



Universidad de Concepción



PROPUESTA DE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRADA
DE CUENCAS DE LAGOS (ILBM) PARA LA LAGUNA
RAYENANTÚ, SANTA JUANA, CHILE

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniero Ambiental

FANNY CAMILA ARAYA BAHAMÓNDEZ

Profesor guía: Ricardo Figueroa Jara

Concepción, Chile

2019

“Propuesta de un modelo de gestión integrada de cuencas de lagos (ILBM), para la laguna Rayenantú, Santa Juana, Chile”.

PROFESOR GUÍA: Dr. RICARDO FIGUEROA JARA
PROFESOR CO-GUÍA: Dr. OSCAR PARRA BARRIENTOS
PROFESOR COMISIÓN: Dr. MAURICIO AGUAYO ARIAS



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, abril 2019



100 AÑOS
DE
DESARROLLO
LIBRE DEL
ESPIRITU

*A mis viejitos lindos
que cultivan un jardín en el firmamento.*

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis fue realizada con muchas personas a mi lado que día a día me brindaron su apoyo, por lo que les estoy agradecida a cada una de ellas.

En primer lugar, agradezco a mis profesores Ricardo Figueroa, Oscar Parra y Mauricio Aguayo, quienes me dieron un espacio de pensamiento crítico y me han transmitido su conocimiento a lo largo de la carrera. En particular, agradezco al profe Figueroa por confiar en mí durante esta investigación para lograr un aporte a la comunidad y al cuidado del medio ambiente y, por entregarme conocimientos que nutren mi formación profesional. Asimismo, agradezco a la Dra. María Elisa Díaz, Kichy, por su calidad humana, su simpatía y apañe máximo, por resolver las dudas que surgieron en este proceso y por sus consejos.

Mis amigos de Concepción, quienes se convirtieron en mi segunda familia a lo largo de estos años, muchas gracias a Carlos, Min, Karen, Andrés, Jo y Nicol, por su amistad que comenzó en esta carrera y que a pesar de seguir caminos distintos, siempre ha permanecido un amor singular por la naturaleza. Gracias por acompañarme en las escapadas al bosque nativo a renovar energías y a aprender cada vez un poco más.

A mis amigos de siempre, Mariela, Chiky, Nelson y Bene, por estar a mi lado a pesar de la distancia, por escucharme, comprenderme y darme palabras de aliento para seguir adelante, por sus risas y momentos que siempre atesoraré.

Por supuesto, agradecida de mi familia, ya que sin su apoyo este camino universitario no hubiese sido posible. Son el mayor apoyo de mi vida y me alientan siempre a ser mejor persona. Agradezco el esfuerzo de toda la vida de mis abuelos y mi madre, a quienes dedico este trabajo, me inspiran y gracias a ello soy la persona que soy.

Además, agradezco a la Municipalidad de Santa Juana, por su disposición en aportar con información, acompañarnos en las visitas a terreno y por la iniciativa de proteger sus espacios naturales.

Finalmente agradezco al CRHIAM por financiar esta investigación mediante la Beca de Pregrado Proyecto CONICYT/FONDAP 15130015.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Sistemas Lacustres	1
1.2	Agua y los Objetivos de Desarrollo Sustentable	2
1.3	Modelo de Gestión de Cuencas.....	4
1.4	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	5
1.5	OBJETIVOS	5
1.5.1	Objetivo general	5
1.5.2	Objetivos específicos.....	5
2.	ANTECEDENTES	6
2.1	Eutrofización en sistemas acuáticos	6
2.2	Clasificación del Estado Trófico.....	8
2.3	Servicios Ecosistémicos	9
2.4	Aspectos de Gestión Integrada de Cuencas de Lagos	10
3.	METODOLOGÍA	15
3.1	Área de estudio: Cuenca de la laguna Rayenantú	15
3.2	Caracterización de las condiciones ambientales y antrópicas de la cuenca de la laguna Rayenantú.....	19
3.3	Caracterizar las fuentes aportantes al sistema lacustre	21
3.3.1	Delimitación de la cuenca hidrográfica e Identificación de tributarios.....	21
3.3.2	Actividades antrópicas en la cuenca	22
3.3.3	Caracterización del estado trófico.....	23
3.4	Caracterización de partes interesadas	24
3.5	Determinar los Servicios Ecosistémicos	24
3.6	Caracterizar el marco legal e institucional para el manejo hídrico de la cuenca de la laguna Rayenantú	26
3.6.1	Revisión de la normativa ambiental	26
3.6.2	Revisión de la Institucionalidad ambiental	26
3.7	Determinar las metodologías para el control de la eutrofización	26
3.8	Elaboración de la propuesta de gestión integrada de cuencas	27
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28

4.1	Condiciones ambientales y antrópicas de la cuenca.....	28
4.2	Actividades antrópicas de la cuenca	29
4.3	Influencia del Fuerte Santa Juana de Guadalcázar	32
4.4	Aportes de agua a la laguna Rayenantú.....	34
4.5	Estado trófico de la laguna Rayenantú	38
4.6	Partes Interesadas y “stakeholders”	41
4.7	Servicios ecosistémicos culturales	43
4.7.1	Indicadores de SE culturales	43
4.7.2	Percepción de la comunidad sobre los SE culturales.....	48
4.8	Marco legal e institucional para el manejo del agua en la cuenca de la laguna Rayenantú	52
4.9	Brechas Identificadas	67
4.9.1	Actividades Antrópicas	67
4.9.2	Condiciones Ambientales	68
4.9.3	Institucionalidad.....	69
4.9.4	Brechas significativas	70
4.10	Métodos para el control de la eutrofización.....	71
4.10.1	Medidas de Control Externo	72
4.10.2	Control Interno.....	77
4.11	Propuesta de Gestión Integrada de Cuencas	83
4.11.1	Pilar 1 del ILBM: Información.....	85
4.11.2	Pilar 2 del ILBM: Participación	89
4.11.3	Pilar 3 del ILBM: Tecnología.....	92
4.11.4	Pilar 4 del ILBM: Institución	103
4.11.5	Pilar 5 del ILBM: Política.....	111
4.11.6	Pilar 6 del ILBM: Financiamiento	116
4.11.7	Plan de Implementación de Modelo	121
5.	CONCLUSIONES	127
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo conceptual del proceso de eutrofización.....	7
Figura 2. Marco Conceptual de Servicios Ecosistémicos: Cascada de SE.....	10
Figura 3. Estructura de una cuenca hidrográfica lacustre	11
Figura 4. Pilares fundamentales de la Gestión Integrada de Cuencas de Lagos....	12
Figura 5. Índice de estado trófico (TSI) de los Principales lagos urbanos del gran Concepción, incluida L. Rayenantú (rojo). L. Redonda (Morado), L. Tres pascualas (celeste), L. Lo Galindo (Naranja), L. Lo Méndez (Negro), L. Lo Custodio (amarillo), L. Grande de San Pedro de la Paz (Azul), L. Chica de San Pedro de la Paz (verde).	16
Figura 6. Usos de suelo Comuna Santa Juana	18
Figura 7. Localización de las estaciones de muestreo para el análisis hidrogeoquímico	22
Figura 8. Aproximación metodológica para la Gestión Integrada de Cuencas	27
Figura 9. Delimitación de la cuenca de la laguna Rayenantú.....	28
Figura 10. Evolución de la urbanización de la Comuna de Santa Juana.....	30
Figura 11. Principales afluentes y efluentes en la laguna Rayenantú.....	31
Figura 12. Plano del fuerte Santa Juana de Guadalcazar, 1793	34
Figura 13. Diagrama de Piper de sistemas acuáticos en estudio (Muestreo 13/11/2018).	37
Figura 14. Gradiente térmico, pH, y concentración de OD medidas insitu. Muestreo 13/11/2018.....	40
Figura 15. Actores Involucrados directos.	41
Figura 16. Actores involucrados indirectos.....	41
Figura 17. Eventos publicitados por la Municipalidad de Santa Juana	47
Figura 18. Frecuencia de visitas de los stakeholders a la laguna.....	49
Figura 19. Motivo de protección de la laguna Rayenantú.....	50
Figura 20. Problemas asociados a la laguna.	51
Figura 21. Principales organismos directos en la gestión de la laguna Rayenantú.	64
Figura 22. Organigrama de la I. Municipalidad de Santa Juana, establecido por el Decreto N°1857 de la institución.	66
Figura 23. Brechas prioritarias a solucionar en la propuesta de gestión.....	70

Figura 24. Colector de aguas lluvias ubicado en la ribera sur de la laguna Rayenantú. A) Detalle de canal de decantación; B) Cámara de decantación (SERVIU Región del Biobío, 2013).	73
Figura 25. Tipos de humedales artificiales: A) Flujo superficial; B) Flujo subsuperficial.	74
Figura 26. Forma de HA de mayor eficiencia hidráulica	75
Figura 27. Especies acuáticas invasoras. A) Presencia de Luchecillo en lago Lanalhue; B) Plaga de Didymo en los sectores altos del Biobío	77
Figura 28. Propiedades de las nanoburbujas para rehabilitar sistemas acuáticos degradados. A) Tamaño de las nanoburbujas; B) Aumento del tiempo de residencia; C) Efecto de carga negativa; D) Mayor área de contacto.....	78
Figura 29. Sistema generador de nanoburbujas.	79
Figura 30. Floculación de nutrientes en la aplicación del clarificador de columna de agua.	81
Figura 31. Evolución de la cobertura de plantas acuáticas 2006-2019.....	82
Figura 32. Modificación de la cámara de decantación del sistema colector de aguas lluvias.	94
Figura 33. Masas de agua de microalgas y juncáceas en borde laguna.	97
Figura 34. Árboles introducidos a orilla de laguna.....	100
Figura 35. Principales modelos de grandes trampas para peces.	101
Figura 36. Equipos que deben ser desinfectados para evitar la propagación de especies invasoras.	103
Figura 37. Niveles del Sistema de Certificación Ambiental Municipal.....	105
Figura 38. Propuesta Zonificación Área de Protección.....	113
Figura 40. Modificación del Sistema colector de aguas lluvias.....	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Casos de estudio ILBM, principales problemáticas y manejo de cuenca.....	14
Tabla 2. Evolución de la demografía comuna de Santa Juana.....	17
Tabla 3. Principales características morfológicas del lago Rayenantú.....	19
Tabla 4. Parámetros para determinar estados tróficos de los lagos chilenos	23
Tabla 5. Indicadores de servicios ecosistémicos culturales.....	25
Tabla 6. Usos de suelo de la comuna Santa Juana y cuenca de laguna Rayenantú...	31
Tabla 7. Concentraciones de aniones de las estaciones de muestreo.	35
Tabla 8. Resultado de variables ambientales 2017-2018.....	38
Tabla 9. Estado Trófico según índices de clasificación	39
Tabla 10. Actores involucrados en la gestión de cuenca de la laguna Rayenantú.	42
Tabla 11. Ingresos asociados a eventos programados 2012-2019.	44
Tabla 12. Empresas asociadas al sector turístico 2014-2016	45
Tabla 13. Proyectos ingresados al FPA	45
Tabla 14. Artículos científicos y tesis universitarias.	46
Tabla 15. Tendencia general de Indicadores SE culturales evaluados.	48
Tabla 16. Legislación relacionada a la gestión de recursos hídricos en Chile y laguna Rayenantú.	53
Tabla 17. Instrumentos de planificación aplicables.	56
Tabla 18. Marco institucional regional y local de los recursos hídricos.....	59
Tabla 19. Parámetros a medir en las estaciones de muestreo.....	87
Tabla 20. Programas de capacitación a empresarios turísticos.	110
Tabla 21. Fondos internacionales para financiamiento del proyecto.	118
Tabla 22. Plan de Implementación del Modelo ILBM. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 23. Plazos de Implementación de los programas.	124
Tabla 24. Principales métodos directos de control de la eutrofización.	144

NOMENCLATURA

ADI	Actores Directamente Involucrados	
All	Actores Indirectamente Involucrados	
AVGC	Acuerdo Voluntario de Gestión de Cuencas	
CA	Código de Aguas	
DBO ₅	Demanda Biológica de Oxígeno	(mg/L)
DEM	Modelo de Elevación Digital	
DIA	Declaración de Impacto Ambiental	
DQO	Demanda Química de Oxígeno	(mg/L)
DS	Disco Secchi	(m)
HA	Humedal Artificial	
HFL	Humedal Flujo Libre	
ILBM	Integrated Lake Basin Management	
M.S.N.M.	Metros sobre el nivel del mar	(m)
NSCA	Norma Secundaria de Calidad de Agua	
NT	Nitrógeno Total	(mg/L)
OD	Oxígeno Disuelto	(mg/L)
ODS	Objetivos del Desarrollo Sustentable	
PCR	Plan de Desarrollo Comunal	
PT	Fósforo Total	(mg/L)
RSE	Responsabilidad Social Empresarial	
RRHH	Recursos Hídricos	
SCAM	Sistema de Certificación Ambiental Municipal	
SE	Servicios Ecosistémicos	
T	Temperatura	°C
TSI	Índice de Estado Trófico	
ZCPH	Zona Conservación Patrimonio Histórico	
ZPA	Zona Protección Ambiental	

RESUMEN

El agua almacenada en los sistemas lacustres puede ser fundamental para satisfacer los requerimientos humanos, debido que proporcionan una diversidad de Servicios Ecosistémicos (SE), sin embargo, estos han sido alterados por diversas actividades antrópicas realizadas en la cuenca hidrográfica. En la actualidad, la gran mayoría de lagos que presentan problemas de eutrofización son manejados con métodos tradicionales aplicados directamente al cuerpo de agua, sin considerar las actividades antrópicas de la cuenca causantes de la degradación, lo que no garantiza recuperar el estado trófico de estos cuerpos de agua. Por lo tanto, un adecuado control de la eutrofización debe considerar las actividades antrópicas realizadas en la cuenca, la comunidad asociada y organismos con competencias en su manejo, todo esto en un enfoque integrado para abordar estos problemas de amplio alcance en el manejo de cuencas lacustres. La Gestión Integrada de la Cuenca del Lago ILBM (de sus siglas en inglés Integrated Lake Basin Management), se basa en la gobernanza de la cuenca como unidad natural de gestión y descansa sobre 6 pilares fundamentales que corresponden a Instituciones, Políticas, Participación, Tecnología, Información y Financiamiento (Figura 4).

En el caso particular de la Laguna Rayenantú, ubicada en la Comuna de Santa Juana, Región del Biobío, existe una creciente preocupación por parte de la comunidad y autoridades locales con respecto al avanzado estado de eutrofización del sistema lacustre, que corresponde al principal atractivo turístico de la zona. Este sistema acuático ha presentado eventos de proliferación masivas de plantas acuáticas y recientemente mortandad de peces. Es por esto, que se hace necesario la implementación de un Plan Manejo Integrado de Cuenca de Lagos de la laguna Rayenantú, con la finalidad de mejorar y mantener en el tiempo un estado trófico adecuado de la laguna y asegurar la calidad de los SE que ofrece, con énfasis en los SE culturales de contacto directo.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Sistemas Lacustres

Los lagos y lagunas son depresiones de la superficie terrestre que almacenan grandes volúmenes de agua, debido a esta característica contienen el 90% de la superficie líquida de agua dulce disponible del planeta (ILEC, 2007), lo que permite proporcionar una diversidad de SE, que corresponden a una gama de funciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas sostienen la vida humana (Daily, 1997) ofreciendo beneficios directos para la sociedad (MEA, 2003; Schallenberg *et al.*, 2013), y a menudo es imposible reemplazarlos cuando los ecosistemas acuáticos han sido degradados. Los SE clasifican en tres grupos: provisión, regulación y culturales. Los SE de provisión corresponden a los recursos que sustentan las actividades productivas y económicas, y se incluyen el agua misma, la madera, los alimentos, entre otros. Los SE de regulación corresponden a procesos ecosistémicos que regulan las condiciones del ambiente para que la sociedad realice sus actividades productivas y se incluyen la regulación climática, la regulación de la erosión de los suelos, dilución y procesos biogeoquímicos (e.g. ciclo el Nitrógeno), entre otros. Finalmente, los SE culturales son aquellos que dependen de la percepción de la comunidad sobre los ecosistemas, y se encuentran los espirituales, recreativos o educativos (Schallenberg *et al.*, 2013).

A pesar que los lagos ofrecen una variedad de estos SE, se encuentran entre los sistemas más amenazados debido a que son sensibles a las alteraciones del régimen hídrico, a la introducción de especies invasoras y a la degradación de la calidad del agua producto de las actividades antrópicas desarrolladas en toda su cuenca hidrográfica (Carpenter *et al.*, 1995; Hughes *et al.*, 2014; Quirós, 2007), deteriorando el funcionamiento del ecosistema y su capacidad de resiliencia (Smith *et al.*, 1999) y, por lo tanto, amenazan su capacidad para suministrar estos SE para las generaciones presentes y futuras (Postel & Carpenter, 1997).

Uno de los mayores problemas que enfrentan los sistemas lacustres corresponde al proceso de eutrofización, el cual se define como el enriquecimiento descontrolado de nutrientes de los cuerpos de agua de forma natural o artificial (Carpenter & Lathrop, 1999). Este aumento de nutrientes genera efectos biológicos como el crecimiento de biomasa fitoplanctónica con la eventual aparición de especies tóxicas, reducción de la diversidad de especies y concentración de oxígeno en la columna de agua, entre otras (Carpenter *et al.*, 1995). Esta alteración en el componente biológico tiene incidencia en la calidad de los SE culturales, tales como cambio en el sabor, olor y color del agua, la disminución de valor estético percibido (Smith & Schindler 2009) y la consecuente alteración de actividades recreativas pues no permite el uso de contacto directo.

1.2 Agua y los Objetivos de Desarrollo Sustentable

La necesidad de mantener sistemas acuáticos con buena calidad de agua para distintos usos y mantención de los SE, radica en que este es un recurso cada vez más demandado y su calidad guarda relación con varios de los objetivos del desarrollo sustentable (ODS) propuestos por la ONU como son: la reducción de la pobreza; garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible; lograr ciudades seguras, resilientes y sostenibles y; promover el uso sostenible de ecosistemas terrestres y frenar la pérdida de la biodiversidad. La Gestión de los recursos hídricos a través de sus cuencas es un foco para lograr el desarrollo sostenible, ya que es un recurso limitado e insustituible para el bienestar humano y su adecuada gestión contribuye a la mayoría de los ODS (CEPAL, 2018).

- 1° ODS Reducción de la pobreza mediante un crecimiento económico inclusivo. La gestión sostenible de los recursos hídricos de forma integral permite la creación de empleos sustentables mediante la valorización económica de los SE ofrecidos por los ecosistemas acuáticos que le dan sustento.

- 6° ODS Agua limpia y saneamiento ambiental. Responde a la necesidad de gestionar los recursos hídricos de forma que se cumplan condiciones de calidad de agua para consumo humano, acciones para evitar la contaminación de los cauces, además, de asegurar el aprovechamiento de SE culturales mediante estándares de salubridad.
- 8° ODS, Trabajo decente y crecimiento económico. La gestión integral de cuencas permite asegurar los SE culturales que proveen los sistemas lacustres a la sociedad, debido que son importantes atractivos turísticos por su belleza escénica y actividades recreativas.
- 11° ODS Ciudades y comunidades sostenibles. Los sistemas lacustres urbanos funcionan como embalses naturales que en condiciones adecuadas permiten el abastecimiento de agua potable, actividades económicas y recreativas, por lo tanto, se deben mantener sus características para que estos sistemas mantengan su capacidad de ofrecer SE.
- 13° ODS Acción por el clima. Responde a la necesidad de realizar acciones que mitiguen el efecto del cambio climático, en este sentido, los sistemas lacustres son vulnerables a este fenómeno y representan una importante fuente de agua en un contexto de escasez hídrica.
- 15° ODS Vida de los ecosistemas terrestres. Las acciones para mitigar la problemática en ecosistemas terrestres y acuáticos continentales, tiene la finalidad de controlar la deforestación, recuperar suelos, paliar sequías e inundaciones, además, de cuidar la biodiversidad e impedir la degradación de los hábitats naturales (Gamboa, 2015).

1.3 Modelo de Gestión de Cuencas

Se han desarrollado modelos de gestión que integran las dinámicas propias de los ecosistemas acuáticos, la conservación de los recursos hídricos y el desarrollo económico sustentable, enfocándose en la singularidad de estos ecosistemas, su variedad de usos y su importancia fundamental para las actividades antrópicas (ILEC, 2007). En este enfoque surge la Gestión Integrada de Cuenca de Lagos, de sus siglas en inglés ILBM (Integrated Lake Basin Management), el cual considera a la cuenca hidrográfica como unidad fundamental en los procesos de gestión territorial (Aguirre, 2011). Este modelo dirige su foco en la comprensión de las características biofísicas del ecosistema lacustre y las interrelaciones ecosistema-sociedad (Chidammodzi & Muhandiki, 2015).

Sin embargo, la mayoría de los ecosistemas acuáticos que presentan problemas son manejados con metodologías tradicionales de control de eutrofización, que se enfocan en parte del problema y no aseguran en el tiempo un estado trófico adecuado, ya que son aplicados directamente al cuerpo de agua y muchos no consideran la entrada de nutrientes desde la ribera producto de las actividades antrópicas de la cuenca. Por otro lado, no consideran a los responsables de la administración del recurso hídrico y partes interesadas en el manejo del lago (mundo científico, usuarios, vecinos y otros stakeholders). Además, el enfoque fragmentado de las políticas actuales sobre recursos hídricos ha mostrado no ser eficiente para resolver los crecientes problemas de la degradación de los lagos. Es por esto, que la aplicación del Manejo de Gestión Integrado de Cuencas de Lagos ofrece una oportunidad fundamental para la sostenibilidad de los lago, sus recursos y la mantención de la calidad de los SE que provee, que sustentan las actividades productivas y turísticas que se desarrollen por las comunidades que habitan alrededor de los lagos y que sustentan su economía (Sharip & Jusoh, 2010), convirtiendo a estos sistemas acuáticos el principal motor económico, social y cultural de la comunidad.

1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La implementación de un Modelo de Gestión Integrada de Cuencas (ILBM) para la laguna Rayenantú ¿permite recuperar las condiciones tróficas adecuadas que aseguren la sustentabilidad de los SE que provee?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Realizar una propuesta de gestión de la eutrofización basado en el modelo de Gestión Integrada de Cuencas de Lagos (ILBM) para la rehabilitación permanente de la laguna Rayenantú y asegurar su uso de contacto directo.

1.5.2 Objetivos específicos

- i. Caracterizar las condiciones ambientales y antrópicas de la cuenca de la laguna Rayenantú.
- ii. Caracterizar el marco legal e institucional para el manejo del agua en la cuenca de la laguna Rayenantú.
- iii. Evaluar metodologías para el control de la eutrofización de la laguna Rayenantú.
- iv. Elaborar una propuesta con medidas de gestión en base a los pilares del modelo ILBM.

2. ANTECEDENTES

2.1 Eutrofización en sistemas acuáticos

El concepto de eutrofización fue descrito por primera vez por Thienemann (1918) y Naumann (1919), como el proceso en el cual las aguas de los sistemas acuáticos se vuelven más productivas, principalmente por la acumulación de nutrientes, entre ellos nitrógeno (en todas sus formas), fósforo y materia orgánica. Cloern (2001) establece que la eutrofización se basa en dos principios: (I) el aumento en la carga de nutrientes en el ecosistema produce efectos complejos, dado que se encuentran involucrados muchos procesos. (II) Estos efectos están condicionados por las características biológicas y físicas propias del sistema acuático, que a su vez dependen de factores como la incidencia del viento, la geomorfología, entre otros.

Originalmente este fenómeno se considera como un proceso natural de envejecimiento del lago, donde se genera un aumento de productividad debido a las entradas de sedimentos desde su cuenca de drenaje, colmatando progresivamente el lago, transformándose finalmente en un ecosistema terrestre en un largo periodo de tiempo millones de años (Ryding & Rast, 1992). Sin embargo, en la actualidad se utiliza el término de “Eutrofización cultural o antrópica” para determinar la contaminación producida por la actividad antrópica, que conducen a la eutrofización de los sistemas acuáticos en un tiempo mucho más breve (Parra, 1989). Según Hughes *et al.* (2014), los actuales procesos de urbanización inciden en los usos de suelo y agua, lo que conlleva alteraciones a la hidrología de la cuenca. La descarga de aguas servidas es una de las causas más antiguas de eutrofización antrópica, debido que contienen una alta carga de nutrientes que puede alterar el estado trófico del cuerpo receptor (Mazzeo *et al.*, 2002). La utilización de fertilizantes en la producción agrícola, representa una fuente importante de contaminación debido que son productos ricos en fósforo, que por lixiviación o arrastre llega a aguas superficiales y subterráneas, generando contaminación difusa. La actividad forestal a través de la

desforestación de coberturas naturales, genera un escurrimiento con alta carga de nutrientes, provocando un aumento en la erosión de los suelos (Hughes *et al.*, 2014). Los efectos de la eutrofización se evidencian por la aparición de blooms algales (aguas verdes) o colonización masiva de plantas acuáticas, que son visibles con facilidad, sin embargo, la eutrofización es un proceso complejo (Figura 1) y representa dificultades para su cuantificación (Moreno *et al.*, 2010).

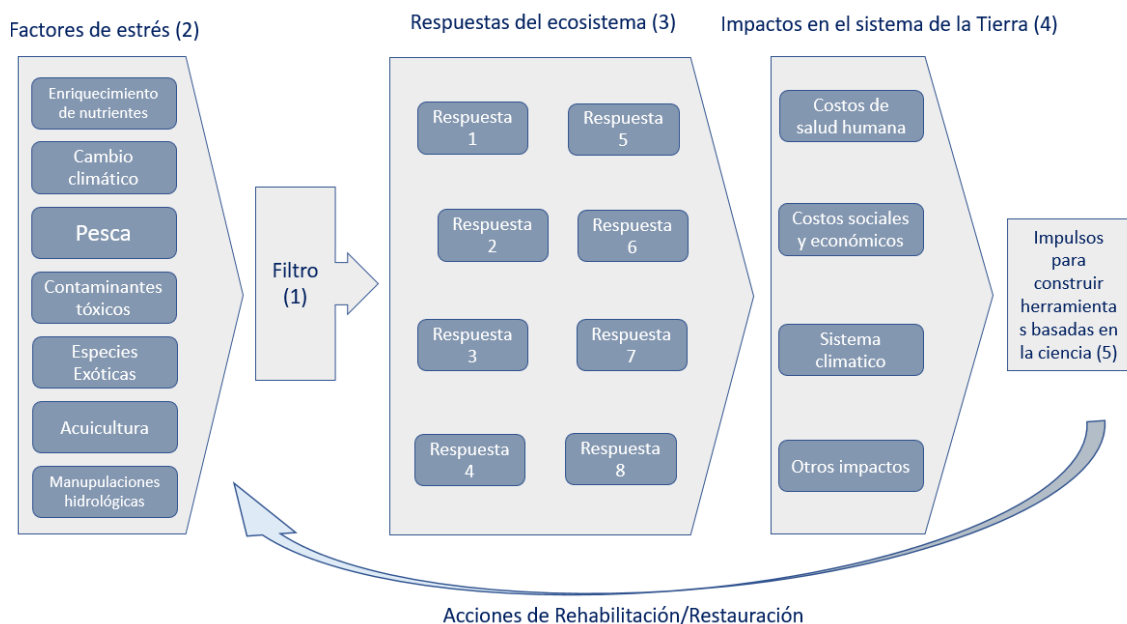


Figura 1. Modelo conceptual del proceso de eutrofización.

Fuente: Cloern, 2001.

El modelo establece 5 etapas: (1) corresponden a los atributos del sistemas que actúan como filtro ante las respuestas al aumento de nutrientes; (2) los factores estresantes que interactúan con el sistema acuático; (3) relaciones complejas entre las respuestas del ecosistema frente a los factores de estrés; (4) impactos que tiene los cambios de los ecosistemas frente al sistema Tierra, los cuales influyen en la sostenibilidad de la sociedad; y (5) la comprensión científica para generar estrategias y planes de acción para la rehabilitación o restauración del ecosistema

2.2 Clasificación del Estado Trófico

Los sistemas acuáticos pueden ser clasificados según la concentración de nutrientes en el cuerpo de agua y/o en las respuestas ecológicas frente a esta carga, y se basa principalmente en el nutriente que representa el factor limitante (Moreno *et al.*, 2010). Esta categorización se basa en las mediciones de las concentraciones de fósforo totales, concentraciones de la clorofila y visibilidad del disco de Secchi (Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2010). Los términos de un sistema oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico (Smith *et al.*, 1999). Definidos como:

- Lagos oligotróficos, se caracterizan por la baja presencia de nutrientes, bajos o moderados niveles de productividad biológica, transparencia del agua relativamente clara y un alto valor de los SE.
- Lagos mesotróficos, tienen un moderado nivel de productividad, claridad de agua y plantas acuáticas.
- Lagos eutróficos, presentan una alta concentración de nutrientes, alta productividad biológica, aguas turbias, pueden presentar anoxia y toxicidad y un reducido valor de los SE.
- Lagos hipereutrófico, presentan altos niveles de productividad biológica, baja transparencia de agua, con abundancia de plantas acuáticas y potencial para soportar la gran cantidad de peces tolerantes a condiciones de perturbación.

Para determinar el nivel de trofia de un cuerpo de agua y realizar comparaciones con otros sistemas, se utilizan índices del estado trófico calculados en base a diferentes criterios, entre ellos destacan a nivel internacional los propuestos por Carlson (1977), la OECD (1982), Smith *et al.* (1999), A nivel nacional destaca el criterio establecido por CONAMA (2004).

2.3 Servicios Ecosistémicos

La creciente demanda de los recursos naturales para satisfacer las necesidades humanas, ha provocado perturbaciones de los sistemas naturales (Carpenter *et al.*, 2009), alterando su capacidad de ofrecer SE. Este concepto surge por la necesidad de incluir las preocupaciones ecológicas en términos económicos, enfatizar la interdependencia ecosistema-sociedad, con la finalidad de impulsar la conservación de la biodiversidad (Camacho & Ruiz, 2011). El concepto de SE fue originalmente planteado por Westman (1977), quién esbozó la idea de “servicios de la naturaleza”. Asimismo, el programa internacional Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA), promovida por la ONU, define a los SE como los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas (MEA, 2003). Por otra parte, Fisher *et al.* (2009) establece que los SE son los aspectos de los ecosistemas (estructura, procesos o funciones) que, utilizados de forma pasiva o activa, proporcionan bienestar humano. Se debe hacer énfasis que el concepto tiene un carácter antropocéntrico, ya que considera a los ecosistemas como un capital natural (Díaz, 2017; Camacho & Ruiz, 2011).

En cuanto a la clasificación de los SE, el propuesto por MEA (2003) es uno de los más difundidos y aceptados. Esta clasificación incluye a los servicios de (I) Aprovechamiento: Corresponden a los productos tangibles obtenidos del ecosistema; (II) Regulación: beneficios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema; (III) Culturales: beneficios intangibles que la sociedad tiene para su recreación, entre otros; (IV) De soporte: necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos. En la Clasificación Internacional Común de los Bienes y Servicios Ecosistémicos (CICES) publicada en 2010, se establece que los servicios de apoyo o soporte corresponden a la estructura, procesos y funciones del ecosistema (Haines & Potschin, 2010). Por lo mismo en su cuantificación son incluidos en los Servicios de Regulación. El marco conceptual de los SE propuesto por Haines & Potschin (2010) establece que las estructuras y procesos del ecosistema afectan el bienestar humano a

través de la “cadena de producción” (Figura 2), por lo tanto, se requieren estructuras funcionales para la generación de SE y sus beneficios. Es decir, que para que exista un flujo continuo de lo SE, se debe proteger la biodiversidad y los ecosistemas que le dan sustento.

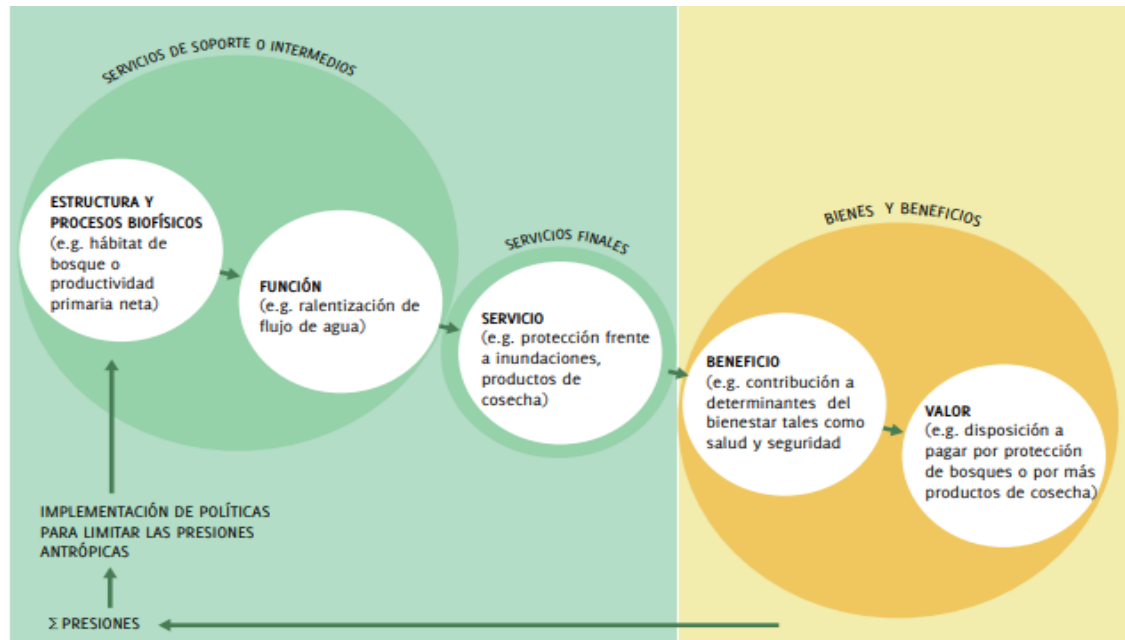


Figura 2. Marco Conceptual de Servicios Ecosistémicos: Cascada de SE.
Fuente: Haines & Potschin, 2010.

2.4 Aspectos de Gestión Integrada de Cuencas de Lagos

Lograr un equilibrio entre el uso de los recursos hídricos y las necesidades humanas, constituye el foco principal de la gestión de los recursos hídricos y se debe tener en cuenta tanto aspectos ambientales, como socioeconómicos y legales para regular el uso y deterioro de los recursos hídricos, aspectos que están estrechamente vinculados entre sí (UICN, 2000). La Gestión Integrada de Cuenca de Lagos, de sus siglas en inglés ILBM (Integrated Lake Basin Management) es un enfoque promovido globalmente por el ILEC (International Lake Environment Committee) y se basa en las lecciones aprendidas de un estudio realizado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial - Lake Basin

Management Initiative (GEF-LBMI), donde se seleccionaron diversas cuencas lacustres para estudiar una diversidad de sistemas acuáticos con diferentes condiciones climáticas, tamaños, problemas, jurisdicciones políticas y desafíos para su gestión (ILEC, 2007).

La cuenca hidrográfica, es la unidad territorial más aceptada para la gestión integrada de los recursos hídricos (Aguirre, 2011), ya que es un área geográfica cuyas aguas superficiales vierten a una red hidrográfica común, constituyendo un cause mayor que puede desembocar en un río principal, lago, y/o directamente al mar (Aguirre, 2011) (Figura 3). En general, debido a que los lagos suelen tener ríos, tanto afluentes como efluentes, una cuenca lacustre puede caracterizarse como una combinación compleja de aguas lénticas y lólicas y, esta distinción entre las dos es de gran importancia para el manejo del lago (ILEC, 2007).

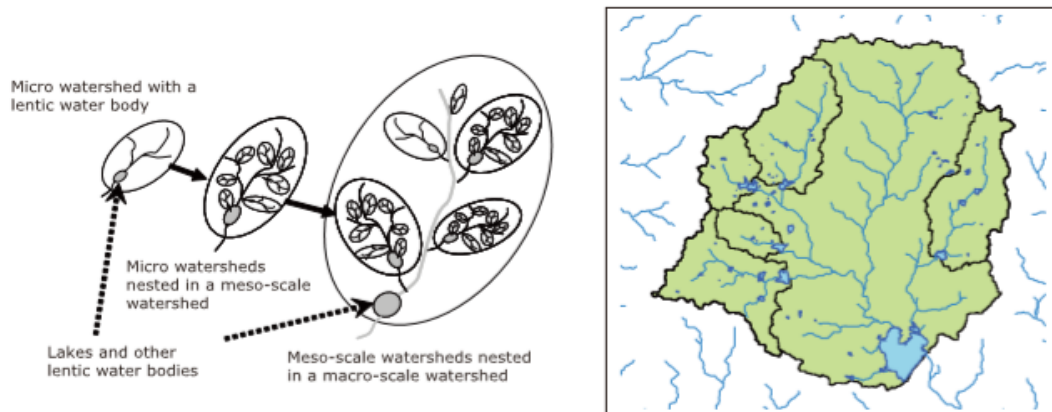


Figura 3. Estructura de una cuenca hidrográfica lacustre.
Fuente: ILEC, 2007.

El ILEC establece que para lograr la mejora integral de la gobernanza de la cuenca se deben aplicar 6 pilares (Figura 4): (1) instituciones a cargo de la administración del lago, su cuenca y los recursos del sistema acuático; (2) políticas para regular el uso antrópico de la cuenca y determinar sus impactos; (3) participación de la comunidad en el manejo de la cuenca del lago y toma de decisiones; (4) tecnología para mejorar la gestión del recurso hídrico y control de eutrofización de lago considerando sus posibilidades y limitaciones; (5)

información y difusión del conocimiento científico que ayude a los interesados a comprender problemas y proteger el lago; (6) financiamiento de las actividades para generar el manejo sostenible y conservación del lago a largo plazo y, llevar a cabo las actividades mencionadas anteriormente (ILEC, 2007; RCSE & ILEC, 2014). Cuando uno o más de estos pilares no se aplican de forma correcta, el modelo de gestión integrado no funciona adecuadamente y, por lo tanto, no se consigue la gobernanza de la cuenca del sistema acuático y el proceso se repite hasta que los 6 pilares estén en pleno funcionamiento (Retnaningsih, 2015).

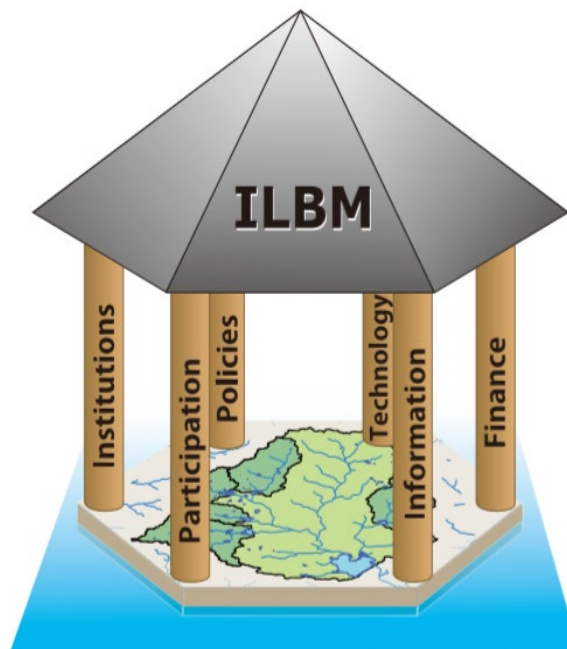


Figura 4. Pilares fundamentales de la Gestión Integrada de Cuencas de Lagos.
Fuente: ILEC, 2007.

El ILBM se enfoca en tres características propias de los sistemas acuáticos lénticos, que deben tenerse en cuenta en los planes de gestión (ILEC, 2007). Estas características corresponden a:

- i. Integración de la naturaleza: Los lagos reciben contaminantes desde sus cuencas de drenaje y más allá, todas las entradas de contaminantes son difundidas en la columna de agua, por lo tanto, la naturaleza integradora de un

lago significa que tanto los recursos y los problemas se comparten en todo el lago y se requieren medidas de gestión independientes de la existencia de fronteras administrativas.

- ii. Largo tiempo de retención: Los lagos tienen la capacidad de mantener sustancias por un largo periodo de tiempo, actuando como sumideros de muchos materiales, por lo que pueden mantener grandes cantidades de contaminantes sin mostrar cambios inmediatos. Esto significa que cuando un lago se perturba, puede llevar mucho tiempo restaurarlo o rehabilitarlo y no necesariamente responden a la gestión a escala de tiempo humana. Por lo tanto, las instituciones involucradas en el manejo de la cuenca del lago deben tener un compromiso para acciones sostenidas y financiamiento a largo plazo, además, de tener un enfoque precautorio en sus políticas.
- iii. Dinámica de respuesta compleja: Los lagos tienen una respuesta no lineal a cambios o perturbaciones, la respuesta ante la presión que afecta al lago puede no ser evidente hasta que la concentración de nutrientes sea alta y cambie su estado trófico. Se requiere la aplicación del principio de precaución e investigaciones científicas para desarrollar soluciones a estos problemas.

Los casos de aplicación del ILBM en diferentes partes del mundo están en distintas etapas de desarrollo (Tabla 1). En Malasia, Nepal y Filipinas, la gestión de sistemas lacustres en base al modelo ILBM se ha realizado en colaboración con instituciones de gobierno nacional, de tal manera de tener un marco general para la gestión de cuencas. En algunos países, los programas de gestión de cuencas han sido enfocados a intervenciones en estructura que en mejorar la gobernabilidad de la cuenca (RCSE & ILEC, 2014). Pero en todos los casos, se establece que el ILBM dispone una interconexión entre las organizaciones gubernamentales, no gubernamentales y, la comunidad, mejorando la gestión lacustre mediante funciones proactivas de partes interesadas que convergen con las iniciativas gubernamentales.

Tabla 1. Casos de estudio ILBM, principales problemáticas y manejo de cuenca.

Cuenca	Característica	Presiones	Actividades ILBM	Dificultades/Limitaciones
Cuenca del Lago de Chapala, México ¹	Abastece a Ciudad de México (cuenca alta) y Guadalajara (cuenca baja).	Especies invasoras. Contaminación por agroquímico y metales pesados. Excrementos de ganado. Aguas residuales.	Primer Taller Latinoamericano sobre ILBM – 2008	Participación de los interesados por conflictos en usos. Dificultad para promover y consolidar la gestión integrada.
Cuenca del Lago Malawi, África ²	Mayor biodiversidad de peces de agua dulce en el mundo (Bootsma y Hecky, 1999).	Cambio uso de suelo, deforestación. Incendio forestal descontrolado. Contaminación agrícola. Sobreexplotación de los peces. Extracción de agua para el riego.	Acceso a agua potable Acceso servicio de saneamientos Control contaminación fuentes puntuales (alcantarillado e industrial) Rehabilitación de humedales	Cuenca trasfronteriza: Malawi, Mozambique y Tanzania.
Cuenca del lago Rupa, Himalaya de Nepal ³	Designado Sitio Ramsar en 2009.	Vulnerabilidad al Cambio Climático. Extracción de agua para riego. cambio de uso de suelo a zonas agrícolas y deforestación. Escorrentía de tierras agrícola. Aguas residuales sin tratamiento.	Manejo de residuos sólidos y tratamiento de la contaminación Plan de reforestación Control de malezas hidrófitas	Baja incorporación de la comunidad en la gestión del lago.
Lagos Indonesia ⁴	Producción energía eléctrica; abastecimiento agua potable; importancia cultural y espiritual comunidades indígenas.	Proyectos hidroeléctricos. Cambio de uso de suelo. Contaminación por agrotóxicos. Sobreexplotación de recursos hídricos.	Primera Conferencia Nacional de Lagos de Indonesia Gestión de floración algal Gestión del uso del suelo crítico; Reducción de nutrientes de entrada Implementación de agricultura sostenible.	Gobernanza, en particular sobre las políticas y las finanzas.

Fuente: Elaboración propia.

3. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio: Cuenca de la laguna Rayenantú

Desde una perspectiva hídrica, Chile posee 101 cuencas hidrográficas, encontrando 1.251 ríos y 12.784 cuerpos de agua, entre lagos y lagunas (DGA, 2016). La mayoría de estos lagos y lagunas en los que se ha estudiado su condición trófica, se ubican en la zona centro sur de Chile, lo que evidencia la falta de información de los sistemas lacustres en las zonas donde tienen mayores presiones por sus usos. Se ha observado un gradiente latitudinal de las condiciones tróficas entre las zonas centro-sur de Chile. Los ecosistemas lacustres ubicados entre la cuarta y octava región, presentan una condición entre mesotrófica a hipereutrófica, aumentando su calidad hacia el sur. Además, el gradiente altitudinal muestra que los sistemas acuáticos ubicados entre la Cordillera de los Andes y el valle central tienen un mejor estado trófico que los ubicados hacia la costa (DGA, 2014).

En la región del Biobío, específicamente en la provincia de Concepción, existe un patrimonio único en Chile debido a la riqueza de lagunas ubicadas en el área urbana del Gran Concepción, que destacan por su potente atractivo (Parra, 1989). Sin embargo, estos sistemas acuáticos han sido encerrados en el paisaje urbano de la ciudad, muchas de ellas en peligro de desaparecer por la presión del desarrollo inmobiliario y la eutrofización cultural. En la Figura 5, se muestra el índice de estado trófico de los principales cuerpos de agua de la provincia de Concepción incluyendo a la laguna Rayenantú de Santa Juana, objetivo de este estudio. Se comparan dos variables ambientales que determinan el estado trófico de los sistemas acuáticos y se observa que la laguna Rayenantú se encuentra entre los sistemas con un estado trófico más degradado en comparación con los sistemas acuáticos del Gran Concepción, tanto para las variables fósforo total (PT) y disco Secchi (DS).

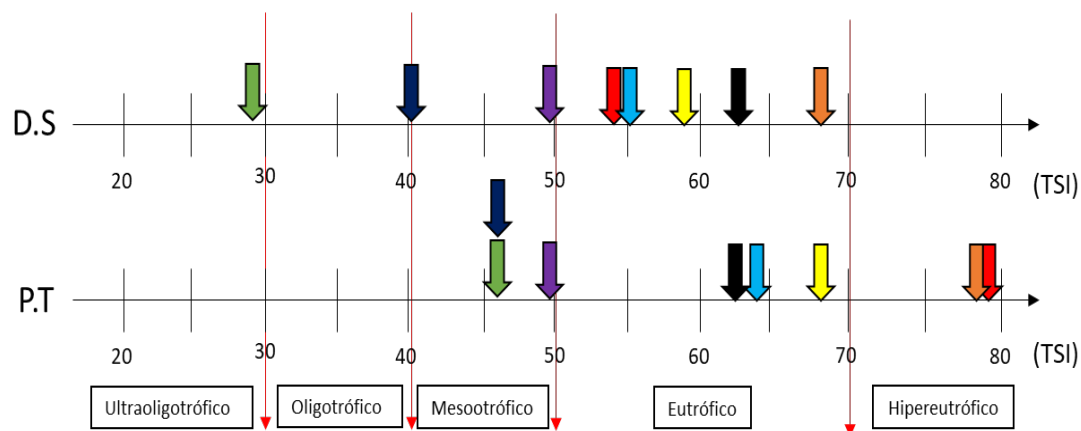


Figura 5. Índice de estado trófico (TSI) de los Principales lagos urbanos del gran Concepción, incluida L. Rayenantú (rojo). L. Redonda (Morado), L. Tres pascualas (celeste), L. Lo Galindo (Naranja), L. Lo Méndez (Negro), L. Lo Custodio (amarillo), L. Grande de San Pedro de la Paz (Azul), L. Chica de San Pedro de la Paz (verde).

Fuente: Codelia, 2017.

La laguna Rayenantú se encuentra en la zona residencial de la comuna Santa Juana, emplazada en la provincia de Concepción, región del Biobío. Además, se encuentra ubicada en la ribera sur del río Biobío, a una distancia de 50 km de la capital regional. Esta comuna posee una superficie de 731 km², de los cuales 3,2 km² corresponden a superficie urbana (PLADECO, 2012) tratándose de una de las comunas más extensas de la Provincia de Concepción. El origen de la comuna se debe a la fundación del fuerte Santa Juana de Guadalcazar en 1626, sin embargo, la comuna fue creada en 1891 luego de convertirse progresivamente en un área poblada. En cuanto a la demografía (Tabla 2), presenta una población de 13.749 habitantes según el Censo de población 2017, donde un 30,2% corresponde población rural y un 69,8% a población urbana. Con respecto a las actividades económicas, el 20% trabaja en sector económico primario (agricultura, ganadería, pesca, minería), el 5% en sector secundario industria, artesanía, construcción), y 75% en sector terciario (servicios educativos, transporte, comercio).

Tabla 2. Evolución de la demografía comuna de Santa Juana.

Categoría	1992	2002	2017
Urbano	5429	7095	9594
Rural	6528	5618	4155
Total	11957	12713	13749

Fuente: BNC, 2018.

La principal actividad económica de la comuna lo constituye la actividad forestal, representando el 57% de la superficie comunal (Figura 6). Los bosques nativos representan el 28% de la superficie total para uso forestal, encontrándose en pequeños y dispersos parches, destacando los remanentes de bosque nativo caducifolio en sectores de relieves montañosos costeros. El sector agrícola corresponde al 21% de la superficie, enfocándose principalmente en producción cultivos de hortalizas para autoconsumo y excedentes para la venta. La actividad industrial se encuentra en un bajo desarrollo y se centra en la complementación del sector forestal y, sector agroindustrial, mediante aserraderos, producción vitivinícola y producción de miel, estos últimos a nivel de microproductores (PLADECO, 2012).

Con respecto a los recursos hídricos de la comuna, destaca la presencia del río Biobío como principal elemento natural que bordea la comuna en su límite norte. Mientras que la laguna Rayenantú corresponde al único sistema lacustre de Santa Juana, representando un importante reservorio de agua. En este sentido, la presencia de cuerpos lacustres urbanos presenta importantes ventajas tales como el abastecimiento de agua en caso de ocurrencia de emergencias naturales.

Esta laguna presenta una leyenda de la zona de la cual se puede explicar el origen de su nombre “flor asoleada”, la cual señala que este cuerpo acuático, en conjunto con la laguna Rayencura (“flor entre piedras”) se formaron al transformarse ambas en vertientes en donde fueron enterrados dos jóvenes enamorados por separado, según lo establecido por Espinoza (2018).

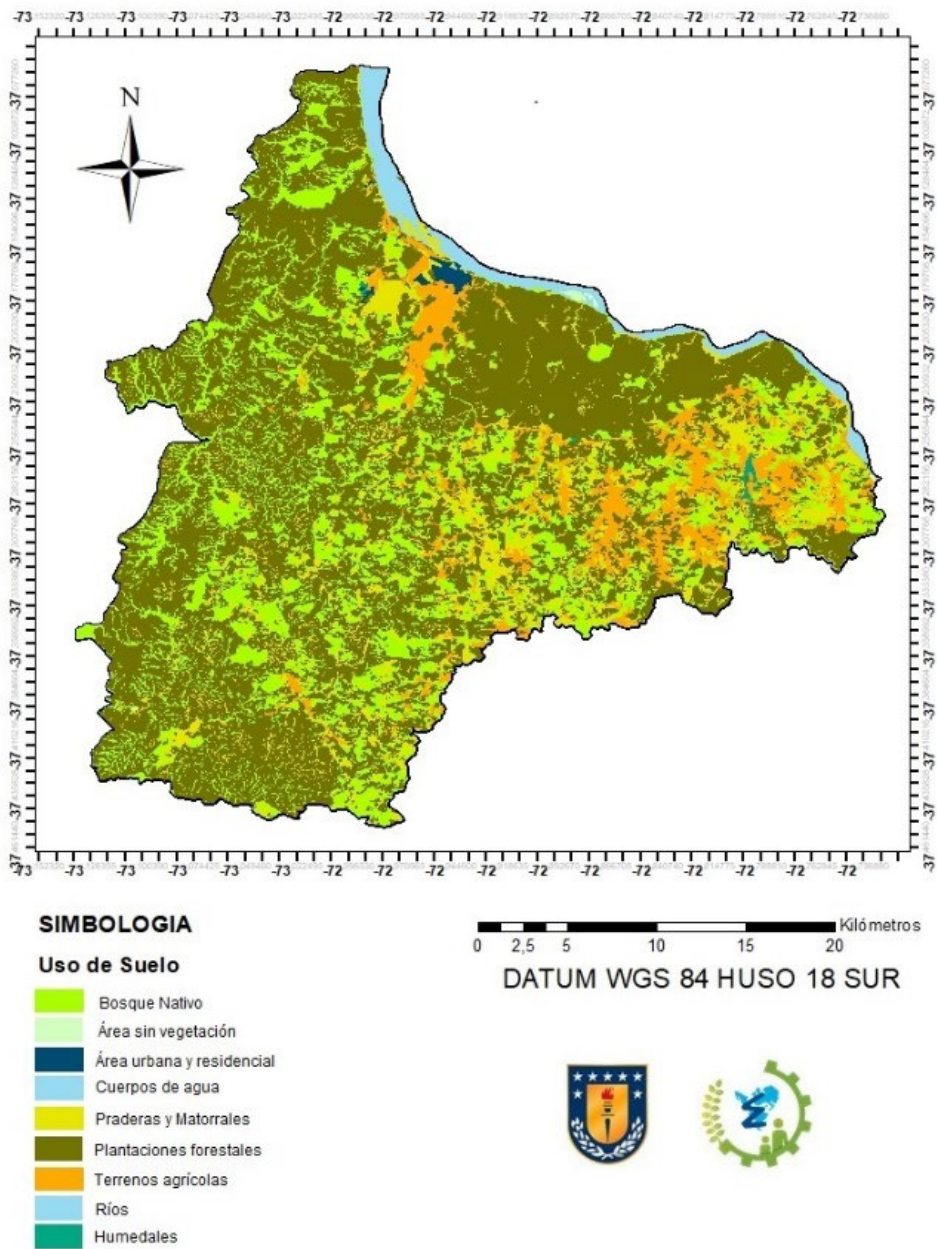


Figura 6. Usos de suelo Comuna Santa Juana.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAF, 2015.

3.2 Caracterización de las condiciones ambientales y antrópicas de la cuenca de la laguna Rayenantú

La laguna Rayenantú se localiza en la comuna de Santa Juana, Región del Biobío, ubicada a un costado del parque recreacional y fuerte histórico de Santa Juana, e inmersa en la zona residencial de la comuna, que ha experimentado un rápido crecimiento demográfico en las últimas décadas presentando diversas presiones antrópicas que degradan su estado trófico, entre ellas se encuentran las podas de jardines en época primaveral que terminan en el cuerpo acuático, el retiro de plantas acuáticas que se depositan en las riberas que reingresan, contribuyendo al aumento de nutrientes de la laguna (Codelia, 2017). Este sistema acuático representa uno de los mayores atractivos turísticos de la zona, debido a que provee importantes SE a la comunidad destacando aquellos de carácter cultural, debido a su belleza escénica y aptitud para deportes acuáticos, incluidos el club de kayak de la zona.

Con respecto a la morfología de la laguna Rayenantú, Codelia (2017) establece la profundidad máxima de 14,3 m, con una longitud máxima de 291 m, un área superficial de 3580 m² y un volumen total de 256171 m³ (Tabla 3). Con respecto al origen la laguna Rayenantú existe poca información, así mismo con sus procesos ecológicos. Se establece que la Laguna Rayenantú al estar separada del mar es clasificada como lago (Strahler & Strahler 1989), a pesar de su pequeño tamaño y profundidad (Codelia, 2017).

Tabla 3. Principales características morfométricas del lago Rayenantú.

Área (m ²)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Perímetro (m)	Latitud	Longitud	Volumen (m ³)	Altura (msnm)
3580	291	183	14,3	804,13	682657 E	5884256 N	256171	40

Fuente: Codelia, 2017.

La Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del proyecto de equipamiento turístico ingresado al SEIA en 2013, Habilitación Paseo Laguna Rayenantú, Santa Juana, realizó un estudio técnico de la laguna Rayenantú donde se establece que el sistema acuático “presentó una columna de agua semiturbia, con abundante vegetación en ribera y alta cantidad de desechos orgánicos detectados en algunos sectores de la ribera sur de la laguna. También se apreció visualmente la presencia de hidrocarburos en la ribera sur” (M&W Ambientales, 2003). En cuanto al componente biológico, la fauna íctica está representada principalmente por especies introducidas dominantes con alta tolerancia al estrés ambiental, mientras que la flora acuática ribereña que se detectó es cosmopolita e indicadora de altos niveles de trofia. Por lo tanto, el sistema se encuentra con una alta intervención antrópica producto del uso que realiza la comunidad en su entorno, relacionada principalmente con actividades de recreación y residenciales.

Codelia (2017), realizó el estudio “Caracterización limnológica de la laguna Rayenantú, Santa Juana, Chile”, donde se analizó la calidad de agua en distintas estaciones temporales en 2017. Este estudio estableció que el sistema presenta una profundidad mayor en relación a su área, por lo tanto, el sistema se estratifica con facilidad. El efecto la estratificación está dada por la disminución en la concentración de oxígeno en las masas de agua inferiores, que es consumido por la degradación de materia orgánica y, tanto el amonio como el nitrito pueden acumularse en la capa inferior o hipolimnion (Wetzel, 2001).

Los resultados de las variables ambientales en la laguna Rayenantú obtenidos en los muestreos realizados en este estudio, permitieron establecer que el sistema se encuentra en un estado trófico que varía desde eutrófico a hipertrófico, según las clasificaciones internacionales propuestas por Carlson (1977) y la OCDE (1982), además, del propuesto por la CONAMA (2004).

3.3 Caracterizar las fuentes aportantes al sistema lacustre

3.3.1 Delimitación de la cuenca hidrográfica e Identificación de tributarios

La delimitación de la cuenca de la laguna Rayenantú se realizó mediante un análisis de Modelos de Elevación Digital (DEM) obtenidos del Ministerio Vivienda y Urbanismo (MINVU), mediante el Informe “Imágenes y Cartografía Base para el área Metropolitana de Concepción, Región del Biobío”, con una resolución 5m. Esta información fue digitalizada en el programa ArcGis 10.1 y, proyectada a UTM con huso 18 y datum de referencia WGS1984.

La identificación de los tributarios se realizó en base al Análisis DEM. Esta información se complementó con visitas a terreno para identificar la existencia de los tributarios mediante un recorrido perimetral de la cuenca.

El análisis hidrogeoquímico se realizó mediante la toma de muestras de aniones CO_3H^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- ; y cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , correspondiente a los iones más representados en este análisis (González, 2011), siguiendo la metodología establecida en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1988) en las estaciones definidas: E1 río Huedihue en Puente Vaquería, E2 río Biobío, E3 laguna Rayenantú, y E4 afloramiento de aguas subterráneas (Figura 7). Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de Ensayos del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile y, los resultados se ingresados al programa EASY-QUIM.4 (2002) para la elaboración de un Diagrama de Piper, el cual corresponde a un gráfico que representa comparaciones entre varios puntos de muestreos, entregando información de las concentraciones de los macroelementos (González, 2011).



850 425 0 850 Metros



SIMBOLOGÍA

- E1 Estero Huedihue
- ◆ E2 Río Biobío
- ▲ E3 L. Rayenantú
- E4 Afloramientos subterráneos

DATUM WGS 84 HUSO 18 SUR



Figura 7. Localización estaciones de muestreo análisis hidrogeológico.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Actividades antrópicas en la cuenca

La identificación de las actividades antrópicas desarrolladas en el área de estudio que generan un aporte de nutrientes, se realizó mediante un análisis cartográfico de uso de suelo obtenido del Catastro vegetacional de CONAF (2015). Se procedió a calcular la superficie de cada uso de suelo mediante un análisis de coberturas de suelo en ArcGis 10.1. A modo de ver la progresión del uso de suelo, se realizó un análisis de fotointerpretación de imágenes satelitales en distintos periodos obtenidas de Google Earth Pro. Además, se realizaron recorridos perimetrales a la laguna para determinar la existencia de descargas de agua a la laguna y la existencia de fosas sépticas y pozos negros.

3.3.3 Caracterización del estado trófico

En cuanto a la descripción del estado trófico del sistema lacustre, se realizó un análisis de las variables físico-químicas seleccionadas, resumidas en la Tabla 4. Los parámetros nitrógeno total (NT), fósforo total (FT), DBO₅, se tomaron según la metodología establecida en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1988) y fueron analizadas en el laboratorio de Ensayos del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. Además, se midieron parámetros físico-químicos *in situ*: temperatura, pH, conductividad y OD, mediante la sonda multiparamétrica Hydrolab Quanta. Se determinó el estado trófico mediante los índices propuestos por la Guía para el desarrollo de Norma Secundaria de Protección de las aguas superficiales (CONAMA, 2004).

Tabla 4. Parámetros para determinar estados tróficos de los lagos chilenos.

Elementos o Compuestos	Unidad	Estado Ultraoligotrófico	Estado Oligotrófico	Estado Mesotrófico
Clorofila <i>a</i>	µg/L	<1	3	10 (15)
DBO ₅	mg/L	<1	5	20
Fósforo total	µg/L	<5 (7,5)	10 (10)	20 (30)
Nitrógeno total	µg/L	<60 (300)	250 (450)	400 (750)
Productividad Primaria	mg C/m ² año	<30	80	250
Transparencia (disco Secchi) ¹	M	>20 (12)	10 (6)	5 (3)

Fuente: CONAMA, 2004.

NOTA: Los valores señalados en esta tabla serán válidos para los lagos araucanos y nord-patagónicos. Para otros cuerpos lacustres los valores se expresan entre paréntesis no asignándoles valores a todos los compuestos o elementos. ¹= Expresado en términos de valor mínimo.

3.4 Caracterización de partes interesadas

Se consideró métodos de investigación social cuantitativa a la comunidad con respecto a la gestión de la laguna Rayenantú, donde se aplicó a distintos grupos de interés: (I) Comunidad ribereña: personas cuyas viviendas colindan directamente con la laguna; (II) Grupos deportivos: tales como la asociación del Kayak de la laguna Rayenantú que realiza actividades deportivas de contacto directo; (III) Recintos educacionales: comunidad escolar y cuerpo de profesores de la comuna; (IV) Municipalidad de Santa Juana: principal autoridad de Santa Juana y encargado de administrar los Bienes Nacionales de Uso Público de la comuna.

La encuesta se diseñó con 16 preguntas estructuradas donde se recopiló información de los tributarios, los usos de suelo en la laguna y SE culturales. Un objetivo importante fue determinar la existencia de tributarios no identificados en la visita a terreno y obtener un catastro del total de actividades que se realizan en la cuenca. Además, a la comunidad que colinda directamente con la laguna, se les realizó tres preguntas adicionales. Esta encuesta se analizó mediante un procesamiento estadístico elemental calculando la frecuencia de las respuestas y sus respectivos porcentajes, según lo establecido por Taylor y Bogdan (1986).

3.5 Determinar los Servicios Ecosistémicos

Se realizó una búsqueda de indicadores de SE culturales que se obtienen de la cuenca de la laguna Rayenantú mediante la consulta a fuentes de información de organismos oficiales que entregan información a distinta escala temporal. Debido que la información se encuentra a nivel administrativo, se realizó la evaluación de los indicadores a escala comunal. Los SE culturales analizados corresponden a recreación y turismo, educación ambiental, conocimiento científico, e identidad cultural, de los cuales se evaluó la tendencia de cada indicador (Tabla 5), considerando la pendiente y dirección de los datos temporales que se tuvo

información (Díaz, 2017): mejora (↑), leve mejora (↗), mejora y/o deterioro (±), no experimenta cambio (↔), leve deterioro (↘), deterioro (↓) y desconocido (~). Esta información fue complementada con métodos de investigación social cuantitativa, determinando la percepción de la comunidad respecto a los SE culturales de la laguna Rayenantú.

Tabla 5. Indicadores de servicios ecosistémicos culturales.

Subtipo SE	Indicador	Fuente
Recreación y ecoturismo	Número de empresas registradas como hoteles y restaurantes	Reportes Estadísticos Comunales, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, https://reportescomunales.bcn.cl/
	Ingreso monetario de fiestas y eventos	Reportes comunales, PLADECO, PLADETUR.
	N° fiestas costumbristas	Reportes comunales, PLADECO, PLADETUR.
Educación Ambiental	N° de proyectos presentados al Fondo de Protección Ambiental	Fondo de Protección Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente, http://www.fpa.mma.gob.cl/
Conocimiento científico	Artículos científicos relacionados	SCOPUS Palabras claves: "SANTA JUANA"
	Número de tesis Relacionados	Catálogo Universidades
Identidad cultural	Publicidad de eventos recreativos y fiestas costumbristas	Página Municipalidad Santa Juana http://www.santajuana.cl/category/eventos/

Fuente: Modificado de Díaz, 2017.

3.6 Caracterizar el marco legal e institucional para el manejo hídrico de la cuenca de la laguna Rayenantú

3.6.1 Revisión de la normativa ambiental

Se realizó una revisión de los principales cuerpos normativos en materia ambiental e instrumentos de gestión territorial para identificar aquellas normativas que sean aplicables a la gestión de recursos hídricos y gestión de cuencas.

3.6.2 Revisión de la Institucionalidad ambiental

En cuanto al componente institucional, se realizó un levantamiento de información específica de cada organización con competencias en la gestión de recursos hídricos a nivel nacional, regional y local, para visualizar las condiciones en las que se ejercen las actividades planificadas, su función, entre otras.

3.7 Determinar las metodologías para el control de la eutrofización

Se identificaron metodologías de control de eutrofización mediante revisión bibliográfica. Estas metodologías no eliminan las fuentes de contaminación, si no que se consideran medidas para disminuir los efectos de la degradación y todas presentan ventajas como desventajas, por lo que es necesario seleccionar e integrar varias de ellas de acuerdo con las condiciones propias del lago en estudio, los requerimientos técnicos y la disponibilidad económica.

La elección de estos métodos depende de las características propias del sistema lacustre, por ejemplo, de la profundidad del cuerpo acuático, el estado trófico, los recursos disponibles, entre otros.

3.8 Elaboración de la propuesta de gestión integrada de cuencas

Para esto, se realizó la evaluación de las diversas alternativas de control integrando los pilares fundamentales del ILBM: Información, Políticas, Institucionalidad, Participación, Tecnología y Financiamiento, contemplando los requerimientos técnicos y físicos de los mecanismos de control de la eutrofización. Se realizará un diseño de un plan de acción específico para los requerimientos de la laguna Rayenantú, siguiendo la metodología establecida por RCSE & ILEC (2014) y Gattenlöhner *et al.* (2004) (Figura 8).

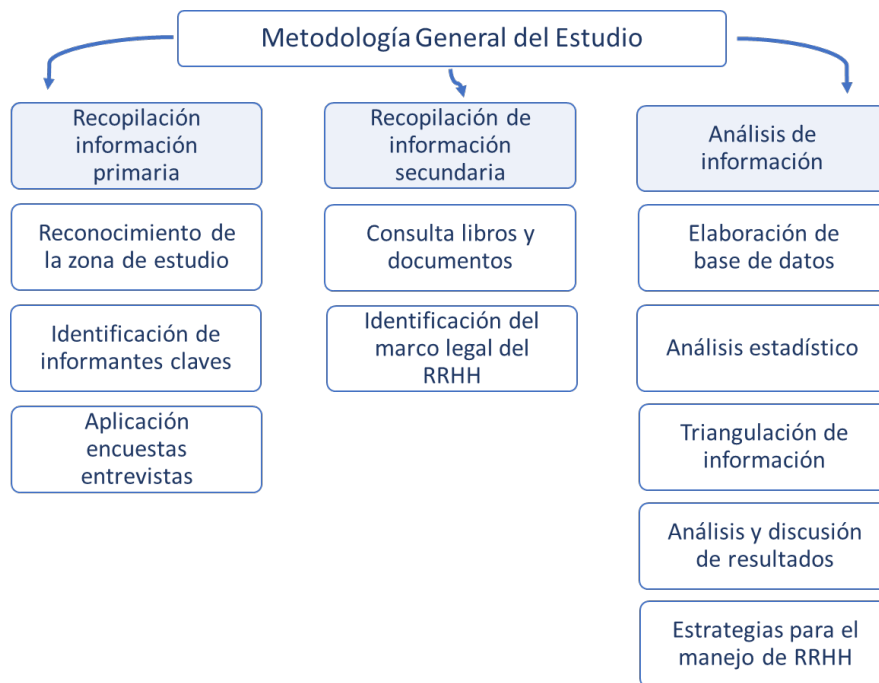


Figura 8. Aproximación metodológica para la Gestión Integrada de Cuencas

Fuente: Madroñero & Jiménez, 2006.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Condiciones ambientales y antrópicas de la cuenca

La cuenca de la laguna Rayenantú se encuentra inmersa en la zona urbana de la comuna de Santa Juana (Figura 9), con una superficie total de 252,29 ha. Además, se encuentra situada en la terraza de inundación de la ribera sur del río Biobío constituida por arenas negras tipo Laja, compuestas por basaltos y sedimentos piroclásticos (Jaque, 1990), que corresponden a depósitos fluviales que fueron transportados desde el sector andino (Peña,1995) producto de erupciones volcánicas del Holoceno (Jaque, 1990).

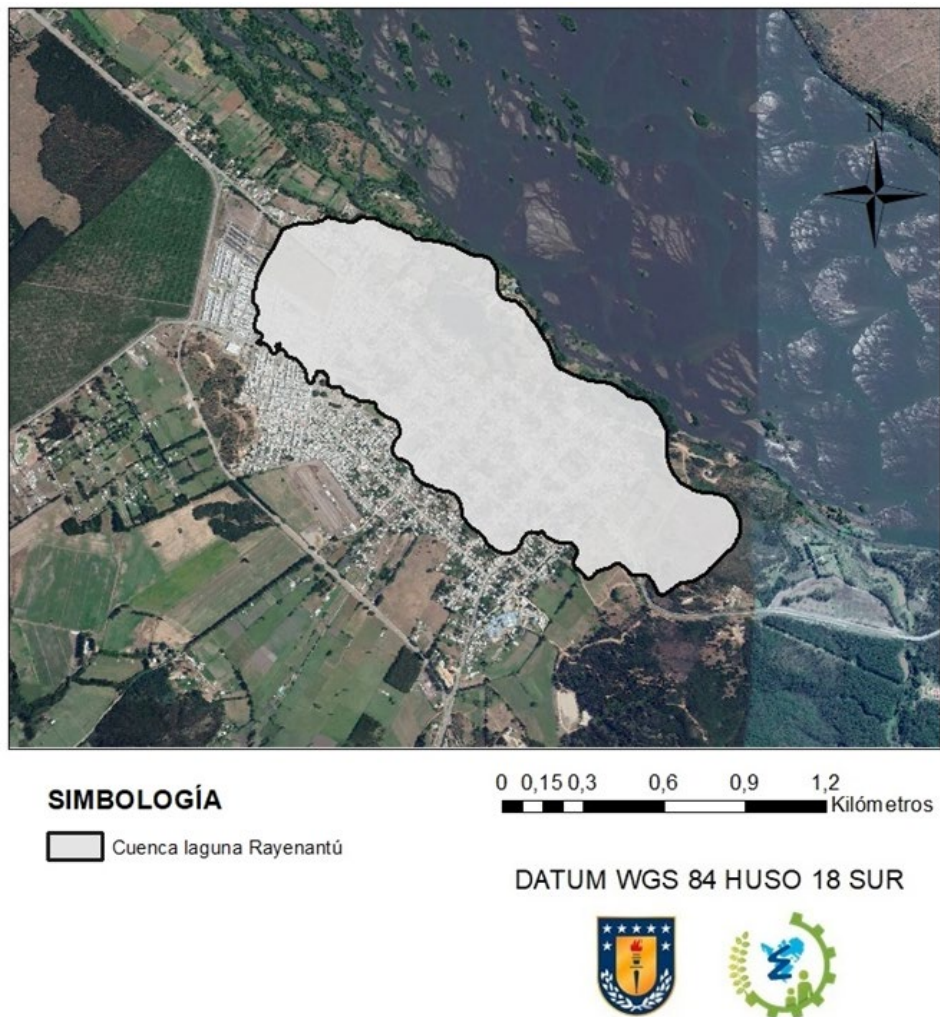


Figura 9. Delimitación de la cuenca de la laguna Rayenantú.

4.2 Actividades antrópicas de la cuenca

Las actividades que se desarrollan en la cuenca de la laguna se definen a través de sus usos de suelos, que según sus características intervienen la calidad de agua del sistema.

Se han podido definir distintos usos de suelo dentro de la cuenca de la laguna Rayenantú que se resumen en la Tabla 6. Estos se ven representados en su mayor parte por áreas urbanas con el 73,3% de la superficie total de la cuenca, inmersa en la zona residencial de la comunal, marcada por el rápido crecimiento demográfico y expansión urbana de las últimas décadas (Figura 10), en este sentido, la laguna presenta alta actividad urbana que presiona directamente la calidad de agua del sistema, siendo el principal contribuyente a la eutrofización cultural. La urbanización ha generado la modificación del área litoral de la laguna debido a la construcción de viviendas aledañas al sistema lacustre, donde la ribera suroeste se encuentra rodeada por zonas residenciales, un club deportivo náutico y el recinto hospitalario de la comuna, por otro lado, la ribera norte está constituida por un parque municipal donde se ubica la piscina municipal y el fuerte histórico Santa Juana de Guadalcazar.

Las fuentes puntuales de contaminación corresponden a la escorrentía superficial que llega a la laguna por medio de colectores de aguas lluvias que descargan en la laguna, donde se identificaron dos puntos de descarga (Figura 11). La descarga de la ribera sur constituye el sistema de colectores de aguas lluvias de la parte céntrica de la ciudad y cuenta con una cámara de inspección con decantación. Si bien se identificaron las fuentes puntuales, existe un ingreso de escorrentía superficial de forma difusa proveniente de la cuenca. Además, se observó la cobertura de servicios de aguas servidas en las viviendas aledañas a la laguna mediante una inspección en terreno junto a la Municipalidad de Santa Juana, con lo cual se verificó que estas se encuentran conectadas a la red de alcantarillado y, por lo tanto, se descarta la presencia de pozos negros en las

cercanías de la laguna que pudiesen ser un foco de contaminación. Con respecto a las podas del parque municipal y jardines privados utilizados como huertos, estos representan un importante aporte de materia orgánica al sistema, ya que los restos de materia orgánica son depositados en las riberas y pueden ser ingresadas por el arrastre de escorrentía superficial.



Figura 10. Evolución de la urbanización de la Comuna de Santa Juana.

El uso de suelo de la comuna Santa Juana no es representativo de los usos mayoritarios de la cuenca. En este sentido, las áreas destinadas a plantaciones forestales corresponden al mayor uso de suelo de la comuna, ocupando el 57% de la superficie de la comuna, donde el pino radiata (*Pinus radiata*) es la principal especie de uso forestal (PLADECO, 2012), contrastando con la superficie en la cuenca de la laguna, donde el mismo uso forestal representa un 6,7% de la superficie de la cuenca. Así mismo, las áreas urbanas representan el principal uso de suelo de la cuenca, sin embargo, corresponde a un uso minoritario en la comuna, representando un 0,3% de la superficie.



Figura 11. Principales afluentes y efluentes en la laguna Rayenantú.

Tabla 6. Usos de suelo comuna Santa Juana y cuenca laguna Rayenantú.

Uso	Superficie Comuna Santa Juana (ha)		Superficie Cuenca laguna Rayenantú (ha)	
	ha	%	ha	%
Áreas urbanas y residenciales	260,88	0,3	185	73,4
Terrenos agrícolas	5741,25	7,3	17,63	7
Praderas y matorrales	8531,72	10,8	29,32	11,5
Plantaciones forestales	45242,28	57,4	16,58	6,6
Bosque nativo	16712,12	21,2	-	-
Áreas sin vegetación	167,23	0,2	-	-
Ríos	2002,14	2,59	-	-
Cuerpos de Agua	3,76	0,01	3,76	1,5
Humedales	130,27	0,2	-	-
Total	78791		252	

4.3 Influencia del Fuerte Santa Juana de Guadalcázar

Existen evidencias que indican que la laguna Rayenantú ha estado marcada por la construcción del fuerte Santa Juana de Guadalcázar desde su fundación en 1626, durante el proceso de colonización española frente al alzamiento del pueblo mapuche (Torrejón, 2004). Este fuerte tenía por objetivo resguardar el valle de Catiray y el paso por el río Biobío, debido que este sistema fluvial representaba un aspecto fundamental en la estrategia colonial (Guarda, 1990), conformado un sistema de fuertes de la frontera del Biobío que dividía las tierras colonizadas por parte de los españoles (Espinoza, 2014).

Originalmente, el fuerte estaba construido por estacas que cumplían el objetivo de detener el levantamiento indígena (Venegas, 2010). En 1739 se realizaron modificaciones importantes en la estructura del fuerte “mejorando y pertrechando convenientemente la fortaleza y abriendo entre el río y una pequeña laguna situada a sus espaldas fosos profundos, que convirtieron al recinto en una isla”, observación realizada por Barros Arana respecto a los cambios que se originaron en el planteamiento de la Guerra de Arauco en el siglo XVIII (Espinoza, 2014). El fuerte Santa Juana ha sufrido varios procesos de reconstrucción a partir de esas modificaciones estructurales, principalmente tras el terremoto de 1751 donde sufrió severos daños estructurales. En las observaciones realizadas en el Informe de plazas Fronterizas del Reino de Chile en 1763, se detalla que “este fuerte se encuentra situado en la ribera del río Biobío, rodeado por una profunda laguna, de cuyos extremos corren dos fosos, que la hacen desaguar por la parte norte de dicho río, y por la parte sur, cuando este crece entran sus aguas por dicho foso, con lo que está circulando el agua dicho fuerte en los tiempos de avenida; y aun en verano por algunos manantiales”.

En los relatos mencionados anteriormente, se puede observar la importancia estratégica que representaba la laguna Rayenantú en el funcionamiento del fuerte, debido que, con la construcción de ambos fosos, el fuerte se convertía en un sistema aislado que limitaba las posibilidades de un ataque indígena (Espinoza, 2014), además, da indicios sobre la fuente de agua que recarga la laguna mencionando manantiales ubicados en su ribera. Estas afirmaciones indican que, desde la construcción del fuerte por parte de los españoles, la laguna Rayenantú se ha visto fuertemente alterada por modificaciones en su morfología debido a la implementación de fosos, los cuales se observan en la Figura 12 que muestra el plano del fuerte y la interacción entre los sistemas acuáticos que lo rodean, realizado por Juan de Ojeda en 1793. En este mapa histórico se puede observar el contraste que tuvo este fuerte, ya que, en 1759, Santa Juana correspondía a una fortaleza flanqueada a orillas del río Biobío y hacia el 1800 se convirtió en una villa, además, de una plaza fortificada, una construcción mayor respecto de un fuerte (Espinoza, 2014).

Actualmente, el fuerte fue declarado como Monumento Histórico por el D.S. N° 803/1977 del Ministerio de Educación tras reconocer su importancia como patrimonio histórico, por lo cual se encuentra bajo el resguardo del Consejo de Monumentos Nacionales. Sin embargo, tras el terremoto del año 2010 sufrió severos daños y a pesar que se encuentran aprobados recursos para su restauración, no se han podido realizar trabajos efectivos para su reconstrucción.

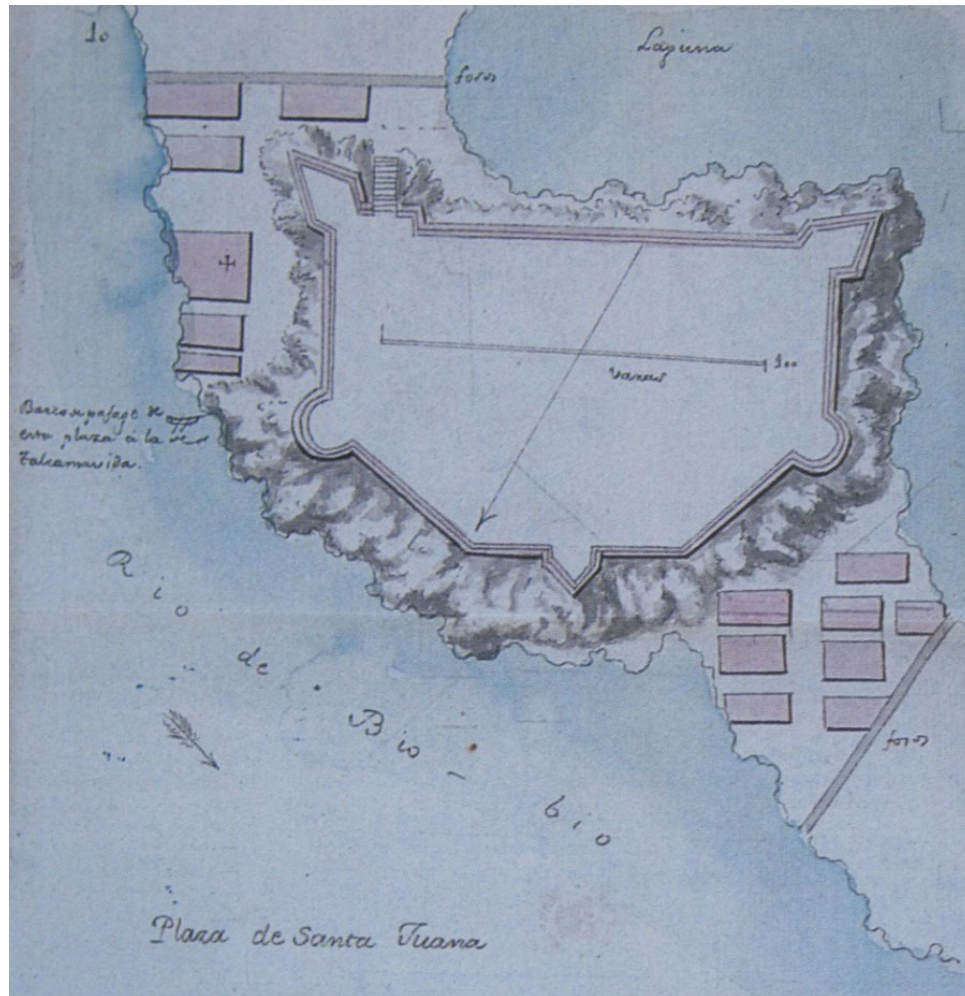


Figura 12. Plano del fuerte Santa Juana de Guadalcázar, 1793.

Fuente: Guarda, 1990.

4.4 Aportes de agua a la laguna Rayenantú

Se identificaron cuerpos de agua que pueden tener influencia en la dinámica hídrica de la laguna Rayenantú, donde se establecieron estaciones de muestreo para análisis químicos de iones (Tabla 7). Estos corresponden al Estero Huedihue en puente Vaquería (E1), río Biobío (E2) y afluentes subterráneos que tributan directamente a la laguna (E4). El estero Huedihue, a pesar de no encontrarse en la cuenca hidrográfica de la laguna, se consideró para establecer si corresponde a un aporte de agua subterránea.

Tabla 7. Concentraciones de aniones de las estaciones de muestreo.

Parámetros en Agua Superficial	Unidad	E1 Estero Huedihue	E-2 Río Biobío	E-3 L. Rayenantú	E-4 Afloram. subterráneo
Sulfato (SO_4^{2-})	mg/L	1,00	3,15	5,27	17,65
Cloruro (Cl^-)	mg/L	4,16	1,84	12,11	9,25
Bicarbonato (HCO_3^-)	mg/L	50,1	22	95,5	88,5
Nitrato (NO_3^-)	mg/L	0,352	0,467	0,007	9,33
Calcio (Ca^{2+})	mg/L	11,24	4,81	18,03	20,9
Sodio (Na^+)	mg/L	6,95	3,59	13,22	17,93
Magnesio (Mg^{2+})	mg/L	4,07	1,54	10,87	6,5
Potasio (K^+)	mg/L	0,8	0,58	3,79	10,33

La presencia de nutrientes estudiados en el análisis hidrogeoquímico, representados por NO_3^- , cuyos niveles son más altos en los afloramientos de aguas subterráneas, podría provenir de la meteorización del agua con la litología de la zona, o producto de las actividades antrópicas asociadas principalmente con actividades agrícolas. En este sentido, se establece un límite de concentración de 10 mg/l de nitrato como un parámetro indicador de impacto de las actividades antrópicas sobre las aguas subterráneas (Aguilera, 2010). Con respecto al sulfato (SO_4^{2-}), este podría provenir de las actividades antrópicas principalmente a la utilización de azufre en fertilizantes para producción agrícola, o la oxidación de sulfuros metálicos por drenaje ácido. Las mayores concentraciones de cloruro (Cl^-) en la laguna Rayenantú y afloramientos subterráneos, podrían estar relacionado con las precipitaciones, por litología de la zona, o contaminación antrópica mediante el aporte de cloruro de las plantas de tratamiento de origen rural, basurales y vertederos (Aguilera, 2010). Asimismo, se observa que el río Biobío presenta una baja concentración de cloruro (Cl^-), lo que nos indicaría que estas aguas son “jóvenes”, es decir, han tenido poca residencia e interacción con el suelo, esto tiene explicación en que el río Biobío recibe gran cantidad de aportes de deshielo desde el sector andino. Además, las altas concentraciones de bicarbonato (HCO_3^-) en la laguna

Rayenantú y afloramientos subterráneos, están dados por los escurrimientos de agua en contacto con materia orgánica o CO₂ atmosférico.

Por lo tanto, la presencia de los macroelementos Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio y Bicarbonato pueden estar asociados a la meteorización de las aguas con la litología de la zona o por aporte de las distintas actividades antrópicas, principalmente la actividad agrícola, lo cual debe confirmarse con un estudio de la geología de la zona para establecer las concentraciones intrínsecas de la litología (Aguilera, 2010). Los datos obtenidos de los análisis hidrogeoquímicos, indican que la laguna Rayenantú tiene una importante recarga de agua proveniente de acuíferos. Esta afirmación se puede establecer debido que la laguna Rayenantú mantiene las fluctuaciones del nivel del espejo de agua en verano e invierno. En el recorrido perimetral de la laguna se pudo observar la existencia de 4 afloramientos de aguas subterránea visibles que se encuentran en terrenos privados de la comunidad que colinda directamente con la laguna. Estos afloramientos pudieron haber surgido por contacto entre distintas litologías, erosión de sedimentos o dislocación tectónica, que generan una interrupción en el acuífero.

Con respecto al Diagrama de Piper (Figura 13), se puede observar que los macroelementos de los cuerpos de agua estudiados se concentran en el romboide izquierdo, lo que corresponde a aguas naturales constituidas por aguas Bicarbonatadas mixtas, que corresponde a composición típica de “aguas frescas”. Con respecto a los cationes, se establece que presentan concentraciones mixtas de magnesio (Mg²⁺), calcio (Ca²⁺) y sodio (Na⁺) y, en cuanto a aniones se encuentran representados por altas concentraciones de bicarbonatos (HCO₃⁻).

Las cotas de estos cuerpos de agua permiten establecer que la laguna Rayenantú presenta un mayor potencial hídrico que el río Biobío, debido a las diferencias de altura entre ambos espejos de agua, lo que nos indica que el acuífero podría aportar agua al río Biobío debido a la existencia de sedimentos permeables entre ambos cuerpos de agua, sugiriendo que el sistema correspondería a un acuitardo. Esto es contrario a las afirmaciones actuales que establecen que la laguna recibe recarga de agua proveniente del río Biobío, no obstante, se requieren estudios hidrogeoquímicos más profundos.

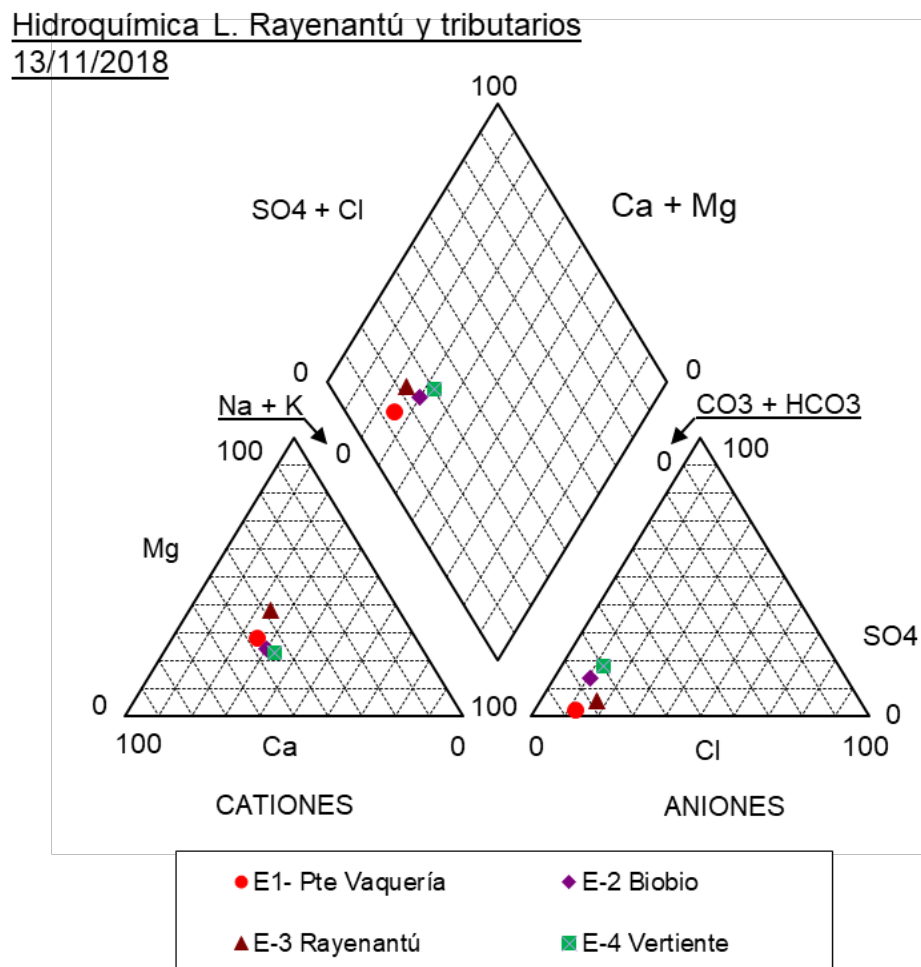


Figura 13. Diagrama de Piper de sistemas acuáticos en estudio (Muestreo 13/11/2018).

4.5 Estado trófico de la laguna Rayenantú

Debido a la presión del desarrollo antrópico en la cuenca, el sistema lacustre se ha deteriorado rápidamente conllevado a su avanzado estado de eutrofización. Los parámetros ambientales que influyen en el estado trófico de la laguna se muestran en la Tabla 8, los cuales fueron analizados para determinar el nivel de trofia del sistema en época de primavera-verano mediante el muestreo realizado en noviembre-2018, periodo donde se intensifica el proceso de eutrofización. Además, se muestran datos obtenidos por Codelia (2017) para observar la evolución trófica de la laguna Rayenantú.

Tabla 8. Resultado de variables ambientales 2017-2018.

Variables ambientales	Unidad	Mar-17	Ago-17	26 Oct-17	Superf. 31 oct-17	Fondo 31 oct-17	Nov-2018
pH	-	8,96	8,23	9,19	8,05	8,52	7,61
T	°C	24,1	10,5	20,7	17,6	10,6	21,62
Conductividad	µs/cm	208,00	225,30	235,2	283,00	514,00	200
OD	mg O ₂ /l	10,60	11,20	9,8	12,80	0,12	11,33
Amonio	mg/l	-	-	<0,02	<0,02	0,61	<0,02
Nitrato	mg/l	0,007	0,022	<0,005	0,013	0,906	0,07
Nitrito	mg/l	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Fosforo total	mg/l	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
Transparencia	m	1,20	-	1,30	1,25	-	1,20

Fuente: Elaboración propia con datos de Codelia, 2017

Con respecto a las clasificaciones del estado trófico propuesto por CONAMA (2004), Carlson (1977) y la OECD (1982), la laguna Rayenantú presenta un estado que varía de Eutrófico a Hipereutrófico para las variables ambientales de Fósforo total (PT) y Disco Secchi (DS) (Tabla 9). Al comparar los datos de las variables fisicoquímicas en los distintos periodos de muestreo (2017-2018), se puede establecer que el estado trófico se ha mantenido, principalmente en época primavera verano, donde se marcan diferencias de concentraciones en superficie y fondo.

Tabla 9. Estado Trófico según índices de clasificación.

Índice	Variable	Estado Trófico 2017	Estado Trófico 2018
CONAMA, 2004	PT	Eutrófico	Eutrófico
	DS	Eutrófico	Eutrófico
Carlson, 1977	PT	Hipereutrófico	Eutrófico
	DS	Eutrófico	Eutrófico
OECD, 1982	PT	Eutrófico	Eutrófico
	DS	Hipereutrófico	Hipereutrófico

Fuente: Elaboración propia con datos de Codelia, 2017

La laguna Rayenantú presenta un proceso de estratificación térmica en periodo primavera-verano, lo que impide que las masas de viento mezclen la columna de agua, formando masas de agua de distinta densidad producto de gradiente térmico. En este periodo disminuye abruptamente la concentración de OD en la columna de agua, lo que se ve intensificado por el aporte de materia orgánica proveniente de actividades antrópicas en la cuenca, donde el oxígeno es consumido por la oxidación química del nitrógeno, conllevando la permanencia del amonio en el estrato más profundo de la columna de agua, y que puede conllevar problemas con especies hidrobiológica, resultando en proliferaciones de microalgas y muerte masiva de peces.

Con los resultados de las variables ambientales medidas en la laguna Rayenantú, se puede observar que la laguna presenta un gradiente térmico debido a un diferencial de temperatura en su columna de agua, donde este parámetro disminuye conforme aumenta la profundidad del sistema, variando desde 21,62°C en superficie a 13,58°C a los cuatro metros de profundidad. Además, se observa que desde los tres metros de profundidad se encuentra la termoclina. Asimismo, se observa desde esta profundidad una disminución abrupta en la concentración de OD en la columna de agua, trasformando al hipolimnion una zona anóxica (Figura 14). Según lo establecido por la NCh 1333 Of. 78, el valor mínimo de transparencia de sistemas lacustres para actividades de uso de

contacto directo corresponde a 1,2 m, por lo tanto, según este parámetro la laguna Rayenantú en encuentra apta para actividades de contacto directo. En cuanto a las concentraciones de OD, establece que los valores mínimos corresponden a 5 mg/l para uso del agua para vida acuática, sin embargo, la laguna Rayenantú presenta un estado de anoxia en el hipolimnion a partir de los tres metros de profundidad, por lo cual no es inconveniente para las actividades que se realizan en superficie. Sin embargo, no sabemos si existen informes del SNS respecto otras variables sanitarias como las Coliformes fecales que autorizan sus usos como tal.

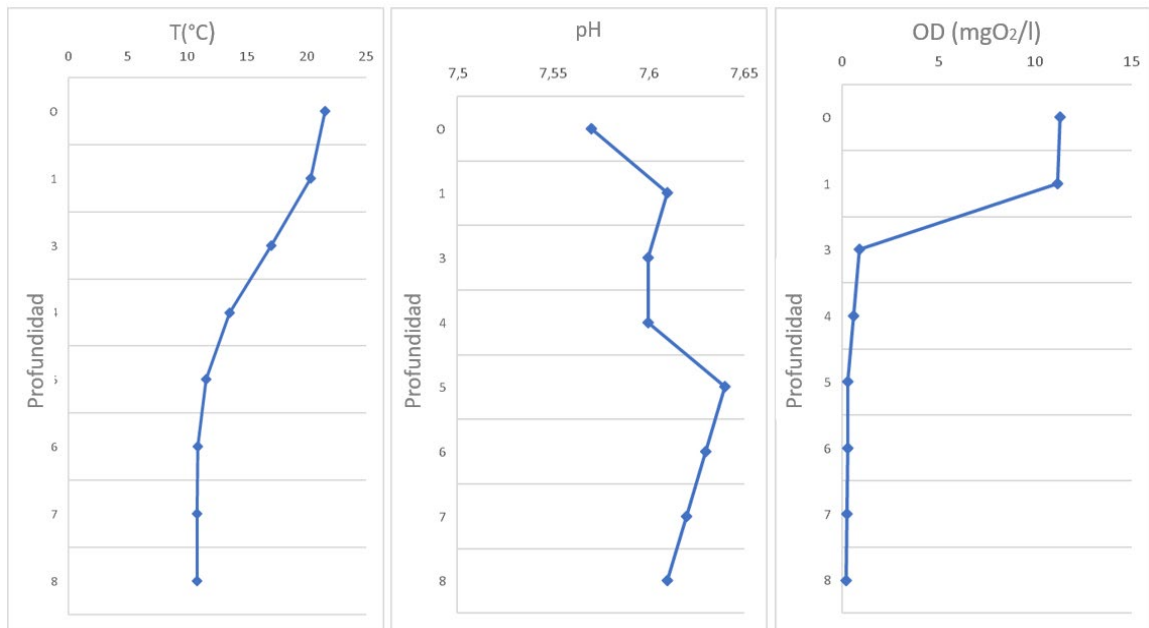


Figura 14. Gradiente térmico, pH, y concentración de OD medidas insitu. Muestreo 13/11/2018.

4.6 Partes Interesadas y “stakeholders”

Los actores identificados que intervienen en la gestión de la laguna Rayenantú y su cuenca, se pueden clasificar en dos grupos que se diferencian en las responsabilidades y distancia con respecto al sistema lacustre (Tabla 10). Estos corresponden a i) Actores Directamente Involucrados (ADI): comunidad que por su proximidad a la laguna son los principales afectados, se encuentra la comunidad que colinda directamente con la laguna, colegios aledaños, el Club de canotaje Cendyr Náutico Rayenantú y juntas de vecinos (Figura 15); y ii) Actores Indirectamente Involucrados (AII): instituciones públicas o privadas que tienen algún grado de responsabilidad en la gestión del recurso hídrico y que se encuentran indirectamente afectados por los problemas del sistema acuático (Figura 16).



Figura 15. Actores Involucrados directos.

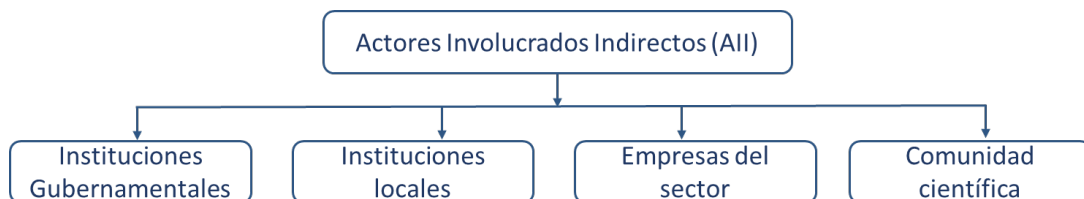


Figura 16. Actores involucrados indirectos.

Tabla 10. Actores involucrados en la gestión de la laguna Rayenantú.

Sector	Actor	Relación
Privado	Forestal Arauco Mininco	La actividad forestar el en mayor sector empresarial de comuna Santa Juana, y corresponde al mayor uso de suelo de la comuna a través del monocultivo forestal y la explotación de recursos madereros.
	Productores agrícolas	Sector agrícola conformado por pequeños y medianos productores agrícolas de la comuna dedicados principalmente a la producción de hortalizas.
	Cendyr Náutico Rayenantú	Centro deportivo dedicado al fomento turístico y deportivo de la comuna, organiza competencias y actividades de canotaje, conformando a la laguna Rayenantú como un importante sitio de recreación y actividades deportivas.
	Universidad de Concepción	Mantiene un rol investigador en la zona mediante diversos estudios realizados en la comuna y el sistema lacustre, y actualmente presenta un Convenio Marco de Colaboración con la Municipalidad de Santa Juana para la recuperación de la laguna Rayenantú.
Público	Municipalidad de Santa Juana	Es el principal organismo encargado de preservar el patrimonio natural y cultural de la comuna, a través de la elaboración e implementación de políticas comunales, y la aplicación de instrumentos de ordenamiento territorial regionales y locales. Le compete la responsabilidad sobre los Bienes Nacionales de Uso Público.
	Recintos educacionales municipales y privados	Cumplen el rol de fomentar e implementar procesos de educación ambiental a los estudiantes, con el fin de integrar aspectos y preocupaciones ambientales en su malla curricular.
Sociedad civil	Comunidad de vecinos	Principales actores directos involucrados en la gestión de la laguna Rayenantú debido que sus propiedades colindan directamente con la laguna. Cumplen un rol de organización para resolver problemas socioambientales.
	Visitantes	Corresponden a turistas que visitan la laguna Rayenantú debido a su belleza escénica y las actividades de esparcimiento.
	Junta de Vecinos 1-A Hospital	Debido a la cercanía territorial con la laguna Rayenantú, son los encargados de organizar a la comunidad y asegurar en bienestar común.

4.7 Servicios ecosistémicos culturales

La comuna de Santa Juana ha apostado por convertirse en un atractivo turístico local fomentando su identidad rural, este desarrollo ha estado ligado con la cercanía a Concepción metropolitano, en conjunto con su microclima característico del secano interior, haciendo de la comuna un atractivo turístico local. La laguna Rayenantú es un importante foco turístico, ya que se realizan actividades recreativas tales como deportes náuticos, paseos por el muelle colgante y parque municipal, que involucran tanto la participación activa del turista, como la participación contemplativa. Además, la laguna se encuentra a un costado del fuerte histórico Santa Juana de Guadalcázar, constituyendo un importante monumento histórico en la zona. En el PLADECO 2012 de la Municipalidad de Santa Juana se establece un catastro de los atractivos turístico de la comuna, donde la laguna Rayenantú corresponde a un atractivo del tipo natural y el fuerte Santa Juana de Guadalcázar a un atractivo del tipo cultural, ambos en estado potencial de turismo. Asimismo y, entre ambos hitos, se ha construido una piscina techada donde se desarrollan actividades educativas y de esparcimiento, que se favorece de un entorno natural como es el cuerpo lagunar Rayenantú.

4.7.1 Indicadores de SE culturales

Los indicadores de SE permiten simplificar la información permitiendo que sea fácilmente entendida, a su vez, permiten identificar las tendencias y tasas de cambio de los servicios ecosistémicos, con esta información se pueden priorizar ecosistemas a gestionar y monitorear el progreso de objetivos propuestos (Nahuelhual *et al.*, 2016). A continuación, se presentan los indicadores de SE culturales evaluados para la comuna de Santa Juana, a modo de determinar la tendencia de los SE.

a) Recreación y Turismo

La comuna de Santa Juana proyecta su desarrollo turístico desde su identidad campesina (PLADECO, 2012), por lo que ofrece fiestas y festivales asociados al rescate de sus tradiciones. La Tabla 11 muestra un aumento en el número de eventos programados en la comuna, los que en su mayoría tienen origen en el arraigo campesino de la zona. Las ventas totales de estos eventos fueron de \$89.201.880 en 2011, y de \$320.439.251 en 2017, según lo establecido en los PLADECO respectivos, con información basada en la Cuenta Pública de la comuna. El aumento en la oferta turística de la comuna, en conjunto con la implementación de infraestructura turística, ha influido en las empresas orientadas a ofrecer servicios de hoteles y restaurantes, las cuales en los últimos años han tenido un aumento (Tabla 12).

Tabla 11. Ingresos asociados a eventos programados 2012-2019

Ferias y Eventos	2012	2019
	Ventas totales \$	Ventas totales \$
Fiesta del Mote y la Tortilla	-	16.460.210
Trilla a Yegua Suelta	-	12.147.180
Fiesta de la Miel	11.688.300	35.553.228
Semana Santa Juana	11.200.250	-
Feria Agroturística	-	20.133.345
Fiesta de San Juan	13.390.600	28.675.218
Fiesta del Camarón	20.975.250	66.890.110
Fiestas Patrias	24.249.380	86.425.360
Fiesta de la Frutilla	-	31.581.000
Ferias de las Pulgas	-	8.430.600
Lanzamiento Temporada Turística	2.885.300	-
Ferias Campesinas Mensuales	4.812.800	-
Veguita Campesina	-	5.050.000
Feria AMDEL	-	9.192.000
Total eventos	7	11
Total Ingresos	\$89.201.880	\$320.439.251

Fuente: PLADECO, 2012; Municipalidad de Santa Juana, 2019.

Tabla 12. Empresas asociadas al sector turístico 2014-2016

	2014	2015	2016
Número de Hoteles y Restaurantes	26	28	34

. Fuente: BCN, 2018.

b) Educación Ambiental

El Fondo de Protección Ambiental (FPA) es un fondo concursable que brinda el Ministerio de Medio Ambiente para apoyar a la comunidad en iniciativas de carácter ambiental que se desarrollen en líneas de trabajo orientadas en la gestión ambiental local, la conservación y/o restauración de ecosistemas, y el desarrollo sustentable.

En la Tabla 13 se registraron un total de 10 proyectos asociados a la comuna de Santa Juana, donde cuatro de estos fueron presentados a evaluación y uno fue seleccionado hasta la fecha. Sin embargo, solo cuatro presentan información de año de postulación y monto solicitado. Además, tres de estos se relacionan directamente con el cuidado de la laguna Rayenantú, lo que refleja el interés por parte de la comunidad en este sistema natural, pero también la falta de apoyo (asesorías) para hacer estos proyectos ganables.

Tabla 13. Proyectos ingresados al FPA.

Nombre Proyecto	Año	Monto solicitado \$
Limpieza, recuperación y uso sustentable de la Laguna Rayenantú de Santa Juana	2009	4.000.000
Utilización de energías renovables para casa de cultivo de hongos demostrativa y abierta al público	2016	5.000.000
Recuperación y Gestión de Laguna Rayenantú	2019	5.000.000
Uso de tecnologías de información y automatización "open-source", para aplicaciones de gestión, de ahorro energético e hídrico.	2019	4.000.000
Total	4	18.000.000

. Fuente: Fondo de Protección Ambiental, 2019.

c) Conocimiento científico

Se encontraron un total de 11 publicaciones científicas en el buscador SCOPUS, base de datos de publicaciones en revistas científicas. La mayoría de los artículos se encuentran relacionados con estudios geológicos de la zona de Santa Juana publicados a partir del año 1991. Además, se encontraron 14 tesis universitarias las cuales se encontraron en los repositorios de distintas universidades, donde destaca una tesis relacionada con recursos hídricos. Sin embargo, esta información es dispersa ya que aglomera distintos focos de estudios (Tabla 14), y además, no ha sido transmitida a la comunidad.

Tabla 14. Artículos científicos y tesis universitarias.

Tipo	Tema	N°	Año publicación
Artículo científico	Geología	6	1991-2010
	Educación	1	2010
	Medicina	1	2007
	Energía	1	2016
	Biología	2	2003-2007
Tesis Universitaria	Desarrollo social	2	1995-2006
	Recursos hídricos	1	2014
	Geología	2	1981-2003
	Humanidades	3	1975-2012
	Educación	3	2007-2017
	Construcción	1	1985
	Energía	1	2016
	Turismo	1	2003

Fuente: SCOPUS, 2019.

d) Identidad cultural

La Municipalidad de Santa Juana publicita sus eventos mediante su página web. En esta se encontraron un total de 50 eventos programados relacionados con ferias y festivales que se realizan durante todo el año. En la Figura 17 se representa la cantidad de estos eventos publicitados, los cuales muestran una tendencia al alza debido al fomento de la municipalidad en mejorar la oferta de eventos recreativos relacionados con las tradiciones rurales de la comuna.

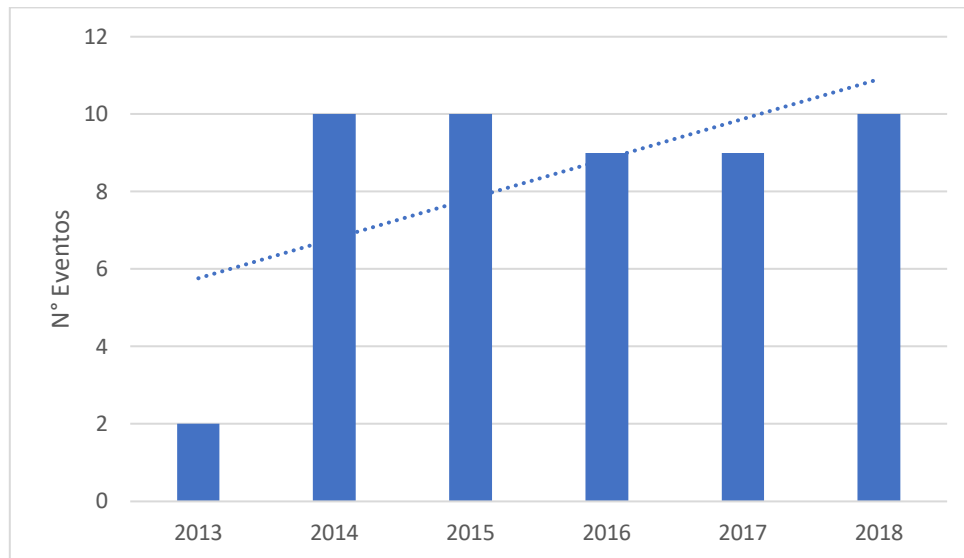


Figura 17. Eventos publicitados por la Municipalidad de Santa Juana.
Fuente: Municipalidad de Santa Juana, 2019.

Los paisajes que presentan espejos de agua son cada vez más valorados por la comunidad, aumentando su potencial para usos turísticos y recreativos, lo que se traduce en visitas de turistas que se acercan a estos lugares para su esparcimiento y recreación (Díaz, 2017). En relación a esto, los indicadores de SE culturales que se analizaron, muestran una tendencia general hacia el aumento, dado posiblemente por el incremento del turismo destinado al disfrute del paisaje, la realización de actividades recreativas y el aprovechamiento de espacios de valor natural, dadas por la laguna Rayenantú, como por otros cursos de agua como el río Lia y el río Biobío, lo que hace a la comuna de Santa Juana un destino turístico para actividades culturales. En este sentido, se establece la dificultad de abordar el estudio a nivel de cuenca, ya que la información se encuentra disponible a escala comunal, además de que los impactos de los SE que provee la laguna Rayenantú trascienden los límites de su cuenca. En la Tabla 15 se presentan las tendencias de los indicadores analizados para determinar la evolución de los SE culturales de la comuna, donde se puede establecer que en forma general los indicadores muestran una tendencia al alza.

Tabla 15. Tendencia general de Indicadores SE culturales evaluados.

Subtipo SE	Indicador	Fuente	Tendencia general
Recreación y turismo	N° hoteles y restaurantes	Reportes Estadísticos Comunales, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, https://reportescomunales.bcn.cl/	↑
	Ingreso monetario de fiestas y eventos	Reportes comunales, PLADECO, PLADETUR.	↑
	N° fiestas costumbristas	Reportes comunales, PLADECO, PLADETUR.	↑
Educación Ambiental	N° proyectos FPA	Fondo de Protección Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente, http://www.fpa.mma.gob.cl/	↗
Conocimiento científico	Artículos científicos	SCOPUS Palabras claves: "SANTA JUANA"	±
	Tesis Universitarias	Catálogo Universidades	↗
Identidad cultural	Publicidad de eventos y fiestas costumbristas	Eventos página Municipalidad Santa Juana http://www.santajuana.cl/category/eventos/	↔

mejora (↑), leve mejora (↗), mejora y/o deterioro (±), no experimenta cambio (↔), leve deterioro (↘), deterioro (↓) y desconocido (~)

4.7.2 Percepción de la comunidad sobre los SE culturales

Con respecto a la percepción del sector público, privado y sociedad civil, se realizaron encuestas a distintos grupos de interés: la comunidad que colinda directamente con la laguna, recintos educacionales, clubes deportivos y Municipalidad de Santa Juana: Consejo Municipal, SECPLAN, DIDECO, Dirección de Obras, y Dirección de Aseo, Ornato y Medio Ambiente (Ver Anexo 1). Con estas encuestas se pudo establecer que el 44,4% de la población encuestada considera muy importante que la laguna se encuentre cerca de su comunidad y el 53,9% considera importante este aspecto. La laguna Rayenantú corresponde a un importante foco cultural de la comuna, esto se ve reflejando en la frecuencia en que los distintos grupos de interés o stakeholders visitan este sistema, donde el 29% de la comunidad encuestada visita la laguna muy

frecuentemente, mientras que un 43,5% la visita con frecuencia, siendo el club Cendyr náutico la organización que realiza actividades de forma permanente asociadas al canotaje (Figura 18). Además, el 84% establece que está dispuesto a realizar actividades para mejorar el estado de la laguna, donde destaca la participación en la limpieza de la laguna y charlas educativas.

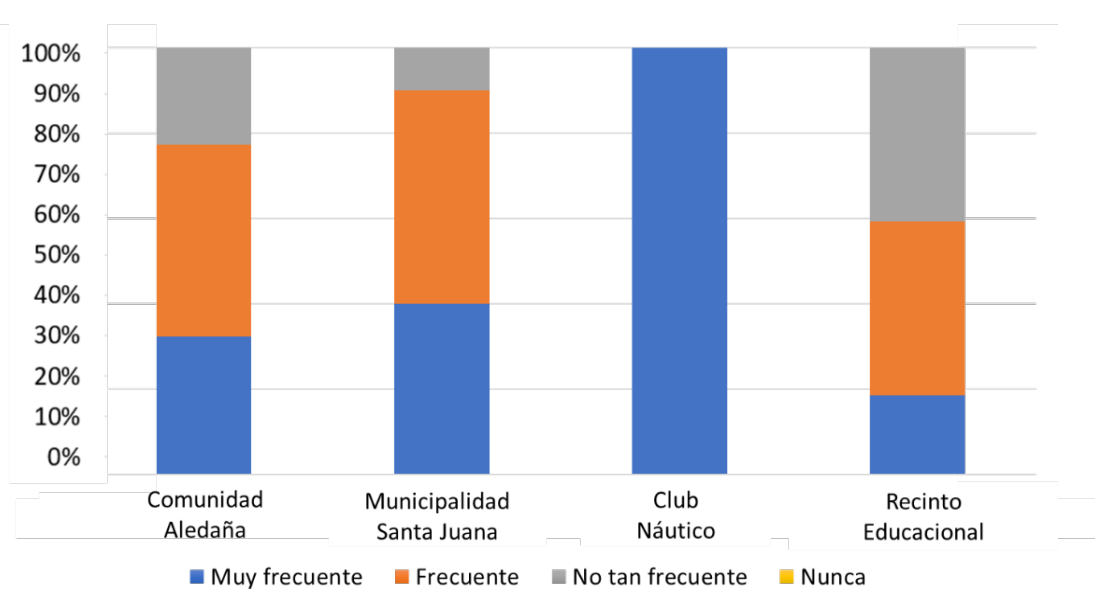


Figura 18. Frecuencia de visitas de los stakeholders a la laguna.

Las actividades que los grupos encuestados realizan son actividades en los alrededores de la laguna como paseos familiares, actividades de observación astronómica, entre otros. Además, reconocen actividades de uso de contacto directo relacionadas con actividades recreativas como bicicletas acuáticas y deportes acuáticos como canotaje y natación. Estas actividades náuticas representan uno de los atractivos de la laguna Rayenantú, que ha conformado progresivamente parte de la identidad de la comuna, donde el Club Cendyr Náutico ha fomentado las actividades deportivas principalmente en jóvenes.

La comunidad reconoce la importancia de conservar la laguna Rayenantú (Figura 19) asociada principalmente por las actividades de turismo y recreación, que proporcionan un beneficio económico directo, además, de aspecto naturales

donde reconocen principalmente la importancia de avifauna silvestre, como cisnes de cuello negro y taguas, por lo que la comunidad comunica que a pesar del actual estado de la laguna es necesario protegerla debido que representa un patrimonio natural.

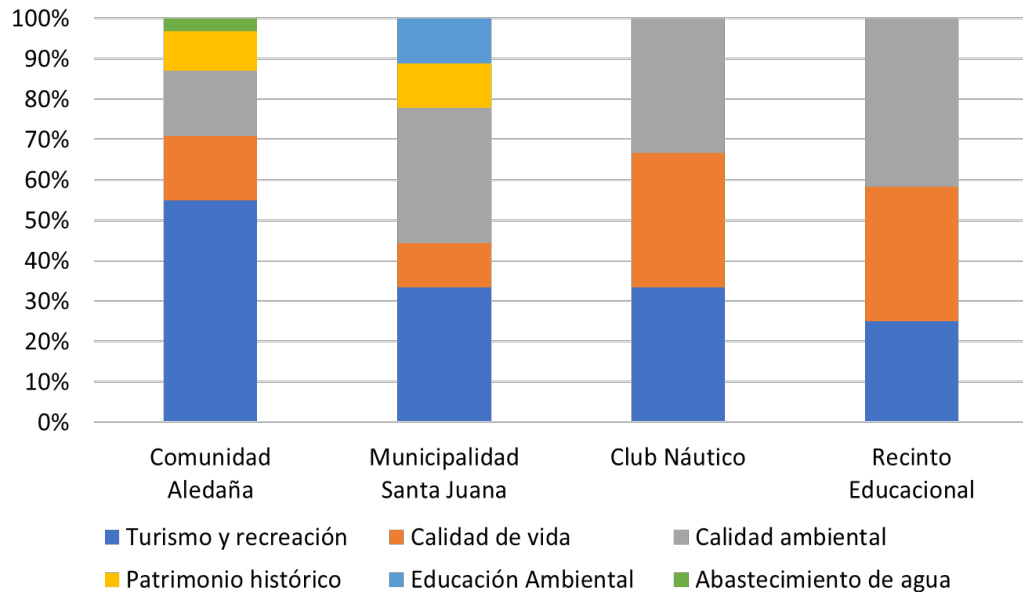


Figura 19. Motivo de protección de la laguna Rayenantú.

La comunidad identificó el acopio de basura como el principal factor de degradación de la laguna, seguido por el ingreso de aguas lluvias, además, la comunidad considera grave la falta de educación ambiental y la falta de instancias de participación que ha prestado la Municipalidad de Santa Juana, sin embargo, mencionan que ha existido una buena gestión en la laguna debido que consideran que en la actualidad presenta un mejor estado. Con respecto al club de canotaje, este establece que las principales amenazas están dadas por la incorporación de fertilizantes en el parque municipal, el estancamiento de agua provocado por la instalación del puente flotante, los huertos ubicadas en los jardines privados que colindan la laguna, además, menciona la falta de competencias de la Municipalidad de Santa Juana en el manejo de la laguna. Por otra parte, la Municipalidad identifica que los principales problemas guardan

relación con el ingreso de aguas lluvias que arrastran contaminantes desde su cuenca y la expansión urbana que se ha intensificado en los últimos años. Estos resultados se resumen en la Figura 20.

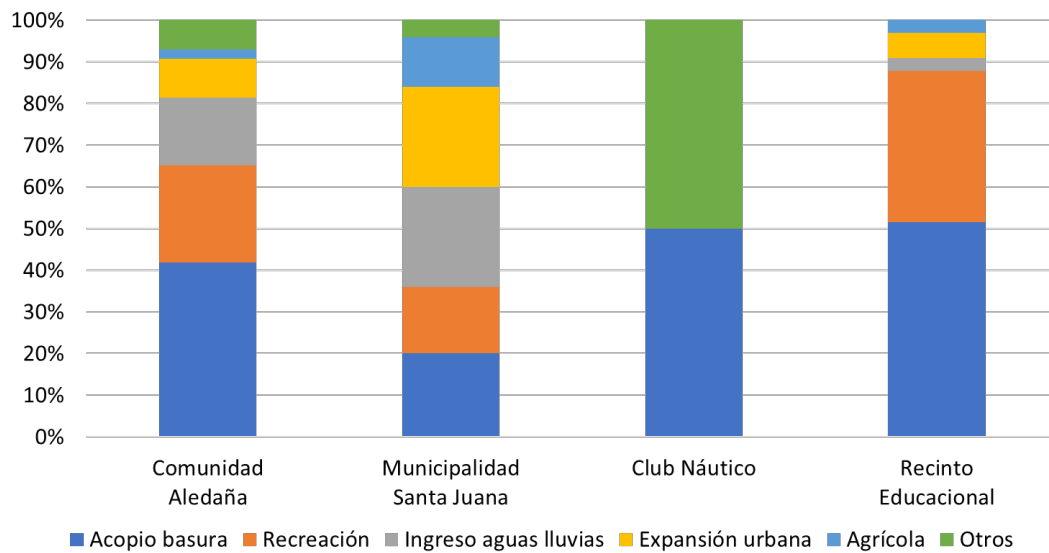


Figura 20. Problemas asociados a la laguna.

Se puede establecer que existe una falta de conciencia y valoración de los espacios naturales de la laguna Rayenantú por parte de la comunidad, la cual no tiene un cuidado sobre la protección de este sistema, pese a ser identificado como un elemento esencial para el desarrollo del turismo y la calidad de vida de la población. De esta forma, es recurrente encontrar basuras en su perímetro, e incluso encontrar animales muertos dentro de la laguna y frecuentar ataques por parte de la comunidad a especies de avifauna silvestre.

4.8 Marco legal e institucional para el manejo del agua en la cuenca de la laguna Rayenantú

4.8.1 Marco legal de Recursos Hídricos en la cuenca

En Chile existen importantes cuerpos normativos que regulan el acceso, uso y gestión del agua, resumidos en la Tabla 16, donde se observa que el principal aspecto regulador corresponde al Código de Aguas (CA), el cual regula el marco general del sistema de aguas en Chile. Por otra parte, la Constitución chilena presenta una institucionalidad basada en los derechos de propiedad, donde los recursos hídricos son vistos como bienes económicos de carácter privado y que pueden ser transados libremente, fortaleciendo la autonomía privada del uso del agua (Aranda, 2015), y por lo tanto, la gestión de recursos hídricos en Chile está basada en la economía de mercado que incentiva la propiedad privada, limitando las competencias y atribuciones del Estado en materia de recursos hídricos, regulando de manera mínima aspectos relativos a calidad de agua y fomento de participación de privados (Aranda, 2015). Asimismo, el Código de Aguas (CA) fortalece el carácter de propiedad privada del agua, mediante el concepto de aprovechamiento de las aguas, además, el CA no hace diferencias de usos preferibles de los derechos de aguas consuntivos y no consuntivos, que debiese estar definido a partir de los requerimientos y aptitudes de cada cuenca (Castro, 2016). No obstante, la normativa referente a la gestión del agua se encuentra a cargo de varios organismos institucionales que no comparten los mismos intereses.

Tabla 16. Legislación relacionada a la gestión de recursos hídricos en Chile y laguna Rayenantú.

Organismo encargado	Cuerpo legal	Materia
MINSEGPRES	D.S. N°90/2001	Establece normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas continentales superficiales.
	D.S. N°143/2009	Establece normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo.
	D.S. N°46/2002	Establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas.
	Ley N°19.300	Ley de Bases sobre el Medioambiente. Exige la evaluación ambiental de cuencas y caudales ecológicos de acuerdo a especies existentes. Además, se establece la responsabilidad del Ministerio de Medio Ambiente en la promulgación de Normas de Calidad Secundaria, en conjunto con los Ministerios competentes.
Ministerio de Obras Públicas	Ley N°19.525/1997	Regula sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias.
Ministerio de Agricultura	Ley N°20.283/2008.	Ley sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal. Regula materias relativas a la recuperación del bosque nativo y fomento forestal, y define los “bosques nativos de conservación y protección” para el resguardo de suelos y recursos hídricos.
	D.S. N° 82/2011	Reglamento de suelos, aguas y humedales. Regula la corta o menoscabo de la vegetación asociada a cuerpos y cursos de agua y humedales declarados sitios prioritarios de conservación, con el fin de asegurar su protección.
Ministerio de Justicia	D.F.L N° 1.122/1981	Código de Aguas. Establece las condiciones para el dominio y aprovechamiento de aguas continentales.
	D.F.L. N°1/2000	Código civil. Dispone que todas las aguas son de bienes nacionales de uso público que pertenecen a toda la nación. Además, establece que las riberas de lagos y lagunas, son bienes nacionales de uso público o bienes públicos.
Ministerio de Defensa	D.F.L. N°340/1960	Ley sobre Concesiones Marítimas. Establece que al Ministerio de Defensa le corresponde control, fiscalización y supervigilancia de los ríos y lagos que son navegables por buques de más de 100 toneladas.
	D.S. de 20.04/2006	Establece la definición de Playa de río o lago, la cual corresponde a la extensión de suelo que bañan las aguas en sus crecidas normales hasta la línea de las aguas máximas, y que estas son de carácter público.

Organismo encargado	Cuerpo legal	Materia
Ministerio Medio Ambiente	D.S. N°38/2012	Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión. Establece el procedimiento para la dictación de normas de calidad ambiental, primarias y secundarias y de revisión de dichas normas, para la mantención o recuperación de calidad de aguas para conservación de comunidades acuáticas.
	D.S. N° 38/2012	Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
Ministerio del Interior	Ley N°18.695/2006	Ley Orgánica Constitucional Municipalidades. Establece las competencias de los municipios en la administración de bienes municipales y nacionales de uso público.
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	D.F.L. N°458/1976	Ley General de Urbanismo y Construcciones. Establece disposiciones relativas a planificación urbana, urbanización y construcción, además dispone las responsabilidades respecto al Plan Regulador Comunal.
	Ley N°19.525/1997	Regula Sistemas de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias. Establece las responsabilidades de los organismos competentes en la planificación, mantención o mejoramiento de las redes de drenaje urbano, y la elaboración de planes maestros.
Ministerio de Educación	Ley N° 17.288/1970	Establece disposiciones relativas a Monumentos Nacionales que están bajo tuición y protección del estado.
	D.S. N° 803/1977	Declaración Monumento Histórico del Fuerte Santa Juana de Guadalcázar.
Ministerio de Bienes Nacionales	Ley N°21123/2018	Establece como una falta el ensuciar o arrojar basura o cualquier tipo de desechos en playas, riberas de ríos y lagos, en Áreas Silvestres del Estado o en Áreas de Conservación de la Biodiversidad.
Ministerio de Salud	D.F.L N°725/68	Código sanitario. Rige todas las cuestiones relacionadas con el fomento, protección y recuperación de la salud de la comunidad, incluyendo la sanidad ambiental.
Instituto nacional de normalización	NCh 1.333/1978	Establece requisitos de calidad del agua de acuerdo a su uso: Agua para consumo humano; agua para bebida de animales; riego; recreación y estética.
Municipalidad de Santa Juana	Ordenanzas Municipales	Resoluciones comunales que permiten la regulación las actividades realizadas en la laguna Rayenantú y su cuenca hidrográfica.

Fuente: BCN, 2018.

El principal cuerpo normativo referente al medio ambiente corresponde a la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales de Medio Ambiente, modificada por la Ley N° 20.417. Esta ley establece un marco general de regulaciones ambientales, que se enfocan en asegurar el derecho de vivir en un ambiente libre de contaminación, la protección de medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, asimismo, crea la institucionalidad ambiental nacional y, establece regulaciones sobre los instrumentos de gestión ambiental. Entre las modificaciones que define la Ley N° 20.417 publicada en 2010, se encuentran cambios en la Ley N° 18.695 Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, que establecen responsabilidades de la institución municipal en la gestión ambiental que se orientan en la incorporación de temáticas ambientales en la carpeta municipal, donde se debe proponer y ejecutar medidas que materialicen acciones y programas ambientales, aplicar normas ambientales comunales y elaborar el anteproyecto de ordenanza ambiental, con la finalidad de otorgar a la municipalidad un rol activo en la gestión ambiental local.

Por otro lado, hay una inexistencia de una norma secundaria de calidad ambiental (NSCA) que permita el resguardo de la diversidad biológica del sistema la evaluación integral del estado de la cuenca. Estas NSCA aplicadas a sistemas lacustres, pueden incluir el sistema acuático completo o en toda su cuenca hidrográfica, incorporando zonas litorales y pelágicas, y epilimnion e hipolimnion en caso de estratificación térmica (MMA, 2017a), por lo tanto, consisten en una herramienta efectiva para la regulación de nutrientes en sistemas altamente eutrofizados y por otro la existencia puede conllevar a un plan de descontaminación que involucra recursos para este proceso.

A nivel regional y comunal existen instrumentos de planificación que regulan las actividades antrópicas en cuencas y sus recursos hídricos a través de la zonificación de áreas con distintos objetivos. Para el caso de la comuna de Santa Juana se indican los siguientes instrumentos de planificación (Tabla 17).

Tabla 17. Instrumentos de planificación aplicables.

Instrumento de planificación	Materia
Plan Regional de Desarrollo Urbano	Planificación regional del territorio, elaborado a partir de las políticas a nivel nacional y regional. Se establece los roles de los centros urbanos, sus áreas de influencia, metas de crecimientos, entre otros.
Plan Regulador Metropolitano de Concepción (PRMC)	Regular el desarrollo físico de las áreas urbanas y rurales del Gran Concepción y sus disposiciones priman sobre los instrumentos normativos comunales.
Plan Regulador Comunal (PRC)	Planificación urbana comunal, donde se promueve el desarrollo armónico del territorio en base a las metas regionales, estableciendo normas comunales referentes a límite urbano, zonificación, usos de suelo, edificación y urbanización, y subdivisión predial.
Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO)	Orienta el desarrollo de la comuna a través de estrategias y políticas comunales.
Plan Sectorial	Estudio detallado del Plan Regulador Comunal, donde se fijan con detalle la zonificación, áreas de construcción, protección, entre otros.

El principal instrumento territorial de la provincia de Concepción corresponde al Plan Regulador Metropolitano de Concepción (PRMC), el cual establece regulaciones en el desarrollo físico de las áreas urbanas y rurales de las comunas del Gran Concepción y sus disposiciones priman sobre otros instrumentos locales. Este instrumento dispone que las áreas urbanas de la comuna de Santa Juana están reguladas por el Plan Regulador Comunal (PRC) aprobado por el decreto N°2.835 que data del año 2006 y contiene la normativa referente al límite urbano, zonificación y usos de suelo, urbanización, entre otros, que rigen dentro del área territorial y la responsabilidad de aplicación de estas normas es responsabilidad de la Dirección de Obras Municipales de Santa Juana.

El Plan Regulador Comunal establece distintas zonas urbanas definidas como zonas protegidas y/o con restricciones de uso (PLADECO, 2019). En particular, a las zonas definidas como Zona Patrimonial de Conservación Histórica (ZCPH),

corresponden a la laguna Rayenantú y al Fuerte Histórico Santa Juana de Guadalcázar. Esta categorización reconoce en el artículo 33° del PRC que las actividades de esta área deben ser complementarias a su uso con el fin de no alterar significativamente sus componentes patrimoniales, además, establece que el ordenamiento definitivo requiere la confección de un Plano Seccional, el cual la Municipalidad actualmente no posee. Además, las ZCPH no establece a la Laguna Rayenantú como un área de valor ambiental que considere la importancia y valoración del recurso involucrado, si no que la considera un elemento estrechamente relacionada al Fuerte Santa Juana de Guadalcázar. Por otro lado, el PRC no establece límites de urbanización respecto de la ribera del sistema lacustre que determine zonas de separación y amortiguación con el objetivo de resguardar sus características naturales, donde actualmente se distinguen elementos de uso intensivo, principalmente residencial, recintos hospitalarios y zonas de equipamiento deportivo. Asimismo, el PRMC no considera a la laguna Rayenantú en ninguna de las Áreas de Protección de Valor Natural, sin embargo, reconoce al Fuerte Santa Juana de Guadalcázar como un Área de Protección de Recursos de Valor Patrimonial Cultural.

Respecto a los instrumentos de planificación de drenaje urbano, se debe mencionar la inexistencia de un Plan Maestro de Aguas Lluvias para la comuna, los cuales definen la red primaria del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias y su elaboración está a cargo del Ministerio de Obras Públicas. Este instrumento se hace primordial en la gestión de las aguas lluvias que drenan hacia la laguna Rayenantú, ya que las aguas provenientes de la escorrentía superficial urbana corresponden uno de los principales problemas que amenazan su calidad de agua. En este sentido, un plan maestro permitiría identificar las áreas urbanas que aportan escorrentía a la laguna a través de los colectores de aguas lluvias, permitiendo la gestión tanto de los usos de suelos actuales de estas áreas identificadas como evaluar el estado de la infraestructura que participan en la evacuación de aguas lluvias.

4.8.2 Marco Institucional de Recursos Hídricos en la cuenca

Se identifican distintas instituciones que constituyen la estructura gubernamental en Chile con competencias en la gestión de recursos hídricos, además, se establecen sus responsabilidades con respecto al recurso y se identifican organismos responsables de la gestión y protección de la laguna Rayenantú, resumidas en la Figura 21. Estas organizaciones se pueden clasificar en tres grupos según su escala: nivel nacional, correspondiente a los Ministerios del Estado que constituyen los órganos de Administración del Estado; nivel regional y/o sectorial correspondientes a SEREMI e instituciones regionales, servicios públicos regionalmente descentralizados; y nivel comunal donde destaca el rol de la Municipalidad de Santa Juana. En la Tabla 18 se identifican las principales instituciones a cargo de la gestión de Recursos hídricos a nivel nacional, y de la cuenca de la laguna Rayenantú a nivel local.

Las instituciones identificadas que se vinculan a la gestión hídrica del país son amplias y complejas, e involucra a diversos organismos públicos (Banco Mundial, 2011) que apuntan a distintas responsabilidades e interés, reflejando la interdisciplinariedad propia de la gestión de recursos hídricos. El Ministerio de Medio Ambiente (MMA) fue creado en 2010 mediante la Ley N°20.417 que modifica la Ley N°19.200 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, y es el encargado de las políticas, planes y programas en materia ambiental, así mismo, es el encargado de la regulación de recursos renovables e hídricos. En contra parte, la Dirección General de Aguas (DGA) es el principal organismo de administración, monitoreo y gestión de los recursos hídricos y derechos de agua (Castro, 2016).

Tabla 18. Marco institucional regional y local de los recursos hídricos.

Nivel	Institución	Relación
Nacional	Consejo de Ministros para la Sustentabilidad	Proponer al Presidente de la República las políticas para el manejo, uso y aprovechamiento sustentables de los recursos naturales renovables.
	Ministerio de Medio Ambiente (MMA)	Es el principal organismo encargado de desarrollar políticas para el uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales e hídricos, y la formulación de planes, programas y acciones para favorecer su recuperación y conservación, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa.
	Ministerio de obras públicas (MOP)	Organismo encargado de asegurar que la infraestructura pública sea administrada, planificada y conservada. Además, tiene un rol administrativo en las aguas a través de organismos como la DOH y DGA.
	Ministerio de Salud (MINSAL)	Es el organismo encargado de velar por la salud de las personas a través de políticas de salud pública y sanitaria. Además, vela por el cumplimiento de las normas de calidad primaria de aguas, relacionadas con los niveles de contaminación aceptados para consumo de la población.
	Ministerio Vivienda y Urbanismo (MINVU)	Colabora en el desarrollo de los planos reguladores municipales. Además, vela por los planes de inundaciones y otras materias relativas a la gestión de las aguas lluvias en la ciudad para redes secundarias. Le competen responsabilidades asociadas a viviendas ribereñas ubicadas en el entorno de sistemas lacustres y fluviales.
	Ministerio de Agricultura	Encargado de fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país. Tiene por objetivo obtener el aumento de la producción nacional, la conservación, protección y de los recursos naturales renovables. Una parte importante de sus tareas implican temáticas hídricas, ya que la agricultura es el mayor usuario de las aguas en el país.
	Ministerio Bienes Nacionales	Ejerce atribuciones respecto de los Bienes Nacionales de Uso Público como son las lagunas urbanas.

	Ministerio de Economía	Promover la modernización y competitividad de la estructura productiva del país, principalmente de los recursos hidrobiológicos que se presentan, a fin de lograr un crecimiento sostenido, sustentable y con equidad, mediante la formulación de políticas.
Sectorial/ Regional	Gobierno Regional del Biobío (GORE)	Cumple funciones de administración superior de la región del Biobío. Es el encargado de dar cumplimiento con la administración del desarrollo económico, social y cultural de la región, considerando la asignación y uso de recursos públicos y la prestación de servicios. Además, le corresponde responsabilidad a los Intendentes y Gobernadores de supervigilar que los Bienes Nacionales de Uso Público, tales como lagunas urbanas.
	SEREMI de Medio Ambiente	Asesorar al Gobierno Regional en cuestiones ambientales, elaboración de planes y estrategias de desarrollo regional, y colaborar en municipios en materia de gestión ambiental
	SEREMI de salud	Asegura el derecho a la salud a todas las personas del sector ejerciendo las funciones reguladoras, normativas y fiscalizadoras que al Estado le competen. Ejecutar acciones que corresponden a la protección de la salud de la población de los riesgos ambientales
	SEREMI de Vivienda y Urbanismo y Construcciones.	Le compete la elaboración de instrumentos de planificación Territorial como Planes Regionales de Desarrollo Urbano, además, autoriza permisos sobre las ZPCH de la comuna de Santa Juana.
	Superintendencia de Medio Ambiente (SMA)	Vela por el cumplimiento de los instrumentos de gestión ambiental a través de la fiscalización, sanciones disuasivas, y la entrega de información ambiental a la comunidad. Es la encargada de determinar y fiscalizar las fuentes de contaminación que generan degradación de la calidad de aguas y cuencas de sistemas lacustres.
	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)	Regula los servicios de agua potable y saneamiento, fiscalizando las empresas sanitarias y el cumplimiento de normas de alcantarillado en comunidades aledañas a las lagunas urbanas. Además, está facultada para la fiscalización del cumplimiento del D.S. N°90/2001 SEGPRES.
	Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)	Encargado de administrar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), que evalúa ambientalmente los proyectos de infraestructuras, a través de la evaluación de proyectos de infraestructura que se encuentran en condiciones de cumplir con los requisitos ambientales.
	Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)	Fiscalización y control de la contaminación de las aguas de riego. Realiza acciones para conservar y mejorar los recursos naturales renovables, que afectan la producción agrícola, ganadera y forestal.

Subsecretaría de Salud Pública	Asegura a todas las personas el derecho a la protección en salud ejerciendo las funciones reguladoras, normativas y fiscalizadoras, además de proteger la salud de las personas frente a riesgos sanitarios, a través del diagnóstico y mapeo de riesgos.
Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE)	Es el organismo encargado de contribuir a la descentralización de poder político, económico y administrativo, impulsando medidas para transferir estos a los gobiernos regionales y municipios.
Servicio de Salud Biobío	Le corresponden la gestión de acciones que resguarden la salud de la población, así como su recuperación, por lo que debe tomar medidas en aquellas situaciones que representen un riesgo para la salud humana. Además, está facultada para inspeccionar y supervigilar el cumplimiento del D.S. N°90/2001 del MINSEGPRES.
Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA)	Contribuir a la sustentabilidad del sector pesquero y a la protección de los recursos hidrobiológicos y su medio ambiente, a través de una fiscalización integral y gestión sanitaria. Asegurar la calidad y precios justos de los servicios de agua potable y saneamiento al sector, además del retorno del agua una vez utilizada en forma óptima.
Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR)	Le corresponden la ejecución de programas y proyectos públicos de fomento que tienen como propósito impulsar el desarrollo sustentable de la zona.
Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA)	Encargada de la regulación y planificación de los recursos hidrobiológicos y el medio en el que se desarrollan estos recursos, con competencias preventivas y reactivas respecto a su protección.
Corporación Nacional Forestal (CONAF)	Contribuye en la conservación, manejo y aprovechamiento de los recursos forestales del país, impulsado políticas en torno a las Áreas Protegidas del Estado, y está muy involucrada en materia de los Caudales Ecológicos Mínimos.
Dirección general de aguas (DGA)	Encargado de planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales, y formular recomendaciones para su aprovechamiento. Promueve la gestión y administración del recurso hídrico, interés público y asignación eficiente, y fiscalización y control de la calidad del recurso en sus fuentes naturales.
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)	Le corresponde velar por los planes y otras materias relativas a la gestión de aguas lluvias para redes primarias, el estudio, proyección, construcción, reparación y explotación de obras de riego que se realicen con fondos fiscales, además de la construcción de obras de embalse, defensas fluviales y abastecimiento de agua potable en sectores rurales.

	Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante	Encargado de la fiscalización y protección de la actividad humana desarrollada en el mar, del medio ambiente, los recursos naturales y demás actividades desarrolladas en el medio acuático. Además, le corresponde la fiscalización de la Norma de Emisión D.S. N°90/2001 del MINSEGPRES
	Comisión Nacional de Riego (CNR)	Encargado del fomento para la construcción de obras de riego o drenaje, para la seguridad y cantidad de riego en el país.
	Consejo Monumentos Nacionales (CMN)	Encargado de realizar estudios y financiar restauraciones en monumentos nacionales. Autoriza modificaciones en el área del fuerte Santa Juana de Guadalcázar
	Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)	Promover el desarrollo económico, social y tecnológico de los pequeños productores agrícolas y campesinos, con el fin de contribuir a elevar su capacidad empresarial, organizacional y comercial, su integración al proceso de desarrollo rural y optimizar al mismo tiempo el uso de los recursos productivos
	Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático	Encargado del fomento de la integración de temas de cambio climático y desarrollo sostenible, mediante la implementación de acuerdos voluntarios, coordinación entre entidades públicas, iniciativas de fomento, y ejecución de proyectos de resiliencia al cambio climático, aportando en el cumplimiento de acuerdos internacionales.
	Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AGCID)	Servicio público encargado de articular la oferta y demanda de cooperación internacional, mediante la captación y administración de recursos. Además, es en el cargado del Sistema Nacional de Cooperación Internacional de Chile.
Comunal	Municipalidad Santa Juana	Le compete elaborar, aprobar y modificar instrumentos de planificación que deben armonizar con planes regionales y locales, y la promoción del desarrollo comunitario. Además, le corresponde administrar los bienes municipales y nacionales de uso público. A través de sus Unidades de Medioambiente, tiene por función implementar las políticas ambientales nacionales y desarrollar ordenanzas municipales de carácter ambiental.
	Consejo Municipal	Órgano encargado de funciones fiscalizadoras, normativas, mediante el análisis y evaluación de proyectos en el ámbito social, cultural, económico y deportivo, haciendo efectiva la participación de la comunidad local. Además, aprueban la destinación de recursos que conforman el presupuesto municipal.

Secretaría Comunal de Planificación y Coordinación (SECPLAN)	Tiene como objetivo asesorar al Alcalde y al Concejo Municipal en la formulación de las estrategias comunales y municipales para lograr el desarrollo comunal, y elaborar el presupuesto municipal. Además, se encarga de elaborar y actualizar el PLADECO, y fomentar vinculaciones con servicios públicos y el sector privado de la comuna.
Dirección de Obras Municipales (DOM)	Encargado del desarrollo urbano de la comuna y el cumplimiento de las disposiciones de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, aplicar normar referentes al Plan Regulador Comunal y ordenanzas correspondientes. Además, debe velar por el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Es el organismo encargado de otorgar permisos sobre las ZPCH.
Dirección de Medio Ambiente	Unidad encargada de proponer y ejecutar medidas con respecto a la protección de medio ambiente, mediante la elaboración de ordenanzas municipales, y la aplicación de normas vigentes que le sean de su competencia.
Dirección de Aseo y Ornato	Encargado del servicio de extracción de basura, aseo de vías públicas, plazas y jardines municipales, y la mantención de áreas verdes de la comuna.
Dirección de Desarrollo Comunitario (DIDECO)	Organismo encargado del desarrollo comunitario, el fortalecimiento de las organizaciones comunitarias y proponer y ejecutar medidas relacionadas con asistencia social, salud pública, protección del medio ambiente, educación y cultura, deporte y recreación, y turismo. Además, debe prestar asesoría técnica a las organizaciones comunitarias, fomentar su desarrollo y legalización, y promover su efectiva participación.

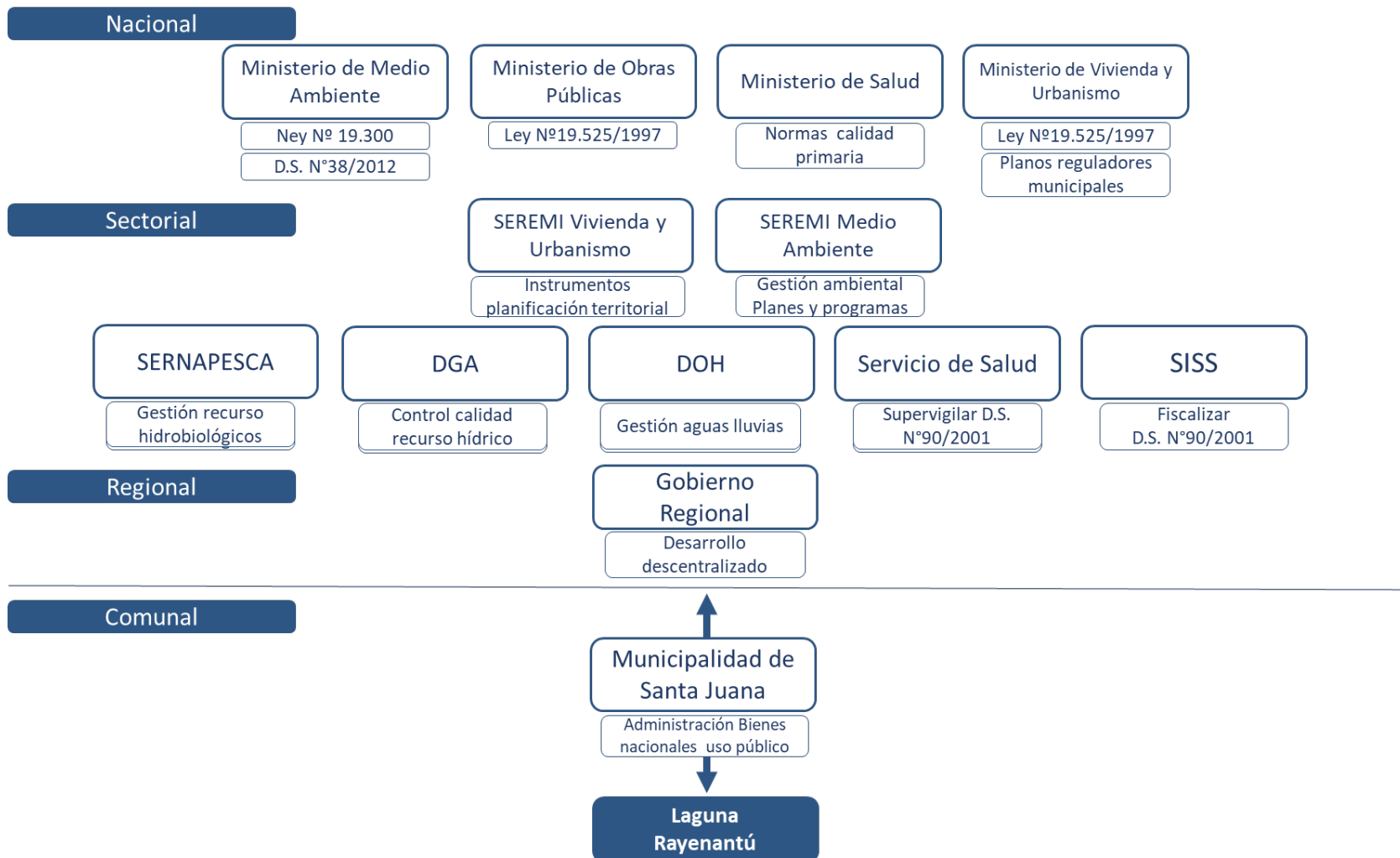


Figura 21. Principales organismos de la gestión de la laguna Rayenantú.

La laguna Rayenantú corresponde a un Bien Nacional de Uso Público, por lo que su manejo y administración está a cargo de la Municipalidad de Santa Juana (Figura 22) mediante la Dirección de Aseo, Ornato y Medio Ambiente (DAOMA) según lo establecido por Ley Orgánica Constitucional Municipalidades. A las funciones de esta dirección se suma el servicio de extracción de basura, aseo de las vías públicas, parques y plazas, también es su responsabilidad la administración de la piscina semiolímpica (Carrasco, 2018). Sin embargo, existe una falta de competencias de los organismos municipales con respecto al área medioambiental, en particular del manejo de la laguna Rayenantú, sumándose el déficit de personal encargado del área. Esto se observa en los cargos de Director de Aseo, Ornato y Medio Ambiente y, Director de Obras Municipales, quien actualmente asume la responsabilidad de ambas direcciones. Además, se evidencia la falta del Departamento de Medio Ambiente para la obtención de competencias específicas en temáticas medioambientales, sumándose a esto la falta de ingreso al Sistema de Certificación Ambiental Municipal (Carrasco, 2018). Lo anteriormente mencionado, refleja los problemas internos de la municipalidad de Santa Juana, que trasciende a la temática ambiental, lo que conlleva problemas en el desempeño de las distintas direcciones municipales.

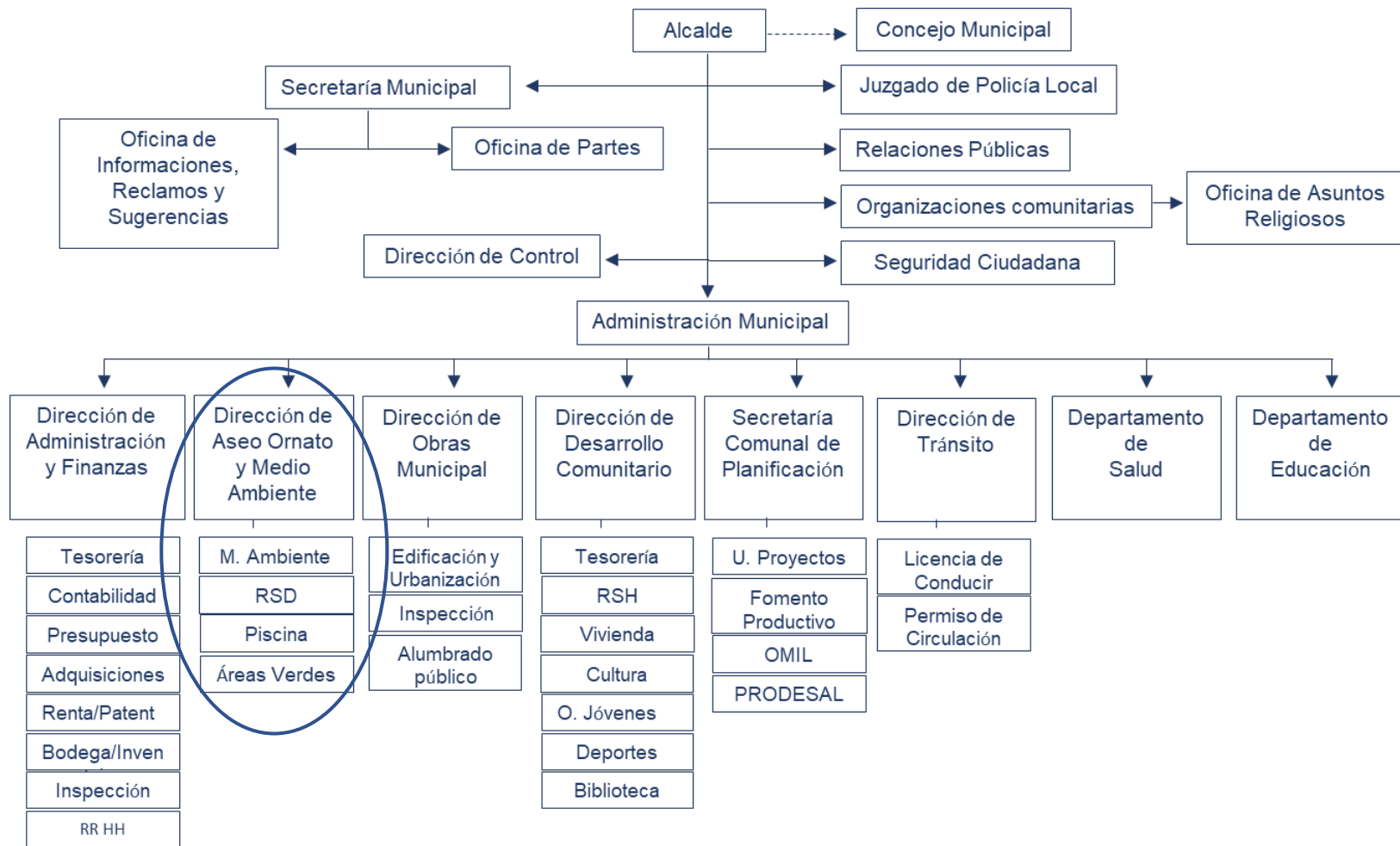


Figura 22. Organigrama de la I. Municipalidad de Santa Juana, establecido por el Decreto N°1857 de la institución.

4.9 Brechas Identificadas

Para establecer las acciones necesarias para recuperar las condiciones tróficas de la laguna Rayenantú, es necesario identificar las problemáticas que conducen al deterioro de la este sistema. A continuación, se muestra la diagnosis del componente ambiental, antrópico e institucional, con lo cual se identificaron y priorizaron brechas.

4.9.1 Actividades Antrópicas

Actividades antrópicas positivas

- Turismo y uso recreativo: Se ha producido un aumento en el turismo en torno a la laguna Rayenantú marcado por el disfrute paisajístico y actividades compatibles con su protección.

Presiones antrópicas

- Cambio de uso de suelo: Transformación intensiva de usos de suelo de la cuenca en las últimas décadas a zonas urbanas y silvoagropecuarias, reduciendo la cobertura natural dada por bosques nativos y humedales, provocando una fragmentación de estos.
- Aportes de nutrientes y contaminantes desde la cuenca: Uno de los principales aportes de contaminantes es el escurrimiento de aguas superficiales que arrastran diversos tipos de contaminantes que finalmente llegan a la laguna de forma puntual (colectores de aguas lluvias) y difusa (escurrimientos superficiales, contaminación agrícola).
- Mejoramiento de su entorno: Si bien parte de su entorno ha sido mejorado y recuperado para actividades de disfrute, no siempre el valor paisajista va de la mano con el valor biológico, ecofuncional o educativo. Se requiere se realice en asesoría de especialistas en medio ambiente que determine franjas de riberas, vegetación nativa adecuada, gestión de mantención (e.g. riego y corte de pasto), identificación, modificación y protección de entradas de aguas. etc.

4.9.2 Condiciones Ambientales

Valores ecosistémicos

- Control de la Contaminación: Los humedales presentes en la ribera sur de la laguna contribuyen al control de la contaminación, debido a que retienen el ingreso de nutrientes y otros contaminantes provenientes de la cuenca.
- Valor paisajístico: Gran parte del atractivo actual de la laguna Rayenantú se basa en el valor paisajístico dado por sus atributos naturales, por lo tanto, constituye uno de los recursos más importantes de la zona.
- Hábitat de fauna de interés comunitario: Presenta comunidades animales dada principalmente avifauna y coipos, que representan un interés en la comunidad.

Dificultades ambientales

- Estratificación y avanzado estado de eutrofización: La laguna Rayenantú presenta estratificación térmica en periodos estivales debido a sus características geomorfológicas y sus efectos se ven intensificado por la eutrofización antrópica.
- Reducción y fragmentación de hábitats: Los humedales asociados a la laguna son un pequeño fragmento respecto a su superficie original, así mismo, la vegetación arbórea ribereña ha sido reemplazada por huertos y jardines urbanos.
- Falta conocimiento dinámica hídrica: A pesar que actualmente se tiene conocimiento de algunos elementos de la dinámica hídrica de la laguna, se hace necesario realizar estudios hidrogeológicos que permitan determinar su origen, tiempo de renovación y concentraciones intrínsecas de la litología.

4.9.3 Institucionalidad

Fortalezas institucionales

- Instrumentos de planificación: Existen diversos instrumentos de ordenamiento territorial que permiten la regulación de la cuenca de la laguna Rayenantú. En este sentido, el PRC constituye en instrumento de mayor importancia, ya que clasifica y regula las actividades que se realizan en la laguna.
- Oportunidad de implementación del SCAM: Actualmente la municipalidad cuenta con acciones y compromisos de los primeros niveles del SCAM, por lo que su implementación es una oportunidad de focalizar los recursos destinados a la gestión ambiental, además, de representar una fuente de recursos para la mejora ambiental municipal, permitiendo mejorar el desempeño.
- Proactividad Municipal: Una de las principales fortalezas de la institucionalidad corresponde a la capacidad proactiva del municipio de gestionar proyectos para realizar iniciativas ambientales.
- Convenios de colaboración: La municipalidad posee convenios de colaboración con diversas instituciones. Respecto a la laguna Rayenantú, la institución presenta un convenio de colaboración con la Universidad de Concepción en materias de investigación, planificación territorial y, educación ambiental
- Obtención de recursos: Experiencia del equipo municipal en la búsqueda de recursos que pueden orientarse en los problemas ambientales.

Debilidades Institucionales

- Participación ciudadana: La escasez de procesos de participación pública con respecto al manejo de la laguna y, la falta educación ambiental y concientización de la comunidad, resultan en la baja apropiación social de la laguna, que constituye un aspecto clave en su recuperación.

- Personal municipal: Existe una falta de personal municipal dedicado exclusivamente a temas ambientales, sumado a la poca claridad en los cargos de direcciones municipales y la inexistencia de una Dirección de Medioambiente que vele exclusivamente por estos aspectos.
- Plan Regulador Comunal: Incumplimiento del PRC debido a la falta del Plano Sectorial dispuesto en el artículo 33° del instrumento de gestión. Además, de la falta de regulaciones con respecto a los sistemas naturales, principalmente la laguna Rayenantú.

4.9.4 Brechas significativas

De acuerdo al diagnóstico del desempeño de la Municipalidad de Santa Juana en la gestión de la laguna Rayenantú y las condiciones ambientales y sociales de esta, se pueden establecer las brechas significativas (Figura 23).



Figura 23. Brechas prioritarias a solucionar en la propuesta de gestión.

4.10 Métodos para el control de la eutrofización

Si bien las causas y consecuencias de la eutrofización suelen ser similares, la elección de los métodos de control depende de las circunstancias específicas de los sistemas acuáticos y su cuenca (CEPIS, 1989). Se deben considerar aspectos como el grado de eutrofización del sistema (Quirós, 2007), la compatibilidad del estado trófico con el uso del agua, el estado al que se quiere llegar, concentración de nutrientes aceptable y la factibilidad real de reducir la carga de nutrientes a los niveles deseados. Para responder estos aspectos es necesario disponer de información limnológica del sistema eutrófico a controlar, además, se deben conocer los beneficios y desventajas de implementar ciertas técnicas de control de eutrofización (Ver Anexo 2) (Quirós, 2007). El control efectivo de la eutrofización en sistemas lacustres está dado por el principal factor que la origina (Ryding & Rast, 1992), por lo tanto, una medida efectiva corresponde a control externo, el cual consiste en disminuir la carga externa de nutrientes que limitan la productividad del sistema, por lo que es necesario conocer las principales fuentes de contaminación en la cuenca. A su vez, se deben considerar métodos directos de control interno, los cuales abordan los impactos de la eutrofización dentro el sistema lacustre, estos métodos deben ser aplicados consecutivamente para mantener su eficacia.

En el caso de la laguna Rayenantú, entre los principales problemas que inciden en la degradación de la calidad de agua del sistema, destacan la proliferación masiva de macrófitas y microalgas, disminución del OD en la columna de agua, escorrentía de aguas lluvias, y cuenca altamente urbanizada. Con respecto a esto problemas, se puede establecer que algunos métodos de gestión externa corresponden a sistemas de control de escorrentía urbana y arborización de la zona ribereña, mientras que los métodos de gestión interna corresponden a la aireación con nanoburbujas, control químico y limpieza de macrófitas y microalgas. Estos métodos fueron seleccionados a partir de un análisis de ventajas y desventajas, factibilidad de aplicación y consulta a expertos.

4.10.1 Medidas de Control Externo

a) Sistemas de decantación de sólidos suspendidos

La escorrentía urbana es considerada como una fuente de contaminación difusa debido a que se origina en extensas áreas, su vertido es intermitente debido que está ligada al fenómeno de precipitaciones y relacionada a las actividades antrópicas de las áreas urbanas (Peña & Borrero, 2012), llevando consigo sedimentos acumulados en la superficie impermeable en periodos secos. Las actividades residenciales, industriales y comerciales generan sedimentos, nutrientes, materia orgánica y aceites (Peña & Borrero, 2012), los cuales son depositados en sistemas acuáticos a través de la escorrentía pluvial, pudiendo afectar su calidad.

Una técnica para el control de la escorrentía urbana consiste en cámaras decantadoras instaladas en los sistemas colección de aguas lluvias. Esta técnica permite la decantación de los sólidos provenientes de la escorrentía, debido que el aumento en el tiempo de desagüe permite la disminución de la carga total de contaminación mediante estos estanques de retención y decantación. La limpieza y eliminación de sedimentos de las cámaras de decantación, debe realizarse de forma regular para mantener la capacidad de interceptar sólidos (Ryding & Rast, 1992).

Cabe destacar que el sistema de colectores de aguas lluvias de la laguna Rayenantú presenta una cámara de inspección (Figura 24), la cual permite la operación y mantención de los colectores subterráneos (SERVIU Metropolitano, 2018), sin embargo, no presenta el diseño adecuado para actuar como sumidero de sedimentos, por lo que requiere una modificación de tubo de descarga siguiendo las especificaciones establecidas por la Norma Chilena NCh1623. A continuación, se muestra la cámara de inspección ubicada en la ribera sur de la laguna Rayenantú.

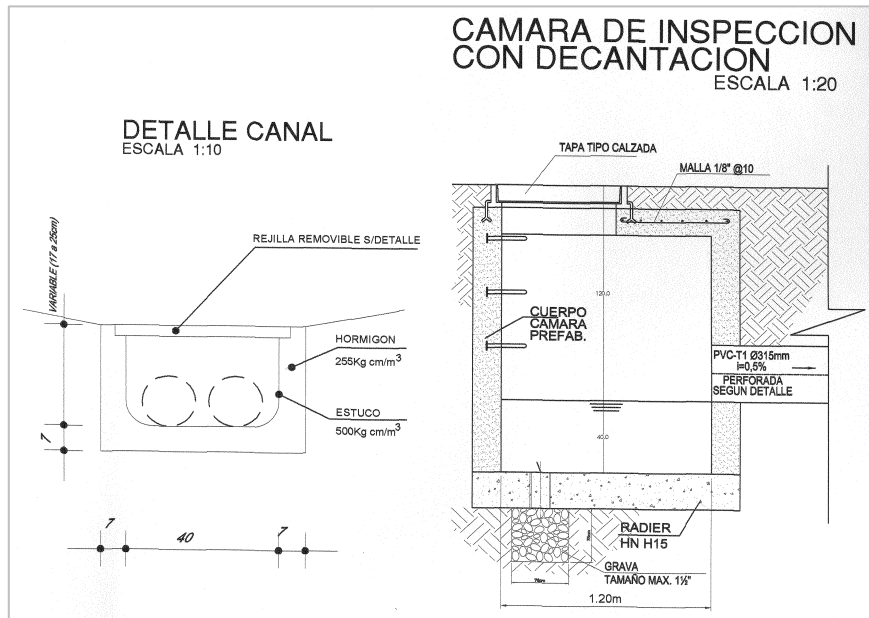


Figura 24. Colector de aguas lluvias ubicado en la ribera sur de la laguna.

Fuente: SERVIU Región del Biobío, 2013.

b) Humedales artificiales

Para optimizar el sistema colector de aguas lluvias se debe implementar un canal de macrófitas o humedal artificial (HA), sistemas de depuración de contaminantes compuestos por lagunas o canales poco profundos de altos niveles de eficiencia (García y Corzo, 2008), que permiten la filtración de contaminantes que no sedimentan en la cámara de decantación. Los humedales artificiales son ampliamente utilizados para el control de la contaminación de escorrentía urbana (Peña & Borrero, 2012) presentando bajos costos en comparación a otras técnicas, además, no presentan efectos colaterales al medio ambiente y crea condiciones para hábitats de diversas especies hidrobiológicas constituyendo en la preservación de estos ecosistemas, siendo una alternativa viable y sustentable (Luna & Aburto, 2014). Los elementos que los constituyen son el componente vegetal que aporta oxígeno, la actividad bioquímica de microorganismos y material de empaque que da un medio de soporte (Luna & Aburto, 2014).

Con respecto a la clasificación de los HA, estos se diferencian en el nivel de flujo de agua que se encuentra sobre o bajo la superficie de tierra, es decir, flujo superficial o flujo subsuperficial respectivamente, representados en la Figura 25, asimismo, los humedales de flujo horizontal presentan mayor eficacia en las tasas de desnitrificación respecto a aquellos de flujo vertical, los cuales presentan mayor eficiencia en la degradación oxidativa de contaminantes (Gattenlöhner *et al.*, 2004).

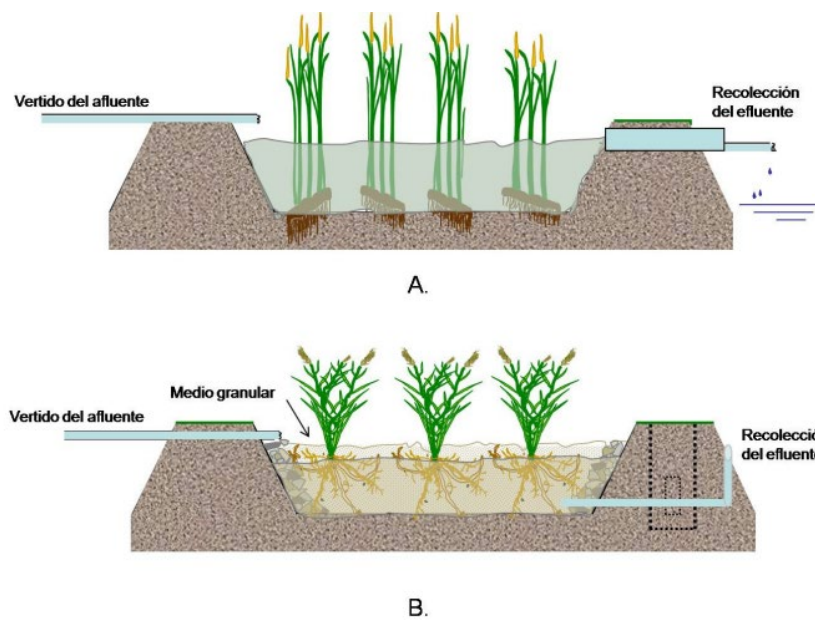


Figura 25. Tipos de humedales artificiales: A) Flujo superficial; B) Flujo subsuperficial.

Fuente: García y Corzo, 2008.

Con respecto al diseño del humedal artificial, este debe establecerse en base a la carga de nutriente del influente que recibe, en este caso escorrentía urbana, siendo los Humedales de Flujo Libre (HFL) los más utilizados debido a su capacidad de controlar las fluctuaciones del nivel del agua y su composición (Peña & Borrero, 2012). Se debe enfatizar en los parámetros hidrológicos debido que representan el factor de mayor importancia, por lo que se requiere la elaboración de un balance hídrico para determinar relaciones entre los sistemas

hídricos. En cuanto a la selección de sitio de construcción, se debe considerar la entrada de aguas al humedal y la topografía, siendo este el factor de mayor consideración, debido que los lugares planos son más adecuados. El tamaño del humedal está determinado por el volumen de entrada, el cual depende de escorrentía superficial y del área drenada, asimismo, la profundidad está determinada por el tipo de planta a utilizar, la cual varía entre 0,15 a 0,3 metros (Peña & Borrero, 2012). En la Figura 26 se presenta el diseño de mayor eficiencia hidráulica para humedales artificiales de aguas proveniente de escorrentía (García & Corzo, 2008). La selección del componente vegetación debe estar basada en las macrófitas presentes en el sistema lacustre, para el caso de la laguna Rayenantú una elección viable corresponde a la *Scirpus californicus* (Peña & Borrero, 2012), ya que según el estudio limnológico realizado por Codelia (2017) esta especie se encuentra en la laguna y, además, según bibliografía presenta altas tasas de remoción de contaminantes (Pankratz et al. 2007; Vymazal, 2013).

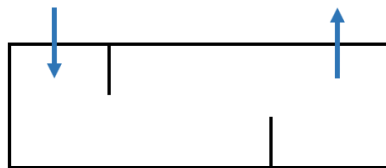


Figura 26. Forma de HA de mayor eficiencia hidráulica.

Fuente: Persson et al., 1999.

c) Arborización de la zona ribereña

La zona ribereña es un sistema vegetacional asociado a cuerpos de agua, siendo la transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos (Romero *et al.*, 2014), y tiene un papel fundamental en la conservación de SE (Weisberg *et al.*, 2013), debido a la estrecha relación entre vegetación ribereña y calidad de cuerpos acuáticos (Allan, 2004). Estas zonas regulan la cantidad de luz y temperatura de los sistemas que se encuentran asociados, procesan la materia orgánica

capturando nutrientes y facilitando en proceso de contaminantes, actuando como filtro ante la entrada de contaminantes, lo que permite mejorar y mantener una buena calidad de agua de los sistemas acuáticos. En cuanto a la composición de la zona ribereña, se puede diferenciar vegetación nativa e introducida y su influencia en la calidad de agua y, por tanto, en el suministro de SE (Romero *et al.*, 2014).

La cuenca de la laguna Rayenantú se encuentra altamente urbanizada producto del aumento demográfico. En este sentido, se ha eliminado o alterado la composición vegetacional arbórea relacionada con el sistema lacustre, siendo reemplazada por flora ornamental introducida, tales como sauces (*Salix sp*) y álamos (*Populus sp*). Por lo tanto, para asegurar el funcionamiento de los ecosistemas ribereños, se deben implementar franjas de protección y plantación de especies boscosas hidrófilas nativas. Estas franjas permiten cumplir diversas funciones, Gayoso & Gayoso (2003) identifica las siguientes: (i) Mantenimiento de la integridad ecológica e hidrológica del sistema y vegetación asociada; (ii) Reducción de la erosión; (iii) Regulación de crecidas y mantenimiento de flujos base; (iv) Mantenimiento de buena calidad de agua; (v) Interceptar sedimentos provenientes de la escorrentía superficial; (vi) Mantener hábitat para distintas especies; (vii) Aumento del valor estético y oportunidad de recreación.

d) Control de plantas acuáticas invasoras

El Didymo (*Didymosphenia geminata*) (Jaramillo *et al.*, 2015) y el luchecillo (*Egeria densa*) (De Winton & Clayton, 1996) son especies acuáticas invasoras que provocan severos daños en sistemas lacustres, fluviales y humedales (Figura 27), invadiendo grandes extensiones de ecosistemas acuáticos y modificando la biodiversidad local. Debido a su alta capacidad de reproducción y propagación pueden colonizar de forma agresiva nuevos ecosistemas, característica que las convierte rápidamente en plagas. La principal medida que propone la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de Chile (SUBPESCA) corresponde a la

limpieza y desinfección de los distintos elementos que tengan contacto directo con los sistemas acuáticos. Para ello es necesario realizar un programa para el control de nuevas especies invasoras, principalmente Dídimo (*Dydimo*) y Luchecillo (*Egeria densa*) que establezca requisitos para el ingreso de embarcaciones, equipos de kayak, u otros elementos que puedan ser potenciales portadores de estas especies y tengan contacto con la laguna.



Figura 27. Especies acuáticas invasoras. A) Presencia de Luchecillo en lago Lanalhue; B) Plaga de Didymo en los sectores altos del Biobío.

4.10.2 Control Interno

a) Aireación con nanoburbujas

En los periodos de deficiencia de oxígeno, particularmente en el periodo de estratificación térmica que presenta la laguna Rayenantú en época de primavera-verano, la degradación anaeróbica incompleta de organismos acuáticos puede acumularse en el hipolimnion, generando compuestos que pueden provocar problemas para la biodiversidad y la provisión de SE. Una de las técnicas más apropiadas para el control del oxígeno corresponde a la aireación del hipolimnion (Beutel & Horne 1999; Preece *et al.*, 2019), la cual consiste en la inyección de burbujas oxígeno bajo la termoclina, sin embargo, la incorporación de estas macro burbujas tiene un bajo tiempo de residencia en el cuerpo acuático. Tekile *et al.* (2016) establece que una medida eficiente corresponde a la incorporación de nanoburbujas de aire, con un diámetro entre 10 μ m y 200 nm (Agarwal *et al.*,

2011), debido que presentan propiedades que favorecen a la rehabilitación de los sistemas acuáticos degradados (Temesgen *et al.*, 2017) (Figura 28):

- Largo tiempo de residencia en la columna de agua, la flotabilidad de una burbuja es proporcional al volumen de aire contenido en ella, por lo que las nanoburbujas permanecen en el agua por un tiempo mayor.
- Mayor área de contacto que una burbuja normal, aumentando la tasa de transferencia de gas suministrado (aire, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, entre otros) y aumenta la actividad de las bacterias aeróbicas en el líquido.
- Carga negativa debido al aumento en la concentración de iones alrededor de la interface gas-agua de la nanoburbuja. A medida que las nanoburbujas flotan, capturan los sólidos suspendidos en el líquido llevándolos a la superficie.

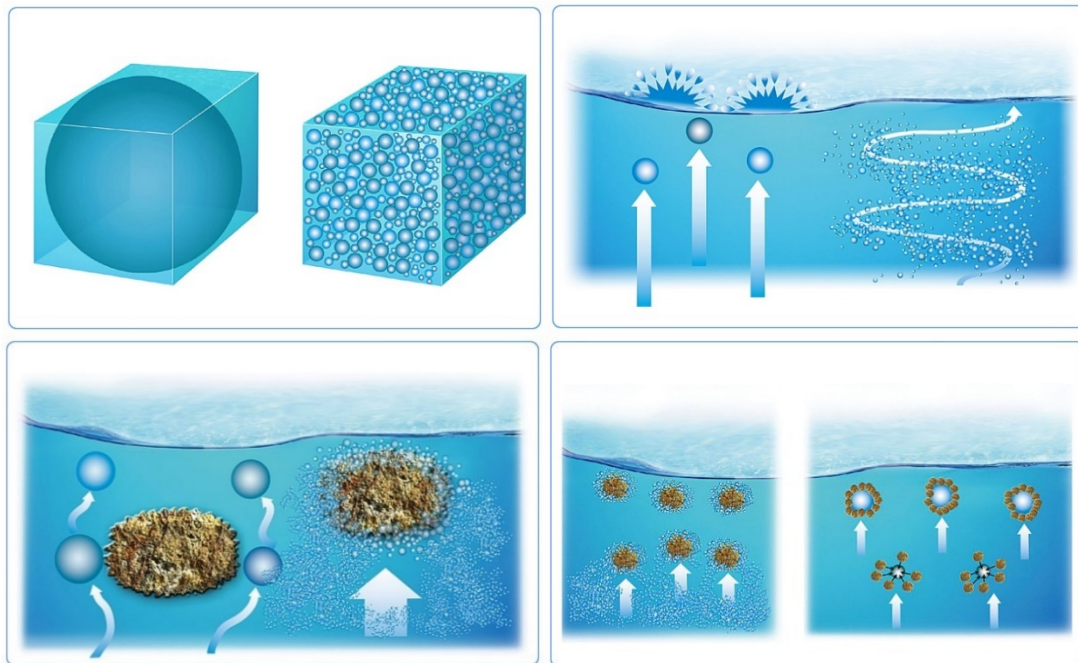


Figura 28. Propiedades de las nanoburbujas para rehabilitar sistemas acuáticos degradados. A) Tamaño nanoburbujas; B) Mayor tiempo de residencia; C) Efecto de carga negativa; D) Mayor área de contacto.

Fuente: BL Dynamics Inc, 2019.

En cuanto al sistema generador de nanoburbujas (Figura 29), el efecto Venturi ha sido ampliamente utilizado, este se basa en el mecanismo de cavitación hidrodinámica (Agarwal *et al.*, 2011), donde la reducción de la presión interna del tubo Venturi, aumenta la velocidad del líquido en el tubo debido a la disminución del diámetro del tubo.

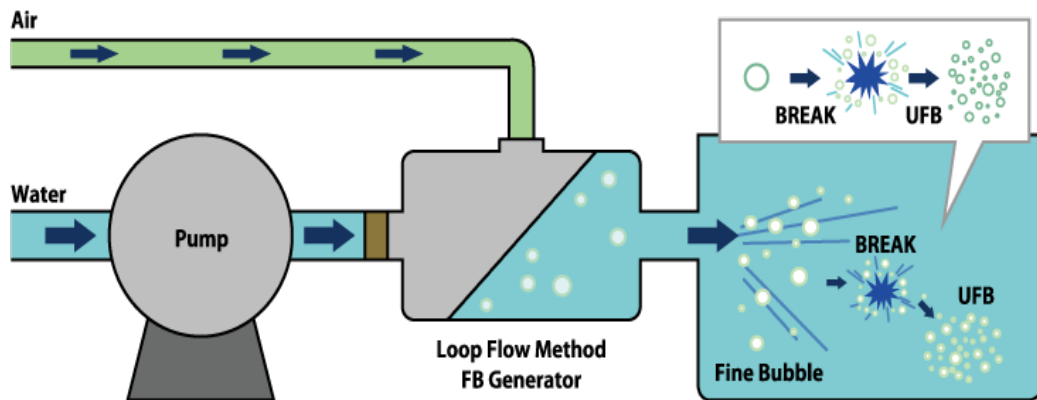


Figura 29. Sistema generador de nanoburbujas.

Fuente: *Nanyo Craft Co, 2018*

b) Control de nutrientes y macrófitas

En las últimas décadas ha existido una proliferación de macrófitas y microalgas en la laguna Rayenantú debido a la incorporación de nutrientes que provienen de las actividades antrópicas de la cuenca. El aumento de biomasa de plantas acuáticas tiene consecuencias negativas en el ecosistema, afectando estructura de las comunidades biológicas y los recursos que ofrecen estos sistemas a la sociedad, entre estos efectos destacan las alteraciones en parámetros fisicoquímicos del agua, reducción del oxígeno disuelto en la columna de agua, incidencia de luz y dinámica de nutrientes, lo que puede desencadenar en la muerte masiva de peces y otros organismos.

El control de algas más efectivo consiste en la reducción de nutrientes en la columna de agua a través de la regulación de las actividades antrópicas en la cuenca. Esta regulación representa cambios que requieren de políticas de gestión de cuencas, por lo que representan acciones a largo plazo (Wagner & Erickson, 2017). En este sentido, la aplicación de tratamientos directos en el sistema lacustre de carácter biológico, químico u otros, representan una solución a corto plazo que deben ser aplicadas integrando soluciones ecológicas que sean sostenibles.

El control químico es una de las técnicas más utilizadas para el control de la eutrofización. Los alguicidas son productos químicos diseñados con la finalidad de eliminar algas, asimismo, los floculantes químicos permiten precipitar los nutrientes de la columna de agua (Figura 30), además, presentan efectos rápidos y de larga duración y son un método de bajo costo y compatible con otros métodos. Sin embargo, la aplicación de estos puede tener efectos nocivos sobre el sistema lacustre (Wagner & Erickson, 2017), por lo tanto, se requiere conocer especificaciones del producto, así como de los riesgos y efectos de su aplicación para determinar aquellos que sean ecológicamente seguros. Una de las alternativas que actualmente se utiliza son las arcillas modificadas, sistema eficaz que permite la decantación de microalgas y floculación de nutrientes, siendo una tecnología de bajo costo y los estudios evidencian su nula nocividad en el medio ambiente e ictiofauna. Otra alternativa consiste en la aplicación compuestos químicos en base cultivos de bacterias que permiten aumentar el tiempo de degradación de la materia orgánica, por lo tanto, no tiene mayores efectos nocivos sobre el medio ambiente ni constituye un riesgo a la comunidad.

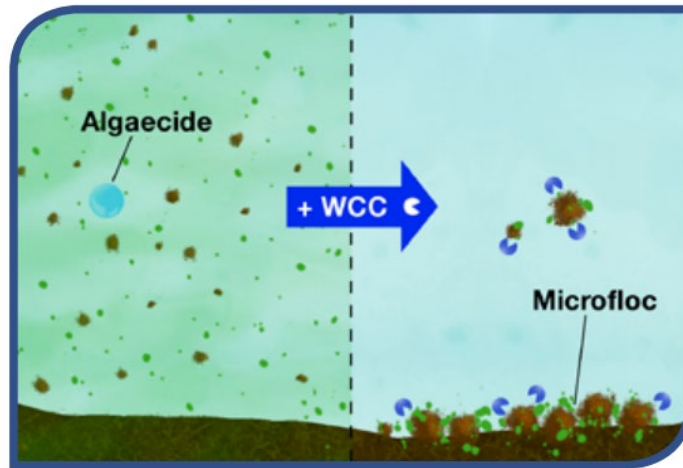


Figura 30. Floculación de nutrientes en la aplicación del clarificador de columna de agua.

Fuente: Naturalake Biosciences, 2018

Por otra parte, la poda mecánica corresponde a la opción más recomendable para el control de la biomasa de macrófitas debido a sus efectos inmediatos y presenta ventaja frente a otras opciones, tal como la retirada simultánea de nutrientes del sistema en forma de biomasa vegetal, que pueden ser potencialmente utilizados como estabilizador de sistemas de compostajes. Además, presenta escasos efectos colaterales sobre otros medios si se establecen adecuadamente los periodos y cantidad de poda, ya que sin considerar esto, puede conllevar al sistema a una fase oscura donde predominan comunidades de microalgas, favoreciendo el desequilibrio del sistema. Por lo tanto, el proceso para realizar la retirada de macrófitas es un aspecto clave. La extracción mecánica y arrastre, puede llevar a la resuspensión de sedimentos y, por lo tanto, los nutrientes depositados en los sedimentos son liberados a la columna de agua. La poda de macrófitas, debe ser reiterada, sus costos son elevados, representando una solución a corto plazo que debe ser planificada en conjunto con otras alternativas para disminuir y estabilizar la comunidad de macrófitas.

En la Figura 31 se puede observar la evolución de la cobertura de las plantas acuáticas de la laguna, donde existe un retroceso de estas zonas entre los años 2006 y 2019 debido al manejo llevado a cargo por la Municipalidad de Santa Juana mediante las campañas de limpieza de macrófitas como esfuerzo de recuperar la laguna Rayenantú. Sin embargo, esta extracción no se ha realizado de forma planificada, lo que ha generado un aumento de fitoplancton en la columna de agua, evidenciado por la turbidez del espejo de agua. Este fenómeno sucede ya que las macrófitas incorporan los nutrientes desde el sistema acuático y al ser retiradas, estos nutrientes quedan disponibles para el fitoplancton, entre ellas las algas unicelulares filamentosas, aumentando su población en el sistema lacustre.

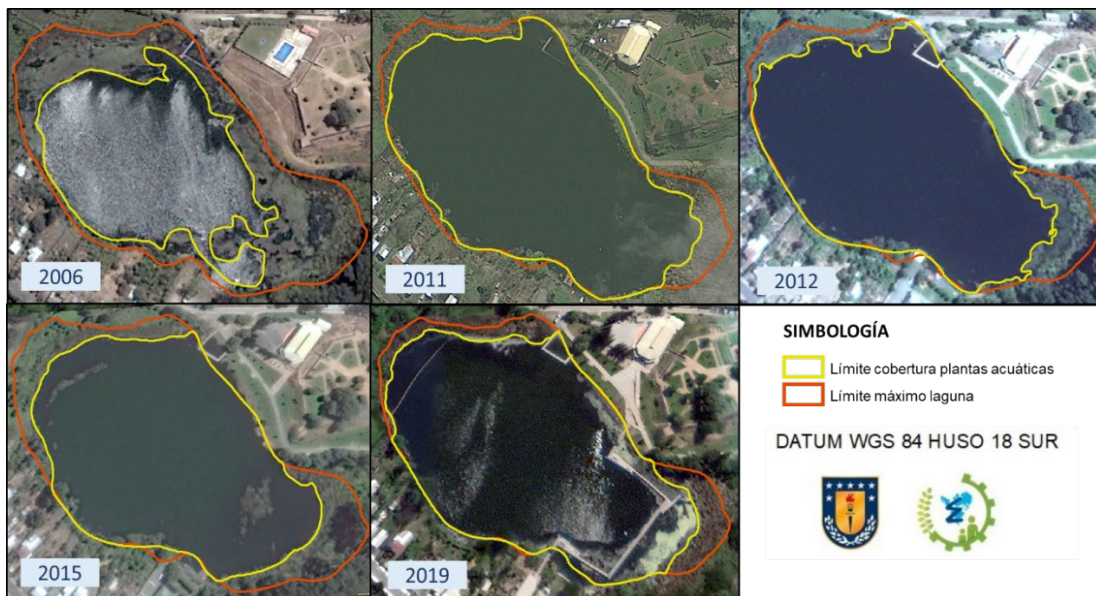


Figura 31. Evolución de la cobertura de plantas acuáticas 2006-2019.

c) Control de ictiofauna invasora

Las especies exóticas invasoras presentan un alto potencial de invasión y, por lo tanto, constituyen un riesgo para la conservación de especies nativas. Con respecto a la ictiofauna, la carpa o *Cyprinus carpio* (Iriarte, 2005; Habit *et al.*, 2015) corresponde a una especie clave ya que reduce la calidad del agua y

degrada el hábitat acuático debido a sus hábitos alimenticios, debido que succiona gran cantidad de detritos que luego libera al ambiente generando la resuspensión de sedimento. Además, representa un riesgo para especies nativas que se encuentran en alguna categoría de conservación, ya que se alimenta de especies bentónicas y destruye nidos de otras especies.

La forma más efectiva para el control de especies ícticas invasoras corresponde a campañas intensivas de pesca, las cuales se deben planificar considerando intensidad y duración que permitan el control efectivo en las poblaciones de peces invasores, con la finalidad que las poblaciones de peces autóctonos se recuperen (LIFE Potamo Fauna, 2014). En este sentido, la captura con trampa ha mostrado eficacia en distintos estudios y representa una técnica pasiva de pesca y control de peces exóticos a largo plazo. Además, permite la captura de peces vivos, así las especies autóctonas son devueltas al medio acuático.

4.11 Propuesta de Gestión Integrada de Cuencas

El modelo de Gestión Integrada de Cuencas de Lagos (ILBM) (ILEC, 2007), permite asegurar el uso sustentable de los recursos hídricos, para ello es necesario establecer aspectos claves para solucionar los problemas identificados que afectan al sistema lacustre y que deben ser abordados según los objetivos propuestos que se orientan al manejo integrado de la cuenca de la laguna Rayenantú en base a los pilares establecidos por el ILBM y que se expresan las acciones a corto, mediano y largo plazo que descansen en los pilares del modelo integrado, para la solución de problemas priorizados. Esto permite dar un orden en la ejecución de programas y actividades propuestas, las cuales deben guardar relación con planes y estrategias de desarrollo socioeconómico y ambiental a escala regional y nacional.

La presente propuesta de restauración se establece en una serie de medidas y acciones que de forma integrada permiten la rehabilitación de la laguna Rayenantú, asegurar su calidad de agua para distintos usos, así como favorecer

el desarrollo de hábitats para fauna de interés comunitario. Las medidas propuestas en el plan de gestión están contempladas en un horizonte de planificación de cinco años y establece la prioridad de los programas y las instituciones responsables de su implementación, además, de estar acompañada de un proceso de verificación y medición para establecer la medida en que los programas y actividades han propiciado mejoras. Las medidas propuestas son en base a criterios de selección fundamentados en aspectos ecológicos, socioeconómicos y administrativos y, buscan cumplir con el objetivo de recuperar las condiciones tróficas adecuadas de la Laguna Rayenantú que permitan mantener la sustentabilidad de las funciones y servicios ecosistémicos mediante la integración de los pilares del modelo ILBM.

Objetivos específicos

- i) Mejorar la calidad de agua de la laguna y asegurar los servicios ecosistémicos culturales que provee.
- ii) Prevenir la contaminación del sistema lacustre y la degradación del recurso hídrico mediante la aplicación de medidas de gestión.
- iii) Fortalecer y consolidar los procesos de educación ambiental que permiten el desarrollo de valores en la comunidad, facilitando la apropiación territorial de la laguna Rayenantú.
- iv) Establecer espacios que permitan el acercamiento entre distintos actores involucrados en la gestión de la laguna, involucrando a comunidades e instituciones público y privadas.
- v) Lograr las capacidades o competencias necesarias para que funcione.

4.11.1 Pilar 1 del ILBM: Información

Se debe propiciar el conocimiento científico de la laguna Rayenantú de forma que la generación de datos sea un aporte en la comprensión de los procesos biofísicos del sistema, los cuales serán la base para la toma de decisiones para el manejo de sistema. A mayor nivel de información sobre la laguna Rayenantú y las fuentes de aportes de agua, mayor será el nivel de comprensión sobre sus procesos y, por lo tanto, sobre los mecanismos que se deben implementar para su gestión.

Programa 1. Monitoreo de Recursos Hídricos

Objetivo: Realizar un levantamiento de información de parámetros hidrológicos y físico, químico y biológicos, que permitan realizar un balance hídrico del sistema lacustre, caracterizar sus fuentes aportantes y evaluar su evolución trófica.

El programa de monitoreo de calidad de agua permite determinar el progreso del estado trófico en el tiempo, por lo tanto, es un indicador de la efectividad de las técnicas de rehabilitación del sistema lacustre, ya que analiza y caracteriza estos hidrosistemas permitiendo conocer sus procesos hidrológicos y determinar la calidad de agua para determinados usos (AECID, 2017). Cabe destacar que las medidas propuestas a continuación deben ser desarrolladas por entidades de investigación acreditadas, en este sentido, la Universidad de Concepción presenta un convenio de cooperación e investigación respecto a la laguna Rayenantú.

Por lo tanto, el programa de monitoreo debe contemplar un levantamiento de información sobre tiempo de renovación del sistema hídrico mediante la cuantificación de las entradas de agua, con el objetivo de elaborar balances hídricos estacionales.

- Cuantificar flujos superficiales de escorrentía pluvial. Se debe realizar muestreo en las entradas de aguas lluvia a la laguna, principalmente en la primera lluvia de la estación.
- Investigación de patrones de flujo del agua subterránea para definir interacciones entre el nivel freático la laguna Rayenantú.
- Medición estacional del caudal de salida.
- Preparación de balances hídricos en escala temporal: verano, otoño, invierno y primavera.

Además, se debe disponer de un Programa de Monitoreo de Calidad de Agua de la laguna Rayenantú y aportes de agua subterránea, que consista en mediciones a largo plazo de parámetros fisicoquímicos y biológicos (Tabla 19) con frecuencias establecidas, siguiendo metodologías estandarizadas. Para esto se establece como criterio 2 años de monitoreo de aguas superficiales y al menos 5 años de monitoreo de aguas subterráneas (Aguilera, 2010).

- Determinar la tasa de renovación mediante la cuantificación de las entradas de agua al sistema y capacidad de carga (capacidad de asimilación de contaminantes) mediante un muestreo mensual de nutrientes: fósforo y nitrógeno.
- Realizar estudios para determinar habilitación de la laguna para actividades de uso de contacto directo mediante la medición de coliformes.
- Determinar la carga de nutrientes y contaminantes de los afloramientos de aguas subterráneas y los colectores de aguas lluvias.

Tabla 19. Parámetros a medir en las estaciones de muestreo

Indicador	Parámetro	Unidad
Indicador químico-físico/toxicológico	Temperatura	°C
	Conductividad	µS/cm
	Transparencia	m
	Sólidos totales	mg/L
	pH	-
	Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L
	Dureza total	mg CaCO ₃ /L
	Oxígeno disuelto	mg/L
	DBO ₅	mg O ₂ /L
	DQO	mg O ₂ /L
	Fósforo total	mg P/L
	Nitrógeno total	mg N/L
Indicador contaminación bacteriana	Coliformes totales	NMP/100 mL
	Coliformes fecales	NMP/100 mL
Indicadores biológicos	Clorofila	µg/L

. Fuente: EULA-Chile, 2013.

Además, se deben realizar estudios hidrogeoquímicos que permitan determinar el origen de la laguna Rayenantú. Respecto a esto, es necesario realizar un estudio de las recargas de los acuíferos, mediante el análisis isotópico para establecer el origen del agua subterránea, su edad, trayectorias y origen de la contaminación, permitiendo entender de manera detallada el origen de la misma, los flujos de agua subterránea y cuantificar la contaminación antrópica (Aguilera, 2010). En cuanto a la composición de las aguas subterráneas, se debe realizar una caracterización litológica e hidrogeológica de los acuíferos que permita establecer la composición de las aguas subterráneas y a su vez, determinar la vulnerabilidad frente a la contaminación procedente de la presencia de elementos intrínsecos del acuífero o producto de actividades antrópicas.

Respecto al aporte de colectores de aguas lluvias, se debe determinar el área de la cuenca indirecta dada por el aporte de los colectores de aguas lluvias, identificando la superficie que aporta escorrentía mediante la captación de los colectores de aguas lluvias, para ello es necesario la elaboración de un Plan Maestro de Aguas Lluvias. Además, es necesario inspeccionar los colectores de aguas lluvias mediante cámaras de inspección de tuberías para determinar la existencia de conexiones erradas.

Programa 2. Difusión de la información

Objetivo: Promover y facilitar la información para el uso sustentable de los recursos naturales de la laguna Rayenantú, enfatizando la pertenencia cultural de la comunidad.

Es fundamental realizar un trabajo de divulgación del programa de recuperación de la laguna Rayenantú, donde se expliquen los valores que se buscan al implementar las medidas y cuáles son los beneficios que representan para la sociedad. Además, la información recopilada debe ser conocida por toda la comunidad, incluyendo a funcionarios municipales y visitantes. Este punto es fundamental para la aceptación social del programa, forjando en la comunidad un sentido de pertenencia respecto a los sistemas naturales.

- Diseñar e implementar paneles explicativos de los elementos fundamentales de la zona, como flora y fauna característica del sistema, permitiendo la valoración y sensibilización de los elementos naturales. Se deben instalar en lugares de buena visibilidad del entorno, con un diseño y contenido sencillo, visualmente atractivo.
- Implementar señalización de acceso a la laguna Rayenantú y Fuerte histórico, indicando su importancia como patrimonio natural y cultural, permitiendo a los visitantes acceder con mayor facilidad.
- Elaboración de folletos informativos que entreguen información necesaria en un formato ligero de fácil comprensión. Estos deben ser entregados de forma

gratuita a visitantes y comunidad de Santa Juana, dando conocimiento de la relevancia del lugar que visitan.

- Crear y consolidar redes sociales enfocadas a la difusión de actividades relacionadas con la laguna Rayenantú en el contexto del proyecto de recuperación. Además, estos medios pueden servir para reportar eventos presenciados por la comunidad como cambios en la coloración del agua, proliferación de algas, actividades restringidas, presencia de basura, entre otra información de utilidad.
- Realizar una cartografía ambiental temática de los componentes naturales y culturales de la laguna Rayenantú y sus alrededores, la cual puede ser difundida en los folletos informativos y en redes sociales.

4.11.2 Pilar 2 del ILBM: Participación

Esta estrategia se orienta a la creación de proyectos de educación y participación de la comunidad de Santa Juana, formando ciudadanos y comunidades responsables que preserven y usen racionalmente los recursos de la laguna Rayenantú, fomentando que los habitantes contribuyan activamente en su protección.

Programa 1. Educación Ambiental a la comunidad

Objetivo: Consolidar espacios de educación ambiental y participación de la comunidad mediante procesos de formación ciudadana, que permitan la valoración ambiental y cultural de la laguna Rayenantú en base a la consolidación social del territorio.

Es necesario la educación ambiental dirigida a toda la comunidad que les permita desarrollar opiniones informadas y con ello un cambio de conducta inspirada en el sentido de responsabilidad sobre el cuidado de medio ambiente y calidad de vida (MMA, 2018). En este sentido, se deben realizar actividades de

sensibilización a la comunidad que los haga capaces de actuar de forma individual y colectiva.

- Impartir charlas y talleres periódicos enfocados en la protección de los sistemas lacustres, los servicios ecosistémicos relacionados y medidas necesarias para su recuperación y de sus responsabilidades como ciudadanos, permitiendo la sensibilización progresiva y la apropiación territorial permanente de la comunidad. Estas actividades se deben desarrollar 2 veces en el semestre.
- Elaborar un video educativo que sensibilice a la comunidad sobre importancia de los sistemas lacustres y protección de la laguna Rayenantú como patrimonio natural y cultural y, las responsabilidades de la comunidad en su protección.
- Identificar y capacitar a líderes comunitarios locales interesados en formarse como educadores y gestores ambientales de la comunidad mediante la realización de talleres, los cuales se deben impartir al menos una vez al año.
- Realizar un programa de Control Participativo de ictiofauna invasora enfocada en controlar la población de Carpa (*Cyprinus carpio*). Se debe desarrollar en época estival una campaña anual consistente en la pesca de especies ícticas exóticas por parte de la comunidad de Santa Juana en el marco un Campeonato local de pesca.
- Realizar un taller de tenencia responsable de mascotas que representen un peligro para la fauna local, el cual debe realizarse una vez al año. En este sentido, se debe realizar una campaña de esterilización de mascotas de la zona colindante de la laguna Rayenantú.
- Realizar un Concurso fotográfico de los elementos naturales de la laguna Rayenantú, este puede tener como foco la avifauna del sector y, debe presentar distintas categorías de participación para adultos y niños. Las fotografías deben ser presentadas en una exposición fotográfica en algún lugar visible de la comunidad.

- Realizar capacitaciones respecto al rol fiscalizador que cumple la comunidad en las medidas aplicadas para el Control Preventivo de especies exóticas invasoras.

Programa 2. Educación ambiental a recintos educacionales y ciudadanía

Objetivo: Establecer la laguna Rayenantú como “Aula Ambiental”, conformando a este sistema natural como un escenario pedagógico enfocado en fortalecer y consolidar procesos de educación formal y no formal, mediante la comprensión de la laguna Rayenantú y el Fuerte Histórico como patrimonio natural y cultural.

La Educación ambiental se basa en el desarrollo de actividades que aumenten el uso educativo y la producción de conocimiento de las áreas protegidas de la ciudad, que generen sensibilización, concientización y valoración de los espacios naturales y las problemáticas ambientales a las que se enfrentan. Además, permite transmitir valores que sean motor de cambio de hábitos y conducta de las comunidades en pos de la protección del ambiente. En este sentido, la Ley General de Educación (Ley 20.370) señala que el sistema educativo incluye y fomenta el respeto hacia el medio natural y cultural y la sostenibilidad de los recursos naturales (MMA, 2018). Para ello se requiere:

- Diseño de guías de aprendizaje para ser implementadas en establecimientos educacionales de la comuna en conjunto con DAEM. Se debe realizar material educativo referente a la biodiversidad de sistemas lacustres y contenidos referentes a la laguna Rayenantú, e introducirlos en la malla curricular de los colegios de la comuna.
- Realizar visitas guiadas a los colegios de la comuna para adquieran e internalicen conocimientos sobre los procesos naturales del ecosistema y la importancia que tienen los espacios naturales sobre su calidad de vida. Las actividades que se proponen están basadas en salidas al medio natural y se compone de tres fases: 1ª Fase, Jornada previa de búsqueda de datos y

ubicación de la actividad; 2ª Fase, Desarrollo de la actividad en el medio natural; y 3ª Fase, Jornada de análisis y conclusiones finales.

- Incorporar al Club de Canotaje Cendyr Náutico en las actividades ambientales y deportivas de los recintos educacionales, fomentando el uso de la laguna Rayenantú como espacio deportivo y fortaleciendo el sentido de apropiación de los sistemas naturales.
- Fomentar a recintos educacionales de la comuna a participar en el Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educacionales (SNCAE) promovido por el Ministerio de Medio Ambiente, que corresponde a estrategia integral para abordar la educación ambiental para la sustentabilidad en los establecimientos educacionales del país mediante el compromiso voluntario de estrategias de educación ambiental en sus comunidades.

4.11.3 Pilar 3 del ILBM: Tecnología

Esta estrategia se orienta en la aplicación de tecnología básica y de punta que permita reestablecer las funciones y procesos ecológicos de la laguna Rayenantú, asegurando la capacidad del ecosistema lacustre de prestar servicios ecosistémicos.

Cabe destacar que las medidas propuestas en este pilar deben estar asesoradas por entidades científicas, ya que muchas de los programas propuestos corresponden a tecnologías que necesitan de un equipo técnico para ser implementadas.

Programa 1. Gestión de aguas lluvias

Objetivos: Implementar medidas que permitan reducir la carga de sedimentos de la escorrentía superficial y minimizar el impacto de la descarga de aguas lluvias a la laguna Rayenantú.

Se debe planificar la urbanización de forma que la escorrentía superficial no se convierta en una presión para el sistema receptor, por lo que se requieren

medidas eficientes de drenaje urbano que minimicen la generación de escurrimientos de aguas. En este sentido, el urbanizador a cargo de la planificación de las áreas urbanas, toma un papel fundamental en la aplicación de las siguientes medidas (SERVIU Metropolitano, 2018).

- Reducir las áreas impermeables de la zona urbana mediante la construcción de veredas, calles de poco tránsito, estacionamientos u otros, utilizando pavimentos permeables.
- Drenar las superficies impermeables y conducir la esorrentía superficial a elementos como zonas de pastos y vegetación que tengan una fácil infiltración.
- Implementar zanjas de vegetación u depresiones en áreas verdes que permitan la detención e infiltración de aguas lluvias, reemplazando las cunetas y conductos rápidos de drenaje.
- Disponer áreas verdes en zonas de aguas abajo, e intercalarlas entre áreas impermeables, para recibir aguas lluvias por gravedad y entregar los excesos a los sistemas de colectores de aguas lluvias.

En cuanto a métodos de control de la esorrentía urbana, estos se basan en un complemento de técnicas que permiten la reducción de la carga de sedimentos y nutrientes de las aguas lluvias que se descargan a la laguna Rayenantú y que consisten en la implementación de un sistema de decantación y humedales artificiales.

- Sistema de decantación de aguas lluvias

Se debe rediseñar la cámara de inspección de aguas lluvias ubicada en la ribera sur de la laguna, con la finalidad de retener los sedimentos provenientes de la esorrentía superficial. En la siguiente Figura 32 se muestra un diseño aproximado del sistema que se debe implementar (Ver Anexo 3).

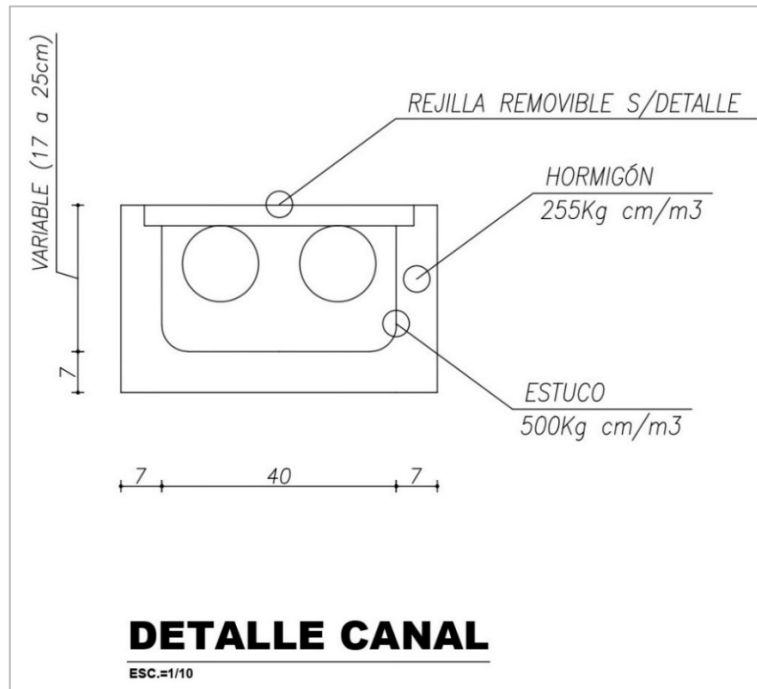


Figura 32. Modificación de la cámara de decantación del sistema colector de aguas lluvias.

Para la mantención de la capacidad de retención de sedimentos, se debe extraer manualmente los lodos decantados en la cámara, principalmente luego de los eventos pluviales que arrastran gran cantidad de sedimentos.

Además, se propone implementar una tubería que capte el flujo de las aguas lluvias que descargan a la laguna y sean redirigidas al humedal artificial para su tratamiento.

- Humedal Artificial

Se debe diseñar e implementar un humedal artificial (HA) o canal de macrófitas en base a las concentraciones y características de las aguas lluvias a tratar, lo cual se debe realizar en el programa de monitoreo de calidad de aguas. Además, se debe determinar un sitio de ubicación del lecho del HA, el cual puede corresponder a la ribera este, a un costado del recinto hospitalario Clorinda Avello, debido que corresponde a una de las pocas zonas libres con poca

pendiente, además, esta ubicada ceca del sistema colector de aguas lluvias y del cuerpo receptor.

En cuanto la vegetación que se debe utilizar, esta corresponde a macrófitas nativas del sistema lacustre tales como *Scirpus californicus*, ampliamente utilizada en humedales artificiales. Además, se deben implementar estructuras de entrada y salida de agua para regular el nivel de inundación del sistema (Luna & Aburto, 2014).

El mantenimiento de los humedales artificiales se limita principalmente a controlar la vegetación, según sea el caso, puede ser podada anualmente, o repuesta para mantener los patrones de flujo (Gattenlöhner et al., 2004), por lo que se requiere una inspección mensual o semanal de los HA.

Programa 2. Aplicación Aireador de nanoburbujas

Objetivo: Aumentar el oxígeno disponible en la columna de agua evitando los efectos de la estratificación térmica mediante la aireación por nanoburbujas.

Implementar de un generador de nanoburbujas, el cual debe ser instalado en la laguna Rayenantú mediante un sistema aislado, como por ejemplo una balsa, que permita la aireación en la zona céntrica de la laguna y al mismo tiempo limite el acceso sólo al personal autorizado de operación y mantenimiento.

La aireación se debe aplicar bajo los cuatro metros de profundidad, en este caso debido que en esa cota se encuentra la termoclina que divide las masas de aguas de mayor y menor concentración de oxígeno. El periodo de aplicación debe ser mientras dure la estratificación térmica, la cual se inicia en primavera y se mantiene durante el verano.

Programa 3. Control de macrófitas y microalgas

Objetivo: Controlar las áreas cubiertas de macrófitas y microalgas mediante la eliminación directa de estas.

El control directo de algas filamentosas mediante la remoción directa de las poblaciones de microalgas consiste en la recolección de algas cuando comienzan a desarrollarse las floraciones, para esto se debe realizar el paso de un rastrillo, malla, o alguna herramienta similar que permita la recolección de las masas superficiales. La extracción de las masas de microalgas se debe realizar cuando se detecte su aparición a principios de primavera (septiembre-octubre), es necesario repetir la eliminación de las algas filamentosas en cuanto se detecte su aparición, antes que forme masas gelatinosas masivas que provoque daños y que su retiro sea de mayor complejidad (Figura 33), de modo que la frecuencia de observación es semanal durante el periodo de primavera-verano.

El control de macrófitas se debe realizar mediante la poda de la planta acuática invasora pinito de agua (*Ceratophyllum demersum*) (Urrutia *et al.*, 2017), considerando una cantidad de poda prudente en sectores específicos, con el fin de disminuir progresivamente su biomasa en el sistema lacustre. La poda implica el corte directo de las plantas acuáticas mediante un instrumento de corte. El proceso de extracción debe comenzar a inicios de primavera, entre los meses de septiembre-octubre, asimismo la frecuencia de la poda se debe realizar de forma mensual. Sin embargo, estas fechas pueden variar según las condiciones climáticas que propician el crecimiento de las plantas acuáticas.

Luego de realizar la limpieza de macrófitas y masas de microalgas, la materia orgánica proveniente de las podas debe ser depositada en lugares adecuados lejos de la ribera de la laguna para evitar su reingreso al sistema. Una opción corresponde al sistema de compostaje de la Planta de Reciclaje de RSD de la comuna, aprovechando esta materia orgánica para la producción de compostaje que puede ser utilizado como fertilizante en producción agrícola local.

Se recomienda no retirar macrófitas como juncáceas, o hacerlo de forma controlada y en áreas seleccionadas, principalmente en épocas de campeonato de canotaje. Este control, se debe realizar a través de poda y no por extracción mecánica.



Figura 33. Masas de agua de microalgas y juncáceas en borde laguna.

Programa 4. Control químico de nutrientes y proliferaciones masivas de algas

Objetivo: Aumentar el valor natural de la laguna Rayenantú mediante la aplicación de compuestos químicos que reduzcan la concentración de nutrientes en la columna de agua y la biomasa de algas.

Para mitigar la amenaza de eutrofización y aparición de blooms algales en la laguna Rayenantú se deben utilizar alguicidas o floculantes químicos que reduzcan la concentración de nutrientes, los cuales deben ser implementados a la par con soluciones ecológicas que representen una gestión a largo plazo. (Wagner & Erickson, 2017). En este sentido, se han buscado opciones con

efectividad en el control de nutrientes y floraciones algales y que representan un control amigable con el medio ambiente sin efectos nocivos en el ecosistema y la salud de la población.

- Las Arcillas Modificadas son compuestos de origen natural que se dispersan sobre la superficie del cuerpo acuático, donde se utilizan entre 4 a 10 gr/m², sin embargo, deben realizarse aplicaciones múltiples para obtener resultados eficaces. Este es un método efectivo en la remoción de blooms algales representando una alternativa de bajo costo, no obstante, en Chile no se han realizado estudios para la implementación de esta tecnología.
- El Aclarador de columna de agua de la empresa Naturalake Biosciences, es un purificador de agua que actúa a través de la floculación biológica de nitrógenos y fósforo. Este producto está compuesto por cultivos de bacterias y bioestimulantes que mejoran la floculación biológica, por lo que no representa un peligro al medio ambiente. Además, permite el control de algas filamentosas (*Hydrodictyon*), algas planctónicas y algunas diatomeas. La aplicación debe realizarse cada 2 a 4 semanas según sea necesario, y en una dosis correspondiente al volumen de agua y condición trófica del sistema. Además, la empresa tiene el Programa de Recompensas de Investigación e Historia del Caso, en el cual se reconoce a los casos de recuperación de sistemas que utilicen productos Naturalake Biosciences.

Programa 5. Implementación de vegetación arbórea en la cuenca

Objetivo: Recuperar la naturalidad y dinámica ecológica de las zonas ribereñas afectadas por la actividad antrópica mediante la reforestación de zonas degradadas.

Las especies de flora potenciales a emplear en el proceso de restauración de la ribera de la laguna y su cuenca, corresponden a especies nativas que toleran la presencia de agua y que preservan sus hojas (especies perennes), con el fin de

disminuir el aporte de materia orgánica de forma excesiva en determinadas épocas del año. Estas especies arbóreas corresponden a vegetación hidrófila boscosa como Maitén (*Maytenus boaria*) (Alarcón, 2013), Canelo (*Drimys winteri*) (San Martín *et al.*, 1988), Pitao (*Pitavia punctata*) (Rodríguez *et al.*, 1983), y otras especies pertenecientes a la familia *Myrtaceae* (Correa-Araneda *et al.*, 2011). Estas especies tienen importancia en sí mismas como especies nativas y de relevancia cultural, pero, además, generan un ecosistema ribereño complejo que ayudan a mejorar la calidad de las aguas que escurren hacia la laguna. Para la implementación de este programa es necesario:

- Realizar convenios con empresas forestales que se encuentran en la comuna entre las cuales destacan forestal Mininco y forestal Arauco. Además, se pueden optar a programas de reforestación de CONAF, como lo es el Programa de arborización “Un chileno, un árbol”.
- Incorporar un programa social que involucre a la comunidad en el proceso de reforestación, “reforestación de especies arbóreas nativas con participación comunitaria”
- Establecer las zonas de arborización en la cuenca. Estas corresponden a las residencias que rodean el sistema lacustre, haciendo un esfuerzo mayor en aquellas que colindan directamente, parques municipales y calles concéntricas a la laguna.
- Reemplazar progresivamente especies arbóreas introducidas que se encuentren en la cuenca.

Se deben eliminar árboles y troncos de especies arbóreas caídos en el agua como primera opción (corto plazo), puesto que su aporte en materia orgánica es relevante al sistema. Como medida de más largo plazo se recomienda que las especies arbóreas exóticas, como sauces (*Salix sp*) y álamos (*Populus sp*), que se encuentran en la orilla de la laguna Rayenantú (Figura 34), sean

paulatinamente reemplazadas por vegetación nativa, especialmente de ambientes húmedos y de hojas perennes.

Esta eliminación debe ser mediante la corta del tronco y no el arranque de las raíces, de modo de evitar la resuspensión del fondo de los sedimentos de fondo o sean arrastrados desde la ribera a la laguna.



Figura 34. Árboles introducidos a orilla de laguna.

Programa 6. Control de especies ícticas invasoras

Objetivo: Controlar las poblaciones de especies acuáticas invasoras presentes en la laguna Rayenantú que provocan un perjuicio en la biodiversidad autóctona de la laguna.

Para el control efectivo de fauna exótica invasora se deben realizar campañas continuas, donde la especie foco de captura es la Carpa (*Cyprinus carpio* *autores*). Para esto se deben disponer de trampas de grandes dimensiones, las cuales se muestran en la Figura 35. Esta es una técnica pasiva de pesca y control de peces exóticos a largo plazo, la cual debe implementarse según lo establecido en la metodología propuesta por el Protocolo de control de peces exóticos establecida por LIFE Potamo Fauna.

Se utilizarán trampas grandes instaladas en puntos establecidos en el litoral de la laguna Rayenantú, que deben ser reubicadas al menos una vez por cada campaña. La revisión de las trampas habitualmente se realiza una vez al día, dejando la trampa reposar todo el día o la noche.

En el procesamiento de la captura, se clasifican los individuos según su especie, separando las especies ícticas entre invasoras y nativas. Los individuos capturados deben ser sacrificados y eliminados en el transcurso del día de captura y depositados en una planta de tratamiento de residuos orgánicos. En cuanto al manejo peces nativos, se deben conservar en buenas condiciones para ser reintegrados en un plazo máximo de 6 horas al sistema lacustre. Para conservar provisoriamente los ejemplares nativos, se debe disponer de contenedores de agua, luego de ser procesados y realizado el levantamiento de información, deben ser retornados al medio.

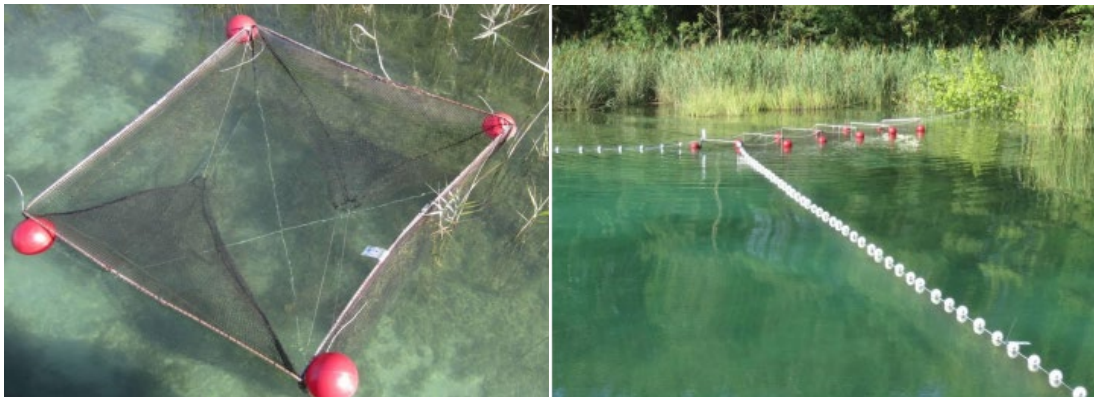


Figura 35. Principales modelos de grandes trampas para peces.

Fuente: *LIFE Potamo Fauna, 2014*

Programa 7. Control preventivo de flora exótica invasora

Objetivo: Prevenir la colonización de especies de flora que constituyen una plaga y que provocan un perjuicio en la biodiversidad autóctono de la laguna.

Se debe realizar un programa para el control de nuevas especies invasoras, principalmente Dídimo (*Dydimosira*) y Luchecillo (*Egeria densa*), que establezca requisitos para el ingreso de embarcaciones, equipos de kayak, u otros elementos que puedan ser potenciales portadores de estas especies y tengan contacto con la laguna. Estos equipos deben ser limpiados previamente según lo dispuesto por la resolución exenta N°33 de la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura de Chile (SUBPESCA), que establece las medidas de bioseguridad que se deben aplicar para la limpieza y desinfección que consiste en:

LAVADO: Rocíar el interior del kayak/canoa/balsa con la solución desinfectante asegurándose que toda la superficie esté en contacto por al menos un minuto. El equipamiento que se muestra en la Figura 36, debe ser sumergido y remojado en un volumen de la solución del desinfectante dentro del interior de la embarcación, incluyendo el vestuario y salvavidas.

Las soluciones desinfectantes recomendadas son las siguientes:

- Solución de cloro al 2%: Mezcla de 200 ml de cloro de uso doméstico (aproximadamente un vaso), disueltos en 10 litros de agua. El tiempo de desinfección corresponde a 1 minuto al menos.
- Solución salina al 5%: Mezcla de 500 ml de sal de uso doméstico, disueltos en 10 litros de agua. El tiempo de desinfección corresponde al menos a 1 minuto.
- Solución de detergente biodegradable al 5%: Mezcla de 500 ml de lavalozas o detergente biodegradable (2 vasos aproximadamente), diluidos en 10 litros de agua. El tiempo de desinfección corresponde a 1 minuto al menos.



Figura 36. Equipos que deben ser desinfectados para evitar la propagación de especies invasoras.
 .Fuente: Frangópulos et al., 2016.

De usar embarcaciones recreativas a futuro (ej. Bicicletas acuáticas), estas deben ser propias de la laguna, sin tener contacto con otro sistema que pueda contener especies invasoras. A las recomendaciones anteriores se suma evitar el uso de embarcaciones a motor de cualquier potencial o deportes que lo requieran, pues estos también pueden ser portadores de plagas y, además, contaminan o alteran el ecosistema. Para establecer las condiciones de las embarcaciones que ingresan a la laguna es necesaria la dictación de una ordenanza municipal que contenga requisitos mínimos y multas asociadas a su incumplimiento.

1.11.4 Pilar 4 del ILBM: Institución

Se orientada en fortalecer la gestión sustentable de la cuenca de la laguna Rayenantú, integrando a los responsables de su administración, entidades público-privadas competentes y a la comunidad.

Programa 1. Mejora Institución local e ingreso al SCAM

Objetivo: Integrar temáticas ambientales en la gestión municipal fortaleciendo la planificación de desarrollo comunal mediante el ingreso al Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM).

Esta medida está orientada a resolver problemas o debilidades institucionales, las cuales inciden en la gestión ambiental local, tales como la normativa, responsabilidades, capacitaciones, fuerza de trabajo, procesos de participación, entre otros. En este sentido se plantea el SCAM como una herramienta que permite una gestión adecuada y adaptable en base a las características propias del municipio, permitiendo implementar de forma sistematizada temáticas ambientales locales, como lo son la recuperación de la laguna Rayenantú y la aplicación de un programa de manejo de RSD de la comuna. De esta forma, se podrán realizar proyectos de carácter ambiental de forma eficiente y con un adecuado equipo de trabajo. El SCAM además, se basa en el principio de gradualismo, por lo que permite cumplir con los requisitos de cada nivel (Figura 37) según las capacidades del municipio (MMA, 2017b).

Por lo tanto, se propone instalar el Sistema de Certificación Ambiental en el municipio de forma sistematizada, estandarizada y participativa. Para ello, es necesario iniciar con la Certificación Ambiental Municipal Básica, la cual comienza con la suscripción al convenio con la Subsecretaría de Medio Ambiente. Una vez aprobado el convenio se inicia el diagnóstico del medio natural, socioambiental y medio construido y aspectos relativos al cumplimiento de los compromisos de la certificación básica. Cabe destacar, que la Subsecretaría de Medio Ambiente puede otorgar una subvención a aquellos municipios que no tengan las capacidades financieras de implementar el SCAM, lo que representa una fuente de recursos externa para la gestión ambiental municipal.

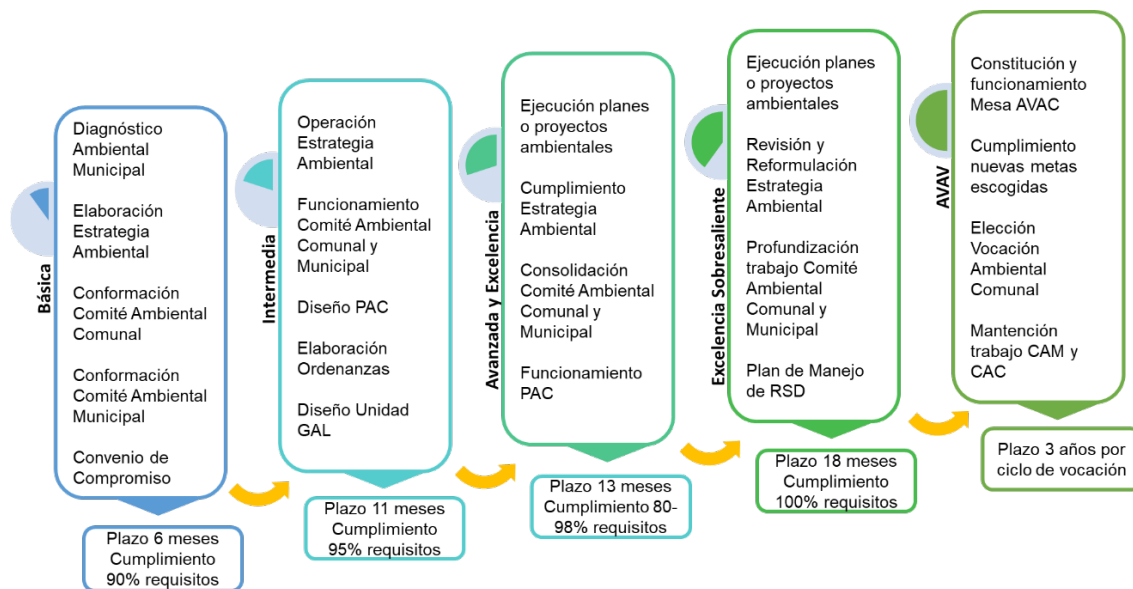


Figura 37. Niveles del Sistema de Certificación Ambiental Municipal.
Fuente: Elaboración propia con base a MMA, 2017b.

Además, en el marco del ingreso al SCAM, se hace necesario instalar modificaciones en la gestión interna del municipio para un adecuado trabajo en la certificación ambiental, de forma que el esfuerzo de trabajo sea eficiente y no se realice una duplicidad de información. Una de las principales actividades corresponde en disponer de una Dirección de Medio Ambiente exclusiva que se encuentre en pleno funcionamiento, permitiendo mayor asignación de recursos en proyectos de temáticas ambientales, coordinando competencias de las distintas direcciones municipales, para ello son necesarias las siguientes actividades.

- Contratar personal con formación en materia medioambiental.
- Contar con una adecuada educación ambiental interna y la evaluación de competencias de los funcionarios, mediante curso interno de capacitación del personal.
- Mayor dedicación horas-persona en la planificación e implementación de proyectos ambientales, para lo que se requiere que la Municipalidad

comprenda la importancia de la gestión y la incorpore dentro de sus actividades.

- Gestionar convenios institucionales para asegurar las actividades de investigación y monitoreo.

Además, se deben desarrollar instancias de encuentro que permita el intercambio de experiencias institucionales referentes a la gestión integrada de cuencas y protección de sistemas hídricos, así como la participación activa de la comunidad, por lo cual es necesario implementar las siguientes oportunidades de diálogo y trabajo intersectorial.

- Mesa Técnica de coordinación conformada por las unidades municipales DOAMA, DOM y SECPLAN, partes interesadas de la comunidad y sector privado, con la finalidad de abordar problemáticas ambientales y fomentar la administración participativa de la comunidad local en temas referentes a la gestión y manejo de la laguna Rayenantú. Debe establecerse un coordinador, el cual convoque reuniones semestrales, donde se realice un seguimiento del programa de rehabilitación.
- Foro de Participación que constituya un espacio participativo de la comunidad sobre el programa de rehabilitación de la laguna. Se debe convocar a la comunidad a reuniones semestrales, en las cuales se desarrollen grupos de trabajo para identificar las necesidades e inquietudes de la comunidad. Esta instancia, además, permite establecer los programas comunitarios donde se den a conocer las actividades de voluntariado.
- Mesa de Trabajo constituida por el DAEM, DOAMA y SECPLAN, que permita la implementación de temáticas ambientales en la malla curricular de los establecimientos educacionales municipales y fomentar la incorporación de este programa a recintos educacionales privados, así como apoyar a los establecimientos en la Certificación Ambiental los colegios que incorporen el SNCAE.

Programa 3. Acuerdos Voluntarios de Gestión de Cuencas

Objetivo: Crear y consolidar espacios de participación público-privada en el manejo de cuenca, propiciando la producción limpia de las empresas para lograr una mayor sustentabilidad mediante la coordinación de acuerdos y compromisos de acciones por parte de empresas, organismos competentes y organizaciones de usuarios y de interesados.

Una de las principales medidas para la gestión integral de cuencas es la participación de todas las entidades públicas y privadas. La coordinación entre estos organismos es la base para implementar medidas que permitan realizar las acciones de manejo de la cuenca y cumplir con los objetivos propuestos. Así mismo, la colaboración entre todas las partes interesadas puede resultar como un catalizador de nuevas colaboraciones.

Para ello, se debe identificar de instituciones privadas y organizaciones que presenten interés en participar del Acuerdo Voluntario de Gestión de Cuencas (AVGC) y que se encuentren territorialmente en la cuenca. La cuenca de la laguna Rayenantú está incluida en la demarcación hidrográfica “Río Biobío entre Río Granero y Estero Quilacoya”, que corresponde a una microcuenca del Río Biobío. En este sentido, se propone realizar el AVGC a nivel de microcuenca o subcuenca, donde el principal foco de atención son las empresas relacionadas con el sector silvoagropecuario, que corresponden a la principal actividad productiva y el mayor uso de suelo de la comuna de Santa Juana y la provincia de Concepción, destacando las empresas forestales Arauco y Mininco (PLADECO, 2012).

Una vez realizada la identificación, se debe presentar una manifestación del interés formal a la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático de instalar el proceso de participación, señalando su voluntad en avanzar en la solución conjunta de los problemas socioambientales relativos a la cuenca, señalando:

- i) Grupo de instituciones interesadas en activar el proceso, siendo prioritaria la presencia del gobierno local (Municipio), comunidad organizada y empresas locales:
- Empresas productivas que se encuentren territorialmente en la cuenca haciendo uso de recursos naturales.
 - Instituciones estatales y públicas con iniciativas y competencias referidas a los recursos de la cuenca.
 - Organizaciones que representen los intereses de la comunidad en la administración y manejo de recursos naturales y organizaciones no gubernamentales enfocadas principalmente a temáticas ambientales.
 - Organizaciones de usuarios de agua y comités de agua potable rural (APR).
 - Instituciones de Investigación y Académicas enfocada en desarrollar iniciativas científicas y/o técnicas sobre los recursos, su manejo y/o su aprovechamiento productivo en la cuenca.
- ii) Tipo de problema que justifica el AVGC.
- iii) Propuesta de alcance territorial, proveyendo mapas o referencias geográficas.

Con esta información la Agencia analizará las condiciones para instalar el proceso de participación, que cuenta con una etapa inicial de difusión, luego instancias formales de participación en el marco de las etapas de preparación y negociación, para avanzar en la implementación de las acciones acordadas. Al finalizar se contempla una etapa de certificación la que podría ejecutar la Agencia u otra institución competente.

Programa 4. Fomento del uso turístico y prácticas agrícolas sustentables

Objetivo: Fomentar el uso turístico y recreativo de la laguna Rayenantú y la comuna, de forma planificada y bajo criterios de conservación.

El incremento del sector turístico genera beneficios, ya que representa un desarrollo de las economías locales de manera significativa. Sin embargo, también representa un desafío de los territorios que deben asumir la demanda de turistas por bienes y servicios y facilitar infraestructura pública para su acceso y desarrollo. Para orientar las actividades económicas actuales de la comuna se debe potenciar el rubro turístico, siendo necesario el fomento de la generación de productos de ecoturismo y turismo rural, enfocándose en mejorar el potencial recreativo de la zona.

Es necesario, implementar infraestructura para el desarrollo regulado de turismo, incorporando obras con impacto mínimo que tienen uso turístico, no solo en la laguna Rayenantú, si no que en otros sitios de interés turísticos y de gran valor natural como lo es el río Biobío, río Lía, cerro Catiray, entre otros. Para apoyar a microempresarios turísticos se debe disponer de la información que les permita participar en asesorías y capacitaciones del estado y permitiendo el acceso a financiamiento de estas. En la Tabla 20 se presentan algunos programas que disponen distintas entidades de fomento a nivel nacional.

Tabla 20. Programas de capacitación a empresarios turísticos.

Actividades de apoyo	Programas
Participación de asesorías, capacitaciones y beneficios de SERCOTEC	Asesorías en Servicios Turísticos de Sercotec, Asesoría Virtual Legal, Portal de Capacitación Virtual, Capital Semilla Emprende, Capital Abeja Emprende, Fondo de Desarrollo de Negocios Crece, Mejoranegocios, Fortalecimiento Gremial y Cooperativo.
Participación en programas FOSIS de apoyo a emprendimientos	Yo Emprendo, Yo Emprendo Semilla, Yo Emprendo Comunidad.
Participación en programas de SERNATUR	Registro nacional de prestadores de servicios turísticos, Sistema inicial de Gestión Organizacional, Concurso Más Valor Turístico, Sello Sustentabilidad “S”.
Asistencia a asesorías y capacitaciones de INDAP	Turismo Rural.
Adjudicación de subsidios CORFO	Capital Semilla Nacional, Subsidio Semilla Desafío, Programas Regionales de Apoyo al Emprendimiento, Programa De Apoyo a la Reactivación, Concurso Bienes Públicos para la Competitividad.

Se debe potenciar a su vez, el fuerte histórico Santa Juana de Guadalcazar como un sitio turístico, por lo que se hace necesario agilizar su proceso de restauración. Además, se debe potenciar el fuerte histórico y su relación con el Sistema de Fuertes y plazas fortificadas del Río Biobío, vinculados mediante una “Ruta histórica” que une distintos fuertes históricos de la zona: Fuerte de Tucapel, Fuerte de Hualqui, Fuerte de Colcura, Fuerte de Lonquén, Fuerte de Nacimiento, Fuerte de Negrete, Fuerte de Cerro Chepe, Fuerte la Planchada.

Asimismo, la agricultura representa unos de los principales modificadores del suelo y calidad de agua, debido que los sistemas de monocultivos de hortalizas presentan una baja capacidad de autorregulación, debido a esto, requieren de insumos externos para una adecuada producción, tales como fertilizantes, pesticidas, herbicidas u otros, los cuales representan un potencial peligro para los ecosistemas acuáticos. En este sentido, se deben fomentar las prácticas

agroecológicas en las producciones de pequeños y medianos agricultores locales, a modo de dar un valor agregado a sus productos, fortalecer la resiliencia de sus cultivos frente al cambio climático y aumentar la belleza del paisaje. Con la implementación de prácticas agroecológicas se puede potenciar el agroecoturismo y fortalecer la identidad campesina de la comuna.

Para lo anterior, es necesario la implementación de talleres, capacitaciones que permitan el desarrollo de sistemas agrícolas multifuncionales, es decir, que los agricultores implementan infraestructura ecológica de manera que se ensamblen distintos elementos mediante un diseño funcional, algunos ejemplos corresponden a policultivos o cultivos heterogéneos, barreras arbóreas, barreras florales y cultivos trampas. Estas prácticas permiten mejorar las condiciones en las cuales se desarrollan los cultivos, reduciendo la utilización de insumos externos.

1.11.5 Pilar 5 del ILBM: Política

Se hace fundamental la formulación de políticas locales que regulen las actividades antrópicas que inciden en la calidad de la laguna Rayenantú y en su capacidad de ofrecer SE, por lo que se deben evaluar los Instrumentos de planificación u otros recursos legales que definen algún tipo de regulación sobre la laguna.

Programa 1. Ordenamiento Territorial y Zonificación

Objetivo: Desarrollar una zonificación de la laguna Rayenantú y su cuenca hidrográfica que permita la creación de zonas de protección para el resguardo de la biodiversidad de la laguna Rayenantú.

La zonificación de la cuenca se orienta en mejorar y conservar la integridad ecológica de los hábitats naturales de la laguna Rayenantú. Se centra en el manejo de componentes geomorfológicos, criterios climáticos, de cobertura y comunidades biológicas que determinan su funcionamiento, lo cual permite una

priorización de los lugares donde aplicar medidas que minimicen los impactos de la degradación antrópica. Para ello es necesario trabajar en conjunto con las partes interesadas y los stakeholders involucrados en las áreas de línea de costa, que corresponde a bienes comunes y que son valiosas tanto para la comunidad y visitantes, como para la biodiversidad asociada a sistemas hídricos.

La zonificación propuesta, consiste en crear zonas de protección ambiental y zonas buffer, en las cuales se deben establecer actividades antrópicas que se complementen con los objetivos de la zonificación.

- Crear un Área de Protección Ambiental que resguarde el hábitat de flora y fauna silvestre, limitando las actividades antrópicas que se realizan en el sector que se ven intensificadas en las fechas de competencias de deportes náuticos, permitiendo la recuperación y conservación de las áreas de humedal. En la Figura 38 se muestran las zonas de humedal y matorral característico de la laguna que debe protegerse para la conservación de los procesos hidrobiológicos fundamentales.
- Crear Zona Buffer que incluya la ribera sur de la laguna que actualmente corresponde a sitios privados. Esta zona corresponde al borde de lago y, por lo tanto, a un Bien Nacional de Uso Público. En la Figura 38 se muestra la franja de perilago que debe ser cedida por parte de privados para la gestión de la laguna Rayenantú. En esta zona se debe implementar un proceso de recuperación de vegetación ribereña nativa.
- Recategorizar a la laguna Rayenantú y sus riberas como una Zona de Protección Ambiental (ZPA) en el PRC, asegurando mediante políticas locales el resguardo del sistema.

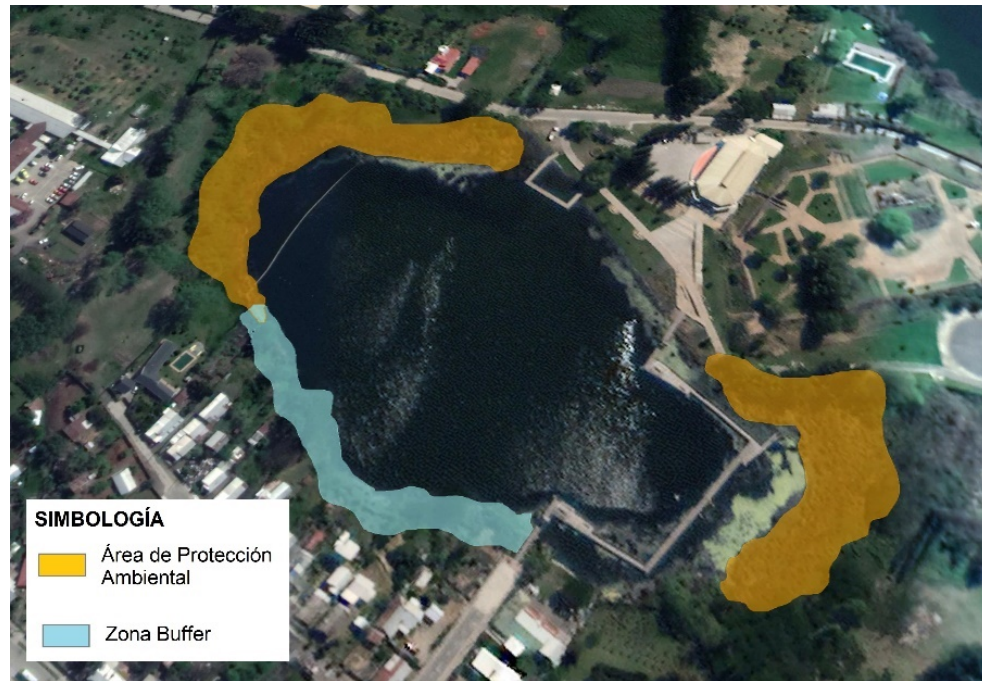


Figura 38. Propuesta Zonificación Área de Protección.

Programa 2. Instrumentos de Planificación Territorial y Regulatorios

Objetivo: Realizar evaluaciones y las modificaciones correspondientes a aquellos instrumentos de planificación que contengan regulaciones de carácter ambiental de la comuna.

Los instrumentos de planificación territorial son la principal forma de ordenar el territorio, por lo tanto, es necesario reconocer áreas de valor natural que se encuentran en la comuna mediante la zonificación de estas áreas, las cuales deben ser protegidas por instrumentos regulatorios que establezcan las actividades permitidas en cada zona reconocida. Para ello es necesario la revisión, evaluación y aplicación de instrumentos de planificación local que sean pertinentes en la gestión de cuencas y protección de recursos hídricos, incluyendo planes comunales, planes de desarrollo turísticos y planes sectoriales. Además, se deben incorporar orientaciones en los instrumentos de

gestión que permitan la regulación de usos, protección de recursos naturales y regularizar la propiedad de la tierra según corresponda, incorporado en los planes de desarrollo comunal y otros instrumentos de planificación territorial, estrategias de protección y puesta en valor de la laguna urbana. Para ello es necesario incorporar modificaciones en los instrumentos de planificación locales.

- Propuesta de recategorización de protección de la laguna Rayenantú en el Plan Regulador Comunal, de Zona de Conservación del Patrimonio Histórico a Zona de Conservación Ambiental.
- Incorporar la Zona de Protección Ambiental y Zona Buffer propuesta en la planificación urbana de la comuna, específicamente en el Plan Regulador Comunal.
- Realizar un Plano Seccional según lo dispuesto en el artículo 33° del Plan Regulador Comunal, enfocado en la regulación de actividades de la cuenca de la laguna Rayenantú.
- Promover la elaboración de un Plan Maestro de Aguas Lluvias para el área urbana actual y sus zonas de extensión, que permita dimensionar y priorizar soluciones requeridas para la red primaria y secundaria de drenaje urbano.

Se deben, además, elaborar planes de manejo de los sistemas acuáticos y los bosques nativos presentes en la comuna y que sean prioritarios para asegurar los servicios ecosistémicos de abastecimiento de agua, los cuales deben contar con participación activa y vinculante de los actores interesados.

En cuanto a instrumentos normativos que regulen las condiciones de la laguna Rayenantú, se deben fomentar la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Agua (NSCA) específica para este sistema, permitiendo la conservación o preservación del ecosistema acuático mediante un enfoque ecosistémico, ya que es el principal foco de la NSCA es proteger hidrosistemas que sufren proceso de eutrofización y procesos de contaminación. Las NSCA se aplican al sistema lacustre o su cuenca hidrográfica, incluyendo zonas litorales y

pelágicas y a epilimnion e hipolimnion, en lagos que presentan estratificación térmica, como lo es el caso de la laguna Rayenantú. La asignación técnica de la calidad deberá ser determinada sobre la base de los usos prioritarios actuales, potenciales o futuros, la existencia de comunidades acuáticas, la calidad existente y el nivel de trofia que se desee conservar o recuperar para el caso de los cuerpos lacustres, fiordos, canales y estuarios (MMA, 2017a).

Programa 3. Políticas Comunes

Objetivo: Desarrollar e implementar políticas comunales que permitan el uso sustentable de la laguna Rayenantú y su cuenca mediante coordinación institucional.

Las municipalidades deben establecer políticas comunales que establezcan criterios mínimos en relación al uso racional de los cuerpos de agua de la comuna, principalmente aquellos sistemas urbanos que presentan un mayor nivel de presiones antrópicas.

Para agilizar el proceso de revisión y evaluación de ordenanzas municipales de carácter ambiental, se debe establecer una Comisión Ambiental conformada por la DAOMA, DOM y SECPLAN. Además, esta comisión debe revisar las experiencias de ordenanzas ambientales que se hayan implementado en otras comunas del país.

En cuanto a los tópicos que deben abordar las ordenanzas municipales encuentran la protección de los bienes nacionales de uso público relacionados a la laguna Rayenantú, la cual debe incluir la creación del Área de Protección Ambiental y Buffer de la ribera sur de la laguna, estableciendo limitaciones de las actividades antrópicas, regulaciones sobre la disposición de materia orgánica proveniente de podas en la orilla de lago, de origen domiciliario y restricciones de uso en la cuenca y ribera de la laguna, estableciendo las actividades permitidas y prohibidas. Además, se deben establecer formalmente los requisitos de ingreso

de embarcaciones a la laguna Rayenantú en el marco del Programa de Control preventivo de flora exótica invasora: Didymo (*Didymosphenia geminata*) y el luchecillo (*Egeria densa*). Se deben regular a su vez, las autorizaciones sanitarias para el uso de contacto directo con los organismos competentes, en base a los monitoreos realizados para establecer los niveles de parámetros.

1.11.6 Pilar 6 del ILBM: Financiamiento

En este pilar se establecen los fondos que permiten financiar las actividades propuestas para la rehabilitación de la laguna Rayenantú y gestión de su cuenca, por lo que se deben realizar alianzas entre el sector público y privado que se enfoquen en contribuir en las actividades de monitoreo de calidad de agua, implementación de tecnología y responsabilidad social empresarial.

Programa 1. Apadrinamiento de Empresas y Responsabilidad Social Empresarial

Objetivo: Propiciar a las empresas privadas en la participación activa del proceso de recuperación de la laguna Rayenantú, financiando actividades claves para mejorar su calidad, aportando en la mejora de calidad de vida de los habitantes y fortaleciendo la Responsabilidad Empresarial de las organizaciones.

Este programa se basa en la participación de las empresas en el proyecto de rehabilitación de la laguna Rayenantú mediante sus políticas de Responsabilidad Social Empresarial, permitiendo beneficiar a la comunidad de Santa Juana. El apadrinamiento es un componente voluntario por parte de las empresas para consolidar sus programas de Responsabilidad Social Empresarial (RSE), los cuales incorporan los intereses de las comunidades con las que se relacionan, gestionando sus operaciones en base a la sustentabilidad y respeto por el medio ambiente. En este sentido, las empresas forestales de la comuna representan un papel fundamental en la aplicación de la RSE, debido a que las plantaciones forestales representan alrededor del 57% de la superficie de la comuna, a cargo

principalmente de grandes empresas como Forestal Arauco y Mininco, ambas representan las empresas de mayor tamaño de la comuna (PLADECO, 2012).

Estas compañías presentan diversos programas de RSE a nivel nacional, por lo que se debe incentivar instancias de diálogo para que realicen contribuciones a nivel local en beneficio de la comunidad de Santa Juana, participando activamente en la rehabilitación de la laguna Rayenantú y la mejora en la calidad de vida de la población.

Programa 2. Asistencia a fondos internacionales

Objetivo: Participar de fondos internacionales para la protección de recurso hídrico que permita financiar y llevar a cabo las principales medidas de recuperación de la laguna.

Debido a que los sistemas lacustres representan una importante fuente de abastecimiento de agua, se hace necesario conservarlos más aún en un contexto de escasez hídrica, sumando a esto su vulnerabilidad al cambio climático. Es por esto que algunas agencias y organismos internacionales apoyan a comunidades en el manejo del recurso hídrico mediante financiamientos y asesorías. En este programa, por lo tanto, se realiza una propuesta de algunos fondos internacionales a los cuales puede optar la Municipalidad de Santa Juana, el Gobierno Regional y Ministerio de Medio Ambiente, los cuales se muestran en la Tabla 21. En este sentido, la Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AGCID), es uno de los principales organismos encargados en captar y gestionar recursos de cooperación internacional.

Tabla 21. Fondos internacionales para financiamiento del proyecto.

Fondo	Organismo administrador	Descripción	Entidades elegibles
Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS)	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)	Programas de fortalecimiento institucional, desarrollo comunitario y promoción de servicios de agua y saneamiento en países de América Latina y el Caribe. Se centra en el acompañamiento técnico sobre proyectos de gestión integrada de los recursos hídricos, protección del medio ambiente y diversidad cultural.	Organizaciones públicas y de la sociedad civil sin ánimo de lucro, de los países socios. http://www.aecid.es/ES
Fondo Verde por el Clima (FVC)	FVC	Programas ambientales que se enmarcan en la adaptación al cambio climático, principalmente aquellos relacionados con la degradación de las tierras y bosques, gestión sostenible de bosques, agricultura sostenible, entre otras áreas, financiando actividades de adaptación y mitigación al cambio climático, el desarrollo y transferencia de tecnología, y la creación de capacidades	Estados Miembros en vías de desarrollo. Se puede acceder a los fondos mediante entidades públicas y privadas: i) entidades de implementación nacionales, subnacionales o regionales acreditadas o ii) entidades internacionales acreditadas. https://www.greenclimate.fund/
Fondo Especial para el Cambio Climático (FECC)	FMAM (Fondo para el Medio Ambiente Mundial)	Apoya proyectos de adaptación al cambio climático y transferencia de tecnología en países en vías de desarrollo, apoyando actividades relativas a gestión de recursos hídricos, gestión de suelo, agricultura, ecosistemas frágiles, entre otros, que aborden los impactos del cambio climático en un sector socioeconómico vulnerable.	Entidades públicas y privadas, que presenten proyectos relacionados con temas de salud, agricultura, agua o infraestructura, con asistencia de un organismo de ejecución del FMAM. https://www.thegef.org

Fondo de adaptación (FA)	de FMAM (Fondo para el Medio Ambiente Mundial)	Financia proyectos y programas de adaptación en países que son vulnerables al cambio climático, están en vías de desarrollo y se encuentran suscritos al Protocolo de Kioto. . El Acceso Directo, permite que las Entidades Nacionales de Implementación (NIE) acreditadas, en el caso de Chile, la Agencia de Cooperación Internacional de Chile (AGCI), puedan acceder al financiamiento de forma directa	Entidades público y privadas.	y https://www.thegef.org
Programa Piloto para la Resiliencia Climática (PPCR)	MDB (Bancos Multilaterales de Desarrollo),	promover políticas que integren la resiliencia climática, fortaleciendo las capacidades para integrar al cambio climático en la planificación mediante la implementación de proyectos que promuevan la asistencia técnica en el desarrollo de planes nacionales y sectoriales.	Entidades público y privadas que presenten proyectos que promuevan la asistencia técnica en el desarrollo de planes nacionales o sectoriales referentes a resiliencia climática, silvicultura, gestión sostenible de tierra, agua, entre otros.	y http://www.bancomundial.org/es
Iniciativa Climática Internacional de Alemania (IKI)	Ministerio de Medio Ambiente de Alemania	Este programa trabaja en proyectos relacionados con la promoción de economías amigables con el clima, medidas para adaptarse a los efectos del cambio climático, conservación y uso sostenible de reservas naturales de carbono y conservación de la biodiversidad.	agencias federales de implementación, las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, empresas privadas, universidades, institutos de investigación.	y https://www.international-climate-initiative.com/en

Programa 3. Asistencia a la obtención de los subsidios del gobierno nacional

Objetivo: Captar fondos y asistencia técnica para el ordenamiento territorial, implementación de un sistema de monitoreo para la laguna Rayenantú y sus afluentes y aplicación de tecnología.

Este programa se basa en la captación de fondos fiscales otorgados por distintas entidades gubernamentales, entre ellas, la de mayor importancia son el SEREMI de Medio Ambiente y el Gobierno Regional que asignan recursos especiales a las comunas o a fondos regionales, que respondan a la gestión del agua mejorando su manejo.

- Programa Hidrológico Internacional (PHI): Es un programa intergubernamental de cooperación de la UNESCO, el cual permite generar conocimiento científico del recurso hídrico y permitir una gestión adecuada del recurso. En Chile, este programa es administrado por CONAPHI-Chile, quien asesora al gobierno en el desarrollo del PHI, propone nuevos proyectos nacionales y ser un enlace entre organismos y estados miembros.
- Programa Mejoramiento Urbano y equipamiento comunal (PMU): Financiamiento y apoyo del Ministerio de Interior, a través del SUBDERE y su división de municipalidades. Financia proyectos de inversión para infraestructura urbana menor, incluyendo su construcción, reparación, conservación. Entre las cuales puede destacar áreas verdes y plazas.
- Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR): Es un financiamiento de iniciativas regionales administrado por el Gobierno Regional respectivo, que apoya proyectos de desarrollo social. Las entidades elegibles son municipalidades, servicios públicos o empresas del estado recomendados por SERPLAC o MIDEPLAN. Los proyectos o estudios financiados corresponden a planes y políticas regionales, planes de localidades aisladas, y planos reguladores y sectoriales.

- Fondo Regional de Iniciativa Local (FRIL): Es un fondo que forma parte del FNDR y financia proyectos de infraestructura pública ejecutados directamente por los municipios bajo recomendación técnica del Gobierno Regional. Los proyectos FRIL tienen por objetivo mejorar la calidad de vida de la población más vulnerable, mediante la infraestructura menor con un financiamiento.
- Fondo de Protección Ambiental (FPA): Es un fondo concursable del Ministerio de Medio Ambiente que tiene por objetivo incorporar a la comunidad en la protección del medio ambiente, promoviendo la educación ambiental y participación ciudadana, mediante proyectos en distintas líneas de trabajo: Gestión Ambiental Local, Escuelas Sustentables, Áreas Verdes, Gestión y Protección Ambiental Indígena. Las entidades elegibles corresponden a personas naturales o jurídicas, públicas o privadas.

4.11.7 Plan de Implementación de Modelo

En cuanto a la implementación de las medidas propuestas, en la Tabla 22 se detallan los plazos y prioridad de estas, las organizaciones responsables de aplicarlas y las medidas de verificación y/o indicadores para evaluar el cumplimiento de estas acciones. Además, en la Tabla 23, se resumen los plazos de aplicación a través de una carta Gantt. Cabe mencionar que hay programas que se deben implementar en plazos y fechas específicas, sin embargo, hay programas que deben aplicarse de forma permanente, como lo son los programas de difusión, procesos de educación ambiental y el control preventivo de especies invasoras. Con respecto al plazo de tiempo para realizar este plan de implementación, cinco años representan un tiempo realista (Gattenlöhner *et al.*, 2004). En la Figura 39, se muestra un esquema general de la implementación del ILBM, donde las medidas propuestas se enfocan en solucionar las brechas priorizadas que fueron identificadas en el diagnóstico social, ambiental e institucional y que a su vez alimentan los pilares de la gestión integrada de cuencas.

Tabla 22. Plan de Implementación del Modelo ILBM.

Pilar	Programa	Prioridad	Plazo	Organización Responsable	Indicadores de cumplimiento
Información	Monitoreo de Recursos Hídricos	Alta	Largo	Servicio de Salud Biobío; DGA; DAOMA; Organismos de Apoyo (Universidad de Concepción)	Número de monitoreos de variables fisicoquímicas y biológicas; Cuantificación del balance hídrico estacional
	Difusión de la información	Media	Medio	DIDECO; DAOMA	Número de señalética y paneles informativos instalados; Plataformas de comunicación operativas
Participación	Educación ambiental a la comunidad	Alta	Largo	DAOMA; SECPLAN	Número de actividades ambientales impartidas; Mejora en la percepción de la comunidad
	Educación ambiental a recintos educacionales	Alta	Largo	DAEM; Cendyr Náutico Rayenantú	Número de actividades ambientales desarrolladas; Mejora en la valoración de la comunidad escolar
Tecnología	Control químico	Alta	Corto	DAOMA	Concentración de nutrientes en la columna de agua; Biomasa de algas filamentosas
	Control de escorrentía urbana	Alta	Medio	DOM	Implementación del sistema de control de escorrentía; Nivel de carga de sedimentos proveniente de colectores de aguas lluvias
	Aplicación aireador de nanoburbujas	Alta	Corto	DOM; DAOMA	Implementación del sistema de nanoburbujas; Concentración del OD en columna de agua (hipolimnion)
	Control de macrófitas y microalgas	Alta	Corto	DAOMA	Área superficial cubierta por algas filamentosas; Densidad y distribución de macrófitas invasoras.

	Vegetación arbórea en la cuenca hidrográfica	Media	Medio	DAOMA; SECPLAN	Superficie de especies arbóreas nativas plantadas.
	Control especies ícticas invasoras	Alto	Medio	SAG Biobío; DAOMA	Registro de abundancia de ictiofauna exótica; Número de campañas realizadas.
	Control preventivo de flora exótica invasora	Alto	Corto	DAOMA; DOM; Cendyr Náutico Rayenantú.	Registro y control de embarcaciones que ingresan al cuerpo de agua Dictación de ordenanza municipal.
Institución	Mejora institución local y SCAM (nivel básico)	Alta	Corto	SECPLAN, DAOMA; SEREMI Medio Ambiente Biobío	Certificación Ambiental Básica; Eficiencia en proyectos ambientales.
	AVGC	Alta	Medio	SECPLAN; Agencia de Cambio Climático y sustentabilidad	Número y grado de compromiso de instituciones públicas, privadas y organizaciones; Número de certificaciones a empresas en el AVGC.
	Fomento del uso turístico y agricultura sostenible	Medio	Medio	SECPLAN; DOM; SUBDERE; GORE Biobío; CMN;	Número de asesorías y capacitaciones a microempresarios turísticos; Proyectos de restauración del monumento histórico.
Política	Instrumentos de planificación territorial y regulatorios	Alta	Medio	DOM; SEREMI Vivienda y Urbanismo	Acta de revisión y evaluación de instrumentos de ordenamiento territorial locales
	Ordenamiento Territorial y Zonificación	Alta	Corto	DAOMA; DOM	Superficie de Áreas de protección ambiental Creación de Zonas de Protección ambiental.
	Políticas Comunales	Alta	Medio	DOM; Consejo Municipal	Dictación de ordenanzas municipales
Financiamiento	Apadrinamiento de Empresas y RSE	Alta	Largo	SECPLAN	Implementación proyectos RSE en las empresas de la comuna; Monto invertido en RSE en la comuna

Asistencia a fondos Internacionales/nacionales	Alta	Medio	SECPLAN; GORE Biobío; SEREMI Medio Ambiente Biobío; Agencia Chilena de Cooperación Internacional	Monto captado para el financiamiento del proyecto.
--	------	-------	--	--

Tabla 23. Plazos de Implementación de los programas.

Pilar	Programa	Prioridad	Plazo	Años															
				Meses												2	3	4	5
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Información	Monitoreo de Recursos Hídricos	Alta	Largo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
	Difusión de la información	Media	Medio							■	■	■							
Participación	Educación ambiental a la comunidad	Alta	Largo								■	■	■						
	Educación ambiental a recintos educacionales	Alta	Largo													■			
Tecnología	Control de escorrentía urbana	Alta	Medio													■			
	Aireador de nanoburbujas	Alta	Corto								■	■	■	■					
	Control de macrófitas y microalgas	Alta	Corto							■	■	■							
	Control químico	Alta	Corto							■	■	■							
	Vegetación arbórea en la cuenca hidrográfica	Media	Medio													■			
	Control especies ícticas invasoras	Alto	Medio						■	■	■								
	Control preventivo de flora exótica invasora	Alto	Corto									■	■	■	■				

Institución	Mejora institución local y SCAM (nivel básico)	Alta	Corto															
	AVGC	Alta	Medio															
	Fomento del uso turístico y agricultura sustentable	Medio	Medio															
Política	Instrumentos de planificación	Alta	Medio															
	Ordenamiento Territorial y Zonificación	Alta	Corto															
	Políticas Comunales	Alta	Medio															
Financiamiento	Apadrinamiento de Empresas y RSE	Alta	Largo															
	Asistencia a fondos Internacionales/nacionales	Alta	Medio															



Figura 39. Esquema general de la propuesta de Gestión Integrada de Cuencas.

5. CONCLUSIONES

5.1 El diagnóstico de los componentes ambientales y antrópicos realizados a la cuenca de la laguna Rayenantú, permite verificar que los principales problemas se asocian a la intensidad del uso urbano y actividades realizadas en el entorno de la laguna que corresponde a la cuenca de drenaje inmediata al sistema. Esto evidencia la falta de conocimiento por parte de la comunidad y una baja relación con los encargados de su gestión, que facilite un uso más sustentable del sistema. En este sentido se requiere que los vecinos se empoderen a través de procesos de educación continua respecto del estado actual de la Laguna que ellos mismos disfrutan y explotan con actividades de esparcimiento.

5.2 Se estableció que la laguna recibe un importante aporte de aguas proveniente de acuíferos superficiales (poco visibles, probablemente algunos entubados), que en conjunto con la descarga de aguas lluvias, conforman los principales aportes de nutrientes al sistema. De modo que la laguna podría aportar aguas al Río Biobío.

El monitoreo de estas fuentes permitiría caracterizar y cuantificar el aporte de nutrientes (balance), lo cual se debe complementar con estudios hidrogeológicos de mayor profundidad que permitan establecer su origen y litología. De esta forma los estudios hidrológicos, geológicos, ecológicos y sociales deben comprenderse de forma integral para determinar la dinámica hídrica de la laguna Rayenantú, como la base para establecer medidas de gestión eficientes.

5.3 Los organismos de estado responsables de la gestión de este recurso hídrico no cuentan con un mecanismo de coordinación que permita su manejo integral, conllevando la falta de interacción entre la institucionalidad y la comunidad, limitando su participación activa en el proceso de gestión. En este sentido, la Municipalidad de Santa Juana es la principal encargada de coordinar y hacer conversar a las distintas instituciones responsables, sin embargo, asume el peso total de la gestión.

Si bien este organismo ha realizado esfuerzos para mejorar la calidad del estado de la laguna implementando medidas a corto plazo generada en el presente estudio, se requiere de personal capacitado con dedicación exclusiva para abordar esta y otras problemáticas ambientales, que permita la cogestión entre los diversos departamentos municipales.

5.4 La Municipalidad cuenta con experiencia en la búsqueda de recursos, por lo tanto, se debe potenciar la gestión interna en la ejecución de las propuestas. En este sentido se sugiere el ingreso al SCAM como una herramienta para abordar eficazmente el programa propuesto, ya que muchas de las medidas señaladas pasan por una buena integración sustentada en la acreditación ambiental y a su vez facilita la búsqueda de nuevos recursos.

5.5 Al respecto, el ILBM es un método que integra los pilares fundamentales para una gestión efectiva del recurso hídrico basados en la gobernanza de la cuenca, sin embargo, resulta imposible de aplicar sin un adecuado funcionamiento del pilar Institucionalidad, donde el Municipio de Santa Juana tiene la mayor responsabilidad y responde a los problemas puntuales, pero no posee una planificación e indicadores de esos cambios esperados en la recuperación ambiental de la Laguna Rayenantú.

Debe existir un compromiso a largo plazo de las autoridades públicas para obtener resultados efectivos ya que la gestión de cuencas corresponde a un proceso continuo.

5.6 Por lo tanto, se requiere de un programa integral que asegure la rehabilitación de este cuerpo acuático mejorando su estado trófico para la sustentabilidad del uso recreativo actual. Las medidas de gestión que se proponen, responden directamente a las problemáticas identificadas en el diagnóstico social, ambiental e institucional de la cuenca.

De esta forma, la laguna Rayenantú también debe ser vista como recurso hídrico único para la comuna, que puede ser utilizado en situaciones de emergencias como una fuente de abastecimiento de agua para la población al asegurar una calidad de agua óptima para su consumo.

5.7 Mejorar el valor paisajístico del entorno de la laguna, trae consigo un aumento en la plusvalía de las viviendas que colindan con el sistema. Por lo tanto, la aplicación de la presente propuesta exige el nivel de participación de la comunidad en el proceso de gestión, ya que la sustentabilidad del uso de la laguna Rayenantú se logra cuando sus usuarios comprenden la importancia de la protección de este sistema y su rol en este proceso.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECID, Agencia Española de Cooperación Internacional. 2017. La importancia de las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos: aplicaciones prácticas en proyectos de cooperación internacional para el desarrollo. 34 pp.

Agarwal, A., Ng, W. J., Liu, Y. 2011. Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere*, 84(9):1175-1180.

Aguilera. 2010. Metodología para determinar calidad natural en acuíferos. Tesis de grado presentada a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Aguirre, M. 2011. La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista REDESMA*. 2011. 5(1):10-20.

Alarcón, W. 2013. Flora, vegetación y hábitats del humedal Millahuillín en Máfil (Provincia de Valdivia, Región de Los Ríos, Chile). Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile.

Allan, J. 2004. Landscapes and Riverscapes: The influence of Land use on Stream Ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 35:257-284.

Aranda, V. 2015. Gestión integrada de cuencas hidrográficas: oportunidades y restricciones en Chile. *Actas de Derecho de Aguas*. 5:5-20.

Beutel, M. W., Horne, A. J. 1999. A review of the effects of hypolimnetic oxygenation on lake and reservoir water quality. *Lake and Reservoir Management*, 15(4), 285-297.

BCN, Biblioteca del Congreso Nacional. 2018. Página web <https://www.bcn.cl/> Revisado 19/11/2018.

BL Dynamics Inc. 2019. Página web <http://bubbles02.bldynamics.com/> Revisado 10/02/2019.

Camacho-Valdéz, & Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*. 1(3):3-15.

Castro, G. 2016. Análisis de la incorporación de la gestión integrada de recursos hídricos en la legislación de aguas. Tesis presentada a la Facultad de Derecho, Universidad de Chile.

Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and oceanography* 22(2):361-369.

Carpenter, S., Christensen, D., Cole, J., Cottingham, K., He, X., Hodgson, J., Pace, M. 1995. Biological control of eutrophication in lakes. *Environmental science & technology* 29(3):784-786.

Carpenter, S., Lathrop, R. 1999. Lake restoration: capabilities and needs. *The Ecological Bases for Lake and Reservoir Management*. Hydrobiology 136: 19-28.

Carpenter, S., Mooney, A., Capistrano, D., Defries, R., Diaz, S., Dietz, T., Duraiappah, A., Oteng-Yeboah, A., Pereira, H., Perrings, C., Reid, W., Sarukhan, J., Scholes, R., Whyte, A. 2009. Science for managing ecosystem services: beyond the Millennium Ecosystem Assessment. 106:1305-1312.

Carrasco, H. 2018. Propuesta de Modelo de Gestión Integrada para el manejo sustentable de residuos sólidos domiciliarios en la comuna de Santa Juana. Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción.

Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. 2013. Programa de Monitoreo de la Calidad del agua de las lagunas urbanas de Concepción, Chile: Análisis de resultados y propuesta. PROYECTO INNOVA CHILE 10CREC-8453. 501 pp.

CEPAL, Comisión Económica Para América Latina Y El Caribe. 2018. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. 91 pp.

Chidammodzi, C. L., Muhandiki, V. S. 2015. Determination of the status of stakeholder participation in the management of the Lake Malawi basin through application of Integrated Lake Basin Management Lakes and Reservoirs: Research and Management 2015. 20: 166-181

Cloern J.E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Marine Ecology Progress Series 210: 223-253.

Codelia, D. 2017. Caracterización Limnológica de la Laguna Rayenantú, Santa Juana, Chile. Tesis de grado presentada a la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas. Universidad de Concepción.

CONAMA, Comisión Nacional de Medio Ambiente. 2004. Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y superficiales y marinas. Gobierno de Chile. 18pp

Correa-Araneda, F., Urrutia, J., Figueroa, R. 2011. Estado del conocimiento y principales amenazas de los humedales boscosos de agua dulce de Chile. Revista chilena de historia natural, 84(3): 325-340.

Daily, G. C. 1997. Nature's services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. (Vol. 19971). Island Press, Washington, DC.

De Winton, M. D., Clayton, J. S. 1996. The impact of invasive submerged weed species on seed banks in lake sediments. Aquatic Botany, 53(1-2):31-45.

DGA, Dirección General de Aguas. 2014. Diagnóstico de la condición trófica de cuerpos lacustres utilizando nuevas herramientas tecnológicas. Centro De Ecología Aplicada Ltda. Ministro de Obras Públicas. 212 pp.

DGA. Dirección General de Aguas. 2016. Atlas del Agua. Ministerio de Obras Públicas. Chile. 23 pp.

Díaz, M. E. 2017. Evaluación de los servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico: Cuenca del río Biobío como caso de estudio. Tesis de doctorado presentada a la Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Chile.

Espinoza, F. 2014. De Tralca-mawida a Santa Juana: despliegue histórico de una localidad en la frontera del BíoBío, 1550-1980. Ediciones Universitas de Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile.

Espinoza, L. 2018. La ruta del oro en la Antigua Frontera del Biobío. Ediciones Archivo Histórico de Concepción. Chile.

Fisher B, Turner KR, Morling P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*. 68:643-653.

FPA, Fondo de Protección Ambiental. 2019. Página web <http://www.fpa.mma.gob.cl/> Revisado 09/01/2019.

Frangópulos, M., Pinto, M., Cárcamo, P., Quilahuilque, G. Mansilla, O. 2016. Manual de medidas de bioseguridad aplicadas a la contención y detección de la microalga invasora *Didymosphenia geminata* en los cuerpos de aguas de la región de Magallanes y Antártica Chilena. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. 52 pp.

Gamboa, G. 2015. Los objetivos de desarrollo Sostenible: una perspectiva bioética. *Persona y Bioética*. 19(2):175-181.

García, J. y Corzo, A. 2008. Depuración con humedales artificiales: Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. 108 pp.

Gattenlöhner, U., Hammerl-Resch, M., Jantschke S. 2004. Restauración De Humedales - Manejo Sostenible De Humedales Y Lagos Someros. Programa Life De La Unión Europea Dirección General Medio Ambiente. 136 pp.

Gayoso, J., Gayoso, S. 2003. Diseño de zonas ribereñas, requerimiento de un ancho mínimo. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 12 pp.

González, L. 2011. Hidrogeología: Tema IV: Hidrogeoquímica. Química y Radioquímica de aguas subterráneas. Universidad de Concepción. 28pp.

Guarda, G. 1990. Flandes indiano: las fortificaciones del Reino de Chile, 1541-1826. Ediciones Universidad Católica de Chile.

Habit, E., González, J., Ortiz-Sandoval, J., Elgueta, A., Sobenes, C. 2015. Efectos de la invasión de salmónidos en ríos y lagos de Chile. Revista Ecosistemas. 24(1): 43-51.

Haines-Young, R., Potschin, M. 2010. Proposal for a Common International Classification of Ecosystem Goods and Services (CICES) for Integrated Environmental and Economic Accounting. Department of Economic and Social Affairs Statistics Division United Nations. 23pp.

Hughes, R.M., S. Dunham, Maas-Hebner K.G., Hebner, K.G., Schreck, C., Harte, M., Molina, N., Shock, C.C., Kaczynski V.W., Schaeffer, J. 2014. A review of urban water body challenges and approaches: rehabilitation and remediation. Fisheries, 39(1):18-29

IICh, Instituto de Ingenieros de Chile. 2012. Hacia una gestión integrada de los recursos hídricos una propuesta. Comisión de Aguas. Santiago. 46 pp.

ILEC, International Lake Environment Committee. 2007. Integrated Lake Basin Management: An introduction. International Lake Environment Committee Foundation: Kusatsu, Japan. 85pp.

Iriarte, J. 2005. Invasive vertebrate species in Chile and their control and monitoring by governmental agencies. *Revista Chilena de Historia Natural* 78:143-154.

Jaque, C. 1990. Geomorfología del Sector Santa Juana – Quilacoya. Tesis de grado presentada a la Facultad de Educación. Universidad de Concepción.

Jaramillo, A., Osman, D., Caputo, L., Cardenas, L. 2015. Molecular evidence of a *Didymosphenia geminata* (Bacillariophyceae) invasion in Chilean freshwater systems. *Harmful Algae*. 49:117-123.

LIFE Potamo Fauna, 2014. Protocolo de control de peces exóticos en el lago de Banyoles y otras masas de agua menores de su entorno. 37 pp.

Luna-Pabello, V. M., Aburto-Castañeda, S. 2014. Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 17(1):32-55.

Madroñero, S., Jiménez, F. 2006. Manejo del recurso hídrico y estrategias de gestión integral en la microcuenca del río Mijitayo, Colombia. Marco legal e institucional. *Recursos Naturales y Ambiente*. 56(57): 43-50.

Mazzeo, N.; Clemente, J.; García Rodríguez, F.; Gorga, J.; Kruk, C.; Larrea, D.; Meerhoff, M.; Quintans, F.; Rodríguez-Gallego, L.; Scasso, F. 2002. Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. In: Domínguez. Perfil ambiental del Uruguay. Montevideo, Nordan-Comunidad, p. 39-56.

MEA, Millennium Ecosystem Assessment. 2003. *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington. 2003. 49-70.

MMA, Ministerio de Medio Ambiente. 2017a. Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en aguas continentales y marinas. División de Recursos Naturales y Biodiversidad. Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos. 104 pp.

MMA, Ministerio de Medio Ambiente. 2017b. Manual del Sistema de Certificación Ambiental Municipal. Departamento de Gestión Ambiental Local. División de Educación Ambiental y Participación Ciudadana. 198 pp.

MMA, Ministerio de Medio Ambiente. 2018. Educación Ambiental: Una mirada desde la institucionalidad ambiental chilena. Ministerio del Medio Ambiente, División de Educación Ambiental y Participación Ciudadana. 115 pp.

Moreno, D., Quintero, J., López, A. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. Universidad Autónoma Metropolitana. La Unidad Iztapalapa. ContactoS 78:25-33.

Municipalidad de Santa Juana. 2019. Página web <http://www.santajuana.cl/> Revisado 10/01/2019.

M&W Ambientales. 2013. Estudio de fauna íctica. Proyecto habilitación paseo laguna Rayenantú. Laguna Rayenantú. Santa Juana (VIII Región). 18pp.

Nahuelhual, L., Lateral, P., Barrena, J. 2016. Indicadores de servicios ecosistémicos: Una revisión y análisis de su calidad. Ministerio de Medio Ambiente. 54pp.

Nanto Craft Co. 2019. Página web <http://www.finebubble-ok.com/Mechanism.html> Revisado 04/11/2018.

Naturalake Biosciences. 2019. Página web <https://naturalake.com/product/water-column-clarifier/> Revisado 04/11/2018.

Naumann, E. 1919. Nagra synpunkter angående limnoplanktons okologi Med sarskild hansyn till fytoplankton. Svensk Bot Tidskr. 13:129-63.

OECD, Organization for Economic Cooperation and Development. 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, Assesment and Control. Final report. Paris. 154 pp.

- Pankratz, S., Young, T., Cuevas-Arellano, H., Kumar, R., Ambrose, R. F., Suffet, I. H. 2007. The ecological value of constructed wetlands for treating urban runoff. *Water Science and Technology*, 55(3), 63-69.
- Parra, O. 1989. La eutrofización de la laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio. *Ambiente y desarrollo*. 5:117-136.
- Parra, O., C. Jara, L. Guzmán. 1989. Las lagunas intraurbanas de Concepción: Estado actual y perspectivas de recuperación y uso. *Actas del III Encuentro Nacional del Medio Ambiente*, 301-313.
- Peña, C. 1995. Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área. *Revista de Geografía Norte Grande*. 22: 27-33.
- Peña, C., Borrero, J. 2012. Tratamiento de aguas de escorrentía mediante humedales artificiales: Estado del arte. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(2): 39-61.
- Persson, J., Somes, N. L. G., Wong, T. H. F. 1999. Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds. *Water science and technology*, 40:291-300.
- PLADECO, Plan Regulador Comunal Santa Juana 2012-2015. 2012. Plan de Desarrollo Comunal 2012-2015. Ilustre Municipalidad de Santa Juana, elaborado por Universidad del Biobío. 275pp.
- Postel, S., Carpenter S.R. 1997. Freshwater ecosystem services. *Daily*, Editor Nature's services. Island Press, Washington, D.C., USA. 195-214.
- Preece, E. P., Moore, B. C., Skinner, M. M., Child, A., Dent, S. 2019. A review of the biological and chemical effects of hypolimnetic oxygenation. *Lake and Reservoir Management*, 1-18.
- Quirós, R. 2007. Manejo y recuperación de lagos urbanos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 16 pp

- Rast, W., Holland, M. 1998. Eutrophication of Lakes and Reservoirs: A Framework for Making Management Decisions. *Ambio*. 17(1):2-12.
- RCSE & ILEC. 2014. Development of ILBM Platform Process: Evolving Guidelines through Participatory Improvement. 2nd Edition. 85 pp.
- Retnaningsih, T. 2015. Integrated Lake Basin Management for Save Indonesian Lake Movement. International Conference on Tropical and Coastal Region Eco-Development 2014. *Procedia Environmental Sciences*. 23:368-374.
- Rodríguez, R., Matthei, O., Quezada, M. 1983. Flora arbórea de Chile. Ed. Universidad de Concepción, Chile. 408 pp.
- Romero, F. I., Cozano, M. A., Gangas, R. A., Naulin, P. I. 2014. Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque*. 35(1):3-12.
- Ryding, S. O., Rast, W. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. UNESCO. Madrid, España. Editorial Pirámide.
- San Martín, J., Troncoso, A., Ramírez, C. 1988. Estudio fitosociológico de los bosques pantanosos nativos de la Cordillera de la Costa en Chile central. *Bosque*. 9(1):17-33.
- Schallenberg, M., De Winton, M., Verburg, P., Kelly, D., Hamill, K., Hamilton, D., 2013. Ecosystem Services of Lake. *Ecosystem Services in New Zealand – Conditions and Trends*. 15:203-225.
- SCOPUS. 2019. Página web <https://www.scopus.com/> Revisado 12/01/2019.
- SERVIU Metropolitano. 2018. Manual de Obras de Vialidad, Pavimentación y Aguas Lluvias 2018. Capítulo N°5: Diseño de aguas lluvias urbano. 70 pp.
- Sharip, Z., Jusoh, J. 2010. Integrated lake basin management and its importance for Lake Chini and other lakes in Malaysia. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. 15: 41-51.

Smith, V., Tilman, G.D., Nekola, J.C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*. 100:179-196.

Smith, V., Schindler, D. 2009. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology & Evolution*. 24(4):201-207.

Strahler, A., Strahler A.H. 1989. *Geografía Física*. Omega, Barcelona. 1954 pp.

Taylor, S., Bogdan, R. 1987. *Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados*. 1° edición. Barcelona, España. Editorial Paidós.

Tekile, A., Kim, I., Lee, J. Y. 2016. Extent and persistence of dissolved oxygen enhancement using nanobubbles. *Environmental Engineering Research*. 21(4): 427-435.

Temesgen, T., Bui, T. T., Han, M., Kim, T. I., Park, H. 2017. Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment techniques: A review. *Advances in colloid and interface science*. 246:40-51.

Thienemann, A. 1918. Untersuchungen über die Beziehung zwischen dem Sauerstoffgehalt des Wassers und der Zusammensetzung der Fauna in norddeutschen Seen. *Archiv für Hydrobiologie*. 12:1-65.

Torrejón, F., Cisternas, M., Herrera, F. 2004. La navegabilidad histórica del río Biobío, mito y realidad. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*. 49:7-30.

UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2000. *Visión del Agua y la Naturaleza. Estrategia Mundial para la Conservación y Manejo Sostenible de Recursos Hídricos en el Siglo XXI*" Gland, Suiza. 52 pp.

Urrutia, J., Sánchez, P., Pauchard, A., Hauenstein, E. 2017. Plantas acuáticas invasoras presentes en Chile: Distribución, rasgos de vida y potencial invasor. *Gayana. Botánica*, 74(1):147-157.

Vymazal, J. 2013. Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: a review. *Ecological engineering*, 61:582-592.

Wagner, T., Erickson, L. E. 2017. Sustainable management of eutrophic lakes and reservoirs. *Journal of Environmental Protection*, 8:436-463.

Weisberg P, Mortenson, S., Dilts, T. 2013. Gallery Forest or Herbaceous Wetland? The need for multi-target perspective in riparian restoration planning. *Restoration Ecology*. 21(1):12-16.

Westman, W. 1977. How much are nature's services worth? *Science*. 197:960-964.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Academic Press, California. 1006 pp.

7. ANEXOS

ANEXO 1. Encuesta de percepción social laguna Rayenantú, Santa Juana.



Facultad de Ciencias Ambientales
Universidad de Concepción



La presente encuesta tiene como objetivo obtener información sobre la percepción de la comunidad en la gestión que se ha realizado en la laguna Rayenantú. Este estudio se desarrolla en el marco del proyecto de tesis “Propuesta de Gestión Integrada de Cuencas de Lagos para la rehabilitación y uso de contacto directo: Laguna Rayenantú, Santa Juana”, Ingeniería Ambiental, Universidad de Concepción.

Datos Generales

Edad:

Género:

Ocupación:

1- ¿Ha visitado la Laguna Rayenantú? ¿con qué frecuencia lo hace?

Muy frecuente () Frecuente () No tan Frecuente () Nunca ()

2- ¿Qué opina respecto a la presencia de la laguna Rayenantú?

3- ¿En qué estado cree que se encuentra la laguna?

Muy malo () Malo () Bueno () Muy Bueno ()

4- ¿Le interesaría realizar actividades para mejorar el estado de la laguna Rayenantú?

Si () No ()

¿Cuáles? _____

5- ¿Qué tan importante es que la laguna se encuentre cerca de su comunidad?

Muy importante () Importante () Poco importante () Importancia Nula ()

6- ¿Qué actividades y/o amenazas ha visto que se realizan en la laguna?

Acopio basura () Recreación () Ingreso aguas lluvias () Expansión urbana ()

Agrícola () Otros _____

7- ¿Qué actividades hace o le gustaría realizar en la laguna?

_____ **¿Sabe**
si se descargan residuos domiciliarios u de otro tipo a la laguna?
Si () No ()

8- ¿Su vivienda está conectada a la red de alcantarillado o presenta fosa séptica?

Red alcantarillado () Fosa séptica () Otros _____

9- ¿Qué le parece el ingreso de aguas lluvias a la laguna?

Bien () Mal ()

10- ¿Está de acuerdo o en desacuerdo en la protección de la laguna?

Acuerdo () Desacuerdo ()

¿por qué? _____

11- ¿Usted está dispuesto a pagar para mejorar el estado de la laguna?

Si () No ()

12- Si cercaran la laguna para uso recreacional ¿estaría dispuesto a pagar para entrar?

Si () No ()

13- ¿Qué instituciones u organizaciones conoce que apoyen la protección de la laguna?

Organizaciones locales () Municipalidad () Gobierno Regional ()

Comunidad científica () Otros _____

14- ¿Ha participado en programas de protección y/o educación de la laguna?

Si () No () ¿Cuál/es? _____

15- ¿Cree que existe buena gestión de la laguna Rayenantú?

Buena () Mala ()

¿Por qué? _____

Las siguientes preguntas están dirigidas a la comunidad que colinda directamente que la laguna Rayenantú.

- ¿Hace cuánto tiempo vive en la cercanía de la laguna?

- ¿Ha cambiado la laguna Rayenantú y sus alrededores a lo largo del tiempo?

- ¿Conoce alguna entrada de agua a la laguna o sabe si existió?

- ¿Estaría dispuesto a ceder una franja ribereña de la laguna para su protección?

Sí () No ()

ANEXO 2. Principales métodos tradicionales de control interno de eutrofización.

Tabla 24. Principales métodos directos de control de la eutrofización.

Método	Control	Descripción	Ventajas	Desventajas
Eutrofización				
Inactivación de nutrientes	de	Consiste en la aplicación directa al lago o a un tributario de sustancias precipitantes de fósforo, con el fin de inactivar este nutriente.	Eliminación efectiva de nutrientes en la columna de agua	Posibles efectos tóxicos de los productos añadidos, posible acidificación del sistema. Tratamiento de efecto transitorio, se debe aplicar continuamente
Aumento del flujo desaguado – Dilución	del flujo	Dilución de la concentración de los nutrientes en el lago mediante la incorporación de grandes volúmenes de agua con bajo contenido de nutrientes.	Reduce la concentración de contaminantes sin adicionar químicos	Necesidad de grandes volúmenes de agua con bajo contenido en nutrientes, se requiere otra fuente de agua.
Aireación hipolimnion	del	Se mantiene oxigenado al hipolimnion, con lo cual se disminuye la liberación de fósforo desde el sedimento a la columna de agua.	Aumenta la concentración de OD en el hipolimnion	Aplicación constante al sistema
Circulación		Consiste en airear el hipolimnion con el fin de romper la estratificación térmica del lago, esto mediante la mezcla de la columna de agua.	Se mantiene oxigenado el hipolimnion	Costoso, sin efecto directo en la proliferación de algas

Eliminación selectiva de aguas hipolimnéticas	Disminución del volumen del hipolimnion, mediante la eliminación de aguas ricas en nutrientes	Disminución de los nutrientes en el sistema	Aplicación sólo en lagos pequeños y profundos
Disminución nivel del lago	Disminuir el nivel de agua en el lago, con el fin de exponer los sedimentos de fondo a la atmósfera	Permite en ciclo bioquímico de los nutrientes mediante la oxidación química de estos	Destrucción de hábitat Necesidad de mantener periodos prolongados el bajo nivel de agua en el lago
Cobertura de sedimentos de fondos	Se cubren los sedimentos del fondo con láminas de plástico u otros, para evitar el intercambio de nutrientes entre el agua y sedimento.	Método rápido y eficiente	Posibles efectos de material particulado sobre la biocenosis. No elimina contaminantes de sedimento
Eliminación de sedimento (dragado)	Eliminación de sedimentos del fondo del lago que sean altos en nutrientes	Solución de buenos resultados y duraderos en el tiempo, ya que elimina potenciales fuentes de contaminación	Efectos en biocenosis Problemas con el depósito de sedimentos dragados. Costo económico elevado
Recolección	Corta y Eliminación de macrófitas y algas de la masa de agua a través del desmalezado directo.	Eliminación directa de macrófitas y algas	Necesidad de repetidas aplicaciones Depósito de la vegetación eliminada
Control Biológico (Biomaniplulación)	Controla el crecimiento de fitoplancton, algas y/u otros componentes de la cadena trófica, mediante el uso de organismos específicos de niveles tróficos superiores.	Mejora el sistema y degrada contaminantes y exceso de nutrientes	Alteración de la comunidad biológica y cadena trófica. Cuidado con la introducción de especies exóticas

Control químico	Se aplica directamente al lago para eliminar algas y macrófitas.	Elimina e impide el crecimiento de algas y macrófitas	Carácter temporal del método Posibles efectos tóxicos sobre los organismos
Humedales artificiales	Incorporación de macrófitas que actúan como filtro para depurar aguas antes de que ingresen al sistema	Son efectivos a bajos niveles de flujo. Requieren eliminación periódica de plantas.	Eliminan contaminantes, sólidos suspendidos y exceso de nutrientes. Proveen hábitat para flora y fauna

Fuente: Elaborado en base a Ryding & Rast, 1992

ANEXO 3. Modificación a sistema de evacuación aguas lluvias, Laguna Rayenantú.

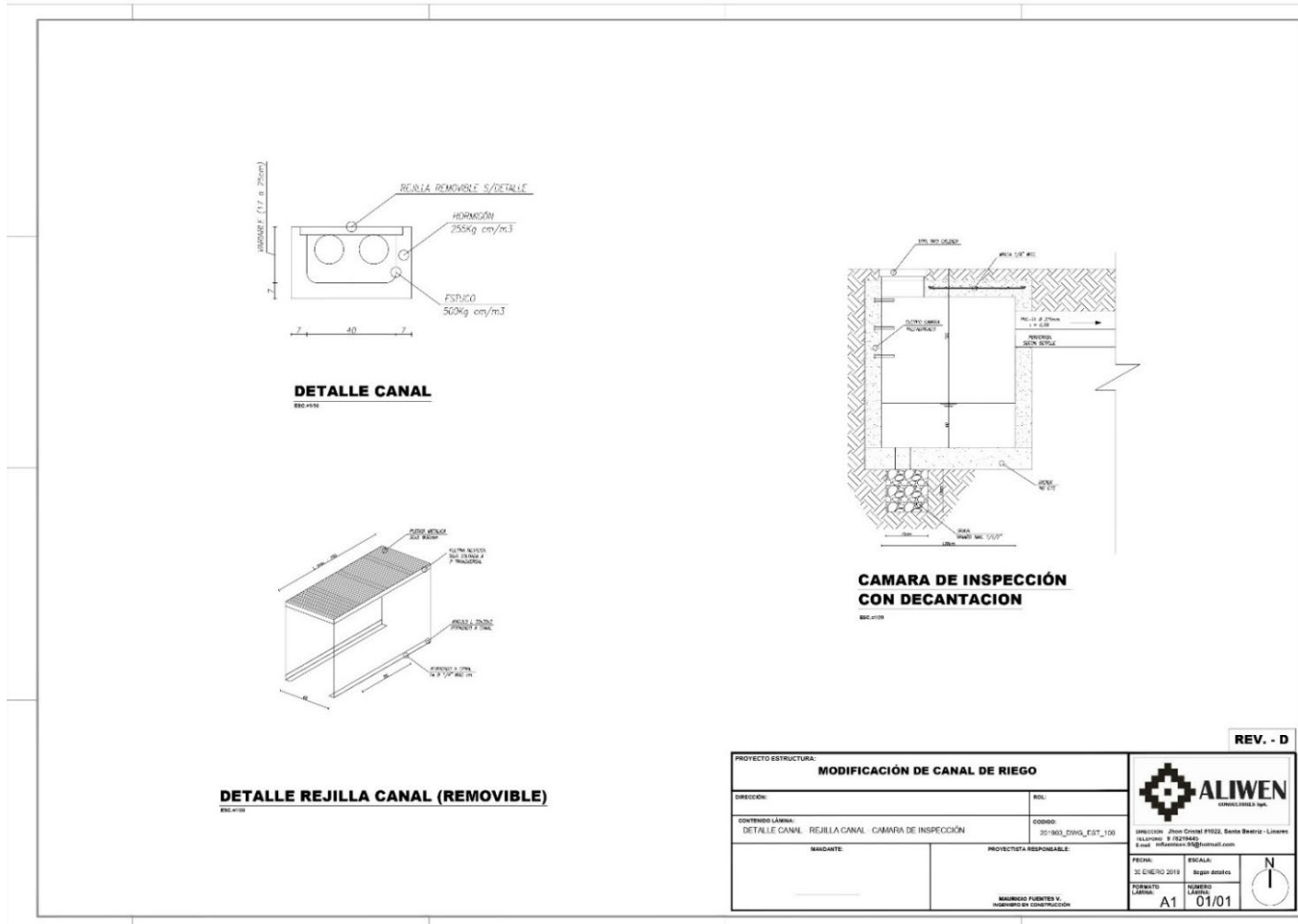


Figura 39. Modificación del Sistema colector de aguas lluvias.

Fuente: Elaborado en base a SERVIU Región del Biobío, 2013.