿cuál cree que es la solución a este problema?	Dos años sin desviar las aguas para que la laguna se vuelva a llenar.
¿Qué otras soluciones propone?	Mayor fiscalización por parte de la DGA.
¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	No desea participar.

Nombre	Gustavo Gamboa, Paola Rubio, Carlos Lazo
Sector	Arrieros
Rol	Presidente, Secretaria Arrieros, Tesorero
Organización	Agrupación Por los Derechos de los Ganaderos y Agricultores (60 personas), 600 animales en registro pecuario del SAG (equino y vacuno). Una asamblea al mes, reglamento y estatutos, pagan cuota mensual, eligen directiva cada 4 años. Hace 2 años que se creó la agrupación. Contactos con Diputado Soto (PS RM) (y Marco San Martín, su secretario y Senador Letelier (PS región VI) Apoyo de Veterinarios de una Universidad.
Percepción del cambio en el acuífero.	La sequía
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	Dejó de llover
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Ahora tenemos más pasto gratis para nuestros animales y ya no tenemos que pagar la prorrata ni nuestros hijos. Los animales se mueren y tenemos que pagar de nuestro bolsillo retroexcavadoras para sacar 100 animales muertos y enterrarlos 8 metros en la orilla, pero llega ganado de otras partes, que entran por el estero Pintué (BNUP) + 7 metros x lado. También hay robo de ganado, pero no entre nosotros.
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Que siga siendo campo, que podamos hacer nuestra arreada, que nos dejen pasar por los cerros con nuestros animales, pero sin la esclavitud de la prorrata
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	Los dueños del Cerro: Santiago Fuentes, Juan Noé, La Reserva.
¿Cómo se visualiza participando / contribuyendo en el proceso?	Defendiendo nuestros intereses y los de nuestros animales
¿cuál cree que es la solución a este problema?	La mina Yamana del otro lado del cerro, ya nos deja pastar gratis, pero Don Juan Noé no nos recibe y no nos quiere dejar pasar. La "solución" de llenar la laguna nos generaría un problema: Tendríamos que volver a los cerros a pagar la prorrata"
¿Qué otras soluciones propone?	Estamos explorando todas las vías: - Uso de los 7 metros por el estero BNUP. - Arrendarle el paso x 1 millón. - Acciones legales contra Juan Noe
¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	Estamos dispuestos a pagar por que nos dejen pasar.
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	- Que el alcalde nos reciba. No nos ha recibido en 2 años. - Don Juan Noé, la reserva, Santiago Fuentes.
Otros comentarios	Sienten discriminación, abuso y burla de "los Poderosos" Denuncian abuso de Juan Noe: solo él puede usar su bomba para el agua de sus caballos. Planean su Arriada en febrero, porque el SAG exige control de la Influenza Equina. La Prorrata: Un día de trabajo por cabeza de animal. Por muchos años, le trabajaba 80 días gratis, "voluntarioso, pero hoy nos sale 40 lucas diarias por la comida y los compañeros. La prorrata se terminó en todo Chile, pero no en Aculeo. La gente se cansó de pagar la prorrata. No hay trabajo. Somos arrieros por costumbre criolla, de padres y abuelos, desde que todo esto era Hacienda y ellos eran inquilinos. Después de la reforma agraria, los que compraron fueron los nuevos patrones, abusaron de la prorrata y ya no da para más.

	"Los hijos pagaban la prorrata". Don Juan Noé trabaja 5.000 ha con 5 trabajadores. ¿Cómo lo hace? Con la prorrata. La reserva ya queda lejos. Pero dentro de la reserva quedan 4 o 5 "niños" que siguen pagando prorrata. Pero ahora cobran 2 días de prorrata por cabeza de ganado. El que necesita plata, vende un animal, y listo.
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Nombre	Patricio Acevedo, Patricio Contreras, Ernesto Duarte, Lorena Córdoba
Sector	APRs
Rol	Presidente, Directorio y Secretaria
Organización	APR Rangue Los Hornos, Directorio voluntario elegido cada tres años, 500 empalmes, unas 3000 personas. Algunos empalmes con 2,3,4 familias.
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Que ya no llueve. Después del terremoto las napas subterráneas se secaron y alteraron. Además, hay mil pozos sacando una pulgada de agua. Las aguas eran desviadas. La cosa es muy simple: la lluvia mantenía la laguna y la laguna nos mantenía a nosotros.
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Ya no siembro ni la huerta. Ya no corre agua en la acequia del canal, hace 12 años. 3 millones de pesos un pozo para regar una 1 ha. Ya no es rentable para los pequeños agricultores, así que prefieren vender su parcela para condominios. Los condominios generan trabajo para los hijos, los maridos cuidan parcelas. Gracias a eso han sacado adelante a los hijos y han ido a la universidad. La juventud ya no está interesada en plantar nada.
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Que se llene la laguna y se llenen los campings de amigos.
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	Don Jesús nos envió esto para que atinemos acá abajo. Es un apretón de arriba para que nos fijemos abajo que tenemos la responsabilidad de cuidarlo.
¿Cómo tendría que ser un proceso de diálogo en la cuenca?	Que la comunidad se junte, que se informe bien, urge el entendimiento.
¿Cuál cree que es la solución a este problema?	Que se llene la laguna para que haya humedad y neblina.
¿Qué otras soluciones propone?	Que la DGA fiscalice, que la gente denuncie, educar a la gente
¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	Aportar con ideas, informar a la comunidad, entregar información a la Asamblea una vez al año. Abrir Facebook.
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	El Estado; municipio como rol mediador articulador, la DGA y la DOH y el GORE
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud se involucre comprometidamente?	Parceleros, Municipio, Carabineros, PDI Buin.
¿Cuenta con derechos de agua constituidos o es un pozo de uso domiciliario?	Los parceleros tienen derechos de agua sobre la laguna desde la CORA
¿Cuánto confía en la capacidad de los actores de lograr acuerdos para la gestión de la cuenca?	3,5
¿Cuál es su nivel de conocimiento del resto de actores involucrados en la gestión de la cuenca?	4

Nombre	Santiago Fuentes
Sector	Regantes
Rol	Presidente
Organización	Canalistas del Aguilino, agrupa a 160 regantes. Se juntan en junio-julio antes de la temporada
Percepción del cambio en el acuífero.	
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	Los terrenos de Piedra de Molino ya eran cerro de Rulo, sin riego. Ahora hay más pasto 1 m ² consume 8 litros diarios por m ² . Se estima unas 150 ha de pasto. La evapotranspiración es de 7 mm/diarios. Ya no cae nieve
¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado? ¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	1968-1969
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Disminución de precipitaciones. No llega al promedio de 500 al año. No se recupera el déficit acumulado. Sobre extracción del acuífero. "Todos tienen su pocito".

¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Menos agua, los Arrieros entran ganado a la mala, están robando Talaje. La mina de Alhué les da Chipe libre y traen animales a destajo. Algunos tienen 15 animales en media hectárea y se aprovechan.
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	Desde el Canal del Aguilino ya estamos contribuyendo a la solución, aportando con nuestras aguas invernales que vienen de Angostura (VI región).
¿Cómo tendría que ser un proceso de diálogo en la cuenca?	Le hago el quite a reuniones largas y de mucha gente. Son poco efectivas. Si ya tenemos la solución ¿Para qué estar 9 meses en reuniones de diálogo?
¿Cómo se visualiza participando / contribuyendo en el proceso?	Aportando con aguas invernales del Aguilino, pero es importante que se sienta que todos están haciendo un esfuerzo.
¿cuál cree que es la solución a este problema?	Llenar la laguna
¿Qué otras soluciones propone?	Condiciones: que el canal no se dañe, que se mantenga limpio, que se cuide su capacidad de porteo.
¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	Aportando con aguas invernales (marzo-junio) del Aguilino, prefiero reuniones más pequeñas, cortas y efectivas.
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	MOP + Comité ministros + DOH + DGA apretar el cinturón con las extracciones subterráneas
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud se involucre comprometidamente?	Los ribereños tiene que regular su consumo de aguas subterráneas. La Municipalidad que aplique un Plan Regulador y que fiscalice. Los parceleros agrícolas pierden y venden sus parcelas para agrado (CAVA).
Otros comentarios	Financia habilitación del Canal del Aguilino. Se encontraron coliformes en el canal, por algún desagüe en Champa. Todos le tienen amor o un cariño a la laguna. Hay una iniciativa de Sutil, Fundación Reguemos Chile, que busca traer agua al norte por medio de trasvasijos de tranques y canales desde el Bio-Bio. Maximiliano Letelier 14 empleados su mamá es paisajista. Los ribereños ponen chéptica y mucho árbol exótico que chupa 300 litros. Ponen pozos y riegan sin derechos. Sobre 15 ha ya es grande para INDAP. Ley de Fomento al Riego genera un proyecto Carretes de Riego 65%, pero a los agricultores chicos les cuesta postular Maximiliano Letelier IRCC??
AGRICULTORES	Recomienda contactar a Cooperativa Pintué y a Manuelito
¿Cuál es el área cultivada (ha) en su predio?,	200 ha de campo y 4000 has de cerro
¿qué tipo de cultivos posee?	130 ha de trigo y 60 ha de maíz
¿Cuál es su sistema de riego?	Riego por surco
¿en qué período o meses del año riega?,	Trigo se riega de sept a nov. Maíz de noviembre a febrero
¿tiene algún sistema de acumulación o estanque en su propiedad?	INDAP apoya microtranques. La sandía es muy eficiente, basta 1l/s por ha.
¿Cuál es la fuente del agua que utiliza para riego y cuál para agua potable?	Canal del Aguilino para Riego. APR para agua potable.
¿pertenece a alguna sociedad de canalistas o junta de vigilancia?	Canalistas del Aguilino

Nombre	José Gárate y su hijo David Paulo Garate
Sector	Regantes
Rol	Agricultor. La abuela Pérez Gallardo llegaron a la fundición y trajeron la tradición de canto en décimas a la Cruz de Mayo
Organización	Comunidad de Regantes de Los Hornos Bomba 19. Los tranques canales y la sala de máquinas eran "bienes comunes" de la CORA (reforma agraria) Las bombas se organizan por los metros sobre el nivel de la laguna: la bomba 12, Fernando Donaire, ya no sacan porque no hay agua. Ya vendieron las tierras al Condominio las Castaños. La bomba 19 éramos 17 parcelas y la bomba 33, de 27 hectáreas, para la Reserva.
Percepción del cambio en el acuífero.	Antes llovía en los cerros y caían 800. En 2018 solo pude regar 10 días. Antes entre los Hornos y Rangue eran 1000 ha agrícolas, y había unas 400 ha de maíz y sandía. Ahora habrá unas 80 máximo de cerezos. Yo tengo 14 ha de paltos. Desde el 2010 solo se riegan unas 80 ha.
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	El Estero Las Cabras viene seco hace años. Antes había pozones y nos bañábamos ahí de niños.
¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado?	1969
¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	

¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	La laguna no es ná laguna. Es un tranque de riego no más, y por eso queda en tierra de nadie. Hicieron pozos en el lecho de la laguna y mataron las hierbas de los humedales
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Como vendieron las parcelas agrícolas y ahora son residenciales, ya no puedo usar pesticida para los paltos
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	De seguir así, la agricultura se va a acabar. Yo estoy pensando en vender parte de mi tierra. Queremos poder seguir viviendo de la agricultura
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	Primero, la poca lluvia. Creció la población que venía de la ciudad a vivir en condominios y parcelas de agrado
¿Cuál cree que es la solución a este problema?	Del INDAP me proponen cambiar Palto por Almendro, pero es complicado, porque eso cuesta por lo menos 2 millones sacar los paltos
¿Qué otras soluciones propone?	Traer agua o meterle agua a la laguna
¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	Cambiar los métodos de riego. Reducir la superficie plantada
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	El Estado y los "ribereños" tienen mucha influencia
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud se involucre comprometidamente?	Agricultores, APR, Parceleros, alcalde, INDAP, CNR.
Otros comentarios	Justo la palta subió de precio y yo no pude regar. Así que no aproveché la ocasión. En la palta hay que evitar el robo hormiga, porque mucha gente se lo lleva para la casa.
¿Cuál es el área cultivada (ha) en su predio?,	14 ha
¿qué tipo de cultivos posee?	Paltos, desde el 81-83, los sembró mi padre
¿Cuál es su sistema de riego?	Riego por surco
¿en qué período o meses del año riega?,	El 2018 alcancé a regar 10 días cuando hubo agua en invierno
¿tiene algún sistema de acumulación o estanque en su propiedad?	Un pequeño tranque subsidiado por INDAP
¿Cuál es la fuente del agua que utiliza para riego y cuál para agua potable?	Para riego, agua de la laguna. Para agua potable, del APR. Tenía una noria a 8 m pero se secó
¿Cuenta con derechos de agua constituidos o es un pozo de uso domiciliario?	Tengo derechos de agua constituidos sobre el espejo de agua de la laguna
¿pertenece a alguna sociedad de canalistas o junta de vigilancia?	Sí, la comunidad de Regantes de la bomba 19, pero no está formalizada todavía
¿Cuánto confía en la capacidad de los actores de lograr acuerdos para la gestión de la cuenca?	4
¿Cuál es su nivel de conocimiento del resto de actores involucrados en la gestión de la cuenca?	4

Nombre	Luis Haroldo Soto "El Chico Tuto" Y Marisol Gamboa
Sector	Regantes
Rol	Pequeño agricultor, Ex Juez de Agua de canalistas del Huiticalán
Organización	Marisol Administra Condominio Parcelación Bahía Rangue Luis Soto, regante del Huiticalán
Percepción del cambio en el acuífero.	Hace 7 años que no baja con agua el estero
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	8 minutos es lo que dura el pozo de 60 metros. Ahora salgo a trabajar para fuera para la construcción o a la fruta por la temporada. Los hijos ya no quieren hacer el trabajo del campo y se migran a Santiago, dependemos de la laguna, igual
¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado? ¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	Antes teníamos los canales limpios para el 15 de agosto y los tranques llenos y rebalsados para el 18 de septiembre, listos para la temporada del riego
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Es porque tienen pozos profundos los condominios y también los cerezos, pero todo empezó después del terremoto. Dicen que el agua se fue por las grietas después del terremoto
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Mi familia tiene un almacén que vende frutas y verduras y como se secó la laguna, ha bajado la gente. La gente ya no viene los fines de semana. Ya no siembro nada
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Va a volver a llover. Esta sequía va a pasar.
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	Las autoridades no hacen nada
¿cuál cree que es la solución a este problema?	Decían que un túnel que trajera agua desde el Río Maipo

¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	Difundir a los canalistas del Huiticalán
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	Las autoridades
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud se involucre comprometidamente?	CAVA, Daniel Núñez por los Paceleros, Don Jaime Catalan por la Cooperativa Pintué
¿Cuál es el área cultivada (ha) en su predio?,	En el Huiticalán son 38 Regantes, 7 parcelas y 31 sitios, entre 10.000 m2 y 16.000 m ²
¿qué tipo de cultivos posee?	Siembran Sandía, Maíz, Zapallo, y algunos huertos con frutales
¿Cuál es su sistema de riego?	Muchos por tendido
¿en qué período o meses del año riega?,	de septiembre - octubre en adelante

Nombre	Karin Lassen Hidalgo Y Paulo Gutiérrez
Sector	Comerciantes
Rol	Emprendedora gastronómica. Socia de Lassen Haus. 2 años en Lassen. 5 años en Pastelería de Rangué. Sus turistas vienen por el día. en febrero se van fuera de Santiago. Fue docente, y venía todos los días, pero tuvo un accidente y se vino acá para estar más tranquila
Organización	No hay asociatividad ni con campings ni con otros restaurantes (Sleepy Hollow, La Pérgola) ni con la Reserva, ni con la Oficina de Turismo ni SERNATUR, ni cervezas artesanales
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	Lleva pocos años aquí
¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado? ¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	No
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Ella ya partió su negocio con la laguna seca
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Sueña que se consolide como destino turístico, como Pirque o el Cajón del Maipo, que tenga cositas ricas para comer, con un lindo paisaje. El Cajón del Maipo no tiene laguna y se llena los domingos. Tengo fe y esperanza en que esto se va a mejorar. Me he endeudado para sacar eso adelante
¿Cómo tendría que ser un proceso de diálogo en la cuenca?	Entre todos los involucrados
¿Cuál cree que es la solución a este problema?	Falta comunicar todo lo que se puede hacer en Aculeo sin agua
¿Qué otras soluciones propone?	El turismo puede ser parte de la solución. Se requiere un mayor encadenamiento turístico
¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	Le gustaría participar en ferias como Expo-Paine Rural para difundir su destino
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	Agricultores, Condominios, Autoridades
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud se involucre comprometidamente?	Agricultores, Condominios, Autoridades

Nombre	Pamela Contreras
Sector	Comerciantes
Rol	Presidenta
Organización	Agrupación de Artesanas y productoras de Aculeo, Vigente desde 2009. 12 artesanas, Plantas, cactus, huevos de codorniz, tomate cherry, huevos de gallinas libres, Tejido, bordado, palillo, crochet, orfebre, costuras con telas
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Multicausal: 1 contaminación, lanchas, fangosas, nadie la cuidaba 2 los desvíos publicados 3 los pozos profundos, 4 que no llueve.
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Es difícil vender cuando viene poca gente. No vivimos solo de esto, pero es un ingreso extra que se suma al ingreso familiar y si no está se resiente.
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Que se llene la laguna
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	La oficina de turismo nos apoyó con una gira técnica a Machalí donde vimos diseño con identidad

¿Cómo tendría que ser un proceso de diálogo en la cuenca?	Que me llamen para participar
¿Cuál cree que es la solución a este problema?	Que llueva y que fiscalicen los pozos profundos de agricultores grandes. Educar en el uso y reuso de las aguas grises
¿Qué otras soluciones propone?	Conectar a quienes trabajan en turismo para remar juntos
¿Cuál podría ser su rol en la concreción de acciones para la Cuenca?	Promover el turismo
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud se involucre comprometidamente?	Juntas de vecinos, Comunidades Educativas, Agricultores grandes y pequeños, Condominios

Nombre	Cristian Campino, Camping Los Álamos
Sector	Empresas Turísticas
Rol	Dueño
Organización	Camping Los Álamos 25 años, familias que vienen a hacer asados, no les importa si hay laguna, no vienen por las lanchas, buscan comerse un asado al aire libre con piscina
Percepción del cambio en el acuífero.	
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	Se secó la laguna
¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado? ¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Se están robando el agua
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Se redujo en un 25% el flujo de turistas y también de ingresos. La prensa ha hecho mucho daño. Ha habido un mal manejo comunicacional Se acercan muchos periodistas, pero solo andan buscando la imagen del caballo muerto
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Pésimo, poca esperanza
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	El Gobierno
¿Cómo se visualiza participando / contribuyendo en el proceso?	Sí, para estar informado
¿cuál cree que es la solución a este problema?	Reglamentar el uso de lanchas a motor, para que no contaminen. Que no se roben el agua
¿Qué otras soluciones propone?	Potenciar el turismo popular. Aquí no vienen de Vitacura, sino de Puente Alto, Conchalí y La Pintana. Estamos a una hora de Santiago, y por muy poca plata, puedes tener un día de piscina, asado y aire libre
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	El alcalde
¿Cuánto confía en la capacidad de los actores de lograr acuerdos para la gestión de la cuenca?	7
¿Cuál es su nivel de conocimiento del resto de actores involucrados en la gestión de la cuenca?	4
En caso de tener un pozo o noria para uso domiciliario,	Tenemos tres norias propias inscritas, solo para uso humano
¿cuánta agua consume o extrae mensualmente?,	Una noria para regar y rellenar las piscinas
¿cuántas veces al día la utiliza, en que meses del año?,	desde noviembre a febrero, sobre todo fines de semana
Si tiene piscina,	2 piscinas y la pileta

Nombre	Paula Bustos y Carlos Bravo, Camping Pantanal (Rangue)
Sector	Empresas Turísticas
Rol	Socios
Organización	Camping Pantanal
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	Justo compramos el camping hace 10 años y se empezó a secar la laguna.

¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado? ¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	No
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Dicen que los agricultores, por los desvíos de aguas para riego, según los videos que han publicado en redes sociales
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	Antes venían hasta en invierno, que venían pescadores, pero ahora mi marido tiene que buscar trabajo en el invierno, porque ya no llega gente a pescar
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Tenemos la esperanza de que ya no haya más desvíos
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	El responsable es la agroindustria que desvía el agua hacia las parcelas. El proyecto de la U de Chile para traer agua del río Angostura.

Nombre	Juan Alberto Quintanilla Camping Bocahuao
Sector	Empresas Turísticas
Rol	Dueño
Organización	Camping Bocahuao
¿Cuáles son los cambios que ha observado en el nivel de agua tanto de la laguna como el de su pozo en los últimos años?	La noria se secó
¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado? ¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	La última crecida fue en 2010
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	Todos se roban el agua aquí
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	El camping está seco y vacío. Me endeudé para construir la piscina y aun no la pago
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Nadie va a querer colaborar
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	Las autoridades

Nombre	Javiera Valdivia Mena
Sector	Empresas Turísticas
Rol	Administradora
Organización	Camping San Alberto (rivera norte)
¿Tiene conocimiento de eventos similares al que está ocurriendo actualmente en la Laguna en el pasado? ¿Hace cuánto tiempo ocurrió?	No
¿Cuál cree que es la causa de la reducción de los niveles de la laguna?	La sequía y la sobrepoblación
¿Cómo se ve afectado por la problemática de la cuenca?	El manejo comunicacional ha sido pésimo. Muestran las imágenes de los caballos o de los peces muertos, pero no muestran que todavía se pueden hacer cosas, que todavía es lindo, que hay piscinas
¿Cuál es su visión de futuro que sueña para la Cuenca de Aculeo?	Que vuelva a ser como antes, aquí el agua era transparente
¿Cuál es su percepción sobre quién es responsable de proponer e implementar las soluciones?	La Municipalidad no va a traer soluciones
¿Cómo se visualiza participando / contribuyendo en el proceso?	Los campings pueden intermediar y ayudar en la difusión
¿Cuál cree que es la solución a este problema?	Mejor marketing para que vuelva el turismo
¿Qué otras soluciones propone?	Difundir los acuerdos
¿Cuál cree que son los actores que mayor influencia tienen para contribuir con soluciones?	La municipalidad
¿Cuáles son los actores que deben estar involucrados en este proceso para que ud se involucre comprometidamente?	los lugareños, que son los que más tiempo llevan aquí y conocen mejor la tierra
Otros comentarios	No tienen relación con otros campings ni con la reserva
¿Cuánto confía en la capacidad de los actores de lograr acuerdos para la gestión de la cuenca?	5
¿Cuál es su nivel de conocimiento del resto de actores involucrados en la gestión de la cuenca?	5

¿Cuál es su fuente de agua para el consumo de agua potable?,	APR el Vinculo
¿Cuál es su consumo de agua potable mensual?,	Apenas regamos
¿Cuál es su capacidad y con qué frecuencia la llena?	La piscina solo en verano, la pintamos antes de la temporada
¿De dónde obtiene el agua para llenarla?	La primera vez llenamos la piscina con Agua potable, pero ahora la rellenamos con agua de noria

Anexo 3. Cuestionarios a Expertos y Actores Clave

Tabla 17. Respuestas al Cuestionario a Expertos y Actores Clave⁶⁴

Nombre	Gabriele Hofherr
Institución/Organización	Universidad de Chile
Sector	Consultores
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	La selección de cultivos debe estar de acuerdo a lo que racionalmente se puede enfrentar con la recarga quinquenal esperada de los acuíferos.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	Evitar cultivos tropicales o subtropicales que demandan agua más allá de lo que puede recargar las lluvias en el clima semiárido
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Si
3.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	Entregar derechos que hacen uso solo y exclusivamente de la recarga y no del acuífero. Las fluctuaciones por años secos y años húmedos pueden ser consideradas en la definición de lo que se considera como recarga.
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Si
4.B. Si su respuesta anterior fue "Sí" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	La sobreexplotación se origina, en parte importante por el consumo en riego de jardines y parques privados y por una agroindustria migrante. Una educación comunitaria de incorporar los conceptos estéticos de jardines y parques similares al bosque esclerófilo podría ayudar.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Aumentar la oferta de recursos hídricos mediante obras de ingeniería/infraestructura, recarga artificial, entre otros.
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Agencias/organismos públicos (DGA, DOH, MMA, otros).
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Una combinación de ambos (Asociaciones Público-Privadas).
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	Sí
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	No
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	Se pierde un área verde en la región Metropolitana
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Intervenir los sistemas de recarga de la laguna para asegurar a alimentación del acuífero y evitar el drenaje clandestino e irracional.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	Vista la recuperación de cauces naturales de grandes ríos como el Rhin en Francia-Alemania, se puede aplicar medidas de contención para lograr que la recarga natural inicie la recuperación natural del espejo de agua.

⁶⁴ Fuente: elaboración propia.

13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	Medidas de contención de la recarga natural y control del drenaje clandestino e irregular, podrían ser suficientes para la recuperación del espejo de agua.
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	Recomprar derechos sería una opción de corto plazo, que, sin medidas de contención de la recarga en la Laguna, no implican recuperación del espejo de agua.
15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	Educación y fiscalización.
16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	Estudiar caso a caso los derechos concedidos. Anular aquellos derechos concedidos en base a supuestos erróneos.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	Sí
17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	Agua potable, Agua para conservación de ecosistemas naturales, Agua para agricultura de subsistencia

Nombre	Mauricio Cartes
Institución/Organización	ERIDANUS
Sector	Consultores
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Que la falta de información y la legislación vigente (Código de Agua), requieren de una actualización urgente.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	Se debiese educar a la población, desde edad temprana en relación al cuidado de las fuentes: cantidad y calidad, con el fin de que generen conciencia por el monitoreo y la fiscalización. Las autoridades deben construir herramientas que permitan facilitar la fiscalización cuyas multas sean ejemplares a nivel mundial.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Sí
3.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	El nivel de respuesta a la escasez en un acuífero se reconoce con al menos 5 años. Por lo tanto, lo que ocurra hoy es un problema de lo que se dejó de hacer 5 años atrás. Al momento de generar fiscalización, se deben generar pautas de trabajo, que permitan reconocer el problema por los diferentes autores.
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Sí
4.B. Si su respuesta anterior fue "Sí" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	Código de Aguas. Sobre otorgamiento de derechos. Especulación y descontrol por el adecuado uso de las aguas. En primer lugar, se requiere control. Posteriormente, se requiere planificación.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Controlar la extracción de recursos hídricos y mejorar la efectividad de la fiscalización mediante redes y sistemas de monitoreo, clausura de obras hidráulicas no autorizadas, sanciones y multas.
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Todos a través de una red online.
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Una combinación de ambos (Asociaciones Público-Privadas).
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	Antes se debe definir justicia y equidad para quien.
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	No

10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	Sequía completa de la laguna.
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Para mitigar, se debe cuidar la fuente y formar a la sociedad. Se debe estudiar si es posible revertir.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	La recarga artificial mediante obras de bajo costo. Se debe modificar la estructura que ampara los DAA.
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	Es favorable. Se debe planificar bajo diferentes escenarios el tipo de recarga y la limitación al ejercicio de los DAA.
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	El estado no debe comprar, dado que el estado entregó de manera gratuita. La expropiación de debe realizar bajo la jerarquía del uso de las aguas, lo cual conlleva ajuste del Código actual o reemplazo de dicha herramienta. Puede ser una solución, pero se debe evaluar los posibles resultados.
15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	Mediante multas altas con penas de cárcel. Las obras ilegales deben ser destruidas.
16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	Mediante modificación del Código de Aguas, en el que se construya una figura alternativa para el uso controlado y limitado.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	El uso debe ser restringido para los diferentes actores. Para ello se debe suponer el caso en que no existen más recursos por un periodo de algunos años. Luego evaluar la respuesta natural del sistema.
17.B. Si su respuesta anterior es "Si" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	

Nombre	Eduardo Rubio
Institución/Organización	Eridanus LTDA - Eduardo Rubio
Sector	Consultores
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Se requiere de una aproximación integrada entre el río y el acuífero; La hidrología es muy dinámica; se requiere la evaluación de escenarios con cambio climático; se requiere otro marco regulatorio para poder planificar y gestionar el recurso hídrico, una superintendencia del agua, por ejemplo; se requiere de un mayor control sobre las extracciones ilegales y una definición clara del caudal de explotación sustentable.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	Una gestión eficiente y sustentable del recurso amparada sobre la conciencia colectiva de que el recurso disponible es escaso y finito para todos; Priorizar los usos de sobrevivencia y producción por sobre los recreacionales; no autorizar la construcción de condominios o parcelas de agrado en zonas donde no hay planes de gestión del recurso.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Si
3.B. Si su respuesta anterior es "Si" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	Definición de un caudal ambiental sustentado en las necesidades de las especies; expropiación de derechos; redefinición de derechos de agua (magnitudes) acorde a la variación real del Q85%, mejores estudios hidrogeológicos. Integración de la comunidad en la búsqueda de soluciones a la escasez, que no se entienda como un mero trabajo gubernamental.
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Si
4.B. Si su respuesta anterior fue "Si" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	Hay partidarios políticos que tienen intereses creados en las zonas, principalmente por la producción de riego y la gestión inmobiliaria. Ellos no debiesen ni opinar ni intervenir.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Reducir la demanda hídrica mediante restricciones de consumo, expropiación de DAA, medidas de eficiencia hídrica, entre otros.

6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Agencias/organismos públicos (DGA, DOH, MMA, otros).
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Una combinación de ambos (Asociaciones Público-Privadas).
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	Sí
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	No
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	La pérdida de un patrimonio de la naturaleza.
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Restablecer el balance hídrico natural y sustentable del sistema. Equidad con el medio ambiente y eficiencia y transparencia con los consumos. Justicia.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	Medidas tipo Nudge y campañas estructurales. No hay una receta única. Pero tampoco hay muchas opciones. Para recuperar el agua eventualmente hay que: O sacar menos, o ingresar oferta.
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	Es una buena idea, pero no sé de dónde pueden provenir dichos recursos. Se requiere de una modelación bien armada para demostrar que no interfiere con el derecho o extracción de otros.
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	Estoy básicamente de acuerdo. Pero esto jamás se aplica.
15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	Con una denuncia formal, cierre del pozo y: o devolución de los recursos quitados; o un pago equivalente a la obra construida.
16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	Mediante la repartición alícuota, priorizando necesidades de sobrevivencia, y con un plan de extrema eficiencia del uso del recurso con un monitoreo transparente. Es muy difícil expropiar algo que alguna vez se dio en legítimo derecho.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	Sí
17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	Agua potable, Agua para riego en la agroindustria, Agua para conservación de ecosistemas naturales, Agua para agricultura de subsistencia

Nombre	Yuri Castillo
Institución/Organización	Consultora Arrau Ingeniería
Sector	Consultores
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Poco conocimiento de la oferta hídrica subterránea en general, tanto a nivel de usuarios como de parte de la entidad reguladora.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	Debería haber una gestión integrada, conocer la oferta, conocer la demanda, mayor control de extracciones, mayor comunicación.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Si
3.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	Mejorar las facultades de la DGA, modificaciones al código de aguas, implementar organismos de manejo de cuencas y acuíferos.
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Si

4.B. Si su respuesta anterior fue "Sí" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	Pregunta demasiado amplia, pero en resumen, el código de aguas dificulta una adecuada gestión sustentable del recurso hídrico, deriva en un énfasis económico para su manejo, lo cual articula muchos poderes económicos y políticos, relegando al último plano los aspectos sociales y ambientales.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Reducir la demanda hídrica mediante restricciones de consumo, expropiación de DAA, medidas de eficiencia hídrica, entre otros.
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Todos los anteriores
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Una combinación de ambos (Asociaciones Público-Privadas).
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	Sí
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	No
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	Pérdida del patrimonio natural, desabastecimiento para usuarios.
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Que la demanda hídrica se ajuste a la oferta, transparentar las extracciones, que el acuífero sea visto como un bien colectivo, no individual.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	Gestión integrada y limitación de la demanda
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	No es mala idea, pero su éxito depende de de varios factores, empezando por el origen del agua que será recargada.
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	Me parece una solución parche, no de fondo.
15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	Como cualquier delito.
16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	Expropiando/comprando lo que se pueda, limitando el uso de lo restante hasta caudales sustentables según la oferta.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	Sí
17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	Agua potable, Agua para conservación de ecosistemas naturales, Agua para agricultura de subsistencia

Nombre	Cristian Chadwick
Institución/Organización	U de Chile
Sector	Académicos
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Se puede entender que el diseño de sistema que tenemos no está diseñado para salir bien parado de situaciones de escasez. Definitivamente las reglas del juego que tenemos no han sido capaces de funcionar correctamente en estas situaciones.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	Lamentablemente los problemas que existen son de fondo. Esto se puede ver en las diversas situaciones de escasez que se están viendo en diferentes zonas del país. La idea es mantener el consumo general de agua a niveles sustentables, para ello hay diversos caminos que ayudan, pero es necesarios cambios de fondo para que funcionen.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Si

3.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	Hay que tener un mayor conocimiento de la cantidad de recurso hídrico disponible y que es factible de explotar de manera sustentable, con ello buscar maneras de restringir los consumos a dicha cantidad.
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Si
4.B. Si su respuesta anterior fue "Sí" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	Hay incentivos políticos a la inactividad, el cambio de este tipo de sistemas suele tener un costo político que nadie quiere asumir, por lo que el equilibrio por ese lado es a no actuar. Por otro lado, hay ciertos usuarios que se ven beneficiados, por ejemplo, la gente de cuencas altas suele extraer más agua de la que le corresponde, por lo que no quieren una mayor fiscalización o cambio en el sistema. Por último, me parece que existe una desconfianza a generar cambios, ya sea por una inercia u por otros motivos que desconozco.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Reducir la demanda hídrica mediante restricciones de consumo, expropiación de DAA, medidas de eficiencia hídrica, entre otros.
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Agencias/organismos públicos (DGA, DOH, MMA, otros).
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	El Estado mediante proyectos financiados con fondos públicos (Gobierno Regional, Municipio, etc.).
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	Sí, pero me parece que hay que definir correctamente cómo aterrizar estos principios.
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	Me parece que generalizar una respuesta a todo el país no es justo, en algunos casos sí, en otros no.
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	Existen daños a la población de la zona y a la naturaleza que son muy grandes y que de no abordarse pueden llegar a un punto no recuperable.
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	El primer criterio tiene que ser de sustentabilidad, es importante que se llegue a un equilibrio sobre los consumos que son factibles en la zona. Hay varios otros criterios, como priorizar el uso de agua humano, aplicar criterios de eficiencia, pero por sobre todo hay que ser capaces de llegar a un consumo que sea sustentable en el tiempo.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	Lamentablemente, no veo una salida que no esté asociado a una baja considerable en el consumo de agua. Por supuesto que de haber fuentes de agua disponible que se puedan desviar hacia Aculeo para aumentar la oferta ayuda, pero el tema de fondo es limitar el consumo a una cantidad que sea sustentable en el tiempo.
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	Me parece que aumentar la oferta sin controlar la demanda, puede hacer que la barrera se mueva un poco, pero finalmente en algunos años el consumo puede aumentar y se puede volver a caer en el mismo problema. Hay que trabajar tanto por el lado de la oferta como por el lado de la demanda.
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	Claramente no está primero en la lista de las medidas que uno quisiera tomar, ahora en situaciones como la de Aculeo en que disminuir la demanda de agua es necesaria, pareciera ser una de las medidas que es necesaria. Es importante diseñar correctamente cómo se hace, cuánto es el pago justo por los derechos, el Estado tiene que salir a comprarlos al mercado del agua o le compra un % de sus derechos a cada uno de los usuarios. Me parece que un problema que surge en esto es que el Estado entrega de manera gratuita el agua y si la necesita devuelta hay un mercado, por lo que lo justo es comprarla devuelta. Ahora, si el agua tiene un valor, el Estado no debería entregar el agua de manera gratuita en un principio.

15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	Hay que fiscalizar la extracción ilegal, pero claramente el pretender que el Estado tenga la capacidad para fiscalizar todas las extracciones ilegales es una locura. Me parece que hay que generar incentivos para la autorregulación, además de una fiscalización. La autorregulación, suele ir asociada a una conciencia de que la mayoría y lo correcto es no tener extracciones ilegales, además de una presión social por que se cumpla. Otro aspecto importante es que los mismos usuarios que tienen extracciones legales ayuden con la fiscalización.
16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	Primero que todo hay que tener una mejor los balances en cada cuenca para conocer de mejor manera cuánto recurso hay disponible. Una vez que uno tiene eso claro, es necesario tener una buena base de datos por parte de la DGA en que sepan exactamente qué cantidad de agua tienen otorgada por cuenca. Teniendo los dos puntos anteriores se puede pasar a otorgar derechos de haber disponibilidad. Un punto que es importante es que los derechos debiesen revisarse cada 5, 10 o 15 años, dado que la disponibilidad de recurso hídrico va cambiando en el tiempo. En otras palabras, no hace mucho sentido que los derechos estén asociados a una cantidad de agua que no cambia, cuando la disponibilidad en la práctica si cambia.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	Sí
17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	Agua potable, Agua para conservación de ecosistemas naturales, Hay que tener cuidado que el priorizar los usos de agua no desincentiven la eficiencia en el uso.

Nombre	Cristian Mellado
Institución/Organización	Particular
Sector	Movimiento Social
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Si falta agua es porque un empresario se la está llevando. Ya sea legal o ilegalmente.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	Fiscalización y control del agua consumida... Eso es clave.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Si
3.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	El problema está en el código de aguas. El agua es privada y a perpetuidad. Entonces nos iremos secando sin remedio. Se debería hacer un modelo justo donde se asegure el consumo humano, la protección del medio ambiente y a pequeños agricultores.
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Si
4.B. Si su respuesta anterior fue "Sí" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	El lobby que hacen la SNA y la gran minería para que todo siga cómo está.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Reducir la demanda hídrica mediante restricciones de consumo, expropiación de DAA, medidas de eficiencia hídrica, entre otros.
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Agencias/organismos públicos (DGA, DOH, MMA, otros).
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Los privados que requieren los recursos.
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	Sí

9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	No
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	Cada año el acuífero estará más seco que el anterior y a futuro será un desierto inerte.
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Hay que proteger el estero Pintué y el estero las cabras. En este momento no llega agua a la laguna cuando llueve en invierno. Prohibición de cultivos anuales que ocupen el agua de la cuenca y los árboles frutales con riego tecnificado mantener el control totalmente del agua que consumen. Prohibir las grandes extensiones de pasto por parcela. Solo permitir regar pasto hasta un cierto límite de superficie por parcela.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	No tengo conocimiento.
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	No es necesario. Aculeo se mantendría perfectamente si protegemos las fuentes de agua que son los esteros. Aculeo siempre se mantuvo en 1200 has de espejo de agua. Solo desde el 2014 al 2018 la laguna se secó completamente y no fue por falta de lluvias. Fue porque el agua no llegaba a la laguna por primera vez en su historia. Aculeo viene de aculewfu "donde llegan las aguas".
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	Todo mal. El sistema es descarado. Solo beneficia a algunos poderosos. ¿Les regalaron el agua y ahora se la compraran?
15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	Quitar DAA. Definitivamente. Hay un sobre otorgamiento y mucha información que falta. Derechos ancestrales, ex CORA. No hay transparencia. Además, no hay bocatomas, son desvíos artesanales que no miden el caudal que sacan. Simplemente sacan lo más que pueden.
16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	Quitar DAA. A los principales culpables.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	Sí
17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	Agua potable, Agua para conservación de ecosistemas naturales, Agua para agricultura de subsistencia

Nombre	Pablo Viloch
Institución/Organización	GLOCAL MINDS (Consultores ASCC)
Sector	Consultores
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	El marco normativo y la institucionalidad no responde a los desafíos actuales. Se están produciendo respuestas disfuncionales ante el cambio climático. Se necesita una transformación profunda de la institucionalidad.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	No debería esperarse la generación de crisis para responder, deberíamos anticiparnos y generar medidas de prevención, tales como embalses, mecanismos de gobernanza a nivel local. Estamos llegamos tarde y mal. Necesitamos políticas de prevención, políticas de riego, etc.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Si
3.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	Reforma al código de aguas. Mayor poder a la institucionalidad (DGA). Priorizar el consumo humano, tecnificación del riego, transitar hacia sostenibilidad, etc.
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Si
4.B. Si su respuesta anterior fue "Sí" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	Conflictos de interés entre quienes ostentan los DAA y quienes toman las decisiones (promiscuidad) las mineras y las industrias financian los partidos, por lo que se pone en riesgo la seguridad hídrica.

5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Todas las anteriores (especialmente reducir los consumos hídricos).
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Todos deben participar.
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	El Estado mediante proyectos financiados con fondos públicos (Gobierno Regional, Municipio, etc.).
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	Sí
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	No
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	Profundización del conflicto, Deterioro del tejido social, agotamiento del acuífero.
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Participación de la comunidad; Gobernanza Multi-actor; Dialogo, Información basada en ciencia, Transparencia (especialmente en relación a los DAA).
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	Elinor Ostrom Tiene denominado El gobierno de los bienes comunes. Esta experiencia puede ser útil. Hay muchos casos de estudio en todo el mundo.
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	Un ejemplo emblemático del optimismo tecnológico. Es provocar un conflicto inter-cuencas con un impacto ambiental impredecible. Técnica e hidráulicamente es posible, pero se deben evaluar todas las dimensiones.
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	Legítimo. Es legal.
15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	Altas sanciones, transparentes y conocidas por todos y que sean públicas. Que resulte más caro extraer ilegalmente que legalmente.
16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobre-otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	El Estado debería declarar públicamente que se cometieron errores y luego se debería apretar el cinturón.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	Sí
17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	Agua potable, Agua para conservación de ecosistemas naturales, Agua para agricultura de subsistencia

Nombre	Diego Vergara
Institución/Organización	Municipalidad de Paine
Sector	Servicio Público
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Estamos aprendiendo todavía. Aún no hay lecciones. La escasez hídrica está generando el problema respecto a la laguna. Pero nos estamos organizando para determinar si esto sigue así ver que hacemos.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	La escasez hídrica viene por la falta de lluvia. Lo que hay que hacer es como actuar con la poca agua que está llegando. Si hubiese una receta se hubiese hecho. Lo que no se debería hacer es explotar el acuífero de manera ilegal.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Se requiere más conciencia en todos los usuarios.

3.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	No
4.B. Si su respuesta anterior fue "Sí" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	No se consultó.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Controlar la extracción de recursos hídricos y mejorar la efectividad de la fiscalización mediante redes y sistemas de monitoreo, clausura de obras hidráulicas no autorizadas, sanciones y multas.
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Sin responder
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	No se consultó.
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	No se consultó.
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	No se consultó.
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	Aculeo se empezó a secar cuando dejó de llover menos. Es difícil revertir un valle que no está funcionando. El cambio climático es tan fuerte que lo que debe hacerse es determinar cómo actuar con la poca agua que está llegando. Si hubiese una solución ya se hubiese realizado.
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Conversar entre todos; Organizarse y Coordinarse para distribuir mejor el agua; optimizar el recurso hídrico, mejorar los sistemas de riego, el agricultor no se puede restringir en términos de superficie porque sino se muere.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	No respondida.
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	El papel aguanta todo. Si fuera posible me parece bien.
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	Si no se usa debe ser expropiada. No se deben guardar DAA en el papel.
15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	Multas ejemplificadoras y Cárcel.
16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobreotorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	Dar facultades y aumentar el poder de fiscalización de la DGA. Existe un mal cálculo en este caso se debería considerar una ley que reajuste la extracción debido a que se otorgaron DAA en épocas de abundancia.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	Sí
17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	Agua potable, Agua para riego en la agroindustria, Agua para agricultura de subsistencia

Nombre	Rigo Quezada Videla
Institución/Organización	Gobierno Regional
Sector	Servicio Público
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Uso del agua; existe un clima más caluroso por lo que el agua es más escasa. Se debe crear una cultura de conservación de las aguas y realizar inversiones que apunten en esta dirección.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	No se debe realizar la planificación desde los planos reguladores que permiten la explotación agrícola de agua que no se tiene. No se puede sacrificar a la población para sostener actividades económicas. Se debe priorizar el derecho de la población al agua para todos los habitantes.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Si
3.B. Si su respuesta anterior es "Si" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	Hacer estudios serios de los planos reguladores para determinar que cosas se pueden producir y no producir en la comuna. La población tiene que ser distribuida en lugares donde haya disponibilidad de agua.
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Si
4.B. Si su respuesta anterior fue "Si" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	La legislación chilena se realizó en un periodo en el cual no había problemas de escasez de agua y seguimos trabajando con esta legislación para que se ponga a tono con las realidades que estamos viviendo.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Controlar la extracción de recursos hídricos y mejorar la efectividad de la fiscalización mediante redes y sistemas de monitoreo, clausura de obras hidráulicas no autorizadas, sanciones y multas.
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Organizaciones sociales.
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Una combinación de ambos (Asociaciones Público-Privadas).
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	No respondida
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	No respondida
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	La consecuencia más grave sería poner en riesgo a la población. En segundo lugar, se debe tener en cuenta el ecosistema.
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Criterios científicos. Identificar las causas para saber que ocurrió con la laguna Aculeo.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	Restaurar cauces naturales. Terminar con los desvíos. Evaluar las plantaciones que consumen agua. Volver a un estado anterior.
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	No tengo los elementos científicos para decir si es bueno o malo. Me parece que puede producir perjuicios en otras cuencas.
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	Hay que reestudiar todos los DAA. Hay gente que cumple con las leyes y hay mucha gente que saca más agua de lo permitido.
15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	No puede haber extracción ilegal. Se debe disponer de todas las medidas necesarias para evitar la extracción ilegal.

16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobretorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	Se debe a errores de estudios iniciales o hechos que no tienen explicación alguna. El Estado podría poner normas retroactivas para normalizar la situación.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	Sí
17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	Agua potable, Agua para agricultura de subsistencia

Nombre	Carmen Herrera Indo
Institución/Organización	Dirección General de Aguas
Sector	Servicio Público
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Creo que necesariamente deben considerarse mejores estrategias de adaptación, partiendo por un mejor sistema de detección temprana, hasta mejores herramientas para enfrentar una situación de permanente cambio.
2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	En el ámbito de mi labor, debo ajustar estrictamente a lo que dispone la Ley; por lo tanto, yo debo hacer lo que dispone la Ley. Lo que "puede" hacerse, es que los Servicios Públicos busquemos espacios para mejorar la gestión, y no restarse de la solución aun cuando la normativa aplicable sea estática. Me parece que la mejor manera de enfrentar las situaciones de escasez hídrica es potenciar la organización de la comunidad, con el apoyo de los Servicios Públicos, siempre con una mirada de cuenca. Lo que tampoco debería hacerse, es pensar que la solución es solo una, y enfocar los esfuerzos concentrados en solo una idea.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Tal Vez
3.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	Creo que siempre hay espacios de mejora, pero no me parece adecuado considerar que la regulación actual es la responsable del problema. Creo que es importante disponer de herramientas que permitan aplicar medidas de manera más rápida y oportuna y acondicionar aquellas normas que suponen una situación hídrica diferente a la actual
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Sí
4.B. Si su respuesta anterior fue "Sí" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	Más que impedir, me parece que son factores que condicionan o dificultan abordar situaciones de escasez, como por ejemplo la condición de bien económico de los derechos de aprovechamiento de aguas. En el sector de Aculeo, también se verifica la particular situación de que muchos predios corresponden a predios provenientes de la Reforma Agraria, lo que genera cierta dificultad para determinar con exactitud algunos datos. Las dificultades de fiscalización de infracción por parte de los Servicios Públicos, tales como DGA, respecto a la extracción de agua sin título, y MINVU, la expansión inmobiliaria sin autorización.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Todas las anteriores
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Creo que ninguno debe tener preponderancia, debe ser liderado por las autoridades locales, pero con la participación estricta de todos los involucrados.
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Una combinación de ambos (Asociaciones Público-Privadas).
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	Sí
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	Me parece que debería aclararse a que se refiere con "gestión hídrica".
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	Una situación irreversible, cuya consecuencia superara con creces la desaparición de la Laguna, afectando fuertemente al ecosistema y posteriormente a la localidad que lo rodea.

11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Transparencia, participación, eficiencia en el uso de agua, adaptación.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	Desconozco "casos similares"; la situación de la Laguna Aculeo es sumamente particular, puesto que la desaparición de la Laguna a generado un conflicto social que tiene otras aristas que no he visualizado en otros casos.
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	Creo que es una alternativa viable, y creo que su factibilidad y conveniencia debería ser estudiada en detalle, previo a la inversión. Además, deben considerarse las implicancias legales y evaluar sus beneficios en razón de las expectativas.
14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.	Creo que es una posibilidad que no debe descartarse, pero primeramente debe enfocarse en aquellos usuarios que están fuera de norma. Creo que cual medida así de categórica no soluciona el problema, sino que en cierta medida genera más conflicto social. Otra cosa son medidas de prorrateo y adaptación, consideradas en la legislación actual.
15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?	Con mejor tecnología y conformando la Comunidad de Aguas Subterráneas de Aculeo, promoviendo mayor responsabilidad de los particulares.
16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?	Creo que debería explicarse a que se refiere "sobre otorgamiento" primeramente, para responder esta pregunta.
17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?	Sí
17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones	Agua potable, Agua para riego en la agroindustria, Agua para conservación de ecosistemas naturales

Nombre	Roberto Barrera Miranda
Institución/Organización	Dirección Regional de Obras Hidráulicas
Sector	Servicio Público
1. En su opinión, ¿Qué lecciones o aprendizajes se pueden obtener de las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	<p>1. Como fenómeno climatológico, según los estudios, hace varias decenas de años que vienen declinando las estadísticas de precipitaciones y un aumento de la temperatura.</p> <p>2. Como ciclo actual, ya tenemos una sequía cercana a los 10 años.</p> <p>3. No se aprecia por parte del estado una Entidad responsable, un Plan Integral Anticipativo concreto, que aborde con medidas y obras la problemática es la escasez hídrica.</p> <p>4. Con respecto de la agricultura, por una parte, se tiene que a través de programas de la CNR se vienen implementando mejoras en la eficiencia del riego, pero por otra parte se vienen ampliando las fronteras de la agricultura de riesgo en zonas de laderas de cerros, lo que significa una presión e impacto mayor sobre los recursos hídricos, sobre los balances hídricos de las cuencas y la biodiversidad. Las noticias sobre conflictos en diversas cuencas dan cuenta de ello. Ninguna institución tiene una lectura ni toma decisiones anticipativas y fundamentadas sobre esta inversión ni se toma decisiones pertinentes sobre el problema.</p> <p>5. Ya se tiene convencimiento que los derechos de aprovechamiento de agua constituidos comprometen la disponibilidad, esto se manifiesta en todo el país. Claramente la oferta de Recursos Hídricos v/s demanda de agua, supera y atenta contra la sustentabilidad del Recurso hídrico subterráneo, también sobre los Recursos Hídrico de Superficie.</p> <p>6. El énfasis en extremar la fiscalización de usos de los recursos subterráneos, no se aprecia como una medida que venga a solucionar la problemática, ya que la recarga natural es casi nula y muy lenta, y la tasa de extracción muy alta en volumen y rapidez.</p> <p>7. La otorgación de derechos de aprovechamiento no ha tenido el respaldo técnico ni ambiental correspondiente a cada sistema natural, no se ha considerado la evolución de la presión antrópica y la variabilidad del clima.</p> <p>8. La institucionalidad y/o regulación no permite gestionar adecuadamente la problemática de escasez hídrica.</p> <p>9. No se tiene instancias ni adecuados modelos y sistemas para la administración de los recursos hídricos.</p> <p>10. No se ajustan las tasas de los diferentes usos hacia un consumo eficiente y coherente con la disponibilidad del Recurso.</p> <p>11. No se tiene una gobernanza en la gestión de los recursos. Ninguna entidad ni organización tienen la potestad legal para evaluar y tomar las decisiones, en escenarios que ni siquiera están definidos.</p>

2. A su juicio ¿Qué es lo que debería/no debería hacerse en futuras situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos para enfrentar de mejor manera dichas problemáticas?	Dadas las condiciones de base, se hace muy difícil gestionar una situación de escasez hídrica. La respuesta sería mejorar las deficiencias actuales y hacer los cambios en base a lo planteado como respuestas a la pregunta N° 1.
3.A. ¿Cree que se requieren cambios en la institucionalidad y/o regulación para enfrentar situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos en Chile?	Si
3.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles serían esos cambios y cómo permitirían abordar de mejor manera las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos? Por favor, describa.	1. Alguien, alguna institución, desde las autoridades máximas del país, debe tomar una decisión para impulsar la gobernanza ante el problema de escasez, para gestionar la solución a nivel de cuencas. Se requiere una gestión moderna, con cambios en la regulación actual. 2. A nivel de infraestructura de uso y manejo del recurso, modernizar la gestión de proyectos, se demanda la aplicación de nuevas y modernas tecnologías, ecoeficientes, sustentables y multifuncionales, con una mirada integradora del territorio. 3. Se deben cambiar las tasas de usos conforme la disponibilidad del Recurso en el tiempo.
4.A. ¿Considera que hay aspectos sociales, económicos, legales y/o políticos que, actualmente, impiden abordar de manera adecuada las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Si
4.B. Si su respuesta anterior fue "Sí" ¿Cuáles serían esos aspectos y cuáles son sus principales consecuencias en el diseño e implementación de soluciones? Por favor, describa.	La mirada social, económica legal y política sobre las aguas, las cuencas, los cauces naturales y sus componentes naturales asociados, debiera propender a la sustentabilidad, ecoeficiencia y al bien común.
5. De acuerdo a su criterio ¿Cuál de estas opciones debería aplicarse mayormente en una situación de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Todas las anteriores y Asegurar otras fuentes de abastecimiento, como la desalinización de agua de mar, tecnología que ya está en uso en el país. Embalsar agua en la laguna.
6. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deberían tener una mayor preponderancia en la determinación de soluciones a las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Todos y Nuevas instancias deben tener un rol protagónico en la gestión de los recursos de las cuencas.
7. De acuerdo a su criterio ¿Quiénes deben asumir mayormente los costos de las soluciones que se implementen para aliviar las situaciones de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos?	Una combinación de ambos (Asociaciones Público-Privadas) y Todos los usuarios de la cuenca debieran asumir algún costo.
8. ¿Considera que la distribución de los recursos hídricos debería seguir principios de justicia y equidad?	Sí
9. ¿Cree que la gestión hídrica actual que se lleva a cabo en el país se guía por principios de justicia, equidad?	1. No. 2. No existe gestión hídrica en el país. Por otra parte, el mercado del Agua, actor al cual el actual modelo le entregó la gestión hídrica es muy imperfecto en cuanto a las Leyes de la Economía, ya que finalmente es un bien incierto en cuanto a la disponibilidad real de este recurso hídrico. Por otra parte, se evalúa que la aparición de aguas oceánicas desalinizadas, con escasa normativa jurídica, pero con una alta seguridad de ser un bien cierto en cuanto a volumen y disponibilidad de uso en el tiempo, vendría a depreciar el valor del agua continental, con efectos insospechados sobre la pervivencia del mercado actual del agua.
10. Desde su punto de vista, ¿Cuáles serían las principales consecuencias de no intervenir en la situación de escasez hídrica que atraviesa la cuenca de Aculeo?	1. Sobre la población y sus actividades, se tendría consecuencias sociales y económicas, con riesgo sobre la vida. 2. Sobre el sistema natural, recordar que los humedales tienen ciclos y están sujetos a situaciones de estrés hídrico. 3. Releva que se tendría primeramente estos dos focos de atención. Un tercero, sería proyectar el álveo de la laguna para el embalsamiento de agua y mejorar la seguridad del abastecimiento, con recursos eventuales del río Angostura, río Maipo o aguas de mar desalinizadas.
11. ¿Qué criterios o principios deberían considerar o guiar los proyectos y/o medidas que se implementen para revertir o mitigar la situación actual?	Se debe considerar un análisis territorial que integre las soluciones para los diferentes actores y usos, tendiendo a optimizar los recursos del Estado, bajo una óptica que debe necesariamente priorizar los usos.
12. ¿Qué medidas y/o iniciativas aplicadas en otros casos similares, considera que han sido exitosas y podrían aplicarse a la situación de Aculeo?	Los AVGC son un buen comienzo, instancias a las cuales se les debe dar un mayor apoyo de las autoridades, mayor financiamiento y redefinición como una instancia colegiada y multisectorial clave para integrar a los diferentes actores de la cuenca, que dé señales claras a la Autoridad (deben tener una vocería, de carácter independiente que represente la cuenca).
13. Proporcione su opinión y/o visión sobre la posibilidad de recargar el acuífero de Aculeo de manera artificial.	1. Posibilidad técnica existe. En contraposición, la institucionalidad de derechos de agua no ayuda mucho. Evalúo que sería una medida de escasos y limitados resultados.

	<p>2. Más factible sería relevar la laguna como Bien Nacional de Uso Público Cauce Natural, y realizar medidas y obras para aumentar su capacidad de embalsamiento. Referir que la laguna también tiene un muro de salida, el que es modificado por diferentes actores.</p> <p>3. Debiera consensuarse la cota de inundación, límites del cuerpo de agua para tiempo de retorno de 100 años, delimitación de la playa y definir accesos, definir cota oficial de salida y un muro definitivo. Desarrollar un protocolo y Manual de gestión y operación de los recursos de la Laguna. Además, revertir intervenciones no autorizadas. Que funcione la institucionalidad en este Bien Nacional de Uso Público Cauce Natural.</p>
<p>14. Proporcione su opinión y/o visión sobre la expropiación o compra de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por parte del Estado como una solución para enfrentar los problemas de escasez hídrica y/o sobreexplotación de acuíferos.</p>	<p>1. El planteamiento de esta pregunta, reafirma que los actuales mecanismos del Código de Aguas y la Institucionalidad relacionada, son insuficientes para abordar en forma eficaz estos problemas (son insuficientes los estudios sobre acuíferos, Decretos de Escasez, Declaración de Zonas de Prohibición y Áreas de Restricción, entre otros). Es de suma urgencia actualizar y modificar la normativa asociada. La expropiación vendría a ser la medida más descarnada, concreta y rápida para ajustar las extracciones y de manera permanente.</p> <p>2. El tema de expropiación o compra, se debe analizar conceptualmente la aplicación de estos conceptos, de si es aplicable a un bien incierto, que ya no existe y que el mismo estado asignó gratuitamente. A mi parecer no correspondería, ya que los caudales de estos derechos nunca han estado garantizados. Correspondería aplicar un factor de rebaja o disminución para el ajuste según capacidad de carga sustentable de cada sistema o cuenca.</p> <p>3. El riesgo original conocido por cada propietario de derechos de aprovechamiento, no puede ni debe ser asumido por el Estado. En contrapartida, el Estado debe tomar la responsabilidad que le corresponde en la correcta administración de los sistemas naturales. Consecuentemente, se aprecia una deficiente e incorrecta concepción y conceptualización legal y ambiental de los acuíferos, eso nos ha llevado a la situación actual. Es fundamental y urgente corregir.</p> <p>4. Entiendo que, dado el escenario de escasez y necesidad de asegurar el consumo humano, antes se debieran ajustar y restringir otros usos según prioridades de bien público, para lo cual no se cuenta con una herramienta de gestión adecuada. En cierta forma la expropiación fuerza ese resultado.</p>
<p>15. ¿Cómo se debería abordar la extracción ilegal de aguas en la cuenca?</p>	<p>1. Se debe hacer funcionar la institucionalidad y la Ley.</p> <p>2. Además, se debe atacar las intervenciones irregulares sobre el cauce de riberas de esteros, quebradas y la Laguna. La DOH-RMS y otros Servicios, en conjunto con el Consejo de Defensa del Estado, se ha involucrado en denunciar y participar en juicios en contra de inmobiliarias que han realizado daño ambiental a los cauces naturales y la cuenca.</p> <p>3. Se concluye que se deben abordar todos y cada uno de los problemas e irregularidades que ocurren en la cuenca.</p>
<p>16. ¿Cómo se debería abordar la situación de sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en la cuenca?</p>	<p>1. Se tiene un desafío técnico mayor para la DGA, en cuanto se deben ajustar sus modelos y actuaciones, necesariamente en una perspectiva de sustentabilidad y conforme y de acuerdo con políticas de sustentabilidad del MOP y del Estado de Chile.</p> <p>2. Después de ese ejercicio técnico / ambiental, debieran dictarse normas de excepción de rango Presidencial, para ajustar los sistemas a la capacidad de carga de cada cuenca y a las políticas de sustentabilidad de Bien Público. Se debe aplicar el factor de rebaja o disminución para el ajuste según capacidad de carga sustentable de cada sistema o cuenca, planteado anteriormente.</p>
<p>17.A. ¿Cree que deberían priorizarse los usos de agua en la situación actual de Aculeo?</p>	<p>Sí</p>
<p>17.B. Si su respuesta anterior es "Sí" ¿Cuáles deberían ser los usos prioritarios desde su punto de vista? Elija tres (3) opciones</p>	<p>Agua potable, Agua para conservación de ecosistemas naturales, Agua para agricultura de subsistencia</p>

Anexo 4. Memoria de Cálculo de Beneficios asociados a la Recuperación de la Laguna de Aculeo

Tabla 18. Usos de suelo para los periodos 2006, 2012 y 2018

Usos de Suelo	Superficie (ha)		
	2006	2012	2018
Cuerpo de agua (laguna)	1.234	906	0
Cultivo de cereales y hortalizas	1.310	1.101	1.202
Pastizal	515	323	1.109
Frutales	201	252	290
Suelo Desnudo	3.636	3.781	4.402
Parcelas de Agrado*	307	319	533
Bosque	11.077	11.489	10.820
Matorral	2.240	2.359	2.132
Viviendas	89	78	108

* El área de las parcelas de agrado solo considera el área no construida. El área construida se agregó a la categoría "viviendas". Se asume que el área no construida corresponde a jardines que en su mayoría contienen césped.

Tabla 19. Parámetros de consumo hídrico de la Cuenca de Aculeo para el periodo 2018⁶⁵

Área de Consumo	Cantidad	Unidad	Tasa de Consumo	Unidad	Demanda (m ³ /año)
Cereales	1.202	ha	5.848	m ³ /ha/año	7.029.161
Pastizal	1.109		4.431		4.914.025
Frutales	290		8.019		2.325.426
Suelo Desnudo	4.402		2.054		9.041.774
Parcelas de Agrado*	533		8.029		4.275.745
Bosque	10.820		1.701		18.408.436
Matorral	2.132		1.701		3.627.245
Viviendas	108		2.054		221.834
Zona Urbana	702	habitantes	40	m ³ /año/hab	28.185
Zona Rural	2.664		40		106.950
Turismo	7.000	visitantes	25	m ³ /año/vis	176.721

Tabla 20. Área, Volumen y altura de la laguna de Aculeo⁶⁶

Cota (m)	Área (km ²)	Volumen Acumulado (m ³)	H _r estimado (m)
0	12,44	41.790.000	8,5
1	11,61	29.765.000	7,5
2	10,13	18.905.000	6,5
3	8,01	9.856.000	5,5
4	5,34	3.224.000	4,5
5	1,50		3,5

⁶⁵ Fuente: Tabla 8. Usos de suelo del año 2018 - Informe "Modelación Hidrológica Superficial de la cuenca de la laguna de Aculeo", abril de 2019, Proyecto FIC-R 2017 Código BIP 40002646-0 (Hito 2).

⁶⁶ Fuente: ERIDANUS, 2016.

a) Abastecimiento de agua para consumo humano

Tabla 21. Costos de reparto para camiones aljibe⁶⁷

Periodo de Referencia (PR)	UF promedio PR	Localidad	Volumen Total (m ³)	Costo Total (\$)	Costo unitario (\$/m ³)	Costo unitario (UF/m ³)
2014	23.961	Parral	5.220	75.800.000	14.521	0,61
2015	25.022	Parral	5200	108.000.000	20.769	0,83
2016	26.023	Linares	220	5.200.000	23.636	0,91
2014	23.961	Talca	20	476.000	23.800	0,99
2013	22.981	Padre Las Casas	195	3.200.000	16.410	0,71
2014	23.961	Padre Las Casas	195	12.800.000	65.641	2,74
2015	25.022	Petorca	20.480	209.000.000	10.205	0,41
2016	26.023	Petorca	22.410	79.000.000	3.525	0,14
2016	26.023	Petorca	10.240	67.000.000	6.543	0,25
2015	25.022	La Ligua	10.680	160.000.000	14.981	0,60

Tabla 22. Costos de los sistemas y fuentes de abastecimiento

Sistema/Fuente de Abastecimiento	Costo (\$/m ³)	Costo (UF/m ³)	Fuente
Agua Potable Rural (APR)	250	0,009	http://www.paine.cl/editorial-apoyando-gestion-apr-rangue/
Camión aljibe (CA)	22.917	0,818	https://ciperchile.cl/2017/03/21/el-negocio-de-la-sequia-el-punado-de-empresas-de-camiones-aljibe-que-se-reparte-92-mil-millones/
Agua envasada (AE)	237.000	8,464	https://www2.jumbo.cl/agua-purificada-sin-gas-benedictino-6-5-l/p

b) Abastecimiento de agua para la producción agrícola

Tabla 23. Parámetros de cálculo para beneficios por abastecimiento de agua para uso agrícola

Cultivo	Rendimiento promedio (kg/ha)	Ingreso Unitario (\$/kg)	Costo Unitario (\$/kg)	Mano de Obra (\$/ha/año)	Referencias
Cerezos	8.000	2.200	1.505	7.122.600	https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos/fruta-fresca
Almendro	7.000	1.000	495	1.150.000	https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos/fruta-fresca
Limón	4.600	170	136	3.080.000	https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos/fruta-fresca
Nogal	5.000	1.800	920	1.634.000	https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos/fruta-fresca
Palto	10.500	650	461	1.730.000	https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos/fruta-fresca
Trigo	7.000	143	120	82.800	https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos/cereales
Maíz	15.000	127	124	133.500	https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos/cereales
Quinoa Tecnología Media	2.300	1.000	568	403.000	https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos/cereales

⁶⁷ Fuente: CIPER, 2017. Disponible en: <https://ciperchile.cl/2017/03/21/el-negocio-de-la-sequia-el-punado-de-empresas-de-camiones-aljibe-que-se-reparte-92-mil-millones/>

c) Recuperación del turismo y las actividades recreativas

Tabla 24. Parámetros de cálculo para beneficios por recuperación del turismo

Ítem	Costo (\$)
Ingreso a centro turístico (familia 4 personas)	28.000
Gasto en comercio (familia 4 personas)	25.000
Gasto por persona:	13.250

d) Recuperación del valor de las propiedades⁶⁸

Tabla 25. Valor de parcelas de Agrado en la comuna de Paine

Localidad	Modalidad	Valor Total (UF)	Terreno (m ²)	Valor (UF/m ²)	Fecha de consulta
Aculeo	Arriendo	6,26	6.000	0,0010	08-08-2019
Aculeo	Arriendo	23,68	5.000	0,0047	08-08-2019
Aculeo	Arriendo	26,83	5.060	0,0053	08-08-2019
Aculeo	Arriendo	6,26	6.000	0,0010	08-08-2019
Champa	Arriendo	19,73	5.000	0,0039	08-08-2019
Colonia Kennedy	Arriendo	28,00	10.000	0,0028	08-08-2019
Chada	Arriendo	28,08	3.000	0,0094	08-08-2019
Paine	Arriendo	30,63	5.000	0,0061	08-08-2019
Águila Sur	Arriendo	34,34	10.014	0,0034	08-08-2019
Paine	Arriendo	50,08	5.200	0,0096	08-08-2019
Champa	Arriendo	53,82	6.250	0,0086	08-08-2019
Champa	Arriendo	54,01	6.250	0,0086	08-08-2019
Champa	Arriendo	54,55	6.250	0,0087	08-08-2019
El Sauce	Arriendo	74,00	40.000	0,0019	08-08-2019
Águila Sur	Arriendo	54,42	10.200	0,0053	08-08-2019
Paine	Arriendo	72,04	6.500	0,0111	08-08-2019
Huelquén	Arriendo	53,66	6.000	0,0089	08-08-2019
Champa	Venta	3.756,25	5.000	0,7513	11-08-2019
Los Maitenes	Venta	5.187,20	5.565	0,9321	11-08-2019
Challay	Venta	643,93	5240	0,1229	11-08-2019
Mirador del Águila	Venta	801,59	5.920	0,1354	11-08-2019
Mirador del Águila	Venta	801,59	7.400	0,1083	11-08-2019
Champa	Venta	939,60	19.620	0,0479	11-08-2019
Champa	Venta	968,40	5.000	0,1937	11-08-2019
Aculeo	Venta	1.000,00	5.000	0,2000	11-08-2019
Aculeo	Venta	1.073,21	5.600	0,1916	11-08-2019
Aculeo	Venta	1.088,31	5.009	0,2173	11-08-2019
El Escorial	Venta	1130,28	5.200	0,2174	11-08-2019

⁶⁸ Fuente: www.portalinmobiliario.cl

Localidad	Modalidad	Valor Total (UF)	Terreno (m ²)	Valor (UF/m ²)	Fecha de consulta
Aculeo	Venta	1150	5.012	0,2294	11-08-2019
Gran Vía	Venta	1180	5.000	0,2360	11-08-2019
Aculeo	Venta	1200	5.000	0,2400	11-08-2019
Champa	Venta	1252,86	5300	0,2364	11-08-2019
Aculeo	Venta	1290	5545	0,2326	11-08-2019
Aculeo	Venta	1300	5000	0,2600	11-08-2019
Aculeo	Venta	1300	5045	0,2577	11-08-2019
Aculeo	Venta	1359,4	5904	0,2303	11-08-2019
Aculeo	Venta	1400	5000	0,2800	11-08-2019
Aculeo	Venta	1400	5000	0,2800	11-08-2019
Aculeo	Venta	1409,06	5040	0,2796	11-08-2019
Aculeo	Venta	1450	5000	0,2900	11-08-2019
Aculeo	Venta	1300	5045	0,2577	11-08-2019
Aculeo	Venta	1359,4	5904	0,2303	11-08-2019
Aculeo	Venta	1400	5000	0,2800	11-08-2019
Aculeo	Venta	1400	5000	0,2800	11-08-2019
Aculeo	Venta	1409,06	5040	0,2796	11-08-2019
Aculeo	Venta	1450	5000	0,2900	11-08-2019
Aculeo	Venta	1600	5100	0,3137	11-08-2019
Aculeo	Venta	1600	5000	0,3200	11-08-2019
Aculeo	Venta	1600	5000	0,3200	11-08-2019
Aculeo	Venta	1645,59	5280	0,3117	11-08-2019
Aculeo	Venta	1650	5000	0,3300	11-08-2019
Paine	Venta	1650	5000	0,3300	11-08-2019
Aculeo	Venta	1690	5000	0,3380	11-08-2019
Aculeo	Venta	1705,01	5911	0,2884	11-08-2019
Aculeo	Venta	1790,12	5800	0,3086	11-08-2019
Aculeo	Venta	1887	5100	0,3700	11-08-2019
Aculeo	Venta	1896,01	12600	0,1505	11-08-2019
Aculeo	Venta	1900	5000	0,3800	11-08-2019
Huelquén	Venta	2000	5000	0,4000	11-08-2019
Paine	Venta	2074,88	5500	0,3773	11-08-2019
Águila Norte	Venta	2116,13	5000	0,4232	11-08-2019
Aculeo	Venta	2150	5000	0,4300	11-08-2019
Aculeo	Venta	2150	5000	0,4300	11-08-2019
Aculeo	Venta	2200	5500	0,4000	11-08-2019
Aculeo	Venta	2337,85	5000	0,4676	11-08-2019
Aculeo	Venta	2355,65	5000	0,4711	11-08-2019
Aculeo	Venta	2432,62	7500	0,3243	11-08-2019
Aculeo	Venta	2482,68	5000	0,4965	11-08-2019

Localidad	Modalidad	Valor Total (UF)	Terreno (m ²)	Valor (UF/m ²)	Fecha de consulta
Aculeo	Venta	2500	5174	0,4832	11-08-2019
Aculeo	Venta	2500	5000	0,5000	11-08-2019
Aculeo	Venta	2556,14	13000	0,1966	11-08-2019
Paine	Venta	2600	5200	0,5000	11-08-2019
Chada	Venta	2607,91	5781	0,4511	11-08-2019
Aculeo	Venta	2720	2500	1,0880	11-08-2019
Loma del Águila	Venta	2754,58	6100	0,4516	11-08-2019
Paine	Venta	2790,36	5000	0,5581	11-08-2019
Águila Norte	Venta	2861,9	5000	0,5724	11-08-2019
Aculeo	Venta	2887,15	5000	0,5774	11-08-2019
Aculeo	Venta	2916	5900	0,4942	11-08-2019
Chada	Venta	3000	5350	0,5607	11-08-2019
Colonia Kennedy	Venta	3016,41	6333	0,4763	11-08-2019
La Trilla	Venta	3040,77	2370	1,2830	11-08-2019

Tabla 26. Superficie de Parcelas de Agrado en la cuenca de Aculeo

Tipo de Parcela	Superficie	Unidad
Parcelas de Agrado con ribera	1.857.502	m ²
Parcela de Agrado sin ribera	3.994.151	
Total	5.851.653	

Anexo 5. Selección de Propuestas para la Recuperación de la Laguna de Aculeo

Tabla 27. Justificación del incumplimiento de criterios de selección de propuestas

Medidas propuestas	Criterios de Selección			
	Viabilidad técnico-legal	Aporte directo y significativo de agua	Existe información disponible	La medida es adicional
Congelar permisos de edificación y detener el crecimiento de la población.	No Cumple: Congelar permisos de edificación requiere la modificación del Plan Regulador Comunal. No es posible detener el crecimiento poblacional legalmente	No Cumple: la medida no reduce la demanda actual, ni aporta recursos hídricos a la cuenca.	No se registran antecedentes sobre experiencias similares respecto a detener el crecimiento poblacional en Chile	Cumple
Contención o mejora de la capacidad de embalse de la laguna	Incierto: existen dos experiencias fallidas en el pasado, en 2008 y 2009.	No Cumple: la medida no reduce la demanda actual, ni aporta recursos hídricos a la cuenca.	Cumple	Cumple
Denunciar malas prácticas e impedir la extracción ilegal de agua.	Cumple	No Cumple: no se cuenta con estimaciones sobre la extracción ilegal	No Cumple: no se cuenta con estimaciones sobre la extracción ilegal	No Cumple: impedir la extracción ilegal de agua es una atribución de la DGA
Educar a la población en general para el uso eficiente de los recursos hídricos.	Cumple	No Cumple: los resultados sobre los efectos de campañas educativas en el mundo presentan ahorros en torno al 5% (Inman & Jeffrey, 2006).	Cumple	No Cumple: el proyecto FIC-Aculeo comprende una campaña de educación a la población para el uso eficiente de los recursos hídricos
Fiscalización de extracción agua	Cumple	No Cumple: la medida no reduce la demanda actual, ni aporta recursos hídricos a la cuenca.	No Cumple: no se cuenta con estimaciones sobre la extracción ilegal	No Cumple: impedir la extracción ilegal de agua es una atribución de la DGA
Mantener en buenas condiciones los canales que transportan agua.	Cumple	No Cumple: la medida no reduce la demanda actual, ni aporta recursos hídricos a la cuenca.	Cumple	No Cumple: actualmente ya existe un proyecto para rehabilitar canales de transporte de agua

Medidas propuestas	Criterios de Selección			
	Viabilidad técnico-legal	Aporte directo y significativo de agua	Existe información disponible	La medida es adicional
Mayor difusión de los acuerdos tomados para la gestión de los recursos hídricos.	Cumple	No Cumple: la medida no reduce la demanda actual, ni aporta recursos hídricos a la cuenca.	No Cumple: aún no se cuenta con información de los acuerdos para abordar la recuperación de la laguna de Aculeo	No Cumple: actualmente la ASCC trabaja en un AVGC.
Medidas tipo “Nudge”	Cumple	No Cumple: la medida no reduce la demanda actual, ni aporta recursos hídricos a la cuenca.	No Cumple: el <i>nudge</i> es un tema emergente que actualmente no presenta suficiente experiencia en gestión hídrica	Cumple
Potenciación de la organización de la comunidad con el apoyo de los Servicios Públicos	Cumple	No Cumple: la medida no reduce la demanda actual, ni aporta recursos hídricos a la cuenca.	No Cumple: no se cuenta con información actualizada sobre las organizaciones de usuarios de agua	No Cumple: Actualmente la DGA ya trabaja en apoyar la constitución de comunidades de aguas subterráneas
Priorización de los usos de agua	No Cumple: la legislación actual no incorpora la priorización de los usos de agua	No Cumple: la medida no reduce la demanda actual, ni aporta recursos hídricos a la cuenca.	Cumple	Cumple
Prorratear el agua de riego	Incierto: Sólo podría prorratearse el agua entre los propietarios de DAA superficiales mediante alícuotas (art. 17 del Código de Aguas). Las alícuotas no pueden aplicarse a aguas subterráneas	No Cumple: no disminuye la demanda hídrica.	No Cumple: no se cuenta con información para evaluar cómo lleva a cabo el prorrateo en la cuenca	No Cumple: el código de aguas contempla alícuotas (art. 17), para derechos permanentes

Anexo 6. Evaluación de Cursos de Acción

Tabla 28. Costo de DAA en la cuenca del río Maipo RMS (2019)⁶⁹

Fuente/Sector	Caudal	Precio	Precio Unitario (\$/L/s)	Precio Unitario (UF/L/s)
Colina Inferior	1,33	3.159.293	2.375.408	85
Río Maipo 3ra Sección	90,00	275.679.653	3.063.107	109
Estero Pajonal	7,50	24.809.184	3.307.891	118
Estero Sin Nombre	7,50	24.809.184	3.307.891	118
Estero Pajonal	7,50	24.809.184	3.307.891	118
Acuífero Lampa	30,00	101.717.654	3.390.588	121
Canal San Antonio de Naltahua	6,75	23.430.896	3.471.244	124
1 Sección Canal Calera	3,88	15.519.523	3.999.877	143
Colina Inferior	11,25	45.000.759	4.000.067	143
Colina Inferior	6,67	28.944.048	4.339.437	155
Colina Inferior	16,67	72.360.120	4.340.739	155
Canal Melocotón Alto	1,32	6.340.125	4.803.125	172
Estero Colina	233,33	1.157.761.920	4.961.908	177
Canal Lo Espejo	1,54	7.718.413	5.011.956	179
Canal Ochagavía	0,49	2.480.918	5.063.098	181
Acuífero Lampa	3,00	15.371.770	5.123.923	183
Acuífero Lampa	3,00	15.371.770	5.123.923	183
Santiago Central	13,00	72.792.627	5.599.433	200
Santiago Central	2,00	11.246.830	5.623.415	201
Santiago Central	15,00	86.832.144	5.788.810	207
Santiago Central	15,00	86.832.144	5.788.810	207
Colina Inferior	20,00	120.903.423	6.045.171	216
Canal de Pirque	0,62	4.079.732	6.580.213	235
Estero El Inca	0,50	3.540.271	7.080.542	253
Santiago Norte	50,00	613.338.160	12.266.763	438
Paine	6,00	74.999.817	12.499.970	446
El Monte	9,80	128.361.836	13.098.147	468
Río Mapocho	5,00	85.832.144	17.166.429	613

Tabla 29. Parámetros económicos para la Recarga Artificial del Acuífero

Ítem	Costo (\$)	PR	Inversión			Observaciones	Referencia
			UF Promedio (PR)	Costo Total (UF)			
Construcción de pozo de infiltración con sistema de Tratamiento	110.373.333	2015	25.022	13.233		Urtubia 2015 p. 107	
Compra de DAA		2019	28.000	27.758	Percentil 90 costos DAA		
Estudios y autorizaciones:		2019	28.000	1.985	Supuesto 25% del costo de construcción del pozo		

⁶⁹ Fuente: www.compraagua.cl

Operación					
Ítem	Costo mensual (\$)	Periodo de Referencia	UF Promedio PR	Costo Anual (UF)	Observaciones
Operación anual (1 operario):	900.000	2019	28.000	386	Considera 1 operador / mantenedor

Tabla 30. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Recarga Artificial del Acuífero

Costo/Beneficio (5 años)						
Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	-42.976					
Costo de Operación		-386	-386	-386	-386	-386
Beneficios		13.055	13.055	13.055	13.055	13.055
Flujo de Caja	-42.976	12.669	12.669	12.669	12.669	12.669

Tabla 31. Parámetros económicos para la Mejora de Eficiencia de los Sistemas de Irrigación⁷⁰

Costo de Proyectos de Tecnificación Tipo		
Superficie del proyecto tipo	12	ha
Gastos Generales	150	Por proyecto
Instalación	7	UF/ha
Diseño	3	UF/ha
Honorarios Consultor	143	Por proyecto
Total financiamiento (90%)	417	UF
Total por proyecto	463	UF

Tabla 32. Costo del traspaso de DAA por Mejora de Eficiencia de los Sistemas de Irrigación

Ítem	Magnitud	Unidad
Traspaso de Excedentes mediante DAA	43	l/s
Porcentaje del total de DAA a traspasar:	8%	
Costo del Traspaso	19.040	UF

Tabla 33. Inversión en Mejora de Eficiencia de los Sistemas de Irrigación

Tipo de Cultivo	Superficie (ha)	Proyectos de Tecnificación	Costo (UF)
Cereales	1.202	100	46.426
Frutales	290	24	11.201
Total	1.492	124	57.628

⁷⁰ Fuente: ITC-04 Presupuesto para Obras de Tecnificación, Instructivos de Tecnificación 2017, CNR, Ministerio de Agricultura.

Tabla 34. Costos de Operación y Mantenimiento de los Sistemas de Irrigación⁷¹

Tipo de Cultivo	Sistema de Riego	Ítem	Costo Anual (UF/ha)
Frutales (Cerezos)	Goteo	Mantenimiento Riego y limpieza de acequias	14,1
		Electricidad	14,1
Frutales (Almendros)	Goteo	Fertiirrigación Mano de Obra	6,2
		Fertiirrigación Mano de Obra	6,0
Frutales (Ciruelos)	Surco	Riego y limpieas de acequias	4,0
		Surqueadora	0,8
Frutales (Limón)	Goteo	Riego y Fertiirrigación	11,3
Frutales (Limón)		Electricidad	11,3
Cereales (Maíz)	Surco	Riegos	4,0
Frutales (Nogal)	Tecnificado	Riego	10,4
Frutales (Nogal)		Electricidad	5,2
Frutales (Palto)	Goteo	Fertirriego y revisión de gotero	16,9
Frutales (Palto)		Electricidad	6,8
Cereales (Quinoa)	Secano	Sin costos de riego	-
Cereales (Trigo)	Tendido	Riego	1,8
Cereales (arroz)	Tradicional	Limpieza de canales	0,3
Cereales (arroz)		Riegos	1,0

Tabla 35. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Mejora de Eficiencia de los Sistemas de Irrigación

Costo/Beneficio (5 años)						
Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	-76.667					
Costo de Operación		-7.314	-7.314	-7.314	-7.314	-7.314
Beneficios		6.604,0	6.604,0	6.604,0	6.604,0	6.604,0
Flujo de Caja	-76.667	-710	-710	-710	-710	-710

Tabla 36. Parámetros económicos para la Disminución del Consumo de Agua por Riego de Césped en Parcelas de Agrado

Sistema de riego por goteo:	10	UF/ha
Inversión Total Parcelas de Agrado:	5.330	UF
Mantenición y operación:	1	UF/ha/año

⁷¹ Fuente: ODEPA, 2019. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/fichas-de-costos>

Tabla 37. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Disminución del Consumo de Agua por Riego de Césped en Parcelas de Agrado

Costo/Beneficio (5 años)						
Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	-5.330					
Costo de Operación		-533	-533	-533	-533	-533
Beneficios		1.626,5	1.626,5	1.626,5	1.626,5	1.626,5
Flujo de Caja	-5.330	1.093	1.093	1.093	1.093	1.093

Tabla 38. Parámetros económicos para el Cambio de Uso de Suelo en Cultivos

Tipo de Cultivo	Superficie Sustituída (ha)	Beneficios Producción Agrícola (UF/ha/año)	Empleos (UF/ha/año)	Beneficios Producción Agrícola (UF/año)	Empleos Agrícolas (UF/año)
Cereales	400	49,1	7,8	19.644	3.118
Frutales	73	130,6	113,2	9.469	8.209
Parcelas de Agrado	-			-	-

Tabla 39. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera del Cambio de Uso de Suelo en Cultivos

Costo/Beneficio (5 años)						
Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	-7.907.837					
Costo de Operación		-1.138,9	-1.138,9	-1.138,9	-1.138,9	-1.138,9
Producción Agrícola		-29.112,9	-29.112,9	-29.112,9	-29.112,9	-29.112,9
Pérdida de Empleos		-7.022,9	-7.022,9	-7.022,9	-7.022,9	-7.022,9
Beneficios		10.262,3	10.262,3	10.262,3	10.262,3	10.262,3
Flujo de Caja	-7.907.837	-27.012	-27.012	-27.012	-27.012	-27.012

Tabla 40. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Sustitución de Césped en Parcelas de Agrado

Costo/Beneficio (5 años)						
Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	-6.420					
Costo de Operación		-642,0	-642,0	-642,0	-642,0	-642,0
Beneficios		3.355,5	3.355,5	3.355,5	3.355,5	3.355,5
Flujo de Caja	-6.420	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713

Tabla 41. Parámetros económicos de la Reducción de Extracciones

Tipo de Cultivo	Superficie Equivalente (ha)	Beneficios Producción Agrícola (UF/ha/año)	Empleos (UF/ha/año)	Beneficios Producción Agrícola (UF/año)	Empleos Agrícolas (UF/año)
Cereales	701	49,1	7,8	34.386	5.459

Tabla 42. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Reducción de Extracciones

Costo/Beneficio (5 años)						
Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	-114.489					
Costo de Operación		-2.862	-2.862	-2.862	-2.862	-2.862
Producción Agrícola		-34.386	-34.386	-34.386	-34.386	-34.386
Pérdida de Empleos		-3.384	-3.384	-3.384	-3.384	-3.384
Beneficios		17.078	17.078	17.078	17.078	17.078
Flujo de Caja	-114.489	-23.555	-23.555	-23.555	-23.555	-23.555

Tabla 43. Parámetros económicos de la Reutilización de Aguas Grises

Tipo	Costo Referencial	Unidad	Periodo de Referencia	UF Promedio PR	Costo (UF/m ³)
Operación	127	\$/m ³	2007	18.789	0,0068
Instalación	2.535.290	\$/Sistema	2013	22.981	1,3

Volumen Sistema	87,5	personas
Población servida:	3.266	personas

Rango	Costo UF	Beneficio (Ahorro UF)
Mínimo	843	1.114
Promedio	1.054	1.392
Máximo	1.265	1.671

Tabla 44. Estimación de la Viabilidad Económica y Financiera de la Reutilización de Aguas Grises

Costo/Beneficio (5 años)						
Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	-4.118					
Ahorro en Costos de agua		338	338	338	338	338
Beneficios		756	756	756	756	756
Flujo de Caja	-4.118	1.094	1.094	1.094	1.094	1.094

Anexo 7. Matrices de Aplicación de la Técnica AHP

- Criterio 1: Complejidad Técnico-Legal
- Criterio 2: Riesgos Ambientales
- Criterio 3: Impactos Negativos
- Criterio 4: Barreras Sociales
- Criterio 5: Aporte de Agua al Sistema
- Criterio 6: Viabilidad Técnico-Económica

- I. Recarga Artificial del Acuífero
- II a). Mejora de la Eficiencia de los Sistemas de Irrigación
- II b). Disminución del Consumo de Agua por Riego de Césped
- III a). Cambio de Uso de Suelo en Cultivos
- III b). Sustitución de Césped en Parcelas de Agrado
- IV. Reducción de Extracciones
- V. Reutilización de Aguas Grises

Tabla 45. Ponderaciones para Criterios y subcriterios AHP

Criterio/Subcriterio	Indicadores	Cursos de Acción						
		I.	II a).	II b).	III a).	III b).	IV.	V.
Estudios Técnicos	Alto/Medio/Bajo	Muy Alto	Medio-Bajo	Muy Bajo	Bajo	Extremadamente Bajo	Bajo	Bajo
Ponderación parcial (60%)		2	6	8	7	9	7	7
Permisos y Autorizaciones	Alto/Medio/Bajo	Muy Alto	Medio-Bajo	Extremadamente Bajo	Medio-Bajo	Extremadamente Bajo	Alto	Medio
Ponderación parcial (40%)		2	6	9	6	9	3	5
Ponderación Criterio 1		2	6	8,4	6,6	9	5,4	6,2
Riesgos Ambientales	Alto/Medio/Bajo	Medio	Medio-Bajo	Extremadamente Bajo	Medio	Muy Bajo	Medio-Bajo	Medio-Alto
Ponderación Criterio 2		5	6	9	5	8	6	4
Impactos ambientales negativos	Alto/Medio/Bajo	Muy Alto	Medio-Bajo	Muy Bajo	Extremadamente Bajo	Muy Bajo	Extremadamente Bajo	Medio-Bajo
Ponderación parcial (50%)		2	6	8	9	8	9	6
Impactos sociales negativos	Alto/Medio/Bajo	Medio-Alto	Bajo	Muy Bajo	Extremadamente Alto	Bajo	Extremadamente Alto	Muy Bajo
Ponderación parcial (50%)		4	7	8	1	7	1	8
Ponderación Criterio 3		3	6,5	8	5	7,5	5	7
Barreras Sociales	Alto/Medio/Bajo	Medio-Alto	Bajo	Medio-Bajo	Muy Alto	Medio	Extremadamente Alto	Alto
Ponderación Criterio 4		4	7	6	2	5	1	3
Aporte de Agua al Sistema	Volumen anual (m3/año)	2.693.963	1.362.797	335.641	2.117.734	692.441	4.097.315	155.928
Ponderación Criterio 5		5,9	3,0	1,0	4,7	1,5	9,0	1,0
VPN 5 años	UF	9.802	-75.148	-683	-7.567.569	4.726	-201.614	462
	UF/m3	0,004	-0,055	-0,002	-3,573	0,007	-0,049	0,003
Ponderación parcial (30%)		7,6	4,8	1,0	1,0	1,0	9,0	1,0
Monto de Inversión	UF	42.976	76.667	5.330	7.907.837	6.420	114.489	4.118
	UF/m3	0,016	0,056	0,016	3,734	0,009	0,028	0,026
Ponderación parcial (45%)		5,2	5,2	1,5	5,3	1,0	9,0	3,0
Probabilidad de Financiamiento	Alto/Medio/Bajo	Medio-Bajo	Muy Alto	Medio-Alto	Muy Bajo	Medio	Extremadamente Bajo	Medio
Ponderación parcial (25%)		4	8	6	2	5	1	5
Ponderación Criterio 6		4,8	3,0	4,2	1,3	8,0	1,9	3,8

Tabla 46. Matriz de Ponderaciones para Criterios de Evaluación

Criterio de Evaluación	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	Vector Prioridad	λ_{max}
Criterio 1	1	1/2	1/4	1/3	1/5	1/6	4,8%	1,0
Criterio 2	2	1	1/2	2/3	2/5	1/3	9,5%	1,0
Criterio 3	4	2	1	1 1/3	4/5	2/3	19,0%	1,0
Criterio 4	3	1 1/2	3/4	1	3/5	1/2	14,3%	1,0
Criterio 5	5	2 1/2	1 1/4	1 2/3	1	5/6	23,8%	1,0
Criterio 6	6	3	1 1/2	2	1 1/5	1	28,6%	1,0
Σ	21,0	10,5	5,3	7,0	4,2	3,5	100%	6

CI -
 RI 1,2
 CR 0% <10% Consistente

Tabla 47. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 1: Complejidad Técnico-Legal

Criterio 1	I.	II a).	II b).	III a).	III b).	IV.	V.	Vector de Prioridad	λ_{max}
I.	1	1/3	1/4	1/3	2/9	3/8	1/3	5%	1,0
II a).	3	1	5/7	1	2/3	1 1/9	1	14%	1,0
II b).	4 1/5	1 2/5	1	1 1/4	1	1 5/9	1 1/3	19%	1,0
III a).	3 1/3	1 1/9	4/5	1	3/4	1 2/9	1	15%	1,0
III b).	4 1/2	1 1/2	1	1 1/3	1	1 2/3	1 4/9	21%	1,0
IV.	2 5/7	1	2/3	4/5	3/5	1	7/8	12%	1,0
V.	3 1/9	1	3/4	1	2/3	1 1/7	1	14%	1,0
Σ	21,8	7,3	5,2	6,6	4,8	8,1	7,0	100%	7,0

CI -
 RI 1,3
 RC = CI/RI 0% <10% Consistente

Tabla 48. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 2: Riesgos Ambientales

Criterio 2	I.	II a).	II b).	III a).	III b).	IV.	V.	Vector de Prioridad	λ_{max}
I.	1	5/6	5/9	1	5/8	5/6	1 1/4	12%	1,0
II a).	1 1/5	1	2/3	1 1/5	3/4	1	1 1/2	14%	1,0
II b).	1 4/5	1 1/2	1	1 4/5	1 1/8	1 1/2	2 1/4	21%	1,0
III a).	1	5/6	5/9	1	5/8	5/6	1 1/4	12%	1,0
III b).	1 3/5	1 1/3	8/9	1 3/5	1	1 1/3	2	19%	1,0
IV.	1 1/5	1	2/3	1 1/5	3/4	1	1 1/2	14%	1,0
V.	4/5	2/3	4/9	4/5	1/2	2/3	1	9%	1,0
Σ	8,6	7,2	4,8	8,6	5,4	7,2	10,8	100%	7,0

CI -
 RI 1,3
 RC = CI/RI 0% <10% Consistente

Tabla 49. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 3: Impactos Negativos

Criterio 3	I.	II a).	II b).	III a).	III b).	IV.	V.	Vector de Prioridad	λ_{max}
I.	1	1/2	3/8	3/5	2/5	3/5	3/7	7%	1,0
II a).	2 1/6	1	4/5	1 1/3	7/8	1 1/3	1	15%	1,0
II b).	2 2/3	1 1/4	1	1 3/5	1	1 3/5	1 1/7	19%	1,0
III a).	1 2/3	3/4	5/8	1	2/3	1	5/7	12%	1,0
III b).	2 1/2	1 1/7	1	1 1/2	1	1 1/2	1	18%	1,0
IV.	1 2/3	3/4	5/8	1	2/3	1	5/7	12%	1,0
V.	2 1/3	1	7/8	1 2/5	1	1 2/5	1	17%	1,0
Σ	14,0	6,5	5,3	8,4	5,6	8,4	6,0	100%	7,0

CI -
RI 1,3

RC = CI/RI 0% <10% Consistente

Tabla 50. Matriz de Ponderaciones para el Criterio Barreras Sociales

Criterio 4	I.	II a).	II b).	III a).	III b).	IV.	V.	Vector de Prioridad	λ_{max}
I.	1	4/7	2/3	2	4/5	4	1 1/3	14%	1,0
II a).	1 3/4	1	1 1/6	3 1/2	1 2/5	7	2 1/3	25%	1,0
II b).	1 1/2	6/7	1	3	1 1/5	6	2	21%	1,0
III a).	1/2	2/7	1/3	1	2/5	2	2/3	7%	1,0
III b).	1 1/4	5/7	5/6	2 1/2	1	5	1 2/3	18%	1,0
IV.	1/4	1/7	1/6	1/2	1/5	1	1/3	4%	1,0
V.	3/4	3/7	1/2	1 1/2	3/5	3	1	11%	1,0
Σ	7,0	4,0	4,7	14,0	5,6	28,0	9,3	100%	7,0

CI -
RI 1,3

RC = CI/RI 0% <10% Consistente

Tabla 51. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 5: Aporte de Agua al Sistema

Criterio 5	I.	II a).	II b).	III a).	III b).	IV.	V.	Vector de Prioridad	λ_{max}
I.	1	2	6	1	4	1	6	23%	1,0
II a).	1/2	1	3	2/3	2	1/3	3	11%	1,0
II b).	1/6	1/3	1	0,2	0,7	0,1	1,0	4%	1,0
III a).	4/5	1 5/9	4 2/3	1	3	1	5	18%	1,0
III b).	1/4	1/2	1 1/2	1/3	1	0	2	6%	1,0
IV.	1 1/2	3	9	2	6	1	9	35%	1,0
V.	1/6	1/3	1	2/9	2/3	1/9	1	4%	1,0
Σ	4,4	8,7	26,1	5,6	17,1	2,9	26,1	100%	7,0

CI -

RI 1,3

RC = CI/RI 0% <10% Consistente

Tabla 52. Matriz de Ponderaciones para el Criterio 6: Viabilidad Técnico-Económica

Criterio 6	I.	II a).	II b).	III a).	III b).	IV.	V.	Vector de Prioridad	λ_{max}
I.	1	2	1	4	1	3	1	18%	1,0
II a).	5/8	1	5/7	2 3/8	3/8	1 4/7	7/9	11%	1,0
II b).	7/8	1 2/5	1	3 1/3	1/2	2 1/5	1	15%	1,0
III a).	1/4	3/7	1/3	1	0	1	0	5%	1,0
III b).	1 2/3	2 2/3	2	6 2/5	1	4	2	30%	1,0
IV.	2/5	2/3	1/2	1 1/2	1/4	1	0	7%	1,0
V.	4/5	1 2/7	1	3	1/2	2	1	14%	1,0
Σ	5,6	9,1	6,5	21,5	3,4	14,2	7,0	100%	7,0

CI -

RI 1,3

RC = CI/RI 0% <10% Consistente

Anexo 8. Balance Hídrico para Escenarios de Aplicación de Medidas

Tabla 53. Volumen embalsado en la laguna de Aculeo en cinco escenarios⁷²

Periodo	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario Base
04-1996	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
05-1996	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
06-1996	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
07-1996	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
08-1996	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
09-1996	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-1996	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
11-1996	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
12-1996	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
01-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
02-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
03-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
04-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
05-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
06-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
07-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
08-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
09-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
11-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
12-1997	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
01-1998	41.392.995	41.392.995	41.392.995	41.496.587	41.392.995	41.392.995
02-1998	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
03-1998	41.392.995	41.392.995	41.392.995	41.392.995	41.392.995	41.392.995
04-1998	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
05-1998	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
06-1998	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
07-1998	41.392.995	41.395.575	41.567.677	41.392.995	41.392.995	41.304.194
08-1998	41.773.298	41.775.878	41.790.000	41.729.470	41.742.559	41.684.498
09-1998	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-1998	38.685.421	37.986.692	38.197.105	40.924.597	39.102.276	37.935.081
11-1998	38.665.571	37.966.842	38.427.368	40.850.477	39.045.266	37.914.150
12-1998	34.739.191	33.782.409	34.453.348	37.565.867	35.156.046	33.675.218
01-1999	34.249.475	33.294.093	34.223.085	37.014.339	34.628.030	33.186.902
02-1999	30.328.466	29.113.630	30.225.244	33.742.709	30.741.351	28.954.828
03-1999	29.574.156	28.359.321	29.732.958	32.914.447	29.943.371	28.200.519
04-1999	26.167.853	24.766.426	26.338.565	29.943.371	26.545.008	24.571.893

⁷² Fuente: Informe "Modelación Hidrológica Superficial de la cuenca de la laguna de Aculeo", junio de 2019, Proyecto FIC-R 2017 Código BIP 40002646-0 (Hito 3).

Periodo	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario Base
05-1999	25.372.355	23.985.948	25.802.609	29.030.259	25.699.387	23.793.383
06-1999	24.679.085	23.307.186	25.361.933	28.220.369	24.951.983	23.116.548
07-1999	23.798.367	22.443.946	24.738.635	27.222.121	24.020.056	22.253.384
08-1999	23.047.434	21.709.487	24.250.319	26.354.488	23.215.561	21.519.935
09-1999	30.882.269	29.559.651	32.337.311	34.073.752	30.996.237	29.372.110
10-1999	37.120.877	35.814.044	38.832.313	40.199.774	37.181.805	35.628.573
11-1999	40.614.352	39.322.722	41.790.000	41.790.000	40.625.214	39.139.246
12-1999	35.838.895	34.290.576	36.946.539	37.684.968	35.902.416	34.048.403
01-2000	34.917.843	33.383.944	36.283.541	36.652.755	34.926.824	33.143.811
02-2000	30.963.674	29.200.971	32.269.820	33.246.452	30.983.524	28.915.128
03-2000	29.903.670	28.153.815	31.463.900	32.068.771	29.865.116	27.870.003
04-2000	26.016.991	24.083.577	27.565.311	28.645.164	25.989.201	23.762.003
05-2000	24.865.142	22.953.740	26.660.139	27.385.620	24.786.276	22.638.479
06-2000	33.084.391	31.203.049	35.104.436	35.474.389	32.944.729	30.892.797
07-2000	33.978.729	32.122.928	36.235.900	36.245.278	33.774.469	31.816.578
08-2000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
09-2000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-2000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
11-2000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
12-2000	41.419.334	41.442.351	41.662.958	41.332.882	41.367.637	41.446.136
01-2001	36.994.180	36.767.887	37.152.982	37.581.747	36.982.269	36.716.276
02-2001	36.668.960	36.466.163	37.045.790	37.169.780	36.605.115	36.418.522
03-2001	32.396.862	31.968.096	32.714.466	33.488.625	32.349.221	31.868.845
04-2001	31.702.103	31.277.447	32.265.850	32.711.968	31.602.852	31.182.026
05-2001	31.194.018	30.774.395	32.015.737	32.126.898	31.043.075	30.681.800
06-2001	30.433.069	30.018.802	31.503.600	31.293.188	30.230.534	29.927.491
07-2001	41.120.323	40.711.758	41.790.000	41.790.000	40.865.479	40.622.805
08-2001	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
09-2001	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-2001	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
11-2001	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
12-2001	37.379.274	37.105.341	37.303.844	38.058.153	37.422.945	37.053.730
01-2002	36.633.011	36.370.882	36.815.527	37.252.233	36.628.332	36.313.661
02-2002	32.452.442	31.932.366	32.551.694	33.734.769	32.472.293	31.825.175
03-2002	31.527.421	31.015.284	31.884.725	32.742.256	31.503.600	30.905.947
04-2002	27.605.011	26.882.462	27.946.436	29.339.923	27.593.101	26.731.600
05-2002	29.664.840	28.948.370	30.260.975	31.318.746	29.596.554	28.799.996
06-2002	33.889.601	33.180.761	34.735.221	35.449.830	33.762.559	33.034.038
07-2002	36.744.066	36.043.170	37.847.740	38.206.961	36.550.526	35.898.446
08-2002	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
09-2002	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-2002	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
11-2002	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000

Periodo	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario Base
12-2002	41.711.955	41.717.925	41.707.798	41.655.438	41.659.817	41.719.201
01-2003	37.827.890	37.581.747	37.772.309	38.419.428	37.804.070	37.534.106
02-2003	37.725.261	37.484.625	37.903.321	38.258.559	37.649.238	37.438.163
03-2003	33.691.098	33.210.722	33.826.080	34.830.502	33.631.547	33.111.471
04-2003	33.078.420	32.603.423	33.464.805	34.152.811	32.968.549	32.505.284
05-2003	32.922.038	32.452.625	33.568.026	33.937.241	32.762.106	32.355.643
06-2003	36.195.782	35.731.899	37.093.431	37.149.953	35.984.498	35.636.423
07-2003	36.335.518	35.877.395	37.494.406	37.230.302	36.074.009	35.783.314
08-2003	38.813.714	38.361.304	40.229.770	39.654.113	38.503.992	38.268.566
09-2003	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-2003	41.547.827	41.329.474	41.535.917	41.447.541	41.587.527	41.285.804
11-2003	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
12-2003	37.756.429	37.534.106	37.744.519	38.995.085	37.784.220	37.490.436
01-2004	36.815.527	36.594.430	37.061.670	37.986.692	36.789.124	36.551.894
02-2004	32.500.083	32.023.677	32.666.825	34.322.336	32.500.083	31.932.366
03-2004	31.466.892	30.995.932	31.896.635	33.218.662	31.416.259	30.905.747
04-2004	30.756.700	30.296.705	31.432.140	32.432.001	30.655.345	30.201.814
05-2004	29.812.359	29.357.158	30.741.351	31.412.289	29.661.203	29.263.311
06-2004	29.177.151	28.725.539	30.348.316	30.703.408	28.976.611	28.632.710
07-2004	28.993.984	28.547.922	30.423.747	30.449.104	28.746.601	28.456.157
08-2004	36.448.548	36.008.129	38.133.584	37.834.142	36.154.957	35.917.446
09-2004	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-2004	41.686.779	41.488.276	41.694.719	41.574.289	41.714.569	41.440.636
11-2004	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
12-2004	37.819.950	37.613.507	37.823.920	38.931.564	37.835.830	37.577.777
01-2005	36.703.249	36.502.269	36.966.389	37.739.665	36.672.606	36.467.586
02-2005	32.234.090	31.781.504	32.424.652	33.905.481	32.230.120	31.698.133
03-2005	31.015.284	30.566.669	31.459.930	32.603.304	30.955.734	30.483.298
04-2005	26.961.863	26.306.805	27.406.509	29.026.289	26.914.223	26.179.763
05-2005	26.596.444	25.946.586	27.299.318	28.573.704	26.497.367	25.822.459
06-2005	40.347.657	39.705.724	41.297.714	41.790.000	40.189.696	39.582.652
07-2005	40.547.929	39.911.547	41.750.300	41.790.000	40.330.055	39.789.509
08-2005	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
09-2005	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-2005	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
11-2005	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
12-2005	37.899.351	37.684.968	37.891.411	38.427.368	37.919.201	37.633.358
01-2006	36.994.685	36.785.621	37.244.293	37.446.765	36.966.389	36.740.096
02-2006	32.698.586	32.234.090	32.865.328	33.786.379	32.690.645	32.138.808
03-2006	31.599.085	31.142.326	32.023.677	32.603.304	31.535.361	31.047.045
04-2006	27.648.682	26.989.654	28.069.507	29.141.421	27.605.011	26.854.672
05-2006	26.670.384	26.020.961	27.346.958	28.085.387	26.568.828	25.882.787
06-2006	26.865.879	26.221.682	27.787.634	28.198.690	26.706.271	26.084.599

Periodo	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario Base
07-2006	40.880.649	40.242.345	41.790.000	41.790.000	40.662.506	40.106.699
08-2006	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
09-2006	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-2006	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
11-2006	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
12-2006	37.617.477	37.387.215	37.585.717	38.205.045	37.661.148	37.335.604
01-2007	36.701.240	36.476.369	36.926.689	37.220.472	36.690.546	36.426.462
02-2007	32.777.987	32.325.401	32.948.699	33.885.630	32.789.897	32.226.150
03-2007	31.729.893	31.281.278	32.150.719	32.762.106	31.686.223	31.182.026
04-2007	27.759.843	27.112.725	28.184.639	29.288.313	27.743.963	26.977.743
05-2007	26.636.408	26.001.111	27.319.168	28.085.387	26.568.828	25.860.647
06-2007	26.016.991	25.384.999	26.942.013	27.386.134	25.890.317	25.246.802
07-2007	25.397.882	24.771.192	26.580.738	26.689.469	25.215.041	24.634.170
08-2007	24.563.953	23.941.196	26.005.081	25.778.846	24.324.299	23.805.674
09-2007	26.571.300	25.953.654	28.260.070	27.715.169	26.278.588	25.819.263
10-2007	23.317.357	22.467.767	24.980.808	25.044.329	23.083.124	22.289.114
11-2007	23.118.855	22.277.204	25.028.449	24.767.023	22.827.762	22.095.526
12-2007	18.358.765	17.290.821	20.236.599	20.609.783	18.116.592	17.056.589
01-2008	17.024.828	15.958.252	19.156.745	19.189.167	16.727.074	15.725.139
02-2008	12.423.540	11.121.364	14.495.906	15.194.635	12.165.487	10.835.520
03-2008	10.996.500	9.700.086	13.328.712	13.678.069	10.679.171	9.414.613
04-2008	7.341.876	5.888.838	9.680.236	10.402.785	7.056.033	5.571.234
05-2008	9.277.621	7.850.043	11.843.913	12.209.157	8.932.130	7.536.409
06-2008	9.474.204	8.072.365	12.252.828	12.270.663	9.066.837	7.763.178
07-2008	9.719.936	8.342.627	12.721.294	12.377.517	9.249.845	8.040.690
08-2008	27.516.640	26.167.590	30.733.411	30.029.727	26.984.107	25.873.858
09-2008	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
10-2008	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
11-2008	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
12-2008	37.518.226	37.307.814	37.458.675	38.085.943	37.589.687	37.264.143
01-2009	36.700.396	36.509.834	36.859.198	37.145.090	36.711.495	36.472.228
02-2009	32.607.274	32.210.269	32.682.705	33.615.667	32.670.795	32.122.928
03-2009	31.614.762	31.239.071	31.908.546	32.500.083	31.622.702	31.158.336
04-2009	27.410.479	26.846.732	27.712.203	28.776.176	27.462.090	26.719.690
05-2009	26.056.692	25.496.915	26.616.469	27.331.078	26.048.752	25.369.873
06-2009	25.724.100	25.171.371	26.537.068	26.908.731	25.651.747	25.044.329
07-2009	24.589.293	24.040.987	25.659.687	25.687.477	24.452.807	23.914.898
08-2009	31.130.416	30.586.081	32.460.383	32.141.647	30.930.696	30.460.950
09-2009	36.296.715	35.756.753	37.871.561	37.224.591	36.035.279	35.632.563
10-2009	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000	41.790.000
11-2009	38.189.165	38.022.423	38.224.895	38.625.870	38.244.745	37.982.722
12-2009	40.424.303	40.258.165	40.710.146	40.778.453	40.416.390	40.219.402
01-2010	35.624.512	35.235.447	35.886.536	36.581.294	35.684.063	35.144.136

Periodo	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario Base
02-2010	34.659.790	34.272.461	35.148.106	35.533.201	34.655.952	34.181.995
03-2010	30.030.712	29.447.115	30.522.998	31.444.050	30.086.293	29.300.223
04-2010	28.728.536	28.146.275	29.462.995	30.046.592	28.715.018	28.002.016
05-2010	27.414.527	26.839.330	28.406.961	28.645.164	27.339.696	26.699.840
06-2010	26.759.391	26.189.678	27.994.076	27.901.401	26.622.342	26.052.722
07-2010	25.893.920	25.331.425	27.382.689	26.949.205	25.696.345	25.196.401
08-2010	24.582.368	24.027.174	26.330.625	25.554.235	24.326.270	23.894.077
09-2010	25.421.484	24.706.875	27.215.946	26.799.091	25.219.011	24.536.163
10-2010	24.651.294	23.944.625	26.699.840	25.939.467	24.389.271	23.773.913
11-2010	23.170.466	22.297.055	25.246.802	24.897.437	22.967.993	22.082.672
12-2010	21.794.652	20.931.357	24.127.248	23.432.489	21.534.805	20.715.738
01-2011	16.866.026	15.790.143	19.184.535	19.077.344	16.675.464	15.524.149
02-2011	15.722.818	14.654.708	18.275.394	17.846.628	15.472.539	14.388.930
03-2011	11.034.023	9.775.517	13.594.705	13.654.256	10.843.460	9.457.913
04-2011	9.889.988	8.651.993	12.669.683	12.391.780	9.640.535	8.342.329
05-2011	8.530.719	7.313.010	11.534.249	10.913.004	8.222.007	7.010.191
06-2011	7.540.379	6.342.174	10.760.089	9.807.277	7.173.185	6.046.117
07-2011	6.486.207	5.309.244	9.930.349	8.635.123	6.061.758	5.020.362
08-2011	5.651.475	4.496.201	9.318.961	7.683.502	5.170.737	4.214.648
09-2011	10.736.269	9.640.535	14.622.948	12.653.803	10.482.186	9.330.871
10-2011	8.235.137	6.901.201	12.082.116	10.672.748	7.663.450	6.595.507
11-2011	7.818.282	6.547.866	11.879.643	10.140.761	7.556.259	6.206.442
12-2011	4.014.974	2.518.265	8.048.545	6.845.620	3.435.347	2.176.841
01-2012	2.089.500	2.089.500	6.083.370	4.542.991	2.089.500	2.089.500
02-2012	2.089.500	2.089.500	2.379.314	2.089.500	2.089.500	2.089.500
03-2012	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
04-2012	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
05-2012	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
06-2012	12.755.929	12.749.592	13.046.838	12.694.278	12.683.790	12.747.354
07-2012	12.263.759	12.250.968	12.852.306	12.141.212	12.118.787	12.246.441
08-2012	13.326.454	13.307.359	14.214.033	13.145.812	13.110.728	13.300.597
09-2012	19.245.301	19.220.143	20.415.251	19.009.991	18.961.458	19.211.228
10-2012	19.359.218	18.795.470	20.887.687	19.585.510	18.815.321	18.716.069
11-2012	23.976.386	23.932.715	25.814.519	24.286.050	23.885.075	23.853.314
12-2012	21.471.284	20.836.076	23.388.818	22.146.193	21.046.489	20.701.094
01-2013	20.272.329	20.105.587	22.479.677	21.006.788	20.248.509	19.970.605
02-2013	16.818.386	15.952.915	19.025.733	18.005.430	16.413.440	15.758.382
03-2013	15.512.239	15.091.414	17.997.490	16.735.014	15.480.547	14.892.911
04-2013	11.621.590	10.629.078	14.114.781	13.201.670	11.303.986	10.378.964
05-2013	12.200.387	11.220.615	14.932.612	13.682.046	11.808.182	10.970.502
06-2013	12.468.756	11.499.543	15.428.868	13.850.737	11.998.530	11.252.375
07-2013	11.461.091	10.503.005	14.654.708	12.745.114	10.914.747	10.258.271
08-2013	11.232.525	10.285.688	14.662.648	12.421.230	10.612.605	10.043.433

Periodo	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario Base
09-2013	13.512.960	12.577.216	17.171.720	14.611.038	12.822.560	12.337.369
10-2013	12.856.276	11.832.003	16.516.662	14.472.086	12.403.690	11.530.279
11-2013	13.634.405	12.612.649	17.517.114	15.148.566	13.100.517	12.313.325
12-2013	8.810.795	7.611.840	12.669.683	10.875.221	8.441.580	7.250.565
01-2014	7.490.712	6.300.437	11.585.860	9.456.284	7.044.935	5.941.686
02-2014	2.875.570	2.089.500	6.921.051	5.388.612	2.577.816	2.089.500
03-2014	2.089.500	2.089.500	5.730.036	3.860.142	2.089.500	2.089.500
04-2014	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
05-2014	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
06-2014	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
07-2014	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
08-2014	4.749.491	4.745.048	4.733.553	4.405.790	4.665.206	4.739.209
09-2014	6.772.815	6.764.080	6.746.369	6.096.038	6.606.747	6.752.569
10-2014	8.068.395	7.846.073	8.096.186	7.595.959	8.068.395	7.707.121
11-2014	8.358.209	8.130.776	8.374.089	7.556.259	8.271.646	7.987.672
12-2014	4.038.795	3.625.909	3.816.472	3.526.658	4.138.046	3.407.557
01-2015	3.161.414	2.748.528	2.931.151	2.316.450	3.173.981	2.530.176
02-2015	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
03-2015	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
04-2015	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
05-2015	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
06-2015	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
07-2015	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500
08-2015	3.325.728	3.316.087	3.606.059	3.239.647	3.236.880	3.310.101
09-2015	7.374.757	7.355.560	7.929.444	7.204.543	7.197.749	7.343.717
10-2015	15.757.002	15.728.482	16.592.093	15.506.064	15.493.567	15.710.977
11-2015	19.825.664	19.025.733	20.931.357	19.499.111	19.478.812	18.934.422
12-2015	16.429.321	16.588.123	17.596.515	16.738.985	16.353.890	16.472.991
01-2016	15.693.423	14.769.840	17.135.990	15.929.094	15.532.089	14.571.337
02-2016	11.371.477	11.319.866	12.808.635	12.189.307	11.427.058	11.113.424
03-2016	10.486.156	9.394.392	12.193.277	11.216.645	10.450.425	9.116.489
04-2016	18.681.361	17.624.306	20.625.663	19.316.162	18.548.723	17.348.689
05-2016	19.364.577	18.346.855	21.550.685	19.904.549	19.134.820	18.072.896
06-2016	19.008.444	18.028.164	21.427.614	19.458.469	18.684.309	17.757.985
07-2016	19.867.831	18.927.352	22.527.317	20.228.462	19.450.169	18.661.568
08-2016	27.714.686	26.813.634	30.614.309	27.989.710	27.205.762	26.552.273
09-2016	30.510.110	29.646.650	33.635.517	30.705.102	29.913.923	29.389.500
10-2016	30.348.316	29.542.396	33.492.596	31.027.194	29.991.011	29.220.822
11-2016	34.612.150	33.834.969	37.982.722	35.207.657	34.163.534	33.524.356
12-2016	29.899.700	28.982.619	33.250.422	31.058.955	29.705.168	28.593.554
01-2017	28.857.655	27.974.226	32.448.472	29.930.608	28.569.734	27.586.173
02-2017	24.055.787	23.011.664	27.585.161	25.731.148	24.027.996	22.543.198
03-2017	22.888.592	21.872.259	26.656.169	24.471.799	22.765.520	21.411.733

Periodo	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario Base
04-2017	18.454.046	17.310.672	22.217.654	20.470.832	18.545.357	16.778.685
05-2017	17.428.116	16.306.249	21.411.733	19.336.426	17.413.893	15.778.232
06-2017	16.721.447	15.619.385	20.915.477	18.521.974	16.598.844	15.096.097
07-2017	15.763.404	14.682.499	20.173.078	17.456.957	15.533.708	14.166.392
08-2017	14.625.746	13.564.200	19.252.026	16.215.858	14.292.271	13.054.778
09-2017	12.828.485	11.657.321	17.469.474	14.714.259	12.701.444	11.085.633
10-2017	11.633.500	10.478.216	16.492.841	13.551.034	11.399.267	9.910.499
11-2017	8.306.598	7.004.422	13.134.179	10.601.287	8.334.389	6.365.244
12-2017	6.448.615	5.170.259	11.498.519	8.779.034	6.369.214	4.531.081
01-2018	2.089.500	2.089.500	6.460.525	4.249.207	2.089.500	2.089.500
02-2018	2.089.500	2.089.500	5.007.487	2.641.337	2.089.500	2.089.500
03-2018	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500	2.089.500

