



INFORME FINAL



DIAGNÓSTICO AMBIENTAL A PARTIR DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL HUMEDAL CAHUIL

CONTROL REVISIÓN DOCUMENTOS			
Fecha	Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
24-02-2015	María Alejandra Paredes Toradji Uraoka, Camila Navarro	Esteban Abrigo	Manuel Contreras

FEBRERO 2015



CONTENIDOS

1	RESUMEN EJECUTIVO.....	4
2	INTRODUCCIÓN.....	7
2.1	Antecedentes.....	7
2.2	Motivación del estudio	7
3	OBJETIVOS	9
3.1	Objetivo General.....	9
3.2	Objetivos específicos.....	9
4	ALCANCES.....	9
5	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	10
5.1	Concepto de Humedal	10
5.2	Importancia de los Humedales.....	10
5.3	Funciones y servicios ecosistémicos	11
5.4	Conceptos de amenaza y vulnerabilidad	13
5.5	Desarrollo local y ordenamiento del territorio	13
5.6	Conservación de los Humedales en Chile	14
5.7	Caracterización del sistema de estudio.....	14
5.8	Sistemas socioambientales	15
5.9	Terremoto Febrero 2010.....	15
6	METODOLOGÍA.....	16
6.1	Área de estudio	16
6.2	Caracterización de las condiciones hidrológicas de Cáhuil.....	18
6.3	Determinación del estado trófico de Cáhuil.....	29
6.4	Determinación e identificación del ecotipo, uso de suelo, funciones y servicios ambientales de Cáhuil.....	34
6.5	Determinación e identificación de las amenazas y grados de vulnerabilidad de Cáhuil.....	36
6.6	Estandarización del seguimiento ambiental de Cáhuil.	37
7	RESULTADOS	37
7.1	Caracterización de las condiciones hidrológicas de Cáhuil	37
7.2	Estado trófico de Cáhuil.....	57
7.3	Ecotipo, funciones ecosistémicas, Áreas de Importancia Ambiental y vulnerabilidad de Cáhuil.	61
7.4	Amenazas y grados de vulnerabilidad de Cáhuil	73
8	PLAN DE SEGUIMIENTO	83

8.1	Medidas de prevención y restauración del humedal tendiente a establecer un trabajo multisectorial en gestión ambiental.....	83
8.2	Sistema de monitoreo ambiental participativo.....	83
9	PROPUESTA DE SECTORIZACIÓN DE HUMEDAL.....	86
10	DISCUSIÓN.....	89
11	CONCLUSIONES.....	91
12	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
13	ANEXOS (EN DIGITAL).....	99
13.1	Anexo 1 Tabla de resultados	99
13.2	Anexo 2. Listado de Coordenadas.....	99
13.3	Anexo_03_Datos_Sonda_CTD.....	99
13.4	Anexo_04_Perfiles_Batimetricos	99
13.5	Anexo_05_Datos_Sensores_Nivel	99
13.6	Anexo_06_Datos_Sensores_Salinidad.....	99
13.7	Anexo_07_Fichas_Aforos.....	99
13.8	Anexo_08_Hidrologia_Nilahue_Sta_Teresa	99
13.9	Anexo_09_Calculo_Cuña_Salina	99
13.10	Anexo_10_Catastro fotografico_Fauna	99
13.11	Anexo_11_funciones_servicios ecositémicos_amenazas_medidas	99
13.12	Anexo 12. Fauna del humedal Cáhuil. (En digital).....	99
13.13	Anexo 13. Entrevistas Salida a Terreno Cáhuil (En digital)	99
13.14	Anexo 14 equipo de trabajo.....	100
14	ANEXO MAPAS.....	100
15	ANEXO LITERATURA RELACIONADA CAHUIL.....	100

1 RESUMEN EJECUTIVO

Los humedales tienen gran importancia ecológica y social, en tanto que agrupan una gran diversidad específica y otorgan numerosos servicios ecosistémicos. En la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, en la comuna de Pichilemu, se ubica el humedal Cáhuil, que consiste en la laguna terminal de la desembocadura del estero Nilahue y que conecta con el océano pacífico en su extremo sur oriente. Este humedal tiene alto valor ecológico y social, con presencia de variadas funciones y servicios ecosistémicos que sustentan la economía de sus habitantes. Las actividades de la comunidad se centran principalmente en la extracción de sal, el turismo, la pesca y extracción de recursos marinos.

La dinámica temporal histórica de la laguna Cáhuil alternaba antaño en una condición de laguna salobre en periodos estivales, cuando la barrera de conexión al mar se encontraba cerrada, y un estuario con estratificación salina, cuando la barrera se encontraba abierta y con conexión al mar.

Desde el terremoto del año 2010, la percepción ciudadana es de un cambio brusco en el estado de la laguna, que se ha reflejado en cambios en la dinámica de apertura y cierre natural de la barrera. Paralelamente se ha detectado eutrofización del sistema, con aumento de la turbiedad del agua y proliferación de micro y macroalgas. Por estas razones existe preocupación de la comunidad por el destino de sus fuentes de trabajo, ya que se ha observado un cambio en los recursos pesqueros, a lo que se suman cambios en el uso del suelo y disminución del caudal de agua dulce.

En este sentido es que el Centro de Ecología Aplicada CEA Ltda., por encargo del Ministerio del Medio Ambiente realizó un estudio de diagnóstico ambiental con un enfoque "físico - ecológico - social". Los principales objetivos de este diagnóstico fueron describir la condición ambiental del humedal Cáhuil, caracterizando la dinámica hidrológica, el estado trófico del humedal, el ecotipo predominante, usos del suelo, funciones y servicios ecosistémicos, áreas de Importancia Ambiental (AIA), las amenazas y vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos, para sugerir medidas de prevención tendiente a establecer un trabajo multisectorial en gestión ambiental y proponer un seguimiento ambiental participativo de la comunidad.

Para lograr describir hidrológicamente la laguna y conocer su estado trófico se realizaron dos campañas de terreno en el humedal Cáhuil, la primera en octubre 2014 y la segunda en diciembre del mismo año. El objetivo era obtener registros en condiciones de barrera abierta (primavera) y cerrada (verano). Para ello se establecieron 30 puntos a lo largo de del eje longitudinal del cuerpo de agua, desde la barra hasta la zona de ingreso del afluente del estero Nilahue, en los cuales se realizaron mediciones verticales de conductividad eléctrica, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, pH, turbidez y Clorofila *a*, utilizados para evaluar el grado de estratificación y las condiciones de calidad de agua de la laguna Cáhuil. Además se realizó el levantamiento de información batimétrica en transectos transversales de estos 30 puntos para conocer la topografía y profundidad del humedal. Para determinar el tipo de estructura hidrológica, se analizó la extensión de la intrusión de agua de mar, la existencia de cuña salina, y nivel de ingreso de las mareas mediante sensores de presión y salinidad. Adicionalmente se midió el caudal del estero Nilahue y analizó su aporte en la estructura física del humedal. Para medir el estado trófico del agua, se tomaron muestras de nutrientes y clorofila *a*, a la vez que se analizó la profundidad de visibilidad del disco

Secchi en tres sectores del humedal, la desembocadura, la laguna Cáhuil y el Estero Nilahue.

La determinación del ecotipo predominante se realizó de acuerdo a la metodología de Clasificación de Ecotipos detallada en el documento Protección y Manejo Sustentable de Humedales Integrados a la Cuenca Hidrográfica (CONAMA 2006). La definición de los atributos funcionales por ecotipo, se realizó en base a la guía elaborada por el SAG durante el año 2006.

Para identificar las funciones y los servicios ecosistémicos, las AIA, el uso del suelo, y las amenazas de estos mediante un diagnóstico socio-ambiental, se recurrió a información bibliográfica, y se levantó información sobre la situación actual de los servicios ecosistémicos, el uso de suelo y las amenazas sobre el recurso hídrico mediante visitas a terreno y entrevistas a distintos actores locales. Posteriormente se mapearon los resultados para conocer la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos y proponer una sectorización del uso de los servicios ambientales.

En ambas campañas de terreno se encontró la laguna con la barrera abierta, habiendo permanecido así desde junio 2014, cuando fue abierta artificialmente. Durante el periodo de estudio el estuario tuvo una condición bien mezclada sin cuña salina dominado por influencia de las mareas; la extensión del estuario fue de al menos 11,4 kilómetros desde la desembocadura. A lo largo del cuerpo de agua se identificaron tres zonas con diferentes tiempos de residencia del agua: Bajo (< 1 día), Medio (1 día a 4 días) y Alto (> 4 días), esto indica el tiempo en que se renueva el agua de mar que entra en el sistema. Los resultados indican que la condición de laguna se mantendría bajo los escenarios de caudales actuales, y solamente podría cambiar en condiciones de año húmedo.

La concentración de nutrientes y la profundidad del disco Secchi, señalaron que la mayor parte del área estaba en estado eutrófico o hipereutrófico en ambas campañas de terreno. La concentración de clorofila *a*, señaló menores niveles de eutrofización, con varias estaciones de muestreo en estado meso y oligotrófico, aunque algunas muestras indicaron eutrofia.

Por otra parte, se determinó que el humedal Cáhuil, corresponde a un ecotipo de humedal costero, con intrusión salina, de tipo cubeta cuando la barrera se encuentra cerrada y de canal cuando la barrera se encuentra abierta. En terreno se observó que el uso del suelo en la cuenca es preponderantemente forestal de tipo intensivo, y que a su vez presenta ganadería extensiva a baja escala y agricultura de subsistencia asociada a los pequeños poblados que se distribuyen en la cuenca. Las plantaciones forestales de la cuenca del estero Nilahue están compuestas principalmente por dos especies introducidas, *Pinus radiata* y *Eucaliptus globulus*.

En el humedal Cáhuil se detectaron funciones ecosistémicas de provisión, debido a la presencia de especies marinas extractivas; de hábitat, para una amplia diversidad de aves; de regulación, en el control de nutrientes y protección contra inundaciones y; de información, a través de paisajes heterogéneos de alta diversidad biológica y de gran atracción turística. Los servicios ecosistémicos detectados se relacionan con estas funciones ecosistémicas y se detectaron 8 servicios principales, cuatro de ellos son servicios ecosistémicos de provisión (pesca artesanal, extracción de algas, acuicultura, salineras), uno de apoyo (avifauna), uno cultural (turismo) y dos de regulación (regulación

de nutrientes y protección contra inundaciones). Las Áreas de Importancia Ambiental (AIA) identificadas de acuerdo a los principales servicios ecosistémicos del humedal, cubren una amplia extensión espacial, principalmente aquellos de regulación y provisión se encuentran a lo largo del sistema hídrico del humedal, mientras que los servicios de apoyo y cultura segundos se concentran en las riberas.

Las principales amenazas para los servicios ecosistémicos identificadas en distintas escalas espaciales fueron; a escala local, la eutrofización del agua, floraciones algales nocivas recurrentes, manejo irregular de la barra de la desembocadura, la presencia del puente en Cáhuil y pesca, caza y extracción de productos marinos no regulada. A nivel regional, se detectaron amenazas en las inundaciones, efectos de terremoto del 2010, cambios en el uso del suelo, explotación de aguas subterráneas, y contaminación del agua. El cambio climático es considerado una amenaza a escala global.

En base a los resultados se propone un plan de seguimiento que considere las medidas de acuerdo a las amenazas detectadas y las propuestas de la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Se propone un monitoreo ambiental participativo donde miembros de la comunidad de Cáhuil realicen el seguimiento de los cambios de los principales servicios ecosistémicos y de sus amenazas. Se proponen las metodologías para algunos de estos monitoreos dejando abierta la posibilidad de toma de decisiones por parte de los usuarios.

En términos generales podemos concluir que el humedal de Cáhuil ha cambiado de estado ecológico, respecto de su condición histórica, lo cual se refleja en su nivel trófico actual. Si bien este fenómeno es la tendencia natural de los humedales, se ha visto acelerado por procesos que tienen su origen a diferentes escalas, desde intervenciones locales como la disminución de los recursos hídricos superficiales hasta modificaciones derivadas de terremotos o cambio climático global.

En este escenario acciones orientadas a reducir el nivel trófico de la laguna de Cáhuil, para recuperar algunas características históricas como la calidad del agua, deben enfocarse a las amenazas de escala local. No obstante, una forma complementaria es adaptarse al nuevo estado ecológico del humedal, a través del ordenamiento territorial de los servicios ecosistémicos.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Antecedentes

De acuerdo a la definición de la Convención RAMSAR (Irán, 1971), los humedales agrupan a una amplia variedad de hábitat acuáticos tales como pantanos, turberas, ríos, lagos, marismas, estuarios, lagunas costeras, etc. Estos varían enormemente como resultado de las diferencias en su hidrología y geomorfología (van der Valk, 2006).

En general, existe cada vez mayor conciencia acerca de la importancia de estos ecosistemas en términos de la valiosa biodiversidad que soportan y de su rol clave en funciones ecológicas, como por ejemplo en el control del flujo de nutrientes (Esteve et al., 2008). Es en este contexto, durante las últimas décadas se ha evidenciado una importante mejoría en cuanto a la promoción de diferentes estrategias de protección y conservación de estos ecosistemas tan frágiles.

Los humedales costeros se caracterizan por presentar una vinculación muy estrecha con el mar, pudiendo estar conectados en forma permanente (ej. estuarios) y/o temporal (ej. lagunas costeras saladas). En cualquier caso, son sistemas muy dinámicos espacial y temporalmente, en función del balance hídrico y de sales regulado por los caudales de los ríos y el mar. Una de sus características más importantes es la presencia de gradientes, que permiten una elevada heterogeneidad espacio-temporal y por ende, disponibilidad de hábitats para especies acuáticas y riparianas. Esta condición se traduce en que los humedales costeros son sitios de alta concentración de biodiversidad, siendo particularmente relevante la presencia de numerosas especies de aves migratorias (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Adicionalmente presentan servicios ecosistémicos, definidos como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos incluyen la provisión de servicios tales como alimentos, agua, servicios de regulación como control de inundaciones, sequías, degradación de tierras y enfermedades; Servicios de soporte como formación de suelos y ciclos de nutrientes; servicios culturales como recreación, espirituales o religiosos así como otros beneficios no materiales (Convención Ramsar, Resolución IX.1 Annex A.j).

2.2 Motivación del estudio

La desembocadura de la Cuenca del Estero Nilahue, conocida como laguna de Cáhuil, se une con el océano pacífico en su extremo sur oriente. Este lugar es un humedal de alto valor ecológico, su importancia vital se debe a los servicios ambientales que sustentan la diversidad biológica y actividades productivas artesanales que constituyen en su conjunto el patrimonio de las comunidades que habitan en la ribera. Sin embargo, la contaminación, la caza de avifauna, así como la acumulación de residuos y escombros del pasado terremoto en las riberas de la laguna, representan una amenaza para este humedal y para la actividad productiva. Posterior al terremoto el curso normal del agua sufrió alteraciones, lo que provocó que no se produjese el intercambio de agua entre la laguna y el mar de forma natural como se hace desde antaño.

La construcción del puente en laguna Cáhuil, que une la ribera norte con la ribera sur, se señala como el factor que habría provocado el “embancamiento” de la boca del estero (Figura 1). Por otra parte, la irregularidad pluviométrica, también han modificado la

profundidad y caudal del Estero según comentan los vecinos de la ribera, quienes dan cuenta de ello a raíz de que antiguos botes que cruzaban la laguna, hoy por hoy se quedan “encallados” en ciertas áreas que antes se cruzaban con total normalidad.



Figura 1. Superior, desembocadura del estero Nilahue. Inferior, pilares del puente de la laguna Cáhuil.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diagnosticar la condición ambiental del humedal Cáhuil, a partir de la dinámica hidrológica y nivel de sedimentación, evaluando medidas de gestión y restauración.

3.2 Objetivos específicos

I. Caracterizar las diversas condiciones hidrológicas de Cáhuil, cuantificando el grado de estratificación en al menos dos condiciones espacio temporales diferentes.

II. Determinar el estado trófico de Cáhuil, en cada condición espacio temporal identificado.

III. Determinar según el ecotipo predominante las funciones y servicios ambientales presentes en Cáhuil y su grado de vulnerabilidad.

IV. Establecer medidas de prevención y restauración del humedal tendiente a establecer un trabajo multisectorial en gestión ambiental.

V. Estandarizar el seguimiento ambiental de Cáhuil desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente para sistemas costeros, acorde a lo establecido en la Estrategia Nacional de Humedales.

4 ALCANCES

- En este estudio se entrega una descripción del estado del arte del conocimiento del sistema humedal Cáhuil, el ecotipo predominante, los usos de suelo, los servicios ecosistémicos y sus amenazas.
- Se describen y explican las condiciones hidrodinámicas y el estado trófico de la laguna Cáhuil a partir de análisis realizados en dos campañas de terreno, una en octubre y otra en diciembre del 2014.
- Se muestran las relaciones entre los servicios ecosistémicos actuales, amenazas y vulnerabilidad.
- Se plantea un plan de seguimiento ambiental integrado/participativo con la comunidad de Cáhuil.

5 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

5.1 Concepto de Humedal

Existen innumerables definiciones sobre lo que se considera un humedal, entre ellas se encuentra lo planteado por Keddy (2010), que lo define como “un ecosistema que se forma cuando inundaciones por agua producen que los suelos sean dominados por procesos anaeróbicos que fuerzan a la biota, particularmente a plantas arraigadas, a exhibir adaptaciones para tolerar la inundación”.

Por otra parte, Ramírez & San Martín (2008), definen a los humedales como “unidades de paisaje determinadas por un anegamiento permanente o estacional del suelo...con aguas de escasa profundidad”.

Es así, como la definición más conocida sobre lo que es un humedal proviene de la Convención RAMSAR, institución de importancia a nivel internacional para la conservación de estos ecosistemas (<http://www.ramsar.org/>). Esta institución determinó que se tomaría como humedales: “... extensiones de marismas, pantanos, turberas o agua de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de los 6 metros”. Esta definición ha sido la forma más utilizada para definir los humedales, dada la facilidad de comprobar las características que describe.

5.2 Importancia de los Humedales

Los humedales son vitales para la supervivencia humana; son uno de los entornos más productivos del mundo, y son cunas de la diversidad biológica; son fuentes de agua y productividad primaria de las que innumerables especies vegetales y animales dependen para subsistir. Además proveen una amplia variedad de funciones y servicios ecosistémicos a la sociedad, desde suministro de agua dulce, alimentos y materiales de construcción, y biodiversidad, hasta control de crecidas, recarga de aguas subterráneas y mitigación del cambio climático (sensu <http://www.ramsar.org/>).

En gran medida, los servicios que ofrece un humedal derivan de su biodiversidad y su carácter ecológico, y las interrelaciones entre sus componentes físicos, químicos y biológicos.

Los humedales también poseen atributos que forman parte del patrimonio cultural de la humanidad, al estar asociados a creencias religiosas, cosmológicas y valores espirituales, son una fuente de inspiración artística y aportan información arqueológica sobre el pasado, sirven de refugios de vida silvestre y son base de importantes tradiciones sociales, económicas y culturales locales (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

5.3 Funciones y servicios ecosistémicos

La estructura ecológica junto con los procesos de un ecosistema determinan las funciones ecosistémicas. La definición de funciones ecosistémicas tiene varias interpretaciones, ya que algunas veces el concepto se utiliza para describir el funcionamiento interno del ecosistema (por ejemplo, mantenimiento de los flujos de energía, reciclaje de nutrientes, interacciones tróficas), y otras veces se relaciona con los beneficios obtenidos por los humanos a partir de sus propiedades y procesos (De Groot et al., 2002). Esta última aproximación es la que utilizamos en este estudio, y está definida como “la capacidad natural de los componentes y procesos para proveer bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente” (De Groot, 1992).

Existe un amplio rango de funciones ecosistémicas las que De Groot et al. (2000) agrupan en cuatro categorías:

1.- Funciones de regulación: Se refiere a la capacidad natural del sistema de regularse a sí mismo a través de ciclos biogeoquímicos y otros procesos de la biósfera. Los servicios que proveen a los humanos son por ejemplo; aire limpio, agua y suelo, control biológico.

2.- Funciones de hábitat: Consiste en la provisión de refugios y hábitats de reproducción para plantas y animales silvestres, a la vez que contribuyen a su conservación.

3.- Funciones de producción: Son aquellas funciones que convierten la energía en materia orgánica (biomasa) a través de los procesos autotróficos (fotosíntesis, quimiosíntesis). Esta biomasa está estructurada de carbohidratos utilizables como alimento para humanos y ganado, así como de energía (leña) y materiales de construcción.

4.- Funciones de información: Para los humanos, los ecosistemas proveen de oportunidades de reflexión, enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo y experiencia estética. Esto se debe a que los humanos evolucionaron en ambientes naturales, por lo que estos constituyen sistemas de referencia de salud y bienestar.

Estas funciones ecosistémicas proveen de servicios ecosistémicos y su definición está fuertemente basada en las definiciones de la primera. Así como las funciones ecosistémicas, existen varias formas de clasificar los servicios ecosistémicos, entre ellas se encuentra lo planteado por el International Water Management Institute (2014) y por Burkhard *et al.* (2009), quienes los clasifican en cuatro grandes grupos: servicios de provisión (producción), servicios de regulación, servicios culturales y servicios de apoyo (integridad ecológica) (**Tabla 1**).

Tabla 1 Clasificación de los Servicios Ecosistémicos (International Water Management Institute, 2014).

Services	Comments and examples
<i>Provisioning</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Food ■ Fresh water ■ Fibers and fuel ■ Biochemicals ■ Genetic material 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Production of fish, wild game, fruits and grains ■ Storage and retention of water for domestic, industrial and agricultural use; supply of drinking water ■ Production of logs, fuelwood, peat and fodder ■ Extraction of medicines and other materials from flora and fauna ■ Genes for resistance to plant pathogens, ornamental species, etc.
<i>Regulating</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Climate regulation ■ Water regulation (hydrological flows) ■ Water purification and waste treatment ■ Erosion regulation ■ Natural hazard regulation ■ Pollination 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Source and sink for greenhouse gases, including carbon; influence on local and regional temperature, precipitation and other climate processes ■ Groundwater recharge/discharge ■ Retention, recovery and removal of excess nutrients and other pollutants ■ Retention of soils and sediments ■ Flood control and storm protection ■ Habitat for pollinators
<i>Cultural</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Spiritual and inspirational ecosystems ■ Recreational ■ Aesthetic ■ Educational 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Source of inspiration; many religions attach spiritual and religious values to aspects of wetland ■ Opportunities for recreational activities, such as wildlife tourism ■ Many people find beauty or aesthetic value in aspects of wetland ecosystems ■ Opportunities for formal and informal education and training
<i>Supporting</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Soil formation ■ Nutrient cycling ■ Biodiversity 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sediment retention and accumulation of organic matter ■ Storage, recycling, processing and acquisition of nutrients ■ Wetlands are highly productive and provide a wide range of ecological niches, supporting extensive biodiversity

Los diferentes tipos de servicios pueden estar estrechamente vinculados. Por ejemplo, los servicios de provisión pueden estar vinculados con los servicios culturales donde las personas atribuyen valor espiritual a los productos que se obtienen de los humedales (IWMI, 2014).

Los servicios de provisión son quizás los más significativos en términos de sostener las necesidades humanas fundamentales, la reducción de la pobreza y el apoyo a los medios de vida de las personas. Incluso los humedales más pequeños pueden ser un recurso vital para las comunidades que viven cerca, aportando suministro de agua para su consumo, sus cultivos y el ganado.

Burkhard et al. (2009), realizaron una valoración de distintos servicios ecosistémicos, utilizando información de uso del suelo e impactos de las actividades humanas. Estos autores encontraron patrones típicos en diferentes ecosistemas para proveer servicios ecosistémicos. Esta información es de utilidad para mejorar el manejo ambiental y realizar un uso sustentable de los servicios que provee la naturaleza.

5.4 Conceptos de amenaza y vulnerabilidad

La amenaza es el peligro latente que representa la posible manifestación, dentro de un período de tiempo y en un territorio particular, de un fenómeno de origen natural, socio-natural, o antropogénico, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y al medio ambiente. Las amenazas son clasificadas en 3 tipos según su origen: amenaza natural, seudo o socio-natural y antropogénicas. La primera corresponde a aquellas asociadas a la dinámica y procesos geológicos, geomorfológicos, atmosféricos y oceanográficos (por ejemplo, sismos, huracanes y tsunamis). Las seudo o socio-naturales son resultado de la interacción entre mundo natural con las prácticas sociales, donde por ejemplo los cambios en los patrones de uso de suelo u otros procesos sociales, crean o amplían las condiciones de amenaza. Finalmente las amenazas antropogénicas corresponde aquellas que son producto de la actividad humana, como por ejemplo derrames de materiales tóxicos, contaminación de aire, tierra y agua por productos industriales (LAVELL, 1993).

La vulnerabilidad corresponde a la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un fenómeno peligroso se manifieste (LAVELL, 1993). Dentro de este contexto, la vulnerabilidad socioambiental puede ser entendida como el proceso por el cual los ecosistemas y la población humana están sujetos a riesgo de sufrir daños o amenazas ocasionadas por factores biofísicos y sociales (ÁVILA, 2008).

5.5 Desarrollo local y ordenamiento del territorio

El concepto de base del desarrollo local es la idea de determinar, por un lado, cual es el potencial de recursos con el que se cuenta y que está subutilizado y, por otro lado, cuáles son las necesidades que se requieren satisfacer de las personas, de las comunidades, de las colectividades, de los municipios, y de la sociedad en su conjunto. Bajo este enfoque la comunidad local es quien se hace responsable de su propio territorio, investigando los diversos ítems que se desenvuelven en él, como lo es el desarrollo económico local y fomento productivo; el ordenamiento territorial y desarrollo de infraestructuras; el desarrollo social y capital humano; y el desarrollo institucional, articulación de actores y participación (SILVA, 2003).

El ordenamiento del territorio u ordenamiento territorial entrega herramientas para una adecuada articulación de la voluntad o intereses de una comunidad humana con las potencialidades del medio natural. Con él se aborda el tema de la coherencia entre las características del medio natural y las actividades que en él se desarrollan (ANDRADE, 2008).

5.6 Conservación de los Humedales en Chile

La conservación de los humedales es de gran importancia, sobre todo para la conservación de especies de aves migratorias y por constituirse en lugares ideales para promover educación ambiental y turismo (Arana y Salinas, 2003).

Respecto a la conservación de estos ecosistemas, Chile cuenta con un Sistema Nacional de Área Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), que representa la principal herramienta de protección de la biodiversidad, mediante la administración y manejo de áreas naturales distribuidas a través de todo el territorio nacional.

Chile además se encuentra suscrito al Convenio de Ramsar, el cual tiene por objetivo proteger y conservar a nivel mundial los humedales a través de su uso racional, mediante la implementación tanto de medidas locales como de cooperación internacional. A nivel nacional existe un total de 12 sitios Ramsar, los cuales se distribuyen a través del todo territorio (Ramsar, 2011).

5.7 Caracterización del sistema de estudio

5.7.1 Clima

El área de estudio se encuentra dentro de la zona semiárida (Aconcagua al Maule), ubicada en el límite sur de la faja costera chilena, en el área de secano costero (Santibáñez et al., 2008). Se caracteriza por presentar un período seco de entre siete y ocho meses, y un período húmedo de entre dos y cuatro meses con gran nubosidad (Andrade & Grau, 2005). Las precipitaciones registradas en la estación pluviométrica de Pichilemu, proporcionada por la DGA del MOP para el periodo 1984-2013 acumulan un promedio total anual de 479,884 mm, de este monto, aproximadamente el 78% se concentra entre los meses de mayo a agosto, disminuyendo notoriamente en los meses estivales. Para la estación de Nilahue en Barahona, que queda en la parte alta de la subcuenca que alimenta al humedal de Cáhuil, la precipitación promedio anual llega a 542 mm para el período 1982-2012 (DGA, 2013) y la precipitación se concentra en los meses de mayo a agosto, las que también representan un 78%.

De acuerdo a la clasificación bioclimatológica realizada por Di Castri & Hajek (1976), el área de interés se encuentra dentro de la “región mediterránea subhúmeda”, caracterizada por presentar en la zona precordillerana bosques esclerófilos más o menos abiertos.

5.7.2 Hidrología

Con respecto a la hidrología del humedal de Cáhuil, la marcada variabilidad estacional propia de las condiciones climáticas mediterráneas se reflejan en las variaciones del gasto del estero, el que al desembocar en una costa dominada por el oleaje, con fuerte transporte sedimentario por la deriva litoral, es cerrado por una barrera arenosa durante los meses de verano. Las precipitaciones invernales aumentan el caudal y el estero rompe la barra, comunicándose con el mar, permitiendo el ingreso de la marea dinámica y de salinidad (Andrade & Grau, 2005).

La literatura indica que durante el período de estuario abierto, la distribución de la salinidad se comporta como la de un estuario fuertemente estratificado. Durante el período de bajos caudales estivales se forma la laguna, la cual presenta una salinidad homogénea con aguas salobres. La distribución de los sedimentos durante el periodo invernal presenta tres ambientes de depositación diferentes, una con predominio de sedimentos marinos arenosos en la boca, otra con dominio de sedimentos pelíticos en el curso medio del estuario y finalmente depósitos con características fluviales en el curso superior, situación que permite catalogarlo como un estuario dominado por las mareas (Torres, 2012).

5.8 Sistemas socioambientales

Los ecosistemas proveen de bienes y servicios para la vida y actividades humanas, las cuales, a su vez afectan la integridad de los ecosistemas (Meadows et al., 2004). Cuando los problemas ambientales se relacionan estrechamente con su uso, es conveniente acercarse a una aproximación eco-social para su estudio (y subsecuente manejo). Los humanos son parte de los ecosistemas en tanto habitan y se sustentan de ellos, lo cual implica que no deben dejarse fuera de la conceptualización del ecosistema. Delgado y Marín (2005) proponen el concepto de FES-sistema (sistema físico-ecológico-social), como una unidad espacialmente explícita donde los componentes y límites dependen de las preguntas a responder, los observadores que las formulan y el contexto social en el que ellas se plantean. Desde este punto de vista, es necesario combinar los estudios científicos y la percepción social (Delgado & Marín, 2005).

5.9 Terremoto Febrero 2010

Durante febrero del 2010, Chile sufrió un terremoto de magnitud 8,8 en la escala de Richter, el cual afectó muchos ecosistemas marinos y estuarinos de las zonas costeras. Farías (2010), ha estimado el desplazamiento vertical que experimentó el territorio chileno a lo largo de la costa. El levantamiento se realizó en base a estimaciones de marcas de algas sobre las rocas, y la subsidencia se estimó en base a observaciones de construcciones y vegetación inundada. En el caso de las marcas de levantamiento se estima un error en torno a 10 cm, en tanto que para la subsidencia existe mayor incertidumbre, y se asocian errores de estimación en torno al 80% a 100% del valor reportado. Los valores más cercanos disponibles a la zona de estudio en Cáhuil se encuentran en Pichilemu (10 km al norte de Cáhuil) con un levantamiento del terreno de 20 ± 10 cm, y en Bucalemu (18 km al sur de Cáhuil) con una subsidencia de 50 ± 50 cm.

6 METODOLOGÍA

6.1 Área de estudio

El estudio se está desarrollando en el humedal Cáhuil, ecosistema localizado administrativamente en la comuna de Pichilemu, provincia de Cardenal Caro, región del Libertador General Bernardo O'Higgins (**Figura 2**). Este humedal está constituido por la laguna Cáhuil, la que corresponde al desagüe del estero Nilahue. Este estero nace en la cordillera de la costa, en la comuna de Rauco, Región del Maule, desde donde recorre aproximadamente 120 km, pasando por las comunas de Hualañé (VII Región), Lolol y Pumanque (VI Región), para desembocar al mar finalmente en la comuna de Pichilemu.

La laguna tiene una longitud aproximada de 9 km, y una marcada dinámica de apertura y cierre de la barrera en función del gasto del estero Nilahue, que es mayor en los meses de invierno debido a las precipitaciones (Andrade & Grau 2005). La apertura de la laguna también es de origen antrópico, ya que en condiciones invernales, cuando sube el caudal del estero Nilahue, vialidad abre la barrera a fin de evitar la inundación de propiedades habitadas (Vialidad de Pichilemu, com. Personal).

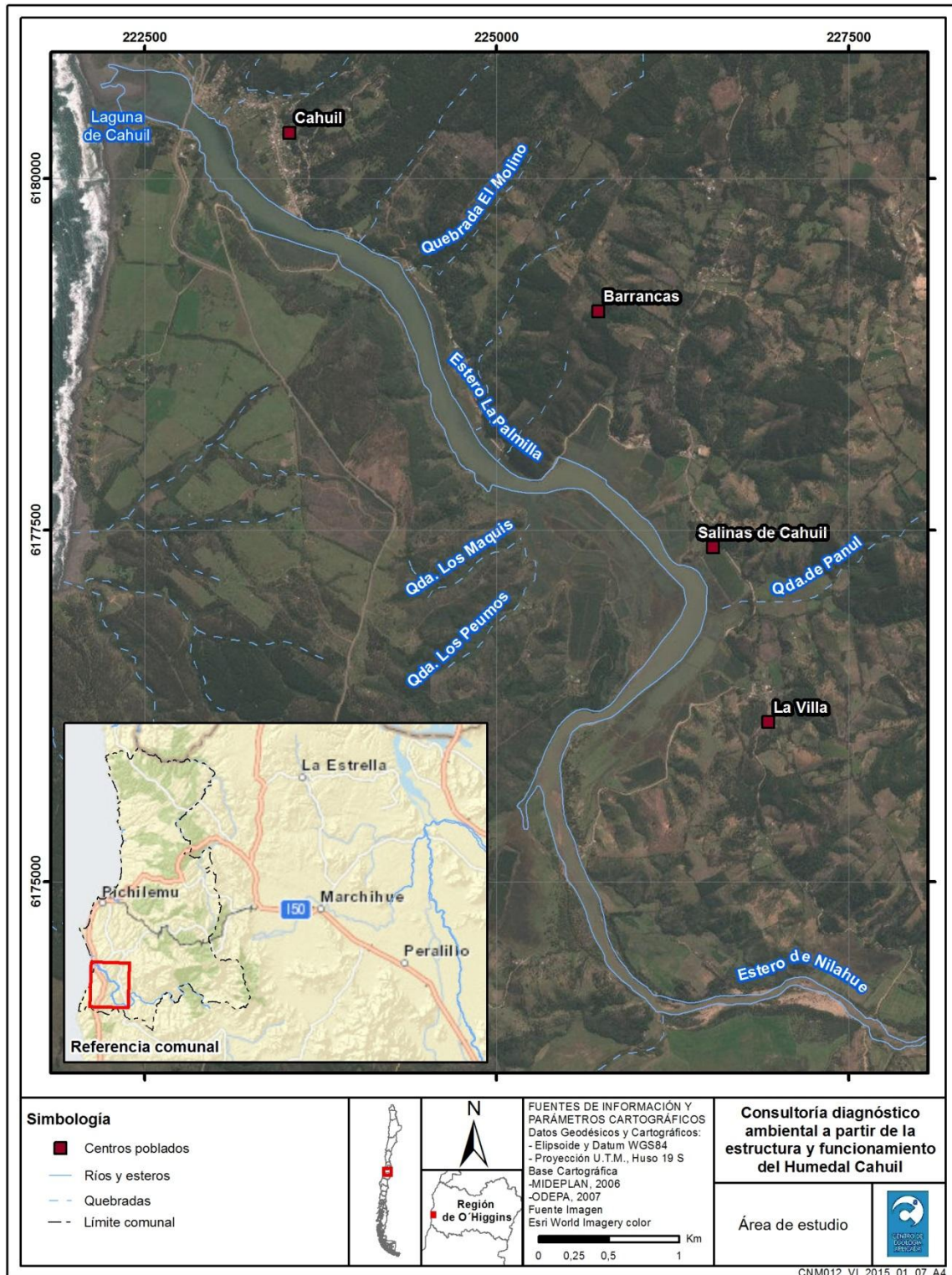


Figura 2. Área de estudio. El recuadro muestra la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, VI Región.

6.2 Caracterización de las condiciones hidrológicas de Cáhuil

El primer terreno de este estudio se realizó entre los días 8 y 11 de octubre del 2014. La segunda campaña de terreno se ejecutó entre los días 15 y 18 de diciembre del 2014. En ambos casos la condición hidrológica en la que se encontraba la laguna Cáhuil fue estuarina, ya que la barrera del sector de la desembocadura del estero Nilahue estaba abierta hacia el mar. La metodología específica para cumplimiento a este objetivo se detalla a continuación:

6.2.1 Determinación perfiles verticales de conductividad eléctrica, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez y clorofila a, identificando la calidad de las aguas, considerando tres zonas de control; predominancia salina, mezcla y sin intrusión.

Con la finalidad de conocer la dinámica física y química del sistema acuático del humedal Cáhuil, se establecieron 30 puntos a lo largo del eje longitudinal del cuerpo de agua, desde la barra hasta la zona de ingreso del afluente del estero Nilahue, con una distancia de 250 m entre cada punto (**Figura 3**). En cada punto se realizaron mediciones verticales de conductividad eléctrica, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, pH, turbidez y Clorofila a mediante la Sonda CTD Ocean Seven 316 Plus, marca Idronaut (**Figura 4**). Con estos datos se construyeron perfiles verticales que permitieron evaluar el grado de estratificación y las condiciones de calidad de agua de la laguna Cáhuil en la condición de estuario. El **ANEXO Digital 02** muestra las coordenadas de cada punto evaluado.

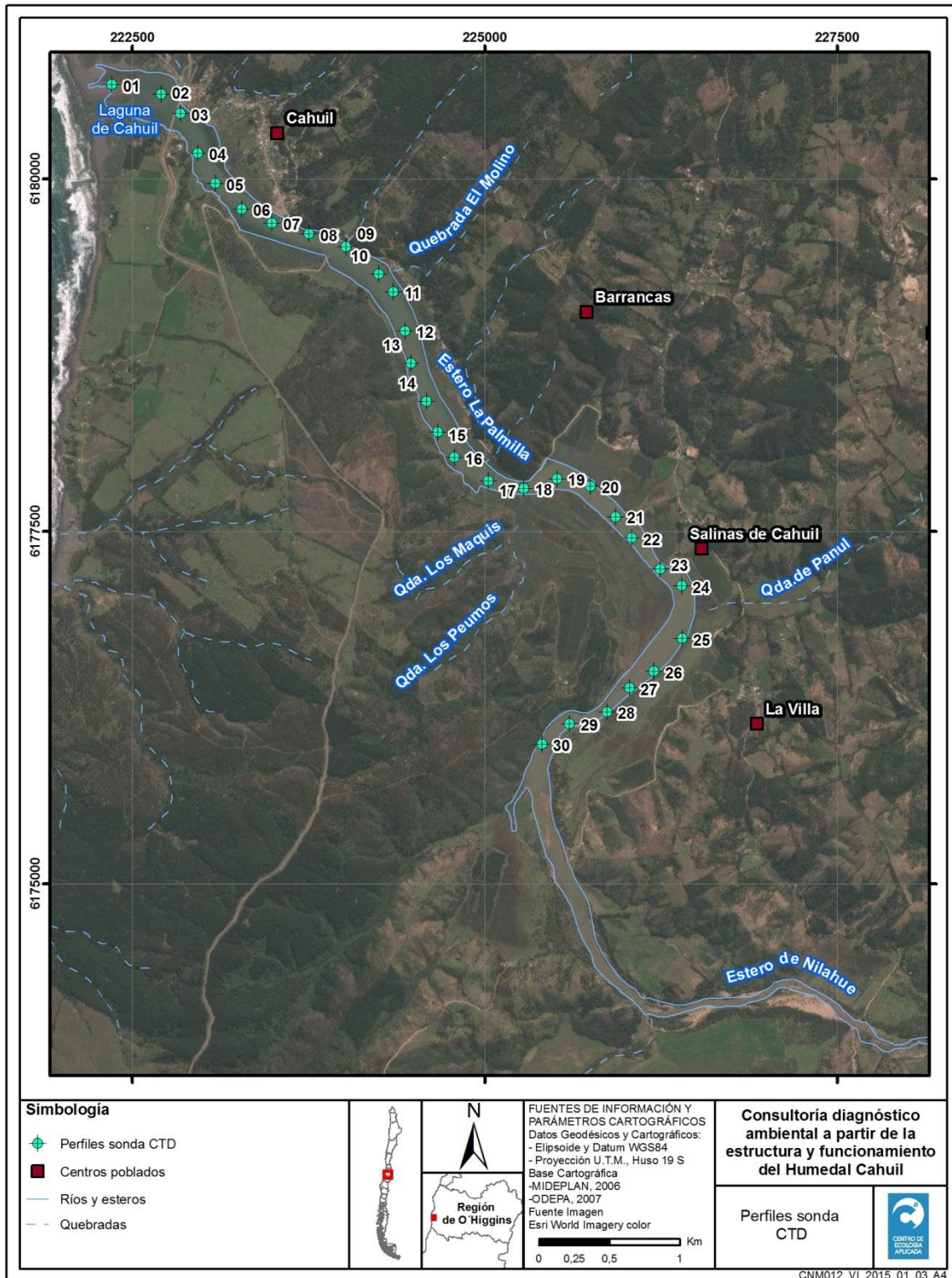


Figura 3. Puntos de medición de las condiciones hidrológicas del humedal Cáhuil.



Figura 4. Sonda CTD científica Idronaut Ocean Seven 316 Plus para perfiles verticales de propiedades de la columna de agua. Tiene sensores de temperatura, presión, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, turbidez y fluorescencia de clorofila *a in-situ*.

6.2.2 Medición de la batimetría, determinación del nivel de intrusión salina a lo largo del humedal en al menos dos momentos hidrológicos distintos, en condición de estuario y condición de laguna.

Para el levantamiento de información batimétrica se realizó un barrido en bote de 30 transectos distribuidos a lo largo y ancho de la laguna (**Figura 5** y **Figura 6**), ubicados en los mismos puntos del monitoreo de perfiles verticales de la sonda CTD (**Figura 3**). Para ello se utilizó un ecosonda GPSMap 420s marca Garmin (**Figura 7**).



Figura 5. Imagen del recorrido en bote con motor eléctrico para la obtención de los perfiles batimétricos.

Para el análisis morfométrico se procesaron los datos de los cortes batimétricos realizados en terreno, para hacer la interpolación de los puntos y generar un sistema de isobatas representativas de la topografía del fondo de la laguna.

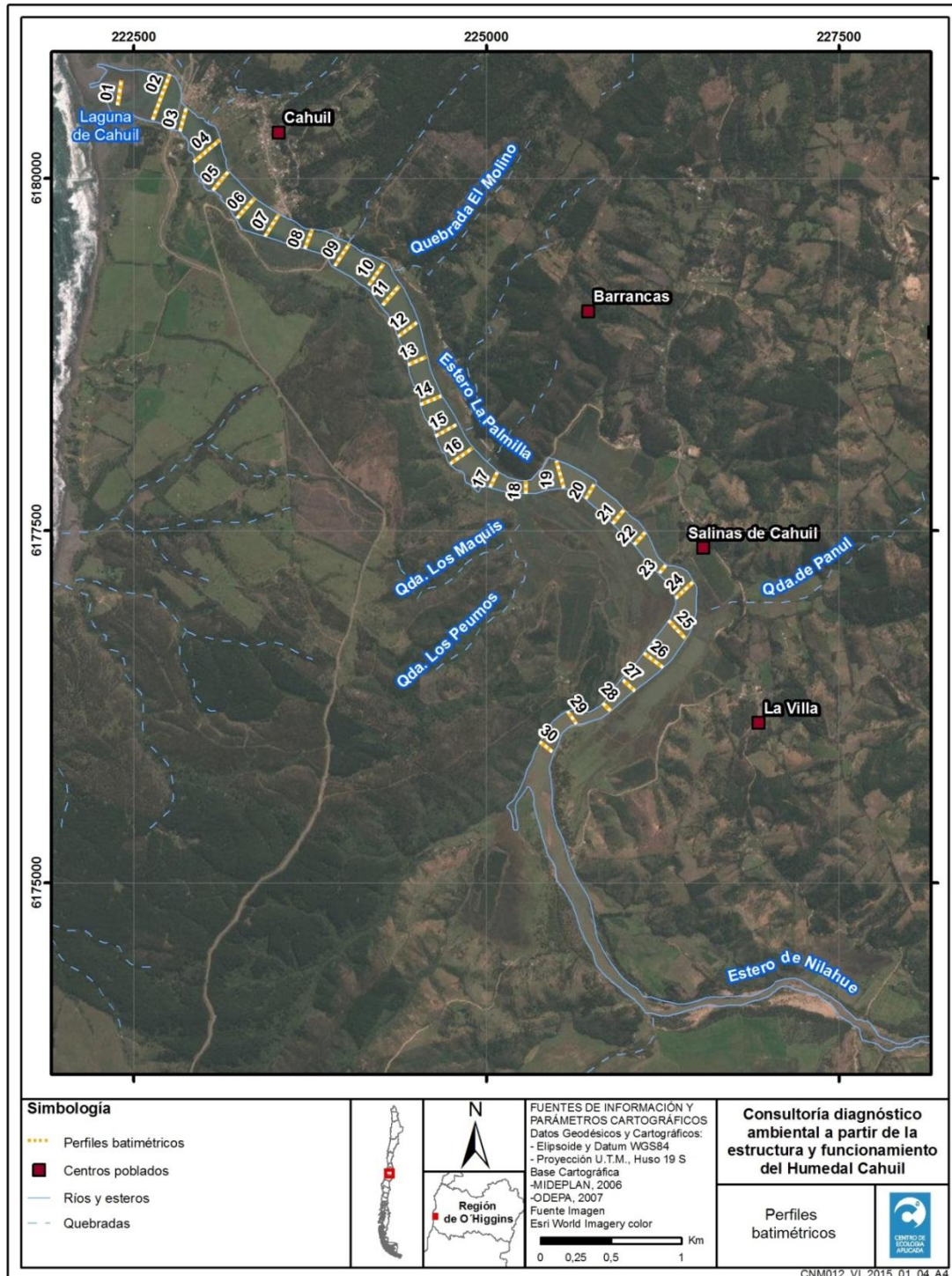


Figura 6. Ubicación de perfiles batimétricos.



Figura 7. Monitor del ecosonda GPSMap 420s marca Garmin.

Evaluación Cuña Salina

Para los estuarios con cuña salina, la extensión de ésta se puede estimar por medio de la ecuación 5.1, que corresponde a una solución dada originalmente por Schijf y Schonfeld en 1953 (Niño y Tamburrino, 2004; **Figura 8**):

$$\frac{L}{H_0} = \frac{1}{4c_{fi}} \frac{1}{5Frd_0^2} - 2 + 3Frd_0^2 - \frac{6}{5}Frd_0^4 \quad (5.1)$$

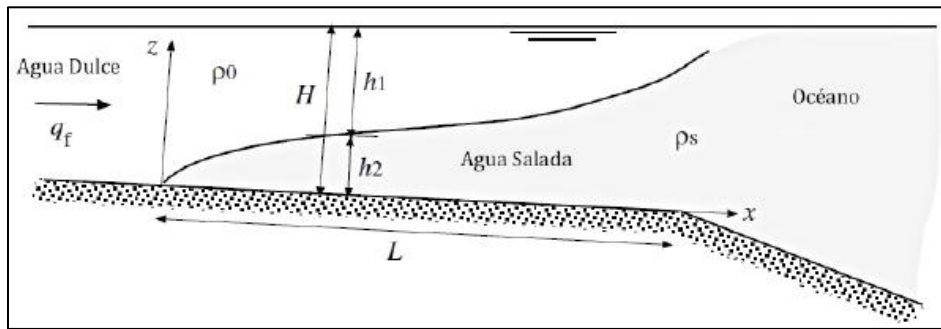


Figura 8. Esquema de cuña salina.

Donde L corresponde al alcance máximo de la cuña salina, H_0 a la altura media del estuario, C_f al coeficiente de fricción interfacial entre el río y la cuña ($C_f=0.01$, de acuerdo a Urmeneta, 2013) y Frd_0 al número de Froude densimétrico. Cabe señalar que esta relación estima pendiente nula, ancho medio y altura de escurrimiento constante y coeficiente de fricción interfacial constante.

Respecto al número de Froude, este se define en la ecuación (5.2)

$$Frd_0^2 = \frac{qf^2}{g\varphi H_0^3} \quad (5.2)$$

Donde g corresponde a la aceleración de gravedad, qf al caudal de agua dulce que ingresa al estuario, por unidad de ancho y φ a la diferencia relativa de densidad entre la capa superior e inferior, y se puede estimar por (5.3)

$$\varphi = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} \quad (5.3)$$

donde ρ_s representa la densidad de la cuña salina y ρ_0 a la densidad del agua dulce.

Para evaluar el grado de estratificación de un estuario, se propone el uso del indicador Número de Richardson de Estuarios (N_R) el cual relaciona la energía potencial aportada por el río y la cinética aportada por el mar.

$$N_R = g \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot \frac{Q}{W} \cdot \frac{1}{u_t^3}$$

Donde, Q = caudal del río; W = ancho medio del estuario, g =aceleración de gravedad, u_t = velocidad cuadrática media de la marea en la boca.

Para valores de $N_R < 0,08$ se considera un estuario bien mezclado, para $N_R \sim 0.4$ se considera un estuario parcialmente mezclado, y para $N_R > 0.8$ se considera un estuario altamente estratificado, con posibilidad de formación de cuña salina.

6.2.3 Medición o estimación del nivel de ingreso de la marea, considerando la variación estacional y horaria

Para la evaluación del efecto de las mareas sobre este sistema lacustre/estuarino, durante el primer terreno, se instalaron sensores de temperatura, presión y conductividad que permitirán medir niveles y salinidad, para evidenciar fluctuaciones por marea debidas a la intrusión salina.

Los sensores utilizados fueron Levellogger Junior Edge y LTC Levellogger Junior de marca Solinst (**Figura 9**), y fueron programados para medir con una frecuencia de 30 minutos. La **Tabla 2** muestra la ubicación y tipo de sensores.

Para esta actividad, se hizo partícipe a la comunidad de Cáhuil encomendando el cuidado de los sensores a algunos de sus habitantes. La **Figura 10** muestra la ubicación de los sensores de presión en la Laguna Cáhuil y río Nilahue.



Figura 9. Sensores de presión.

Tabla 2 Ubicación de los sensores de temperatura, presión y conductividad.

Sensor	Modelo	Coordenada UTM		Huso	Sector	Profundidad (m)	Fecha	Hora	Observaciones
		N	E						
1 y 2	Levelogger LTC M10/C50 marca Solinst (presión, temperatura y conductividad)	6180286	773974	18H	Desembocadura Laguna Cáhuil (Don José Gonzalez)	6	10-10-2014	9,45	Sensores puestos entre agua, con boya sumergida. Sensor 1 a un metro de la superficie y el 2 a un metro desde el fondo (en una misma línea). Localizado aguas arriba del puente y más cerca de ribera sur.
3	Levelogger LTC M30/C50 marca Solinst (presión, temperatura y conductividad)	6177893	225702	19H	Sector medio laguna. Frente Pasarela Salinas Sra Nemezia	1,8	10-10-2014	12,40	Sensor puesto entre aguas, con boya sumergida y con cadena sumergida aferrada a orilla. Sensor a 1 m de superficie.
4	Dataloggers Solinst Levelogger M5 (temperatura y presión)	6175405	225503	19H	Sector el Rancho.	1	09-10-2014	18,35	Sensor puesto a fondo, encadenado a arbusto en orilla (cadena sumergida)
5	Dataloggers Solinst Levelogger M5 (temperatura y presión)	6173931	227845	19H	Sector rio Nilahue	0,8	09-10-2014	19,05	Sensor puesto a fondo, encadenado a árbol, con cadena sumergida.
6	Dataloggers Solinst Levelogger M5 (temperatura y presión)	6179815	774594	18H	Sector Laguna Cáhuil (Casa Sra. Carmen Restorant Las Salinas)	-	09-10-2014	22,00	Sensor encargado a Sra. Carmen Restorant Las Salinas

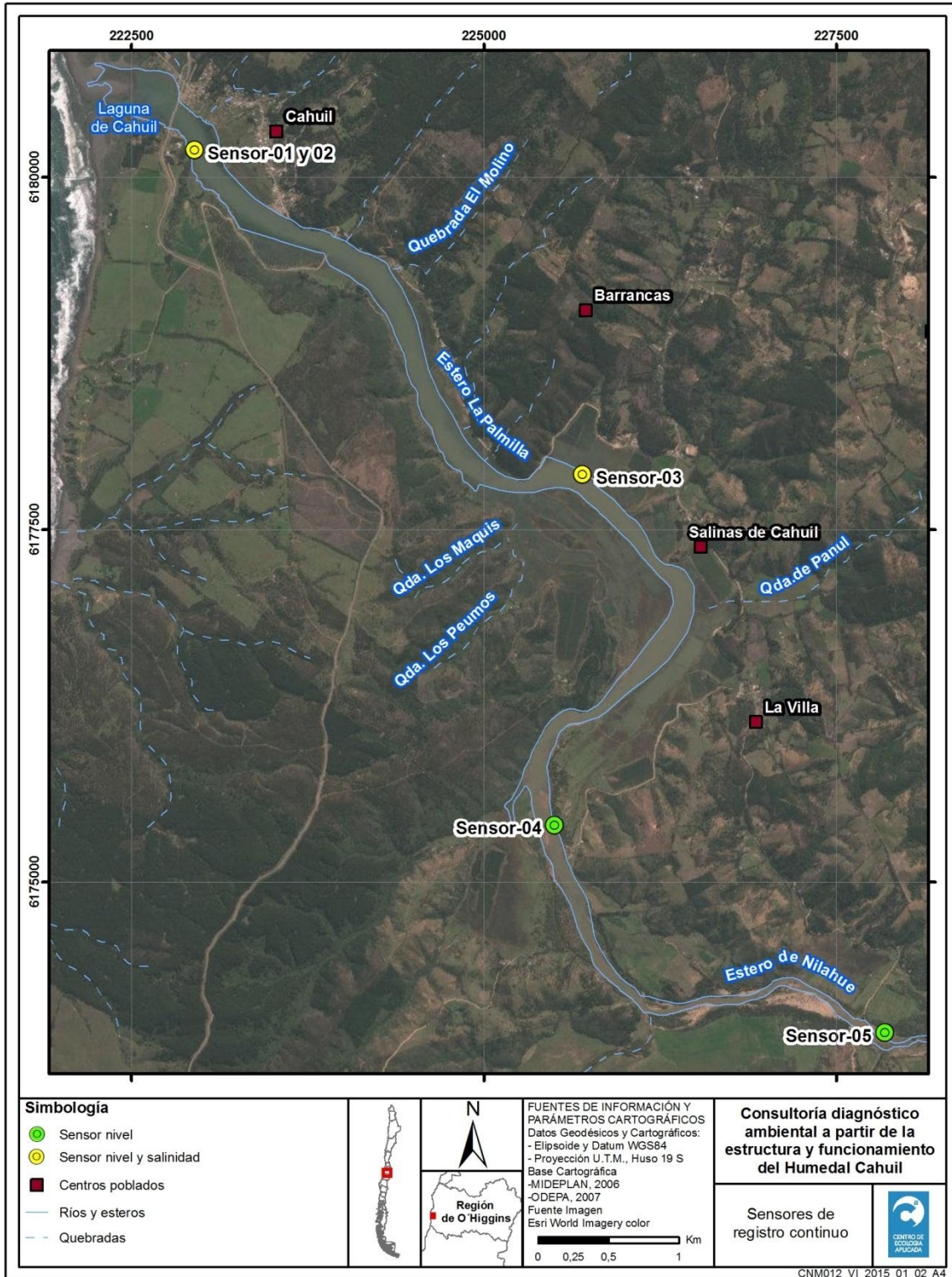


Figura 10. Mapa de la ubicación de los sensores de presión.

6.2.4 Medición del caudal de los principales afluentes de agua dulce del humedal, considerando la variación estacional.

Se utilizó la metodología de Hauer & Lamberti (2007) de mediciones de la “sección media” y que se esquematiza en la **Figura 11**.

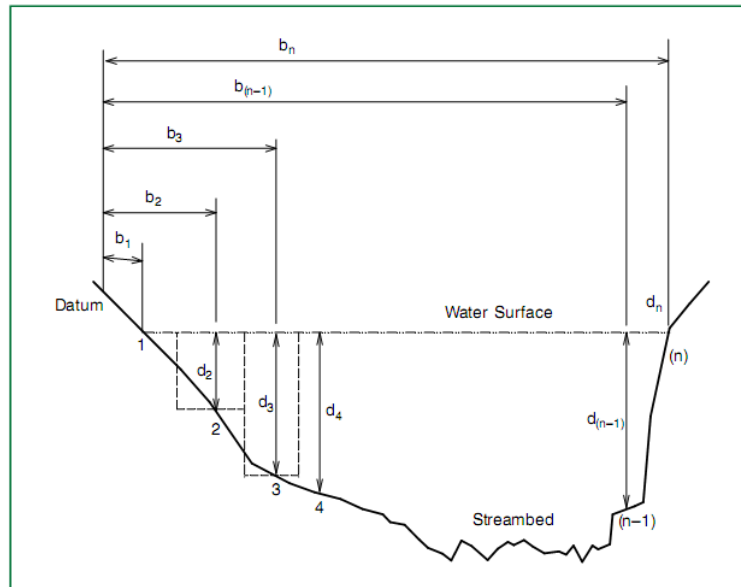


Figura 11. Método de la sección media para la estimación de caudales (Hauer & Lamberti, 2007).

Esta consiste en medir las velocidades que presenta el escurrimiento en un perfil transversal, a lo ancho del perfil (o abscisa) y a distintas profundidades a lo largo de un transecto, de manera de caracterizar la sección completa del cauce respecto a las velocidades del escurrimiento. A través de este método se obtienen caudales parciales para las distintas secciones del transecto. La estimación del cálculo del caudal para cada sección del transecto definido se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$q_x = v_x \frac{b_{x+1} - b_{x-1}}{2} dx$$

Donde:

q_x = descarga a través de la sección parcial x

v_x = velocidad media en el punto de observación x

$b_{(x+1)}$ = distancia desde el datum al punto de observación siguiente ($x+1$)

$b_{(x-1)}$ = distancia desde el datum al punto de observación precedente ($x-1$)

dx = profundidad del agua en el punto de observación x

Finalmente, el caudal total en la sección del río corresponderá a la suma de los caudales parciales de cada sección del transecto evaluado.

Para la medición de la velocidad del escurrimiento se utilizó un velocímetro mecánico de rotor rápido marca General Oceanics.

Para la medición de la velocidad del escurrimiento se utilizó un instrumento de medición del tipo correntómetro modelo General Oceanics 2030R (**Figura 12**). Éste permite realizar mediciones para un rango de velocidades entre 0,1 y 7,9 m/s, lo cual es un amplio espectro que permite utilizar este dispositivo en diferentes secciones de ríos (pequeñas y grandes magnitudes de velocidad).



Figura 12. Correntómetro General Oceanics 2030R

Se realizó una inspección de los tributarios del estero Nilahue, los cuales se encontraron con caudales muy bajos o secos como para realizar la medición de los caudales, por lo que solamente se realizaron mediciones de caudales en la sección donde el estero Nilahue confluye en la laguna Cáhuil (**Figura 13** y **Figura 14**, **ANEXO Digital 02**).



Figura 13. Secciones de aforo en estero Nilahue. Izquierda: octubre 2014, y derecha: diciembre 2014.

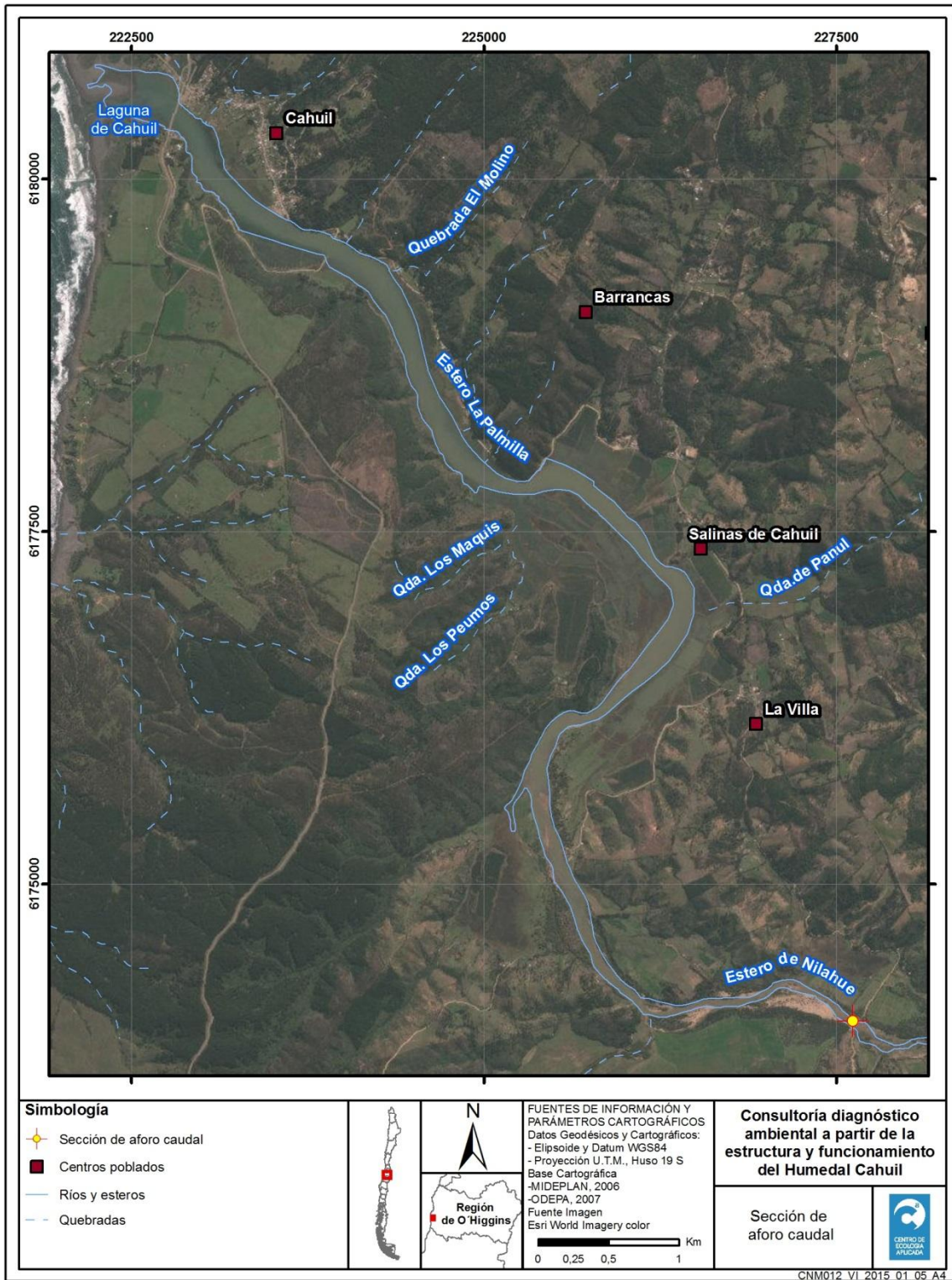


Figura 14. Ubicación del punto de aforo de caudal.

6.3 Determinación del estado trófico de Cáhuil

Para conocer el nivel de trofia del humedal Cáhuil, se tomaron muestras de agua para medir nutrientes y clorofila *a* en las campañas de octubre y diciembre de 2014. Además se registró la profundidad de visibilidad del disco Secchi. El diseño de muestreo espacial contempló tres puntos localizados estratégicamente; sector cercano a la desembocadura, laguna de Cáhuil y el Estero Nilahue, aguas arriba de la laguna (condición fluvial) (**Figura 15** y **Figura 16**). Para determinar la ubicación de estos puntos, previamente se analizaron los perfiles de salinidad obtenidos con el CTD a lo largo de la laguna Cáhuil y entrada del Estero Nilahue. En cada sector se evaluaron dos puntos de muestreo representativos del área en diferentes profundidades, lo cual estuvo en relación con la profundidad máxima del sector (**Tabla 4** y **Tabla 5**).

La profundidad de visibilidad del disco Secchi entrega una medida de la transparencia del agua, la cual se relaciona con el estado trófico del sistema. Para establecer una relación entre la profundidad de visibilidad del disco Secchi y el nivel de trofia se utilizó el índice de trofia (TSI) propuesto por Carlson (1977):

$$TSI = 10 (6 - \log_2 SD)$$

Donde SD es la transparencia del agua (m).

De acuerdo a este índice, el estado trófico se determina de acuerdo a la valoración entregada en la **Tabla 3**.

Tabla 3 Estado trófico del sistema de acuerdo al valor de TSI.

TSI	Características
< 30	Oligotrófico: Agua clara, con contenido de oxígeno en el hipolimnion durante todo el año.
30 - 50	Mesotrófico: Agua moderadamente clara; Aumenta la probabilidad de tener un hipolimnion anóxico durante el verano
50 - 70	Eutrófico: Hipolimnion anóxico; Posibles problemas con macrófitas; Dominio de algas-azules (cianofíceas).
> 70	Hipereutrófico: Productividad limitada por luz; alta densidad de algas y macrófitas; se genera espuma superficial

Adicionalmente se compararon los datos con los rangos establecidos por Organización de la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982).

Tabla 4 Ubicación de las estaciones de monitoreo del nivel de trofía del humedal en la campaña de octubre 2014.

Ubicación	Puntos de muestreo	Profundidad (m)	Ancho del río (m)	Descripción	Huso	Norte	Este
Desembocadura Laguna Cáhuil	DC-1 (Superficie-Medio-Fondo)	5,5	>200	Desembocadura cerca de la barrera	18	6180619	773790
	DC-2 (Superficie-Medio-Fondo)	6,0	>200	Desembocadura cerca de la barrera	18	6180286	773974
Laguna Cáhuil	LC-1 (Superficie-Fondo)	4,5	200	Centro de la laguna antes del final de la zona de mezcla	18	6179579	774919
	LC-2 (Superficie-Fondo)	4,3	100	Centro de la laguna después del final de la zona de mezcla	18	6177887	225397
Estero Nilahue	EN-1 (Superficie)	0,5	102	Desagüe del Estero Nilahue	19	6173965	227682
	EN-2 (Superficie)	1,0	9	Desagüe del Estero Nilahue	19	6175255	225536

Tabla 5 Ubicación de las estaciones de monitoreo del nivel de trofía del humedal en la campaña de diciembre 2014.

Ubicación	Puntos de muestreo	Profundidad (m)	Ancho del río (m)	Descripción	Huso	Norte	Este
Desembocadura Laguna Cáhuil	DC-1 (Superficie-Fondo)	3	120	Desembocadura cerca de la barrera	18	6180619	773790
	DC-2 (Superficie-Medio-Fondo)	5	80	Desembocadura cerca de la barrera	18	6180286	773974
Laguna Cáhuil	LC-1 (Superficie-Fondo)	3	60	Centro de la laguna antes del final de la zona de mezcla	18	6179579	774919
	LC-2 (Superficie-Fondo)	3	80	Centro de la laguna después del final de la zona de mezcla	18	6177887	225397
Estero Nilahue	EN-1 (Superficie)	0,8	40	Desagüe del Estero Nilahue	19	6173965	227682
	EN-2 (Superficie)	0,2	4	Desagüe del Estero Nilahue	19	6175255	225536

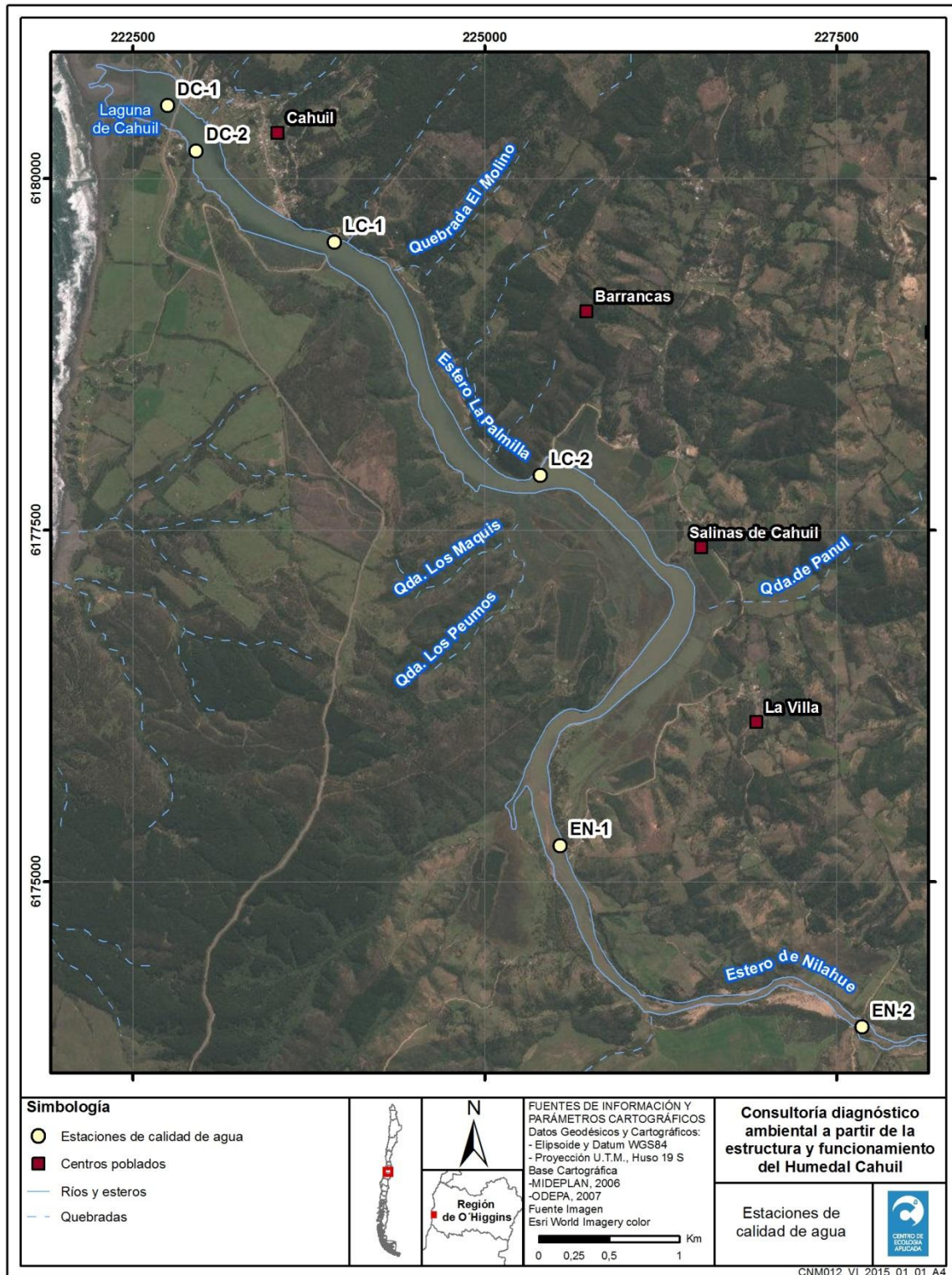


Figura 15. Estaciones de monitoreo de concentración de nutrientes y clorofila.



Figura 16. Lugares de estaciones representativas de toma de muestras de nutrientes, clorofila a y profundidad del Disco Secchi.

Los nutrientes y clorofila a fueron evaluados considerando las siguientes metodologías:

- Fósforo Total: Se utilizaron los procedimientos analíticos según Standard Methods for the Water of Wastewater, 21st Edition, 2005. Método 4500-P B y E.
- Nitrógeno Total: test de N-NH₄, Spectroquant. Nova 60, Merk, previa Digestión.

- Clorofila *a*: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005. Método 10200 H.

Preparación de muestras de agua

Para cada punto se utilizó un set de muestreo compuesto por botellas plásticas y de vidrio, las cuales contenían los preservantes HCl, H₂SO₄, HNO₃ ó NaOH dependiendo del elemento químico a analizar en el Laboratorio de Calidad de Aguas. Según lo establecido en la Norma NCH 411/10-2005, Anexo A y CH411/3.

Obtención de muestras

Para la toma de muestra, se aplicaron las técnicas de muestreo necesarias para realizar los análisis de control de calidad, preservación y manejo de las muestras de acuerdo a lo establecido en las normas:

- NCh 411/2.Of96 sobre Calidad del agua – Muestreo – Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo.
- NCh 411/3.Of96 sobre Calidad del agua – Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
- NCh 411/10-2005 sobre Calidad del agua – Muestreo – Parte 10: Muestreo de aguas residuales – Recolección y manejo de las muestras.

Para la conservación y transporte de las muestras se utilizaron cajas de enfriamiento u cooler. Éstas fueron ocupadas hasta la mitad de su volumen por los envases de muestras, y con Gel-pack o cubos de hielo suficiente para ocupar todo el espacio restante.

Se ingresaron las muestras al laboratorio en el tiempo sugerido por la norma NCH 411/3, con el fin de evitar que las muestras experimenten cambios debido a las reacciones físicas, químicas y/o biológicas que pueden ocurrir entre el momento del muestreo y el análisis.

El estado trófico de sistema fueron establecidos a partir de los rangos definidos para sistemas lacustres (Nürnberg, 1996), marinos (Hakanson, 1994) y para ríos, presentados por Smith et al. (1999). Estos se muestran en la (**Tabla 6**).

Tabla 6 Rangos y valores establecidos en Smith et al. (1999) para determinación del estado trófico de tres tipos de sistemas acuáticos.

Sistema	Estado trófico	Nitrógeno total ($\mu\text{g/L}$)	Fósforo total ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad del disco Secchi (m)
Lagos	Oligotrófico	< 350	< 10	< 3,5	> 4
	Mesotrófico	350 - 650	10- 30	3,5 -9	2 - 4
	Eutrófico	650 - 1200	30 - 100	9 - 25	1 - 2
	Hipereutrófico	> 1200	> 100	> 25	<1
				Clorofila a suspendida ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila a bentónica ($\mu\text{g/L}$)
Ríos	Oligotrófico	< 700	< 25	<1	> 20
	Mesotrófico	700 - 1500	25 - 75	10 - 30	20 - 70
	Eutrófico	> 1500	> 75	> 30	> 70
				Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	Disco Secchi (m)
Marinos	Oligotrófico	< 260	< 10	< 1	> 6
	Mesotrófico	260 - 350	10 - 30	1 - 3	3 - 6
	Eutrófico	350 - 400	30 - 40	3 - 5	1,5 - 3
	Hipereutrófico	> 400	> 40	> 5	< 1,5

6.4 Determinación e identificación del ecotipo, uso de suelo, funciones y servicios ambientales de Cáhuil

La determinación del ecotipo predominante se realizó de acuerdo a la metodología de Clasificación de Ecotipos detallada en el documento Protección y Manejo Sustentable de Humedales Integrados a la Cuenca Hidrográfica (CONAMA 2006). De acuerdo a dicho documento, la definición de los ecotipos se realiza en base a los procesos que determinan el balance hídrico de un área (evaporación, infiltración, escorrentía, intrusión salina y afloramientos subterráneos), incorporando adicionalmente criterios asociados a balance térmico (isoterma 0°C) y químico (aporte ácidos orgánicos). Es importante señalar que esta metodología fue desarrollada por el Centro de Ecología Aplicada.

La definición de los atributos funcionales por ecotipo, se realizó en base a la guía elaborada por el SAG durante el año 2006: "Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales" y el estudio de CONAMA 2006, mencionado anteriormente. En

dicho documento se describen los procesos ecosistémicos dominantes en cada tipo de humedal.

Para identificar los servicios ecosistémicos primero se revisó la literatura técnica y científica relacionada con las condiciones climáticas, hidrológicas, uso de suelo, amenazas, funciones y servicios ecosistémicos del humedal de Cáhuil y de la cuenca del estero Nilahue.

La búsqueda y recopilación de la información bibliográfica se realizó a través de las siguientes fuentes de información:

- Sistema de Información Científica, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN).
- Instituciones Públicas; Municipalidad y Vialidad de Pichilemu, Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura, Dirección General de Aguas (DGA), Corporación Nacional Forestal (CONAF), entre otros.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Biblioteca Virtual de las Universidades de la Región Metropolitana, ya sean, publicaciones científicas, tesis, etc.

Posteriormente, durante el terreno realizado entre el 8 y 11 de octubre del 2014, en la zona de estudio se levantó información sobre la situación actual de los servicios ecosistémicos, el uso de suelo y las amenazas sobre el recurso hídrico que afectan tanto la cuenca hidrográfica del estero Nilahue como el humedal de Cáhuil.

La metodología propuesta para estudiar los servicios ecosistémicos del humedal de Cáhuil y el uso del suelo de la cuenca del estero Nilahue partieron con una caracterización en ambas zonas y un diagnóstico socio-ambiental, el cual sirvió de base para la identificación de los servicios ecosistémicos y el uso actual del suelo.

La metodología utilizada para esta aproximación consistió en 3 fases (**Figura 17**):

1. Diagnóstico socio ambiental. Recopilación y posterior análisis de información física, biológica y social de la zona de estudio.
2. Se realizaron entrevistas a los habitantes de Cáhuil como también a los habitantes de la cuenca del estero Nilahue para identificar e incorporar su percepción sobre los servicios ecosistémicos actuales, el uso del suelo y la condición histórica del recurso hídrico.
3. Se realizó un recorrido por la cuenca del estero Nilahue con el fin de observar y recopilar información sobre el uso del suelo actual y las amenazas que afectan el recurso hídrico de la cuenca.

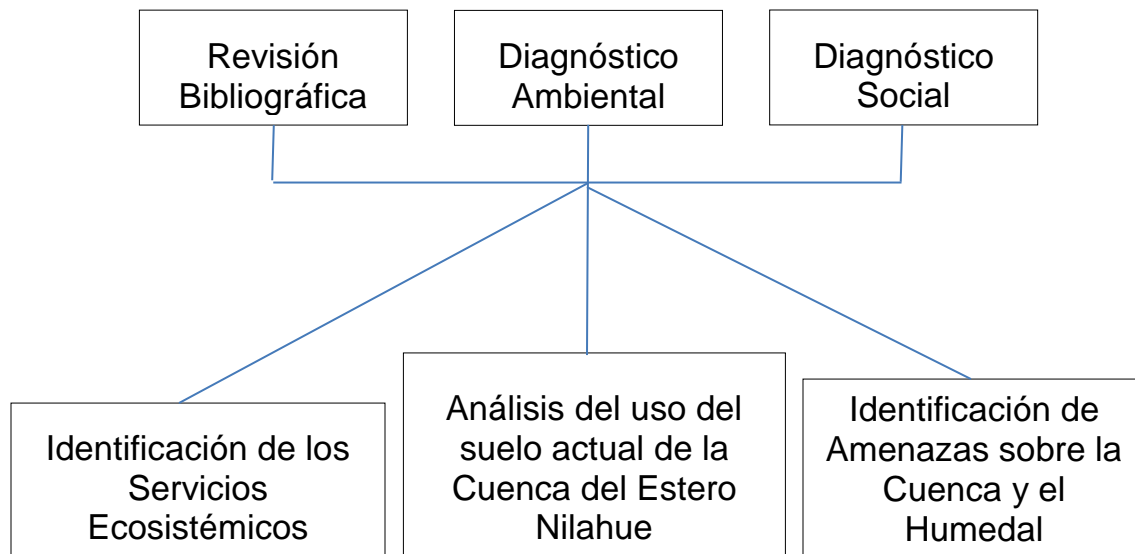


Figura 17 Esquema Metodológico para la evaluación social - ambiental – ecológica del humedal Cáhuil.

6.5 Determinación e identificación de las amenazas y grados de vulnerabilidad de Cáhuil

Para la determinación e identificación de las amenazas y grados de vulnerabilidad se generaron mapas temáticos del humedal Cáhuil con la siguiente información:

- Estructura física del humedal.
- Áreas de Importancia Ambiental (AIA, definidas por la presencia de componentes ecológicos y/o usos antrópicos.
- Servicios ecosistémicos del humedal.
- Amenazas
- Vulnerabilidad

La definición de las amenazas por ecotipo, se realizó en base a los estudios realizados por la Corporación Ambientes Acuáticos de Chile (2005); CONAMA (2006) y Tabilo-Valdivieso (2004).

El cruce de esta información base se utilizó en el siguiente proceso de análisis:

1. Identificar Áreas de Importancia Ambiental (AIA),
2. Identificar AIA que requieren medidas de prevención para mantener sus propiedades estructurales y funcionales, así como sus servicios ecosistémicos.

3. Identificar AIA que requiera medidas de restauración para recuperar las sus propiedades estructurales y funcionales, así como sus servicios ecosistémicos.
4. Jerarquizar las AIA en términos de aquellas que requieren medidas de prevención o restauración de manera prioritaria.
5. Elaborar un portafolio de actividades para implementar las medidas de prevención y restauración.

De acuerdo a la perspectiva socio ambiental de este estudio, la identificación de las Áreas de Importancia Ambiental (AIA) de la laguna Cáhuil fueron homologadas a los servicios ecosistémicos del área (CEA, 2008).

Los resultados obtenidos son propuestos en este documento, para establecer un trabajo multisectorial en gestión ambiental del área, con un enfoque comunitario participativo.

6.6 Estandarización del seguimiento ambiental de Cáhuil.

Para desarrollar este objetivo se propone una metodología de monitoreo integrada de la medición de los parámetros establecidos en la Estrategia Nacional de Humedales, que incluye un monitoreo participativo, donde la comunidad de Cáhuil se hace cargo del seguimiento de algunos parámetros. Además se entregará la lista de parámetros que Estrategia Nacional de Humedales plantea como Programa de Seguimiento Ambiental Mínimo para ser evaluados.

7 RESULTADOS

7.1 Caracterización de las condiciones hidrológicas de Cáhuil

Durante las dos campañas de monitoreo realizadas en el humedal Cáhuil, octubre y diciembre del 2014, la desembocadura del estero Nilahue se encontraba conectada al mar (**Figura 18**). Esta fue abierta artificialmente por vialidad en el mes de junio del mismo año y se mantuvo en ese estado al menos hasta la última fecha monitoreada (*com pers.* Vialidad Pichilemu). Por lo tanto, solamente se evaluó la condición de barrera abierta, ya que no ocurrió el proceso natural de cierre de la barrera por efecto del oleaje y arrastre de sedimentos.



Figura 18 Desembocadura de la laguna Cáhuil con barrera abierta.

7.1.1 Perfiles verticales de conductividad eléctrica, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez y clorofila a, identificando la calidad de las aguas en condición de estuario y condiciones de laguna, considerando tres zonas de control; predominancia salina, mezcla y sin intrusión.

- Temperatura

El humedal de Cáhuil presentó una estructura térmica heterogénea, con un gradiente de temperatura que aumentó desde la boca del estuario en dirección hacia aguas arriba del humedal, mostrando el efecto del ingreso de agua de mar (**Figura 19**). El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

En la primera campaña de mediciones (octubre 2014) la temperatura mínima fue de 12°C en la boca y en las zonas profundas del estuario, hasta aproximadamente 2 km hacia aguas arriba. La temperatura varió gradualmente hasta un máximo de 17°C en la zona superficial de aguas arriba (entre los kilómetros 3 y 7).

En la segunda campaña de mediciones (diciembre 2014), la estructura térmica presentó una forma similar, pero con temperaturas que fueron desde 14°C en la boca del estuario hasta 29°C en la zona superficial de aguas arriba (kilómetros 6 y 7).

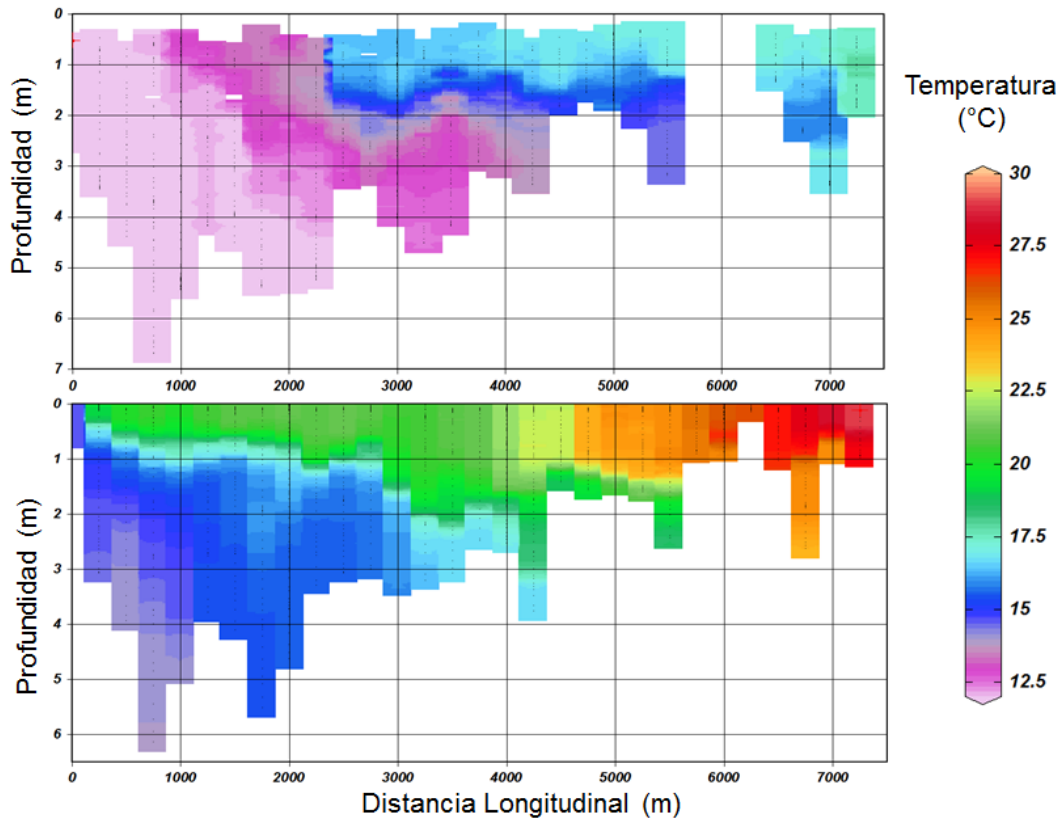


Figura 19 Perfiles de temperatura medidos con sonda multiparamétrica. *Arriba:* campaña octubre 2014. *Abajo:* campaña diciembre 2014.

- Salinidad (conductividad eléctrica)

En la primera campaña de mediciones (octubre 2014) la salinidad varió desde 34,5 PSU en la zona de desembocadura, hasta valores de 8 PSU en las zonas de aguas arriba del humedal (kilómetro 7,5). En la **Figura 20**, se observa además un gradiente vertical de salinidad que se extiende en casi todo el estuario (entre los kilómetros 1,5 hasta 7,5). El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

En la segunda campaña de mediciones (diciembre 2014), la salinidad aumentó en general su concentración, variando desde 34,5 PSU en la desembocadura hasta 20 PSU en la zona de aguas arriba. El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

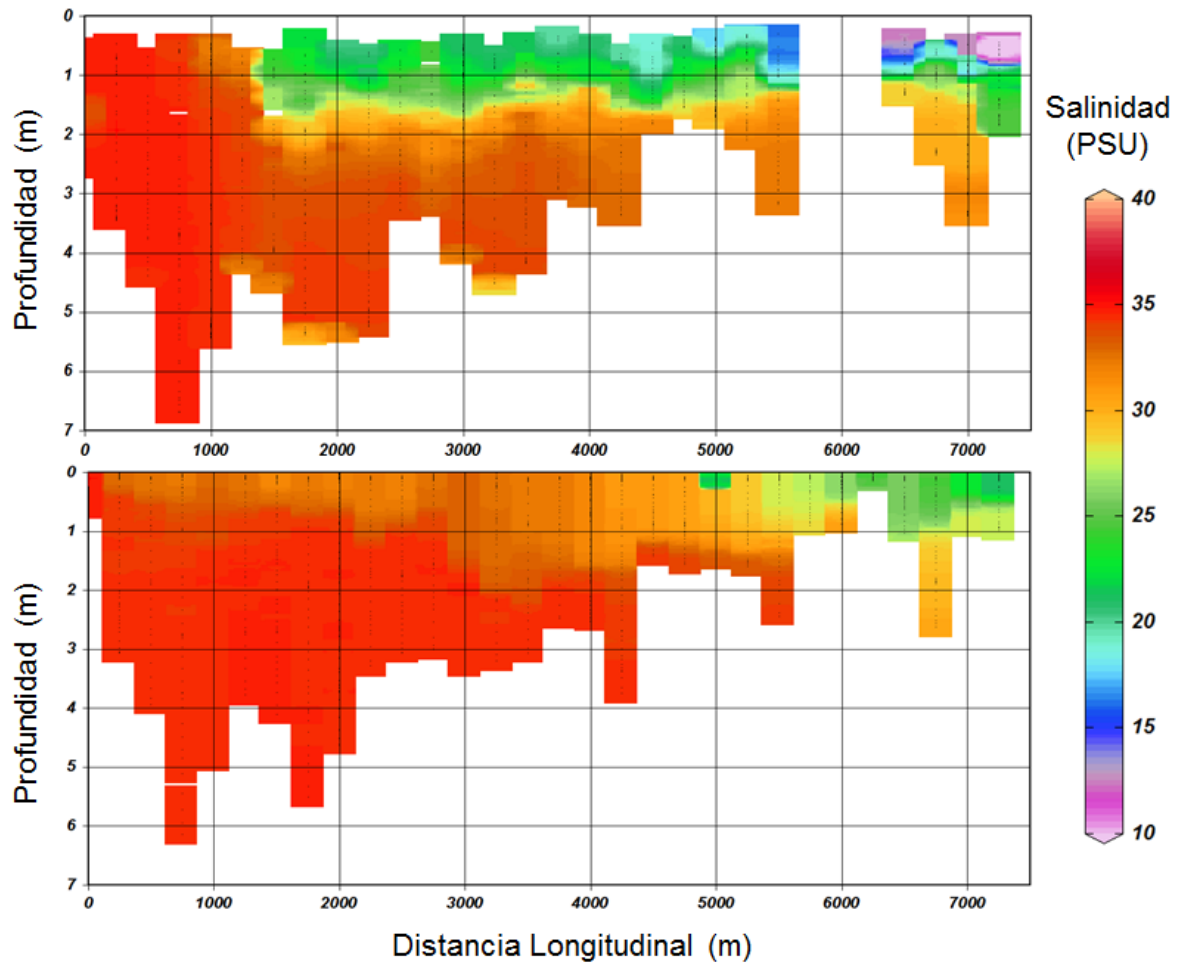


Figura 20 Perfiles de salinidad medidos con sonda multiparamétrica. *Arriba*: campaña octubre 2014. *Abajo*: campaña diciembre 2014.

- Oxígeno disuelto (concentración y porcentaje de saturación)

En la primera campaña de mediciones (octubre 2014) la concentración de oxígeno disuelto estuvo dentro del rango de 9 a 12 mg/l, que corresponde a un porcentaje de saturación de oxígeno de 105% a 160% (**Figura 21** y **Figura 22**). El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

En la segunda campaña de mediciones (diciembre 2014) la concentración de oxígeno disuelto varió de 8 a 15 mg/l, que corresponde a un porcentaje de saturación de oxígeno de 105% a 195%. En la segunda campaña se observa una alta concentración de oxígeno disuelto entre los kilómetros 2 y 4,5, principalmente a profundidades mayores a 1 m. El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

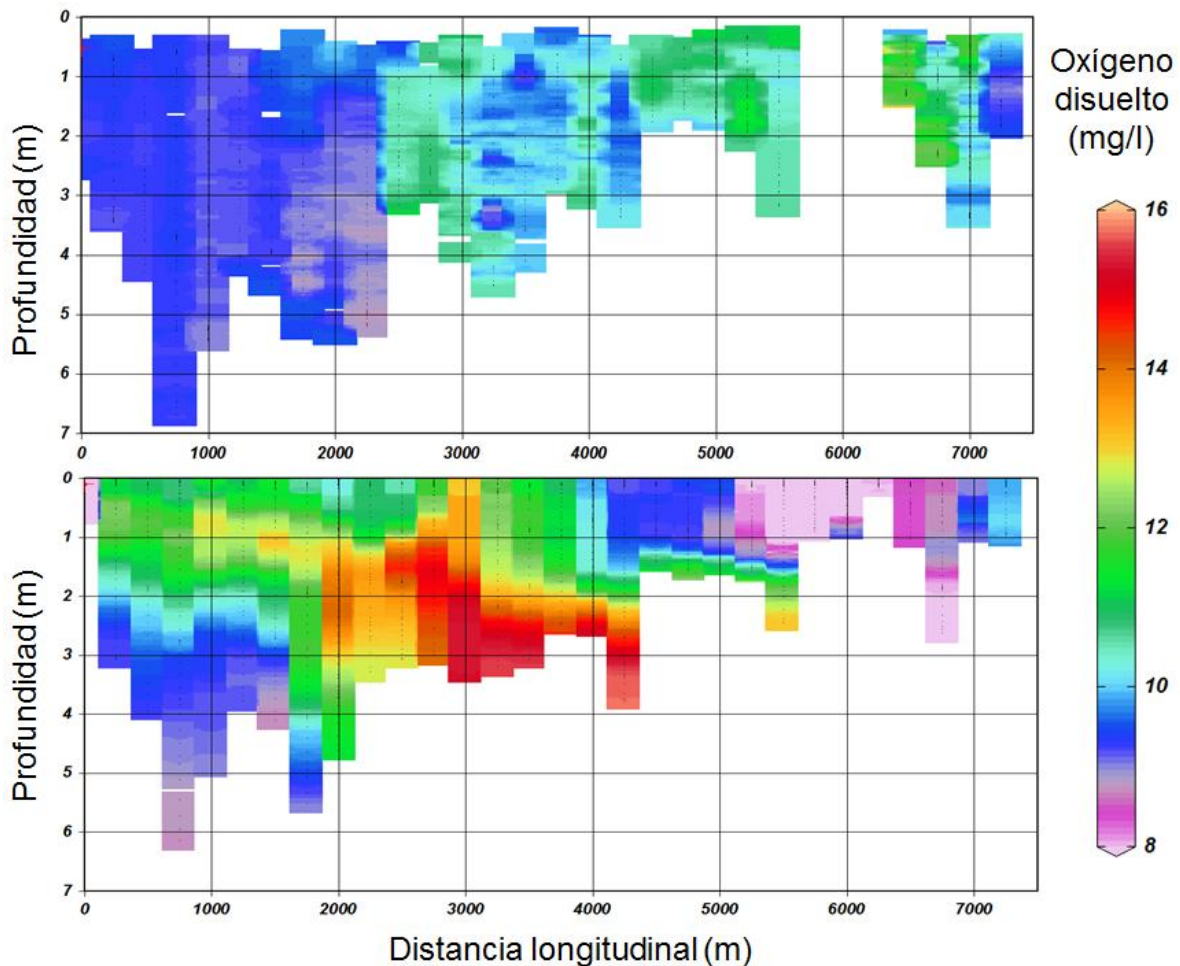


Figura 21 Perfiles de concentración de oxígeno disuelto medidos con sonda multiparamétrica. *Arriba:* campaña octubre 2014. *Abajo:* campaña diciembre 2014.

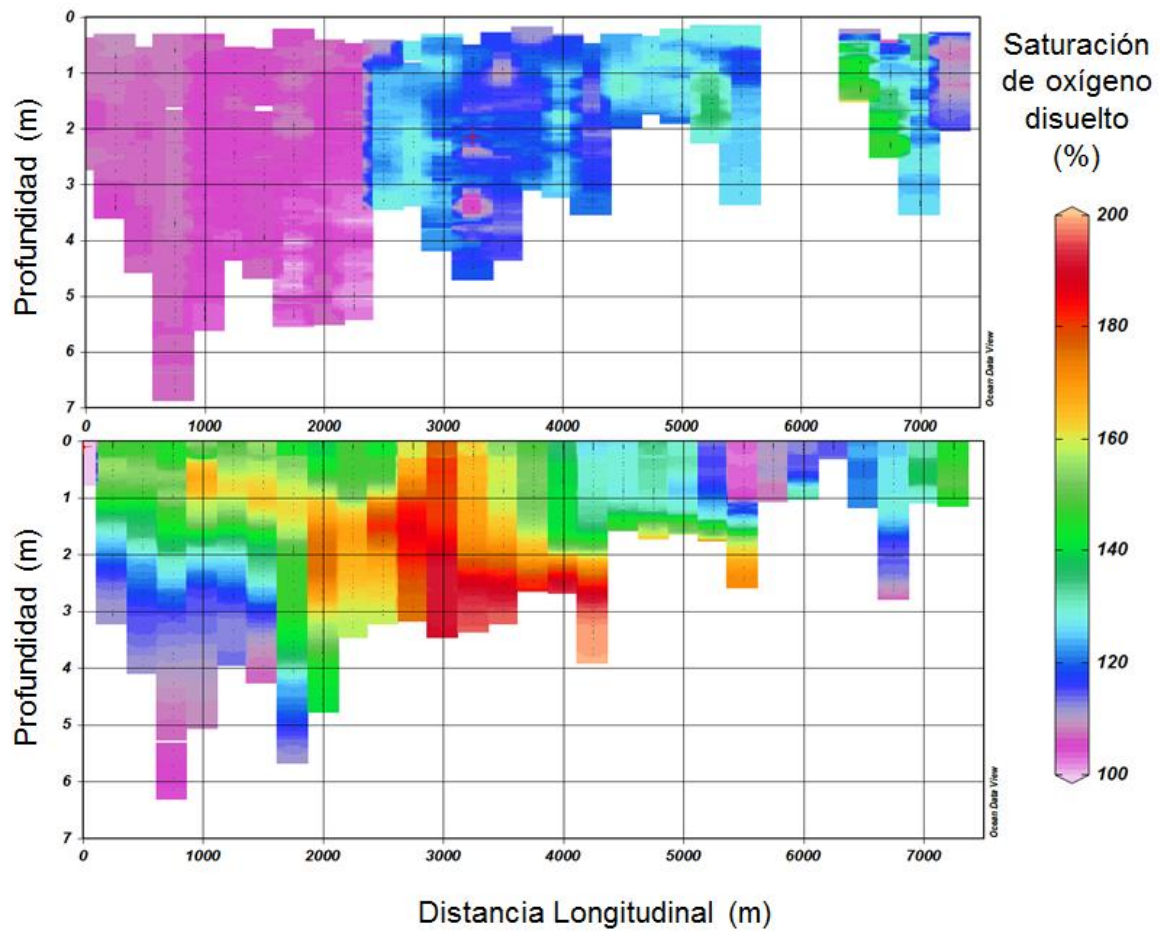


Figura 22 Perfiles de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto medidos con sonda multiparamétrica. *Arriba:* campaña octubre 2014. *Abajo:* campaña diciembre 2014.

- pH

En la primera campaña de mediciones (octubre 2014) el pH varió desde 7.9 a 8.5 (**Figura 23**). El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

En la segunda campaña de mediciones (diciembre 2014), se mantuvo en un rango similar, variando desde pH 7.9 a 8.6 (**Figura 23**). En esta campaña se observó un mayor dominio de aguas con pH en torno a 8,5 casi en todo el estuario, excepto en las zonas profundas cerca de la desembocadura entre los kilómetros 0 y 3. El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

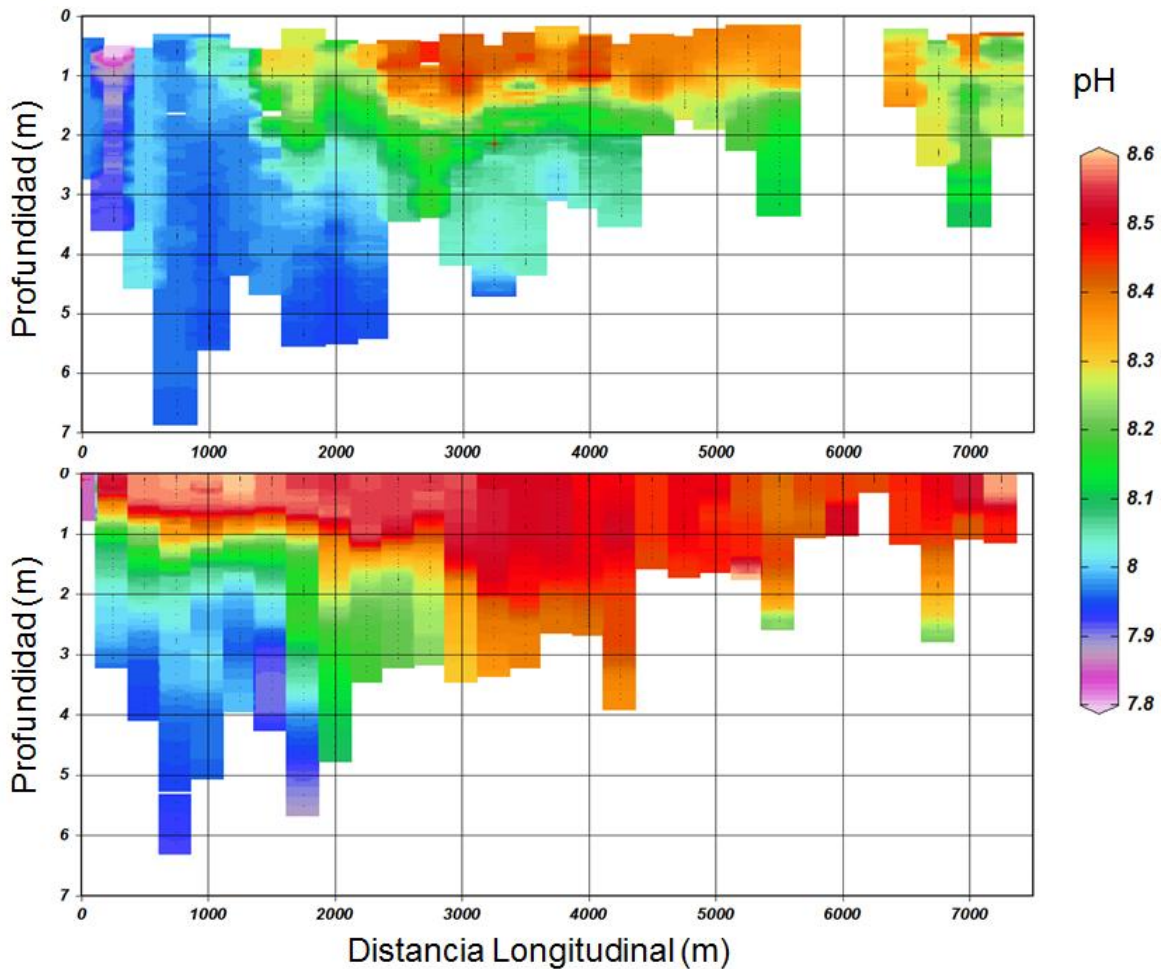


Figura 23 Perfiles de pH medidos con sonda multiparamétrica. *Arriba*: campaña octubre 2014. *Abajo*: campaña diciembre 2014.

- Turbidez

En la primera campaña de mediciones (octubre 2014) la turbidez varió en un rango de 3 a 7 FTU con valores puntuales mayores a 10 FTU (**Figura 24**). El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

En la segunda campaña de mediciones (diciembre 2014) la turbidez varió en un rango de 2 a 18 FTU. Se observó una zona de mayor turbidez en la zona profunda en torno al kilómetro 3. El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

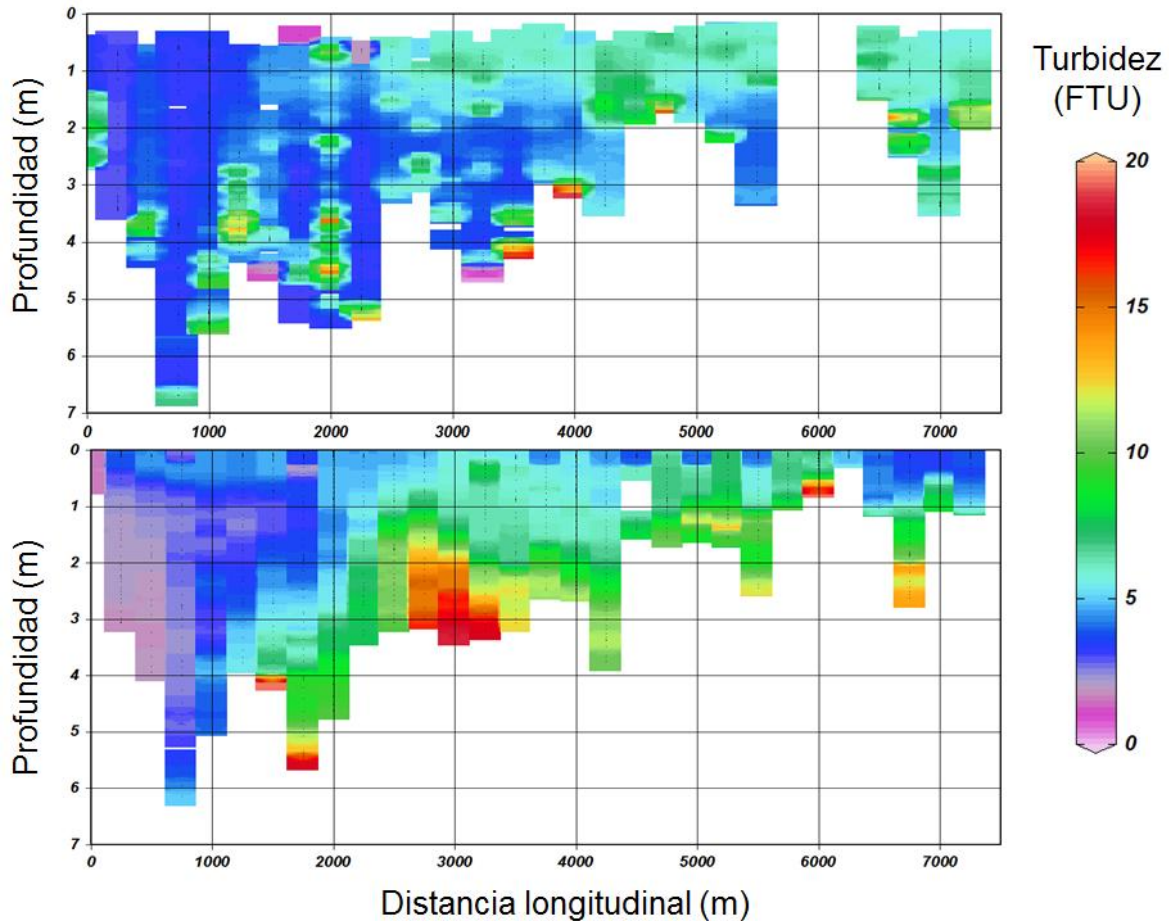


Figura 24 Perfiles de turbidez medidos con sonda multiparamétrica. *Arriba*: campaña octubre 2014. *Abajo*: campaña diciembre 2014.

- Clorofila *a*

En la primera campaña de mediciones (octubre 2014) la clorofila *a* varió entre valores menores a 0,5 $\mu\text{g/l}$ hasta valores de 4 $\mu\text{g/l}$ (**Figura 25**). El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

En la segunda campaña de mediciones (diciembre 2014), hubo mayores valores de clorofila *a* que presentaron concentraciones menores a 1 $\mu\text{g/l}$ hasta valores de 15 $\mu\text{g/l}$. La mayor concentración se observó entre los kilómetros 2 al 4,5. Si se considera a la clorofila *a* como un *proxy* de biomasa algal (Huot et al., 2007), se puede decir que durante la campaña de diciembre hubo mayor biomasa fitoplanctónica que en octubre. El **ANEXO Digital 03** muestra los datos obtenidos para generar los perfiles).

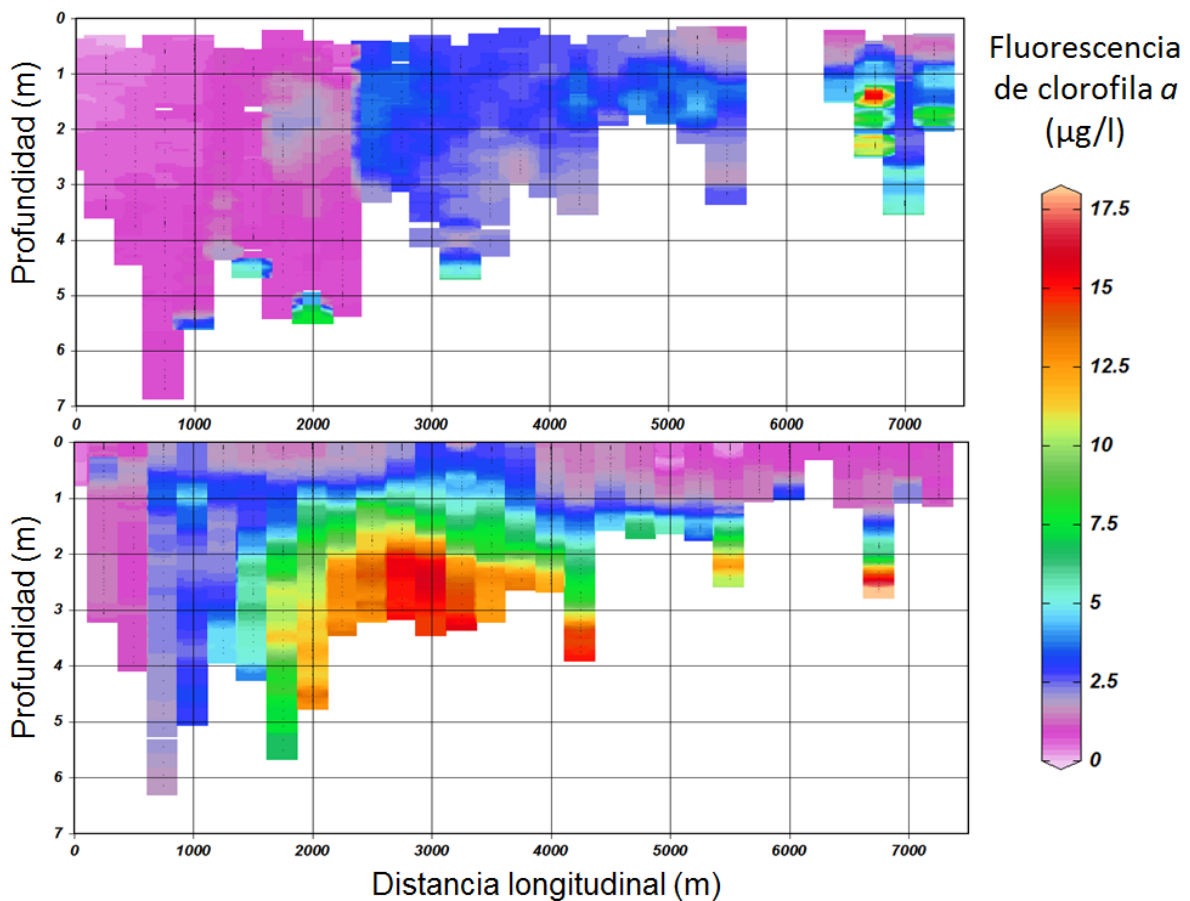


Figura 25 Perfiles de fluorescencia de clorofila *a* medidos con sonda multiparamétrica. *Arriba*: campaña octubre 2014. *Abajo*: campaña diciembre 2014.

Los resultados de las mediciones verticales de conductividad eléctrica, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez y clorofila *a* se muestran en el **ANEXO digital 02**.

7.1.2 Batimetría, Nivel de intrusión salina a lo largo del humedal en al menos dos momentos hidrológicos distintos, en condición de estuario.

En la **Figura 26**, se muestra un mapa interpolado de los 30 perfiles batimétricos distribuidos en 7,5 kilómetros del estuario y el **ANEXO Digital 04** muestra los perfiles de cada transecto. La batimetría realizada en el humedal Cáhuil mostró un rango de profundidad variable con un máximo de 6,3 m en la zona cercana a la desembocadura, hasta sectores someros de menos de 1 m de profundidad en la zona de aguas arriba. Se observa que el estuario tiene una batimetría irregular que presenta una serie de “pozones” que pueden aislar masas de agua en el fondo del cauce.

En base a los perfiles batimétricos se elaboró una curva hipsométrica de volumen v/s altura (**Figura 27**), que permitió cuantificar el volumen de agua contenido en el humedal de Cáhuil en 7,5 kilómetros desde la desembocadura. Al momento de la ejecución de la batimetría (fecha 17 diciembre 2014) el estuario tenía aproximadamente 2,15 millones de m³ (altura de referencia 1,0 m NRS), mientras que en condiciones promedio el estuario presentó aproximadamente 2,38 millones de m³ (altura de referencia 1,0 m NRS).

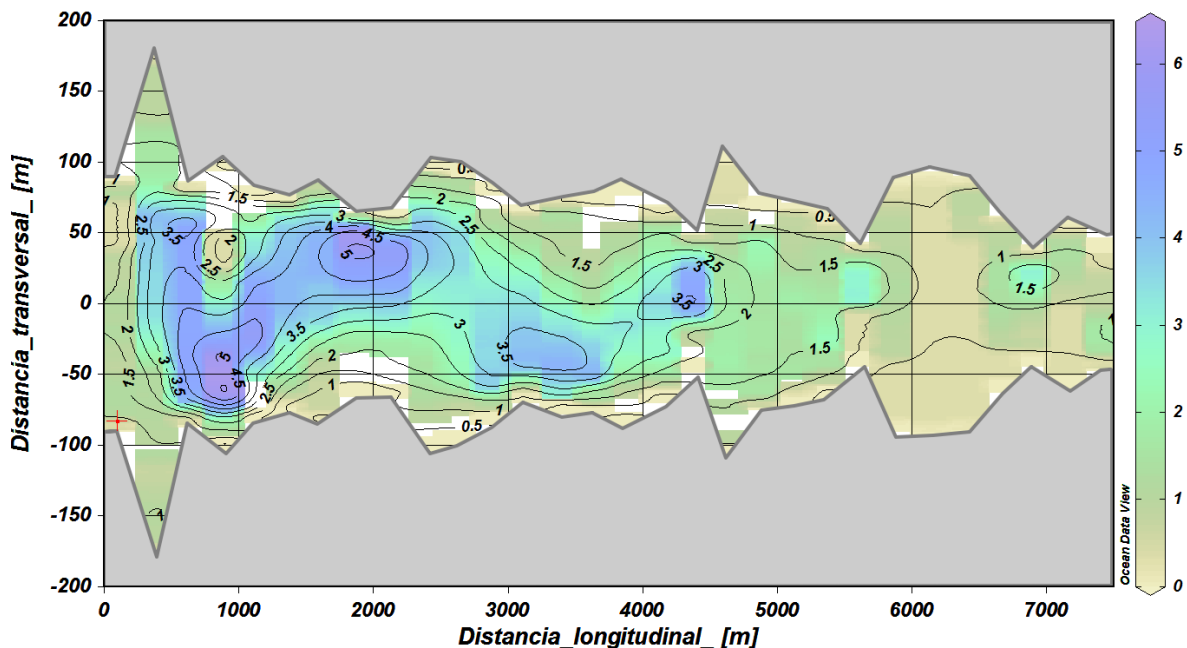


Figura 26 Mapa batimétrico de profundidades (m) del humedal Cáhuil. Distancia longitudinal (m) medida desde la desembocadura, y distancias transversales (m) consideradas desde centro del cauce (Valores positivos corresponden a ribera derecha, recorriendo el cauce en dirección hacia aguas abajo).

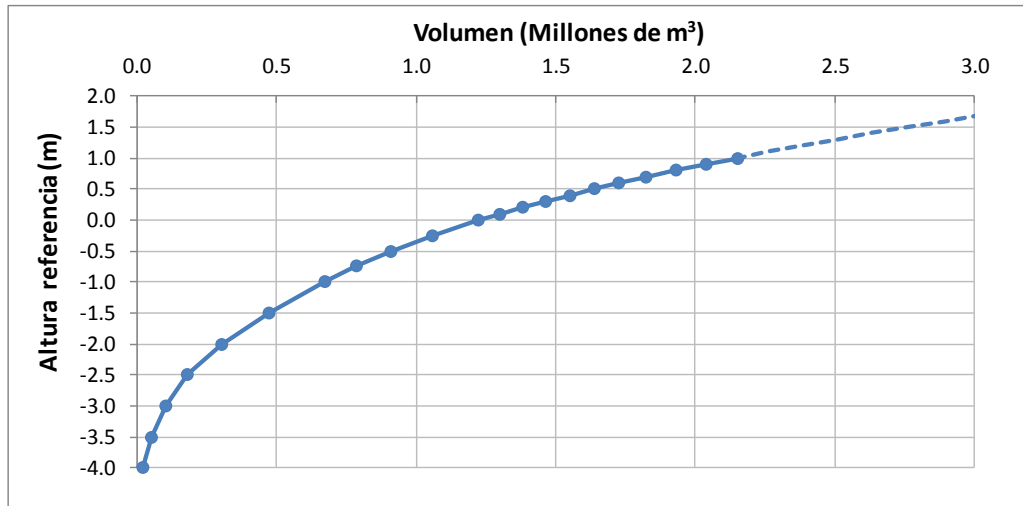


Figura 27 Curva hipsométrica de relación del volumen del estuario v/s la altura referencial (asociada al Nivel de Reducción de Sonda de la marea del puerto patrón de San Antonio). Se señala el nivel de agua promedio correspondiente al momento de la batimetría.

7.1.3 Nivel de ingreso de la marea, considerando la variación estacional y horaria.

Las mediciones de presión de la columna de agua de los sensores 01 y 02 (ubicados a 850 m desde la desembocadura), el sensor-03 (en kilómetro 4,8), sensor-04 (kilómetro 8) y sensor-05 (kilómetro 11,4) muestran que el efecto de la marea se puede observar marcadamente hasta el kilómetro 8. En el kilómetro 11,4 se aprecia sólo el efecto cuando hay pleamar. El **ANEXO Digital 05** muestra los datos obtenidos en cada uno de los sensores de nivel.

Se observa que al entrar la marea al estuario, el nivel de todos los sensores asciende en forma acoplada, mostrando que prácticamente no hay retardo en su ingreso (**Figura 28** y **Figura 29**). Al descender la marea, el sensor-05 se desconectaría hidráulicamente, dejando el nivel correspondiente al cauce del estero Nilahue. Esto se debe a que existiría una diferencia de cota o estrechamiento que restringe el viaje de la onda de marea hacia aguas arriba. Los sensores 01 al 04, se comportan en forma similar entre sí, lo que indica que al menos hasta el kilómetro 8 el humedal está conectado hidráulicamente sin obstrucciones.

La marea de referencia del puerto patrón (San Antonio) desciende por debajo de lo que desciende el nivel en el estuario, lo que se puede asociar a que el humedal Cáhuil tiene una barra de arena o una diferencia de cota que desconectaría hidráulicamente el estuario del océano en situaciones de bajamar.

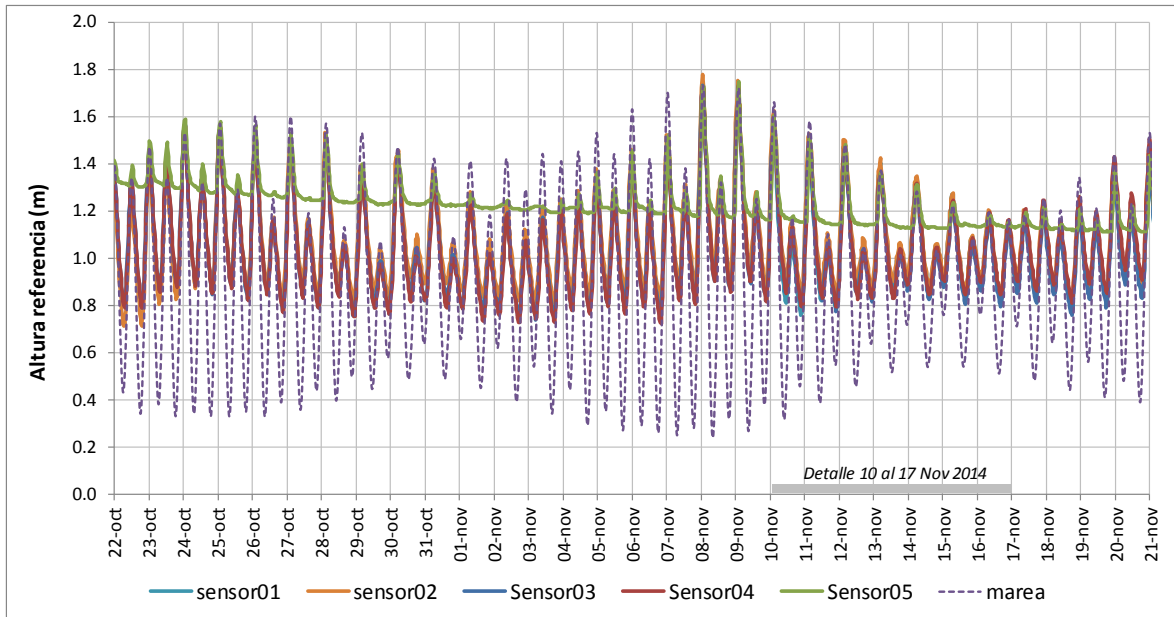


Figura 28 Nivel de agua medida con sensores en humedal Cáhuil entre 22 octubre 2014 y 21 noviembre 2014. Altura referencial asociada al Nivel de Reducción de Sonda de la marea del puerto patrón de San Antonio.

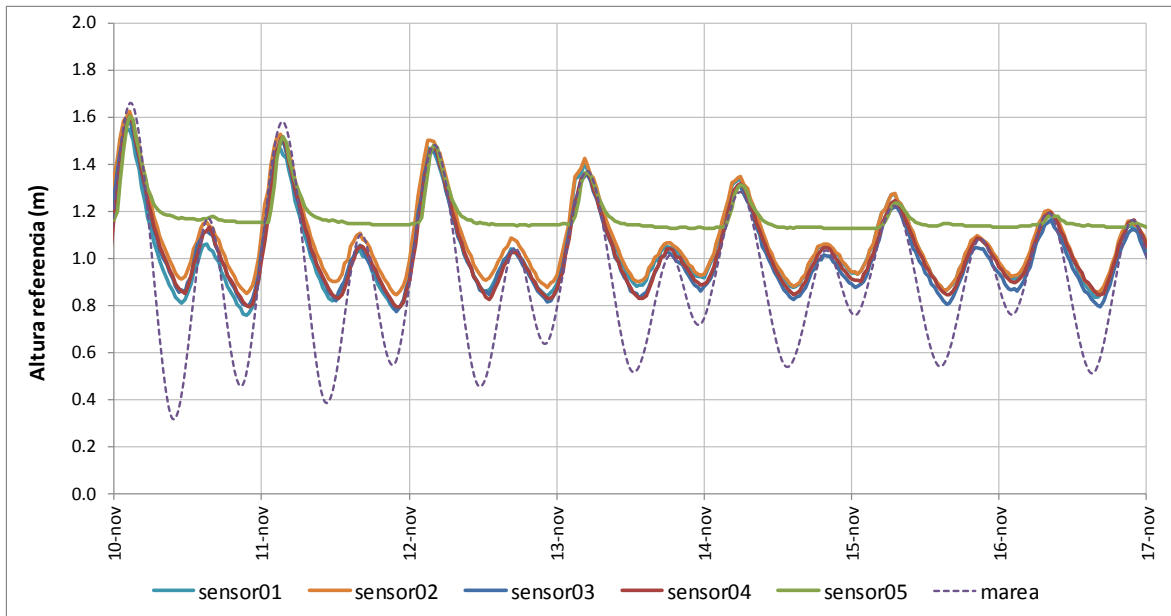


Figura 29 Nivel de agua medida con sensores en humedal Cáhuil. Detalle entre 10 noviembre 2014 y 17 noviembre 2014. Altura referencial asociada al Nivel de Reducción de Sonda de la marea del puerto patrón de San Antonio.

La marea llenante y vaciante del estuario Cáhuil, genera un flujo de agua que puede ser cuantificado mediante el uso de la curva hipsométrica. Se estimó el caudal equivalente que circularía por la desembocadura hacia y desde el humedal de acuerdo al patrón semidiurno de mareas (período promedio de 6:13 horas), y se observó que en medio ciclo

lunar (desde cuarto creciente a menguante), el caudal entrante alcanzó valores en torno a 80 m³/s, y el caudal vaciante en torno a 60 m³/s (**Figura 30**).

Al integrar el volumen total por cada evento de pleamar, se obtuvo el volumen del prisma de marea llenante que ingresa al estuario (**Figura 31**). El valor máximo estimado para un evento de pleamar fue de 1,1 millones de m³, que corresponde a un 47% del estuario. El potencial de renovación de agua total en un período de 14 días, se estima en 15,8 millones de m³ que equivale a 6,6 veces el volumen del estuario.

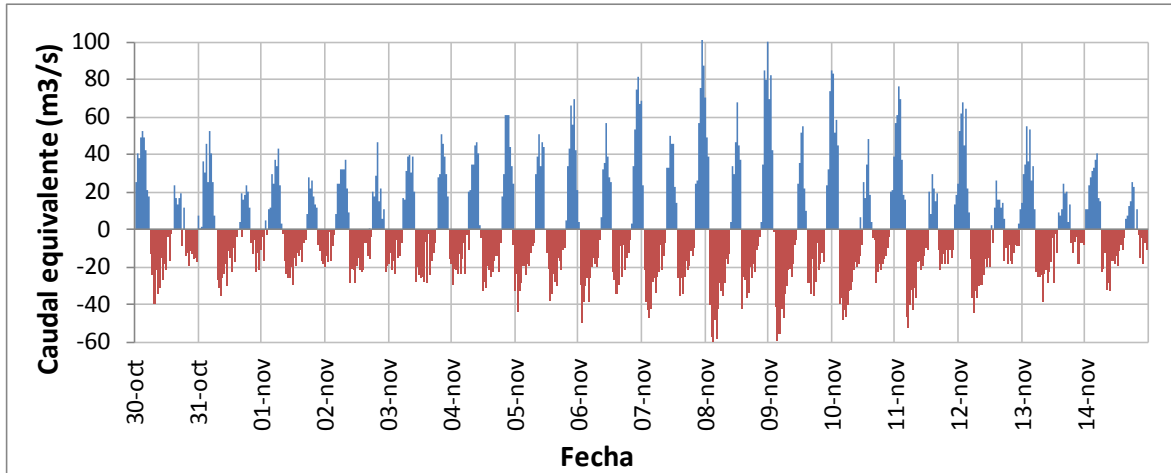


Figura 30 Caudales equivalentes de prisma de marea llenante (azul) y vaciante (rojo). Estimación en base a datos de Sensor-03 entre el 30 octubre 2014 (cuarto creciente) y el 14 noviembre 2014 (cuarto menguante), pasando por el 06 de noviembre (luna llena).

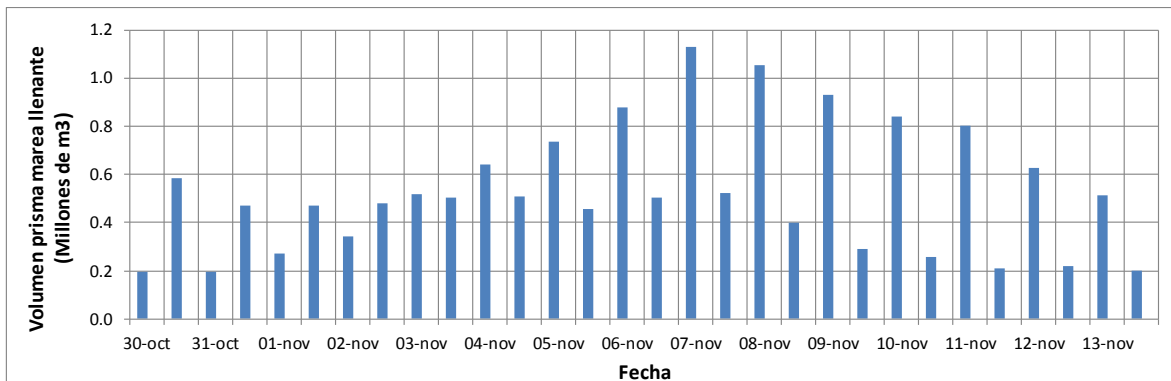


Figura 31 Volumen de prisma de marea llenante estimado entre el 30 octubre 2014 (cuarto creciente) y el 14 noviembre 2014 (cuarto menguante), pasando por el 06 de noviembre (luna llena).

El uso de sensores de salinidad (sensores 01, 02 y 03) permitió hacer un seguimiento temporal del ingreso de la marea, y estimar el tipo de flujo que se genera por la diferencia de densidad de las masas de agua del mar y del estuario. El **ANEXO Digital 06** muestra los datos obtenidos en cada uno de los sensores de salinidad.

El sensor-02 que se encuentra en la zona de desembocadura (a 850 m del mar) en una zona de profundidad de 6 m, registró un valor estable en torno a 35 PSU. El sensor-01 ubicado en el mismo sitio pero a una profundidad de 1,8 m, mostró que la salinidad en el período llenante corresponde a salinidad de agua de mar (35 PSU), pero en la marea vaciante correspondería a un agua diluida de menor salinidad (30 PSU), según se muestra en la **Figura 32** y **Figura 33**. Después del 17 de octubre los sensores de salinidad de la desembocadura (sensores 01 y 02) fueron desplazados (posiblemente arrastre de la corriente o adherencia de algas), por lo que sus datos a partir de ese momento no serían válidos.

El sensor-03 ubicado en el kilómetro 4,8, mostró una alta variabilidad de los valores de salinidad. En un primer período en octubre 2014 se caracterizó por una alta variabilidad entre 35 y 18 PSU por la influencia del ciclo de mareas. En noviembre 2014, el estuario comenzó a salinizarse alcanzando una concentración de sal similar a la del mar, hasta que en la última semana de noviembre se registra un descenso pronunciado hasta 22 PSU. Este último evento se asociaría a precipitaciones registradas en la región. De acuerdo a la estación meteorológica Curicó (estación DMC cod.340031 General Freire, Curicó Ad.) se registraron precipitaciones los días 28 y 29 de noviembre 2014 que aportaron aguas dulces a la cuenca del estero Nilahue.

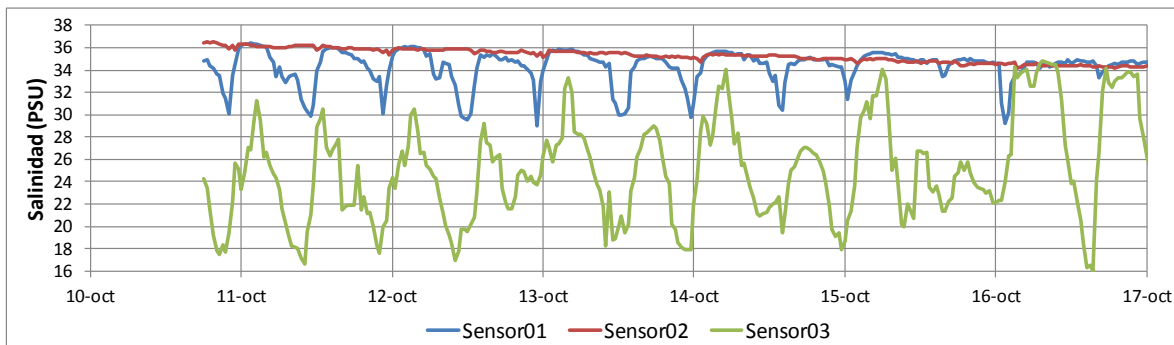


Figura 32 Salinidad de agua medida con sensores en humedal Cáhuil. Detalle entre 10 octubre 2014 y 17 octubre 2014.

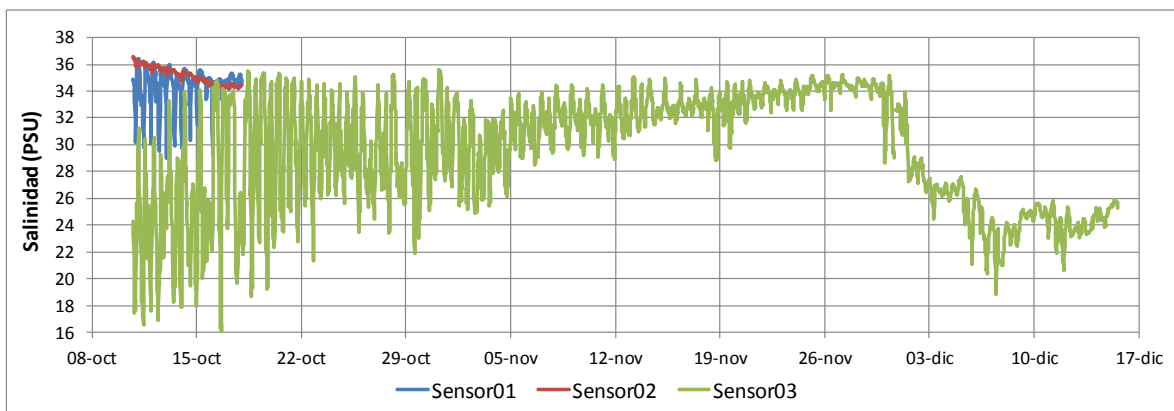


Figura 33 Salinidad de agua medida con sensores en humedal Cáhuil entre 08 octubre 2014 y 17 diciembre 2014.

7.1.4 Caudal de los principales afluentes de agua dulce del humedal.

En ambas campañas de medición se realizaron aforos para estimar el caudal en una sección del estero Nilahue. El **ANEXO Digital 07** muestra los datos de aforo. En la primera campaña (09 octubre 2014) se aforó un caudal de 9,0 l/s, y en la segunda campaña (17 diciembre 2014) se aforó un caudal de 0,5 l/s.

En el mismo sector donde se realizaron los aforos (ubicado en el kilómetro 11,4 desde desembocadura), se ubicó el sensor-05 que registró en forma continua el nivel de agua. Se observó que en condiciones de pleamar se percibe la señal de marea, en tanto que en bajamar se produce una desconexión hidráulica de las mareas y se registra el nivel asociado a la señal del estero Nilahue. Esta señal hidrológica mostró un descenso monótono en todo el período de estudio, excepto por el evento de lluvias registrado a fin de noviembre 2014 (**Figura 34**).

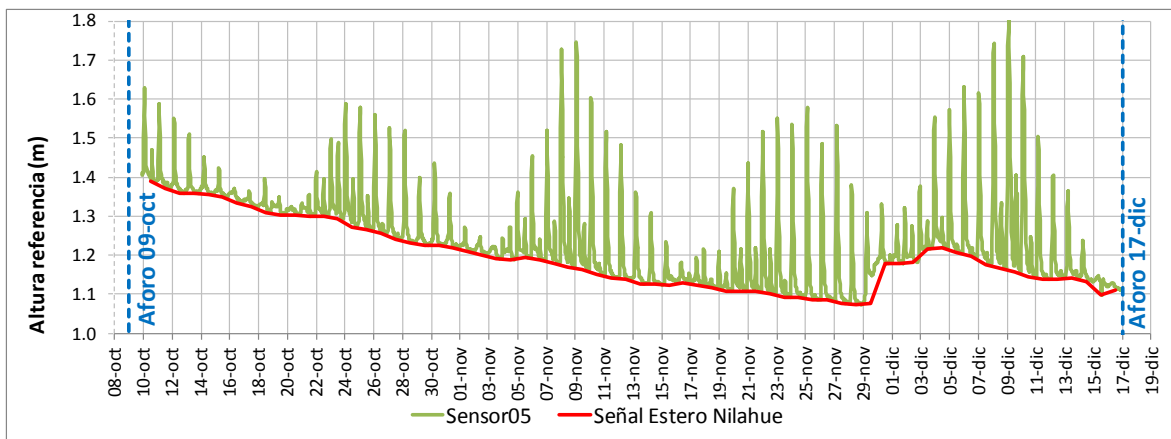


Figura 34 Sensor de presión (sensor-05) en estero Nilahue.

Los resultados de las mediciones del caudal del estero Nilahue se muestran en la ficha de aforo del **ANEXO digital 02**.

7.1.5 Caracterización funcionamiento del humedal Cáhuil

La extensión del estuario de acuerdo al criterio de efecto de marea, se puede estimar en al menos 11,4 kilómetros desde la desembocadura (**Figura 37**), basado en los registros obtenidos del sensor-05 que mostró que los niveles de agua se correlacionaron con el nivel de marea durante los ciclos de pleamar. Las salinidades medidas en las estaciones EN-1(S) y EN-2(S) fueron de 2,2 y 0 PSU, respectivamente. De acuerdo al criterio de salinidad, la extensión del estuario sería prácticamente coincidente con el criterio de efecto de marea.

La información recopilada en terreno mediante perfiles de la sonda multiparamétrica, en combinación con los sensores de registro temporal continuo, han permitido identificar que la marea y la batimetría del estuario cumplen un rol importante en el patrón de circulación y tiempos de residencia del agua en el sistema.

El agua que ingresa al estuario proveniente del mar, por su mayor salinidad y menor temperatura, tiene mayor densidad que el agua del estuario. Durante la marea llenante, el agua que ingresa al estuario va llenando de forma preferente los sectores más profundos, distribuyéndose de acuerdo a la batimetría (**Figura 35**).

Durante la marea vaciante, se observa que la barra del estuario restringe la salida del agua de mar previamente ingresada, y en consecuencia el flujo vaciante desde el estuario hacia el mar se compone de agua de menor densidad, la cual puede ser producto del agua de mar ingresada que se ha diluido con la mezcla con aguas dulces o salobres y/o como efecto de la disminución de densidad por el aumento de temperatura de los estratos más superficiales.

Durante el desarrollo del estudio (octubre a diciembre 2014), la barra permaneció abierta y se constató que los sucesivos flujos de marea llenante elevaron la salinidad del estuario hasta un nivel equivalente al agua de mar (35 PSU). En base a la cubicación del volumen del prisma de marea y la curva hipsométrica, se estimó el alcance longitudinal (distancia desde la desembocadura) que podría llegar a tener el flujo llenante en el estuario durante el ciclo de mareas (**Figura 36**). De acuerdo a esto, se identificaron tres zonas con diferentes tiempos de residencia del prisma de marea: Bajo (< 1 día), Medio (1 día a 4 días) y Alto (> 4 días) según se detalla en la **Tabla 7**.

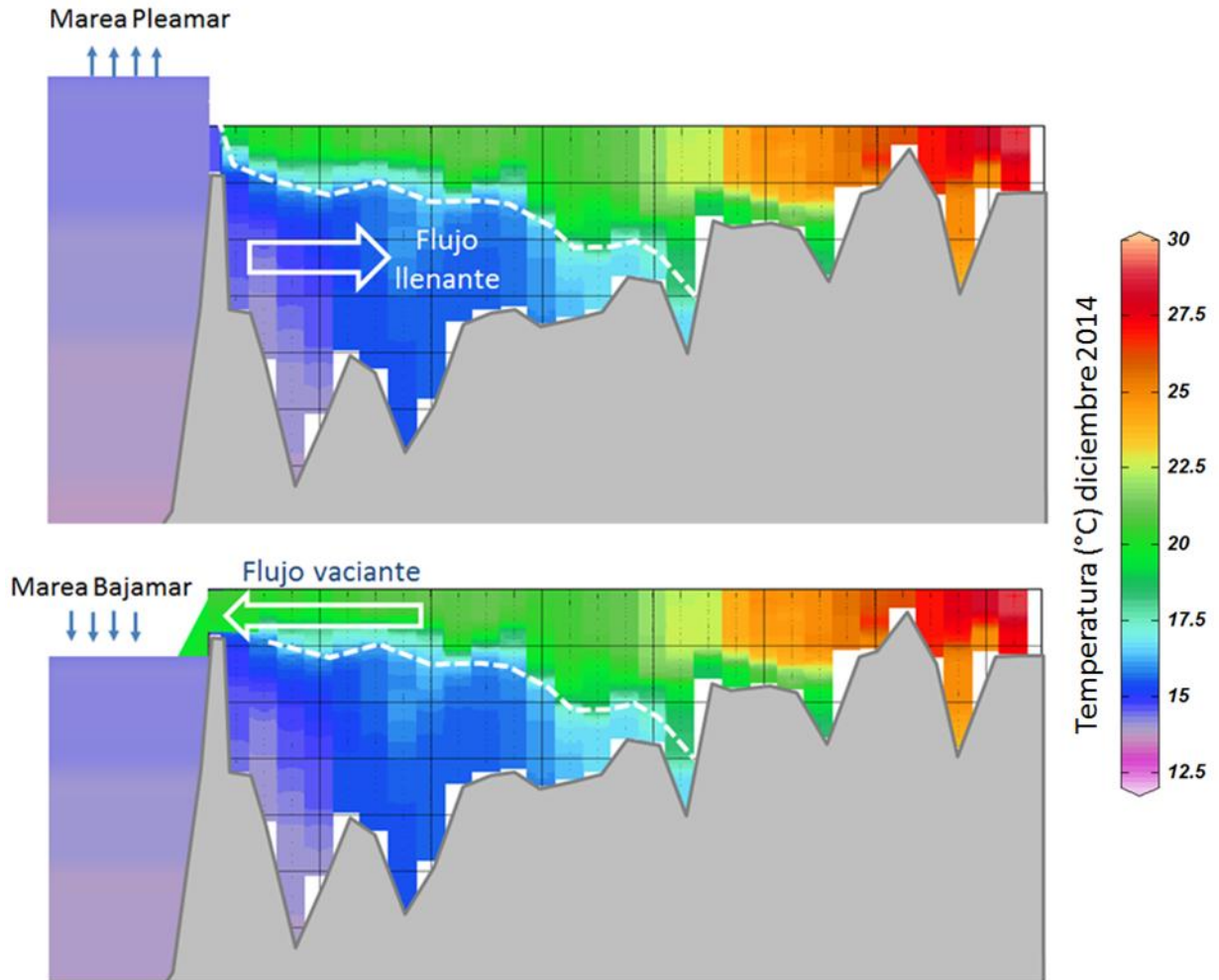


Figura 35 Esquema conceptual de flujo llenante y vaciante observados en el estuario Cáhuil.

Tabla 7 Estimación de los tiempos de residencia del prisma de mareas y sectores asociados.

Tiempo de residencia del prisma de marea	Perfiles CTD	Distancia desde desembocadura (km)
Bajo (< 1 día)	01 al 10	0,1 a 2,4
Medio (1 día a 4 días)	10 al 18	2,4 a 4,4
Alto (> 4 días)	18 al 30	4,4 a 7,4

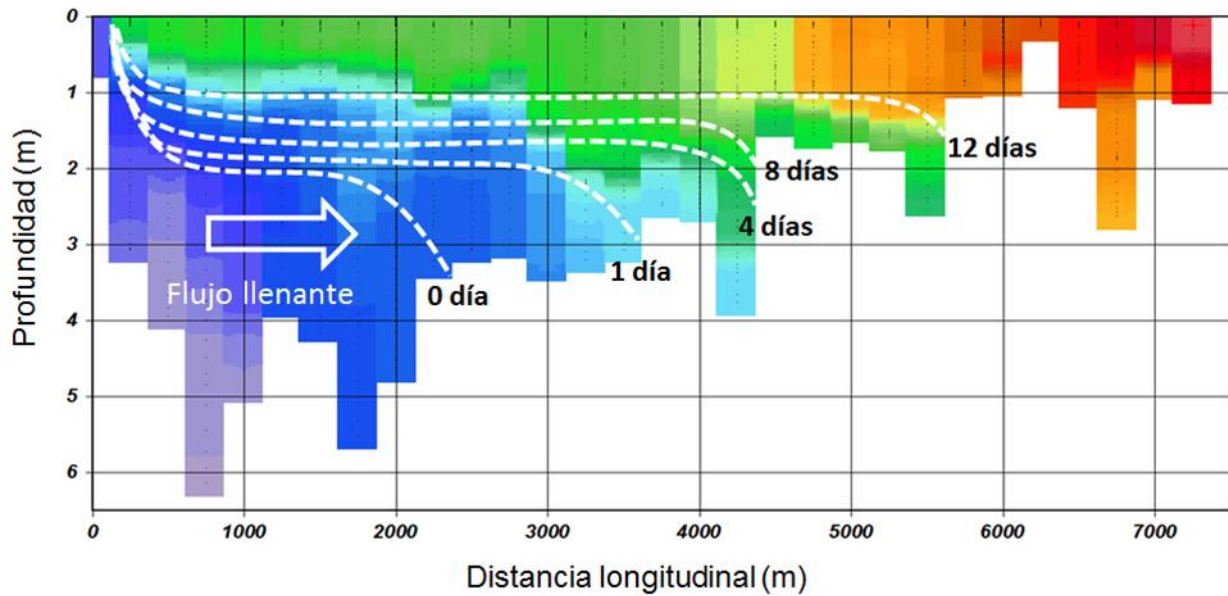


Figura 36 Curvas del alcance estimado del prisma de marea para el flujo llenante y tiempo de residencia (máximo) que puede tener el agua ingresada (en base a la relación del prisma de marea y la curva hipsométrica).

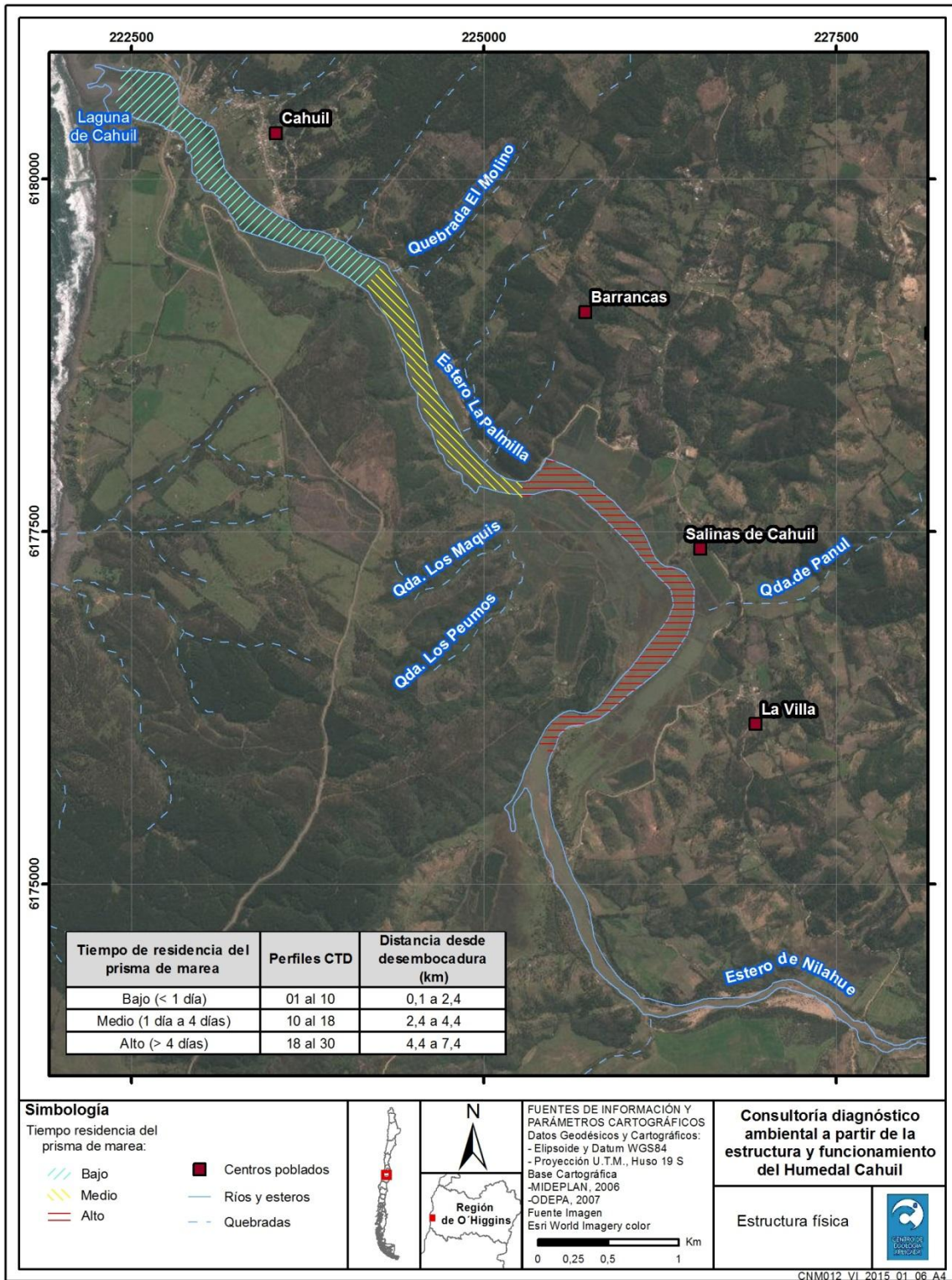


Figura 37 Estructura física del humedal Cáhuil.

Mediante el uso de una aproximación teórica, se obtuvo que para los caudales aforados en las campañas de medición (Q octubre = 9 l/s; Q diciembre = 0,5 l/s), los números de Richardson de estuario (NR) fueron $NR = 0,00131$ y $NR = 0,000073$, respectivamente. Estos valores son mucho menores al valor referencial $NR = 0,08$ (**Tabla 8**), lo que indicaría que durante el período de estudio el estuario tuvo una condición bien mezclada sin cuña salina.

Con un caudal límite de $Q = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$, habría teóricamente formación de un estuario altamente estratificado con cuña salina con un alcance mayor a 20 kilómetros. Para caudales mayores a $Q = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$, se aplicó el método Schijf & Schonfeld con el cual se estimó el alcance de la cuña salina en función del caudal afluente del estero Nilahue (**Figura 38**).

Tabla 8 Condición del estuario en función del caudal del estero

Q estero Nilahue (m^3/s)	N° Richardson de estuarios	Condición del estuario
0,55	0,08	Bajo este caudal, el estuario estaría bien mezclado sin cuña salina.
2,8	0,4	En torno a este caudal, el estuario estaría parcialmente mezclado sin cuña salina.
5,5	0,8	Sobre este caudal, el estuario estaría altamente estratificado con formación de cuña salina.

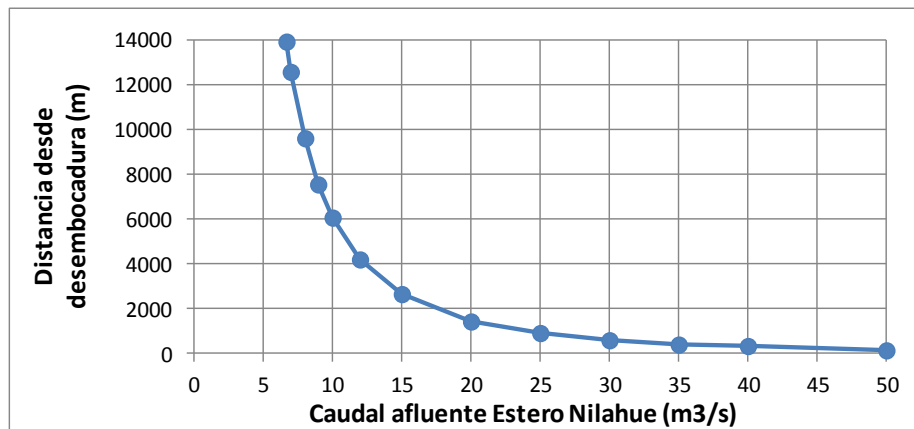


Figura 38 Estimación de alcance de la cuña salina en función del caudal afluente del estero Nilahue.

Para evaluar otras condiciones hidrológicas, se consideró el análisis de la estadística fluviométrica de la estación DGA Estero Nilahue en Santa Teresa (Código DGA 06132001-6) que se ubica 30 km aguas arriba de punto de aforo CEA, que cuenta con una serie entre los años 1985 y 2012 de caudales medios mensuales (DGA, 2013). El **ANEXO Digital 08** muestra los datos de los caudales medios mensuales en esta estación y el **ANEXO Digital 09** contiene los cálculos de la cuña salina.

En los casos de caudales de crecida de invierno (desde mayo a octubre), se consideraron 3 casos de diferentes probabilidades de excedencia para caracterizar años secos, medios y húmedos (**Figura 39**). Para un año seco (P excedencia 85%), el caudal de invierno es de $Q=2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ que generaría una condición de estuario parcialmente mezclado sin cuña salina.

Para un año medio, el caudal de crecida llegaría a $Q=18,2 \text{ m}^3/\text{s}$ que generaría un estuario altamente estratificado con un alcance de cuña salina de 1,8 kilómetros desde desembocadura. Para un año húmedo, el caudal de crecida sería de $Q=83,4 \text{ m}^3/\text{s}$ que generaría también un estuario altamente estratificado, pero con un alcance de cuña que sólo alcanzaría 46 m.

Para los meses de estiaje (noviembre a abril), los caudales del estero Nihahue son en promedio $Q=0,26 \text{ m}^3/\text{s}$ y para un año húmedo no se supera el caudal $Q=1,2 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que permite inferir que por todo ese período se tendrían condiciones de estuario bien mezclado sin cuña salina, dominado por la influencia de las mareas.

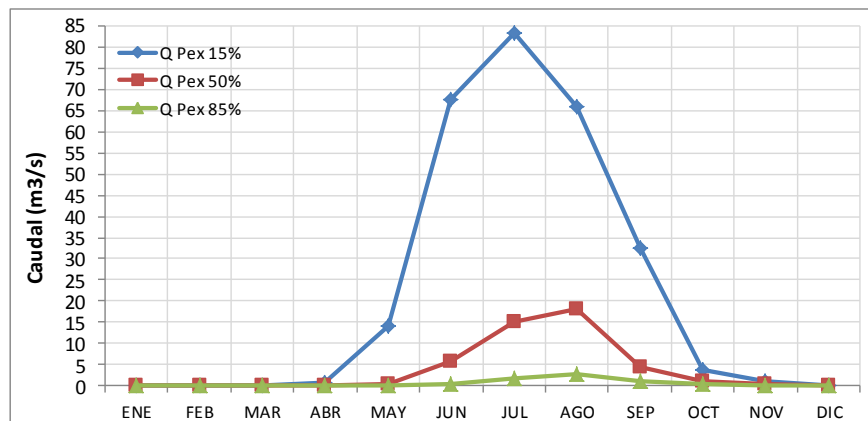


Figura 39 Curvas de variación estacional de caudales medios mensuales estación fluviométrica DGA Estero Nihahue en Santa Teresa.

La información recopilada en terreno mediante perfiles de la sonda multiparamétrica, en combinación con los sensores de registro temporal continuo, han permitido identificar que la marea y la batimetría del estuario cumplen un rol importante en el patrón de circulación y en los tiempos de residencia del agua en el sistema.

7.2 Estado trófico de Cáhuil

En ambas campañas de monitoreo (octubre y diciembre 2014), los indicadores del nivel trófico del humedal apuntan hacia estado eutróficos e hipereutróficos (Tabla 9, Tabla 11, Tabla 10 y Tabla 12), a excepción de la concentración de fósforo total en las estaciones del estero Nihahue durante la campaña de diciembre 2014.

La concentración de nutrientes y clorofila a detectados en cada estación y profundidad del área de estudio registrados durante octubre 2014 se muestran en la **Tabla 9**, y los valores de la campaña de diciembre 2014 se pueden apreciar en la **Tabla 11**. Considerando las

condiciones hidrológicas del humedal, en estas tablas los valores obtenidos se comparan con la valoración de trofia para lagos dada por Smith et al. (1999), resaltando con diferentes colores cada nivel de trofia:

Oligotrófico
Mesotrófico
Eutrófico
Hipereutrófico

Durante la campaña de octubre 2014, la concentración de nitrógeno total indicó una condición hipereutrófica en todas las estaciones y en todas las profundidades analizadas de la laguna Cáhuil y la desembocadura. El estero Nilahue se encontró en estado eutrófico respecto al nitrógeno total. El fósforo total mostró condiciones eutróficas en todo el sistema. En cambio la clorofila *a* solamente señaló eutrofización en la superficie de la estación DC-1 de la desembocadura y en ambas estaciones del estero Nilahue. El resto de las estaciones registraron valores bajo el límite de detección, lo cual indica que se encontraban en condiciones mesotróficas u oligotróficas (**Tabla 9**).

Se observó que las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total disminuyeron desde la desembocadura hacia el estero Nilahue, lo cual sugiere que la procedencia de los nutrientes es marina, lo cual se respalda con la condición hidrológica detectada.

La profundidad del disco Secchi de octubre 2014, arrojó un índice trófico (TSI) característico de un estado eutrófico en la desembocadura y valores en el límite entre estados mesotróficos y eutróficos en las estaciones de ña laguna Cáhuil (Smith et al., 1999; Fraile et al., 1995), no obstante, de acuerdo al criterio de la OCDE, el sistema siempre se encontró eutrófico (Tabla 10).

Tabla 9 Concentración de nutrientes y clorofila *a* en tres sectores del humedal. Monitoreo octubre 2014.

Sector	Estación	Profundidad (m)*	Nitrógeno total (µg/L)	Fósforo total (µg/L)	Cl-a (µg/L)
Desembocadura	DC1	Superficie (0,1)	1200	74	10
		Medio (2,5)	1200	86	<10
		Fondo (5)	1300	86	<10
	DC2	Superficie (0,1)	1000	48	<10
		Medio (2,5)	1000	73	<10
		Fondo (5)	1100	78	<10
Laguna Cáhuil	LC-1	Superficie (0,1)	1100	63	<10
		Fondo (4)	1200	60	<10
	LC-2	Superficie (0,1)	900	41	<10
		Fondo (4)	1200	85	<10
Estero Nilahue	EN-1	Superficie (0,1)	600	31	20
	EN-2	Superficie (0,1)	600	34	10

*Profundidad del muestreo.

Tabla 10. Resultados de las mediciones del disco Secchi e índice de trofia en octubre 2014.

Ubicación	Punto de Muestreo	Profundidad del fondo	Profundidad disco Secchi	Índice de estado trófico (TSI)	Estado trófico (OCDE)
Desembocadura Laguna Cáhuil	DC-1	5,5	1,5	54,2	Eutrófico
	DC-2	6,0	1,9	50,7	Eutrófico
Laguna Cáhuil	LC-1	4,5	2,0	50,0	Eutrófico
	LC-2	4,3	2,0	50,0	Eutrófico
Estero Nilahue	EN-1	0,5	-	-	-
	EN-2	1,0	-	-	-

- La profundidad de la estación es demasiado baja para observar la profundidad a la que el disco Secchi deja de ser visible.

Durante la campaña de diciembre 2014, la concentración de nitrógeno total indicó que la mayor parte del sistema se encontraba en estado eutrófico, aunque con el fondo de la desembocadura hiereutrofizado. El fósforo presentó concentraciones eutróficas en casi todos los puntos muestreados de la desembocadura y en la laguna Cáhuil, con la excepción de dos casos donde el fósforo total pasó a niveles hipereutrófico; en el fondo de las estaciones DC-2 (desembocadura) y LC-1 (laguna Cáhuil). En el estero Nilahue, la concentración de fósforo total señaló un estado de mesotrofia.

La clorofila *a* solamente indicó eutrofización en el estrato medio de la estación DC-2 de la desembocadura y en el estrato profundo de la estación LC-1 de la laguna Cáhuil. El resto de las estaciones de la desembocadura estuvieron mesotróficas en esta fecha, mientras que las restantes estaciones de la laguna y del estero estaban oligotróficas (**Tabla 11**).

La disminución en las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total desde la desembocadura hacia el estero Nilahue, junto a la dinámica hidrológica del humedal, sugieren que la procedencia de los nutrientes es marina.

La profundidad del Disco Secchi de diciembre 2014, arrojó un índice trófico (TSI) que sitúa en estado mesotrófico solo en la estación DC-1 de la desembocadura, estando todas las otras mediciones en un estado eutrófico (Smith et al., 1999; Fraile et al., 1995). Por otro lado, de acuerdo al criterio de la OCDE, el sistema también fue eutrófico en una estación de la Laguna Cáhuil y de la desembocadura, mientras que las restantes estaciones fueron clasificadas como hipereutróficas (**Tabla 12**).

Tabla 11 Concentración de nutrientes y clorofila a en tres sectores del humedal. Monitoreo diciembre 2014.

Sector	Estación	Profundidad	Nitrógeno total ($\mu\text{g/L}$)	Fósforo total ($\mu\text{g/L}$)	Cl-a ($\mu\text{g/L}$)
Desembocadura	DC-1	Superficie	900	71	8
		Fondo	1200	82	4
	DC-2	Superficie	900	64	6
		Medio	1000	91	18
		Fondo	1300	126	7
Laguna Cáhuil	LC-1	Superficie	900	72	3
		Fondo	1000	102	17
	LC-2	Superficie	900	59	3
		Fondo	900	69	2
Estero Nilahue	EN-1	Superficie	800	29	2
	EN-2	Superficie	700	18	0

Por otra parte, las profundidades medidas para la visibilidad del disco Secchi y el índice de trofía (TSI) se entregan en las Tabla 10 y Tabla 12

Tabla 12. Resultados de las mediciones del disco Secchi e índice de trofía en diciembre 2014.

Ubicación	Punto de Muestreo	Profundidad del fondo	Profundidad disco Secchi	Índice de estado trófico (TSI)	Estado trófico (OCDE)
Desembocadura Laguna Cáhuil	DC-1	3	2,1	49,3	Eutrófico
	DC-2	5	1,4	55,1	Hipereutrófico
Laguna Cáhuil	LC-1	3	1,3	56,2	Hipereutrófico
	LC-2	3	1,5	54,2	Eutrófico
Estero Nilahue	EN-1	0,8	0,8	63,2	Hipereutrófico
	EN-2	0,2	-	-	-

- La profundidad de la estación es demasiado baja para observar la profundidad a la que el disco Secchi deja de ser visible.

Utilizando los criterios de profundidad de visibilidad del disco Secchi, en diciembre de 2014 se detectó aumento del nivel de trofía respecto de octubre 2014, salvo la estación DC-1 de la desembocadura que se presentó un poco más clara que en octubre. Bajo el criterio de la OCDE el sistema llegó a estar hipereutrófico en al menos una estación de cada sector muestreado.

7.3 Ecotipo, funciones ecosistémicas, Áreas de Importancia Ambiental y vulnerabilidad de Cáhuil.

7.3.1 Definición del ecotipo predominante

De acuerdo con la clasificación de Ecotipos detallada en el documento Protección y Manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica (CONAMA 2006), el humedal Cáhuil, corresponde a un ecotipo de humedal costero, con intrusión salina, de tipo cubeta cuando la barrera se encuentra cerrada y de canal cuando la barrera se encuentra abierta.

7.3.2 Uso Actual del Suelo de la Cuenca del estero Nilahue.

Para estudiar el uso actual del suelo de la cuenca del estero Nilahue se consideraron 6 comunas pertenecientes a las Provincias de Colchagua y Cardenal Caro abarcando una superficie total de 275.945,84 hectáreas (**Tabla 13**). Estas comunas fueron seleccionadas por su distribución espacial, ya que, éstas forman parte de la cuenca del estero Nilahue.

Tabla 13. Provincias, Comunas y Superficie Área de Estudio.

Provincia	Comuna	Hectáreas
Colchagua	Pichilemu	71.687,87
Colchagua	Paredones	59.336,82
Colchagua	Santa Cruz	19.209,93
Cardenal Caro	Chépica	21.844,45
Cardenal Caro	Pumanque	44.181,76
Cardenal Caro	Lolol	<u>59.685,01</u>
TOTAL		275.945,84

En la **Figura 40** se presenta la distribución espacial de las 6 comunas sobre la Cuenca del estero Nilahue.

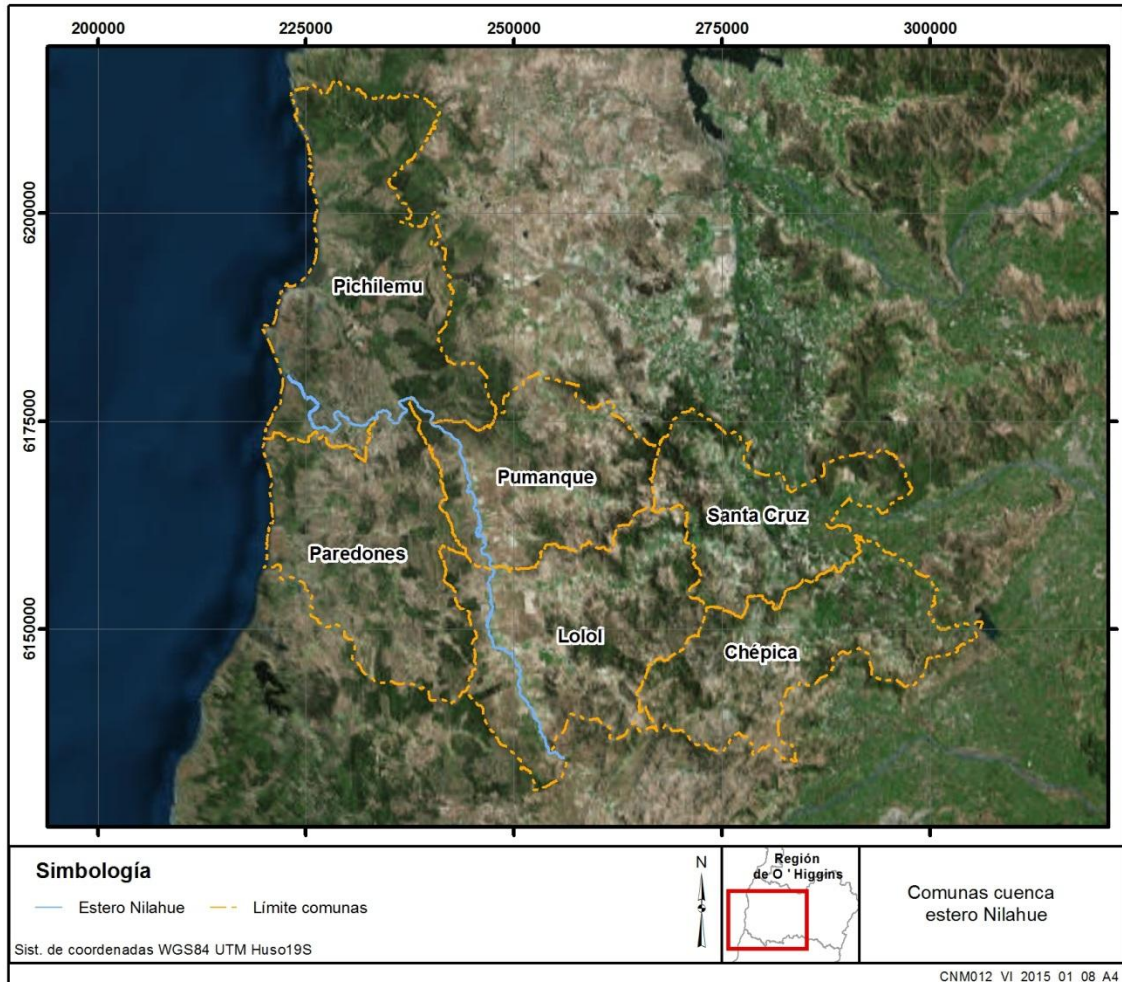


Figura 40. Comunas que forman parte de la Cuenca del estero Nilahue, VI Región.

Con la base de datos (2014) del uso actual del suelo de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins se desarrolló una tabla con la distribución de la superficie por uso actual del suelo de las seis comunas (**Tabla 14**). Base de datos disponible en el Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN.

Tabla 14 Superficie por tipo de uso de suelo. (Hectáreas).

Uso Actual del Suelo	Pichilemu	Paredones	Santa Cruz	Chépica	Pumanque	Lolol	Total
Praderas y Matorrales	9.338,64	15.732,26	10.238,12	12.588,45	16.343,05	25.686,45	89.926,97
Plantaciones Forestales	46.932,80	33.764,01	1.634,53	2.908,22	9.791,61	10.631,30	105.662,47
Terreno Agrícola	6.320,46	4.734,55	4.606,68	1.209,47	14.653,78	15.790,45	47.315,39
Bosques	6.759,15	1.170,41	2.622,16	5.239,97	2.561,50	6.092,07	24.445,26
Área Desprovista de Vegetación	522,57	1.011,31	64,07	48,39	265,34	1.136,18	3.047,86
Cuerpos de Agua	621,40	78,87	26,30	9,00	218,79	230,79	1.185,15
Áreas Urbanas	464,51	110,48	14,10	0,00	72,09	101,04	706,22
Humedales	598,65	783,94	0,00	0,00	0,00	0,00	1.382,59

Tabla 14 De acuerdo a la **Tabla 14** la clase “Plantaciones Forestales” es la que ocupa la mayor superficie en el área de estudio. El segundo uso de importancia es la clase “Praderas y Matorrales” y en tercer lugar se ubican los terrenos agrícolas. Estos resultados son concordantes con los obtenidos en Cáhuil, ya que, en terreno se observó que el uso del suelo en la cuenca del estero Nilahue es preponderantemente forestal de tipo intensivo, y que a su vez presenta ganadería extensiva a baja escala y agricultura de subsistencia asociada a los pequeños poblados que se distribuyen en la cuenca.

En terreno también se observó que las plantaciones forestales de la cuenca del estero Nilahue están compuestas principalmente por dos especies introducidas, el Pino (*Pinus radiata*) y el Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), resultados que concuerdan con la información disponible en el Centro de Información de Recursos Naturales (**Tabla 15**).

Tabla 15. Superficie por tipo de uso forestal (Hectáreas).

Plantaciones Forestales	Pichilemu	Paredones	Santa Cruz	Chépica	Pumanque	Lolol	Total
Eucaliptos	5.333,94	3.677,55	38,27	40,15	1.839,06	2.435,55	13.364,5
Pino	29.854,69	22.113,18	1.371,79	2.278,89	6.103,98	5.997,04	67.739,6
Plantación Forestal	4.652,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4.652,4
Plantación Exóticas Asilvestradas	4,83	148,64	0,00	0,00	0,00	0,00	153,5
Plantación Joven o Recién Cosechadas	7.080,97	7.824,65	224,47	589,18	1.848,57	2.198,70	19.766,5

La gran extensión de estas plantaciones se debe a los programas de bonificación ambiental de 1974 en el cual se subsidiaba un 75% de los costos netos de establecimiento de la plantación priorizando suelos de aptitud preferentemente forestal.

Cabe señalar que desde el 31 de Diciembre del 2012 expiró la vigencia del sistema de incentivos que contemplaba el Decreto Ley N° 701, de 1974, razón por la cual las forestaciones y otras actividades bonificables que se realizaban a partir del 1° de Enero de 2013 ya no son bonificadas, de acuerdo a la normativa actualmente vigente (Decreto Ley 701, 1974).

7.3.3 Funciones ecosistémicas en Cáhuil

En el humedal de Cáhuil se detectaron funciones ecosistémicas en las cuatro categorías propuestas por De Groot et al. (2002). Ellas se muestran en la tabla del **ANEXO digital 11**. Las funciones ecosistémicas detectadas son:

- a) Provisión o producción: Reflejadas en presencia de especies de peces como el pejerrey *Odontesthes bonariensis* (estuarino) y *Odontesthes regia* (pejerrey de mar), de macroalgas rojas caragenofitas (*Sarcothalia crispata* - Luga Negra) y

agarofita (*Gelidium spp.*- Chasca). Además las condiciones estuarinas son potenciales sitios para cultivos marinos. La provisión de sal, aunque no es un producto de procesos de transformación de energía en biomasa, aportan un producto considerado alimento y desde el cual los stakeholders obtienen retornos monetarios tras su comercialización.

- b) Hábitat: El humedal constituye refugio y hábitat de reproducción de innumerables especies de plantas y animales, dentro de los que destaca la gran diversidad de avifauna.
- c) Regulación: El humedal provee de agua dulce a la ciudad de Pichilemu, la cual se obtienen mediante extracción subterránea. Adicionalmente, tal como todos los sistemas estuarinos y como se confirmó con la información levantada en este estudio, el humedal presenta las funciones de protección contra inundaciones y de regulación de nutrientes, a través de la desembocadura al mar.
- d) Información o cultural: Se expresa a través de paisajes heterogéneos de alta diversidad biológica y de gran atracción turística.

7.3.4 Servicios ecosistémicos del Humedal de Cáhuil.

Los servicios ecosistémicos que brindan los humedales son vitales para la subsistencia de muchas comunidades (Tabilo-Valdivieso, 2003). En especial los servicios ecosistémicos que presta la Laguna de Cáhuil, la cual permite generar ingresos a sus habitantes.

El diagnóstico ambiental y social permitió identificar 8 servicios ecosistémicos principales en el humedal de Cáhuil, cuatro de ellos son servicios ecosistémicos de provisión, uno de apoyo, uno cultural y dos de regulación (**ANEXO digital 11**). No obstante, algunos servicios ecosistémicos pueden clasificarse en más de una categoría, esto debido a que los diferentes tipos de servicios pueden estar estrechamente vinculados. Por ejemplo, los servicios de provisión pueden estar vinculados con los servicios culturales donde las personas atribuyen valor espiritual a los productos que se obtienen de los humedales (IWMI, 2014). Algunos ejemplos aplicados al humedal Cáhuil serían las salineras y de la alta diversidad de aves. Los salineros de Cáhuil son reconocidos dentro del programa de tesoros humanos vivos de la sección de patrimonio del consejo nacional de la Cultura y las Artes, por lo que son parte de un servicio ecosistémico cultural. A la vez constituyen un servicio ecosistémico de provisión, ya que los salineros sustentan a sus familias con esta actividad económica. La alta riqueza de aves, endémicas y migratorias, aportan valor a la biodiversidad y a la vez al turismo.

Al respecto, Burkhard et al. (2009) desarrollaron una matriz de valoración en base a la cobertura del suelo versus las capacidades que tendría cada una para proveer servicios ecosistémicos en 44 unidades espaciales con distintas coberturas de suelo. Esta valoración que combina aspectos cualitativos y cuantitativos puede ser una herramienta útil para el manejo de información relacionada con el manejo ambiental. Tomando en consideración que no existe valoración de los servicios ecosistémicos de Cáhuil, se comparan aquellos más relevantes con la valoración de Burkhard et al. (2009), considerando condiciones de estuarios y lagunas costeras y se muestran en la **Tabla 18 del ANEXO 1**.

7.3.4.1 Servicios Ecosistémicos de Provisión.

Pesca Artesanal. Los permisos de Pescador Artesanal permiten que la actividad pesquera extractiva sea realizada por personas naturales en forma personal, directa y habitual y en el caso de las áreas de manejo, por personas jurídicas compuestas exclusivamente por pescadores artesanales, inscritos como tales. La categoría de pescadores artesanal es importante ya que tiene la capacidad de realizar mayor cantidad de actividades pesqueras.

La comunidad de Cáhuil se beneficia de la pesca artesanal siendo el principal recurso pesquero la extracción de “Pejerrey” (*Odontesthes bonariensis* y *Odontesthes regia*). Los productos de la pesca son la principal fuente de proteínas siendo también la actividad pesquera uno de los pilares de la economía.

Extracción de Algas. En menor frecuencia pero no menos importante los habitantes de Cáhuil realizan la extracción de algas carragenófitas y agarófitas (*Sarcothalia crispata* y *Gelidium spp.*) que posteriormente son comercializadas. *Sarcothalia crispata* o Luga negra o luga- luga, es una especie recurso que forma praderas naturales en el litoral sur de Chile. Habita en ambientes salinos, en sectores costeros y generalmente crece sobre sustratos rocosos (roca maciza y bolones). Los requerimientos de luz y temperatura las restringen a los meses de primavera – verano, desapareciendo su estado vegetativo durante el invierno. Su comercialización se destina a la extracción de carragenina. Las especies de *Gelidium* son comercializadas para extracción de agar, habitan en zonas intermareales medias y bajas de frentes expuestos al oleaje y son resistentes a la tracción de olas y mareas (Santelices, 1989; 1991).

Acuicultura. En los próximos meses, los integrantes del Sindicato de Trabajadores Independientes, Cultivadores, Pescadores, Mariscadores y Ramos Similares de Cáhuil, realizarán en la laguna de Cáhuil actividades de cultivos pertenecientes al grupo de especies de Mitílidos y Ostreídos. Ya que, en Junio del 2014, la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas, le otorgó al Sindicato una concesión de acuicultura para la extracción de mariscos con una superficie de 3,17 hectáreas.

Salineras. La producción de sal se desarrolla desde tiempos prehispánicos (Vera, 2003). Sin embargo, con el pasar de los años la actividad ha disminuido debido a factores económicos y sociales. Hoy la actividad está teniendo un nuevo impulso gracias al desarrollo del turismo y a la asociación de salineros y su búsqueda por distribuir su producto. La **Figura 41** muestra una de las esclusas o “cuarteles” que construyen los salineros para atrapar y extraer la sal (Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, 2010).



Figura 41. Piletas o “cuarteles” salineras (Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, 2010).

De acuerdo a la valoración de Burkhard et al. (2009), la pesca artesanal y la acuicultura presentan un alta valoración en la relevancia tanto en condición de laguna costera como de estuarios. La extracción de algas, puede considerarse aquí como parte de la pesca artesanal, no obstante las actividades salineras no presentan valoración por tratarse de una actividad que solo se realiza en algunas localidades en el mundo.

7.3.4.2 Servicio Ecosistémico de Apoyo / integridad ecológica

Avifauna. El humedal Cáhuil constituye el refugio y hábitat de reproducción de numerosas aves locales y migratorias, las cuales llegan principalmente en verano. En dicha época se logra encontrar la mayor diversidad de avifauna del año, ya que muchas especies, como la Garza boyera, Gaviota de Franklin, Rayador, Zarapito, Pollito del mar tricolor, Pitotoy grande y chico, etc., migran a Chile en busca de mejores condiciones climáticas y zonas de nidificación en los humedales (Jaramillo, 2005). A su vez, especies nativas de Chile como el Cisne coscoroba, Pato jergón chico y grande, Tagua de frente roja, Chorlo chileno, Golondrina chilena y picaflor, durante los meses de invierno, migran hacia el

norte del país, por lo que durante ese periodo el atractivo turístico, basado en el avistamiento de avifauna, disminuye (SAG, 2012) (**Figura 42**).



Figura 42. Ejemplar hembra y polluelo de Pato Rana pico delgado registrado en Cáhuil en diciembre 2014.

Diversos censos realizados, por la comunidad eBird, han transparentado la presencia de más de 60 especies de aves acuáticas y terrestres que frecuentan la zona (. , **Anexo 12**), principalmente entre los meses de noviembre-febrero.

Dentro de esta amplia riqueza de avifauna, estudios publicados en el Noticiario mensual Abril-2006 del Museo de Historia Natural (Cánepa, et al., 2006), establecen que los órdenes de aves acuáticas más abundantes en el sector de Cáhuil, corresponden a Charadriiformes (playeros, chorlos, perritos y gaviotas) y Anseriformes (patos y cisnes), lo cual es atribuido a la presencia de plantas acuáticas estacionales en la laguna y a los factores benéficos para la nidificación. En este mismo estudio se concluye que la predominante abundancia de Passeriformes en el área es consecuencia de las zonas arbustivas asociadas a las lagunas costeras, puesto que éstas ofrecen alimento y refugio.

El ANEXO digita 10, contiene fotografías de aves registradas durante las campañas de terreno en Cáhuil. Debe tenerse en cuenta que durante el terreno no es posible registrar a todas las especies presentes en el lugar, por lo que es recomendable mantener un monitoreo continuo a lo largo del año.

Anfibios y reptiles. En la **Tabla 20** y **Tabla 21** se resumen las especies de anfibios y reptiles, respectivamente, presentes en la comuna de Pichilemu. Pese a que no se

encontró bibliografía de censos específicos de la localidad de Cáhuil, el Libro Rojo de la IV Región destaca la importancia de proteger esta zona debido a su alta riqueza en cuanto a especies de anfibios.

“...En el humedal de Cáhuil se presenta la mayor riqueza de anfibios, por lo cual, debe ser considerada como prioritaria para la conservación de este grupo de vertebrados...” (Ramírez et al., 2007).

De acuerdo a la valoración de Burkhard et al. (2009), en la laguna Cáhuil existe una capacidad relevante de este servicio ecosistémico en condiciones de estuario hasta alta relevancia en condiciones de laguna costera, lo cual coincide con la temporada estival, donde se recibe mayor cantidad de turistas en el lugar.

7.3.4.3 Servicio Ecosistémico Cultural.

Turismo. En época estival los habitantes de Cáhuil ofrecen a los turistas excursiones en bote o en kayak en el humedal. Esta actividad si bien es reciente ha sido un gran apoyo económico para los habitantes de Cáhuil (PLADECO, 2010). Además numerosos turistas realizan deportes acuáticos en la laguna (**Figura 43**).



Figura 43. La Laguna Cáhuil es utilizada en deportes acuáticos.

Adicionalmente, uno de los tantos servicios que entrega el humedal de Cáhuil es el avistamiento de aves, actividad turística que atrae a los visitantes nacionales y extranjeros en los meses de verano, para lo cual se ha implementado un circuito de pasarela de Avistamiento de aves, que junto a la Ruta de la Sal es financiado por el Fondo de Protección Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente (**Figura 44**). El **Anexo digital 10** muestra fotografías de las aves detectadas durante las campañas de terreno y la . . , del

ANEXO 12 enumera las especies de aves descritas por la comunidad ebird en la zona, incluyendo los años de avistamiento (entre 2009 y 2015) y su estado de conservación.

De acuerdo a la valoración de Burkhard et al. (2009), en la laguna Cahuil, el turismo y la recreación presentan una alta a muy alta capacidad de prestación de servicio ecosistémico. El valor intrínseco e la biodiversidad tiene mediana capacidad relevante en condiciones de laguna y solamente relevante en condiciones estuarinas.

Salineras: La comunidad de salineros de Cahuil son considerados Tesoros Humanos Vivos por el Consejo Nacional de la Cultura y las Artes (Ministerio de Cultura) desde el año 2011. En este lugar ha prosperado por siglos las salineras más antiguas, aunque actualmente hay muy pocos salineros. Los habitantes de esta zona han traspasado de padre a hijo los conocimientos tradicionales para la extracción de la sal del mar artesanal (Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, 2010). La sal producida tiene el sello de Denominación de Origen. El lugar posee además gran belleza escénica, la cual puede apreciarse en la Ruta de la Sal (**Figura 44**), creada por la Municipalidad de Pichilemu para fomentar el turismo (PLADECO, 2010).



Figura 44. Ruta de la Sal en sectores de Estero Nilahue y Cahuil. (Fuente: <http://costavalley.cl/>)

7.3.4.4 Servicios Ecosistémicos de Regulación.

Regulación de nutrientes: Los sistemas estuarinos regulan la concentración de nutrientes y con ello la eutrofización al existir conexión con el mar, debido a lo cual el agua se renueva periódicamente.

Los humedales pueden cumplir una función de regulación de nutrientes mediante el rol de la biota en almacenar y reciclar nutrientes como nitrógeno y fósforo (De Groot et al., 2002). En condiciones naturales, los sistemas tienen mayor capacidad de resistir o absorber el efecto de las perturbaciones (Holling, 1973), pero cuando las perturbaciones son de carácter antrópico son frecuentemente procesos “no conocidos” por los sistemas y por ende, los efectos pueden ser muy variables, pero en la mayoría de los casos de carácter negativo (SAG, 2006).

En el caso de los humedales se puede considerar que en general el proceso de resiliencia (Holling, 1973) puede ser alterado cuando se superan ciertos umbrales de nutrientes. SAG (2006) indica que con concentraciones superiores a 50 $\mu\text{g/l}$ de fósforo y 100 $\mu\text{g/l}$ de nitrógeno, se acelera el proceso de eutrofización.

Protección contra inundaciones: La posibilidad de descarga de los aportes fluviales excesivos hacia el mar constituye una protección de este tipo de sistema frente a inundaciones.

Los humedales funcionan como esponjas que retienen y liberan agua lentamente. La vegetación presente en el humedal también disminuye la velocidad del flujo de agua y permite distribuirla en la planicie de inundación (EPA, 1995). La capacidad de almacenamiento de agua permite reducir la altura de la inundación y también reduce la erosión. La efectividad de los humedales para control de inundaciones puede variar, dependiendo de su tamaño, tipo y condición de la vegetación, pendiente y capacidad del suelo de saturar antes de inundarse (EPA, 2006).

El humedal de Cáhuil durante el desarrollo del estudio (octubre a diciembre 2014), mantuvo la barra abierta y una conexión permanente con el mar. En estas condiciones la escorrentía superficial puede fluir hacia el mar, sin aumentar notablemente el nivel del agua. Durante otros períodos en que el humedal se encuentra con la barra cerrada, el sistema funciona como una laguna costera que puede acumular agua y subir el nivel hasta tener energía suficiente para romper la barra y desaguar hacia el mar. Esta dinámica de autorregulación natural, es un ciclo que es conocido para el ecosistema del humedal.

En la **Tabla 18** se puede observar que estos ecosistemas presentan una alta valoración en los servicios de integridad ecológica, seguidos de los de provisión. Si a los servicios relacionados solamente con el cuerpo de agua se le suman aquellos de áreas terrestres aledañas, como por ejemplo de ganadería, agricultura, la valoración de los servicios de provisión sería mayor.

La cobertura espacial de los servicios ecosistémicos identificados se indican en el mapa temático de la **Figura 45**.

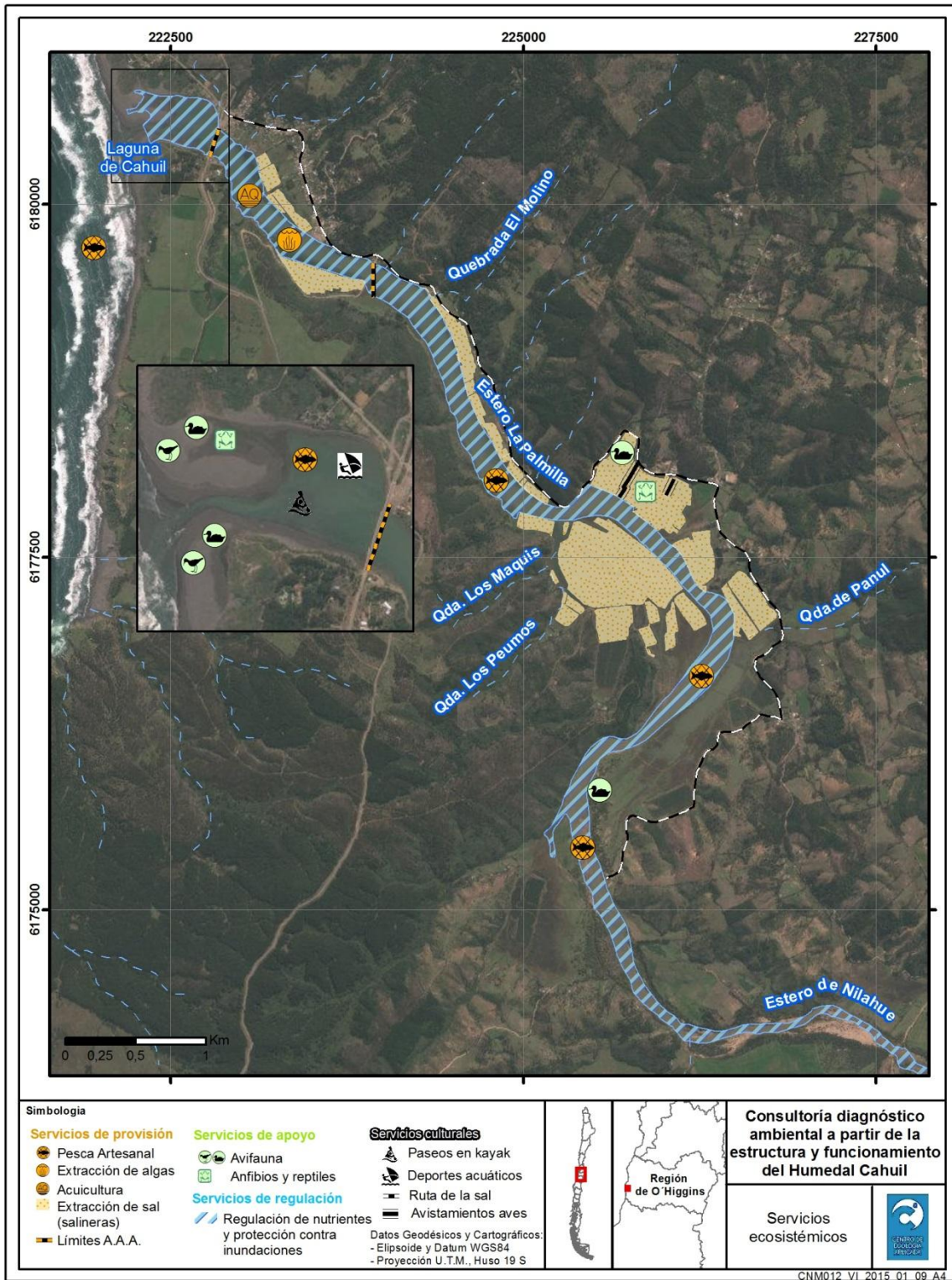


Figura 45. Localización de los servicios ecosistémicos identificados en el humedal Cáhuil.

7.4 Amenazas y grados de vulnerabilidad de Cáhuil

Pese a su naturaleza dinámica, los humedales se pueden ver amenazados ya sea por efecto antropogénico (desecho de agua contaminada, basura, sobreexplotación de recursos) o naturales (fenómenos climáticos y catástrofes ambientales), ya que éstos potencian procesos de erosión, sedimentación e inundación (IWIW, 2014). Consecuentemente, estos procesos, a la larga generan cambios a nivel de ecosistema, puesto que afectan la calidad y composición del agua, a su vez la vegetación y con ello repercute también en la fauna residente y visitante, puesto que son estos los factores que limitan, directa o indirectamente, la abundancia y biodiversidad local (Correa-Araneda, et al. 2011).

El humedal de Cáhuil constituye una zona de alto valor ambiental y es denominada como área protegida, no obstante, la carencia de resguardos y medidas de manejo ambiental ponen en riesgo estos ambientes (PLADECO, 2010).

Tomando en cuenta lo anterior, es de esperarse que en caso de cambiar las condiciones del humedal, al verse modificadas las variables del lago, se dé lugar a repercusiones en la estructura ecológica del humedal, afectando tanto en la abundancia como en la riqueza de la fauna y vegetación y subsecuentemente, a las actividades productivas y económicas asociadas.

El estudio en terreno y el diagnóstico ambiental permitieron identificar las amenazas actuales que afectan el recurso hídrico de la cuenca y por lo tanto también el sistema de entrada de agua al humedal. La tabla **del ANEXO digital 11**, clasifica las amenazas para cada servicio ecosistémico del humedal Cáhuil. La **Figura 47** corresponde al mapa con la ubicación de las principales amenazas a los servicios ecosistémicos detectados en Cáhuil determinadas de acuerdo al ecotipo dominante y en base a los estudios realizados previamente por la Corporación Ambientes Acuáticos de Chile (2005); CONAMA (2006) y Tabilo-Valdivieso (2004).

Escala de origen o efecto de la Amenaza:

Para efectos de este estudio, se definieron las escalas del origen y/o efecto de las amenazas en relación a si la extensión espacial afecta al área local, un área regional o bien global. Por lo que las amenazas local, son aquellas de pequeña escala espacial y que se originan y/o afectan solamente al humedal Cáhuil, las amenazas regionales, son a mesoescala y tienen un origen y/o efecto a nivel de cuenca, región o país; mientras que las amenazas globales son producto de interacciones océano-atmósfera generadas a macroescala y que afectan a todo el planeta.

En el texto se hace la diferencia si las amenazas son originadas por fuerzas o fenómenos naturales y aquellas originadas por actividades antropogénicas.

7.4.1 Amenazas a escala local

La mayoría de las amenazas locales en Cáhuil son comunes a sistemas similares. A continuación se describen las amenazas más importantes y se detallan en la tabla del **ANEXO digital 11**.

- Eutrofización

Entre las amenazas de origen local, se encuentran la eutrofización del agua de la laguna, los cuales se manifiestan en altas concentraciones de nutrientes y clorofila *a*. Esto conlleva a una disminución de la transparencia del agua, que impide la disponibilidad de luz para las plantas acuáticas de zonas más profundas. Estos cambios conducen a estos sistemas desde estados de aguas claras, con presencia de macrófitas y fauna asociada, hacia estados de aguas turbias, que se caracterizan por estar eutrofizados con alta concentración de algas que impiden que prosperen las macrófitas, que son alimento para las aves. Una vez alcanzado el estado eutrofizado del sistema, se puede llegar a un punto sin retorno para la recuperación al estado anterior (Holling, 1973; Folke et al., 2004; Scheffer et al., 2001).

- Manejo artificial de la barra de la desembocadura

De acuerdo con información levantada en terreno mediante entrevistas realizadas a habitantes de la cuenca, a la dirección de Validación de la Provincia Cardenal Caro y a la Gobernación Cardenal Caro, la apertura de la barrera es actualmente artificial y depende de la condición pluvial con amenaza de inundación. Sin embargo, existe cierto descontrol en esta medida ya que en ocasiones la barrera es abierta de noche por particulares. Esto genera conflictos ya que existen sectores interesados en mantener la barrera cerrada con fines estéticos.

- Construcción del puente en Cáhuil

La construcción del puente de Cáhuil fue realizada en el año 2000, y es considerado por parte de la comunidad como uno de los factores que han producido embancamiento de la laguna. Actualmente, las autoridades realizan gestiones para realizar un estudio batimétrico y evaluar el posible dragado de la laguna. Entre los efectos que produce el embancamiento, se indica que afecta a los productores de sal al dificultar el flujo de agua de mar hacia las salineras, y que durante las crecidas de invierno se pueden provocar inundaciones del terreno aledaño a la laguna.

- Floraciones algales nocivas (FAN)

Estas proliferaciones pueden ser de microalgas o macroalgas. En el caso de la laguna Cáhuil se manifiestan ambos tipos, siendo las primeras comúnmente desarrolladas por el aumento de biomasa de diatomeas planctónicas. Entre las macroalgas que tienen un crecimiento poblacional desmesurado se ha detectado al alga verde *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta), que cubre amplias extensiones de la laguna (**Figura 46**).



Figura 46. Imágenes de *Enteromorpha intestinalis* observadas en diciembre 2014.

- Pesca, caza y extracción no regulada

Esta es una amenaza que se repite en este tipo de humedales y que es difícil de controlar debido a que los productos obtenidos son, a menudo, el sustento de las familias. En Cáhuil existen familias que subsisten de la pesca y extracción de mariscos y macroalgas. No obstante, sin una debida regulación, la explotación excesiva de estos recursos puede conducir a extinciones locales, desequilibrio de las estructuras tróficas y merma del recurso.

7.4.2 Amenazas a escala regional

- Inundaciones

Las zonas costeras están frecuentemente amenazadas por inundaciones, las cuales pueden tener distinto origen, natural o antropogénico. Entre las inundaciones de origen natural se incluyen las crecidas fluviales que a causa de precipitaciones abundantes, poca permeabilidad del suelo y la topografía del lugar anegan sectores limítrofes con el dominio terrestre (Ibarra, 2013). Adicionalmente, el borde costero en Chile se encuentra constantemente amenazado por inundaciones a causa de tsunamis o maremotos desencadenados por terremotos. Por otro lado, la elevación y crecida de las olas producto de marejadas cuya intensidad dependerá de factores climáticos, y la coincidencia con los niveles de marea (Ibarra, 2013).

En Cáhuil, el uso de tierras dentro de la planicie de inundación, ha aumentado el riesgo de inundación, y en consecuencia ha requerido de un manejo artificial de la apertura de la barra.

- Terremoto del 2010

Otra amenaza que podría estar afectando el recurso hídrico del humedal, son los fenómenos geológicos asociados al terremoto del 27 de Febrero del año 2010. Un estudio encabezado por el académico Gabriel Vargas de la facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile así lo evidencia, ya que, importantes cambios geográficos se generaron en las zonas costeras de la V a la X Región. Es por esto que un posible cambio en la elevación del océano con respecto a la pendiente del humedal, causaría alteraciones en los procesos de erosión-sedimentación en la desembocadura del estero formando una barrera entre el humedal y el mar. La formación de esta barrera conllevaría la paulatina disminución en la transparencia de la columna de agua, alterando los niveles de oxígeno disuelto y la rápida proliferación de algas, produciéndose la eutrofización del humedal.

- Cambios de uso de suelo - Reforestación con Especies Introducidas.

En la actualidad es ampliamente aceptado que la sustitución de bosques nativos por plantaciones exóticas de crecimiento rápido (*Pinus radiata* y *Eucalyptus spp.*) impactan negativamente sobre los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas (Oyarzún y Huber, 1999; Otero et al., 1994; Oyarzún et al., 2005; Putuhena y Cordery, 2000; Huber et al., 2010).

En la cuenca del estero Nilahue la reforestación con especies introducidas es una amenaza aún vigente, ya que, se ha demostrado que la reforestación con plantaciones forestales (*Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*) producen efectos hidrológicos negativos que se pueden manifestar a corto, mediano y largo plazo. Estas alteraciones en el balance hídrico incrementan las pérdidas de agua por interceptación de las copas de los

árboles y la evapotranspiración afectando así la dinámica hídrica de la cuenca y a su vez el sistema de entrada de agua al humedal (Oyarzún y Huber, 1999).

La gran extensión de estas plantaciones forestales en la cuenca del estero Nilahue se debe a los programas de bonificación ambiental de 1974 en el cual se subsidiaba un 75% de los costos netos de establecimiento de la plantación priorizando suelos de aptitud preferentemente forestal (Decreto Ley 701, 1974).

- Explotación de Aguas Subterráneas.

Una amenaza latente que sufre la cuenca del estero Nilahue es la sobreexplotación de sus aguas superficiales y subterráneas. Esta sobreexplotación es generada cuando la tasa de extracción de agua es superior a la tasa de recarga de la cuenca, lo que puede ocurrir por dos razones: la primera es el sobre-otorgamiento de derechos de agua, sin considerar la disminución de los flujos de agua en tiempos de sequía o años secos, y la segunda, es la extracción ilegal de aguas.

En el año 2005, esta sobreexplotación ya era una amenaza para la cuenca del estero Nilahue, así lo demuestra el informe realizado por la DGA el año 2007, donde se estimó que la recarga total del acuífero del estero Nilahue era de 844 lt/s mientras que la demanda de agua era de 3.371,69 lt/s. Es decir, ya en el año 2005 la demanda de agua era mucho mayor con respecto a la capacidad de recarga del acuífero.

Otro estudio que respalda lo anterior, demuestra que el acuífero Nilahue, atendiendo los derechos constituidos, se consideraría sobreexplotado, ya que, la recarga evaluada en el sistema es inferior al caudal otorgado (DGA, 2013).

Hoy en día la demanda de agua ha aumentado, ya que, la cuenca presenta un mayor número de derechos de aprovechamiento de agua (106 derechos de aprovechamiento de aguas superficiales con un caudal total anual de 12.643 Lt/s y 503 derechos de aprovechamiento de agua subterráneas con un caudal total anual de 9.970 Lt/s) con respecto años anteriores para una capacidad de recarga similar (DGA, 2014). Los Derechos de aprovechamiento de agua (D.A.A) que están presente en la cuenca son sólo de uso consuntivo, es decir, el agua que se extrae no se devuelve al medio hídrico después de su uso, y principalmente son utilizadas para el abastecimiento urbano, regadío, ganadería entre otras actividades.

- Contaminación del agua.

Una importante causa del deterioro de las aguas en los humedales se asocia a las aguas servidas. El cáhul, estas se evacúan en la laguna, frente a lo cual es necesario evaluar el estado de contaminación mediante parámetros como coliformes y materia orgánica (PLADECO, 2010).

7.4.3 Amenazas a escala global

- Cambio Climático.

Variaciones en el régimen de las precipitaciones como en su distribución temporal alteran fuertemente el volumen de los caudales fluviales perturbando la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca y a su vez generando consecuencias en el sistema de entrada de agua al humedal.

A pesar que no existen estaciones que reporten temperaturas medias mensuales en la cuenca del Estero Nilahue, el aumento de la temperatura es un factor determinante en el ciclo hidrológico de esta, ya que genera impactos negativos en los procesos de evaporación, evapotranspiración, infiltración, y escorrentía superficial entre otros, modificando los niveles de caudales superficiales y subterráneos en la cuenca hidrográfica.

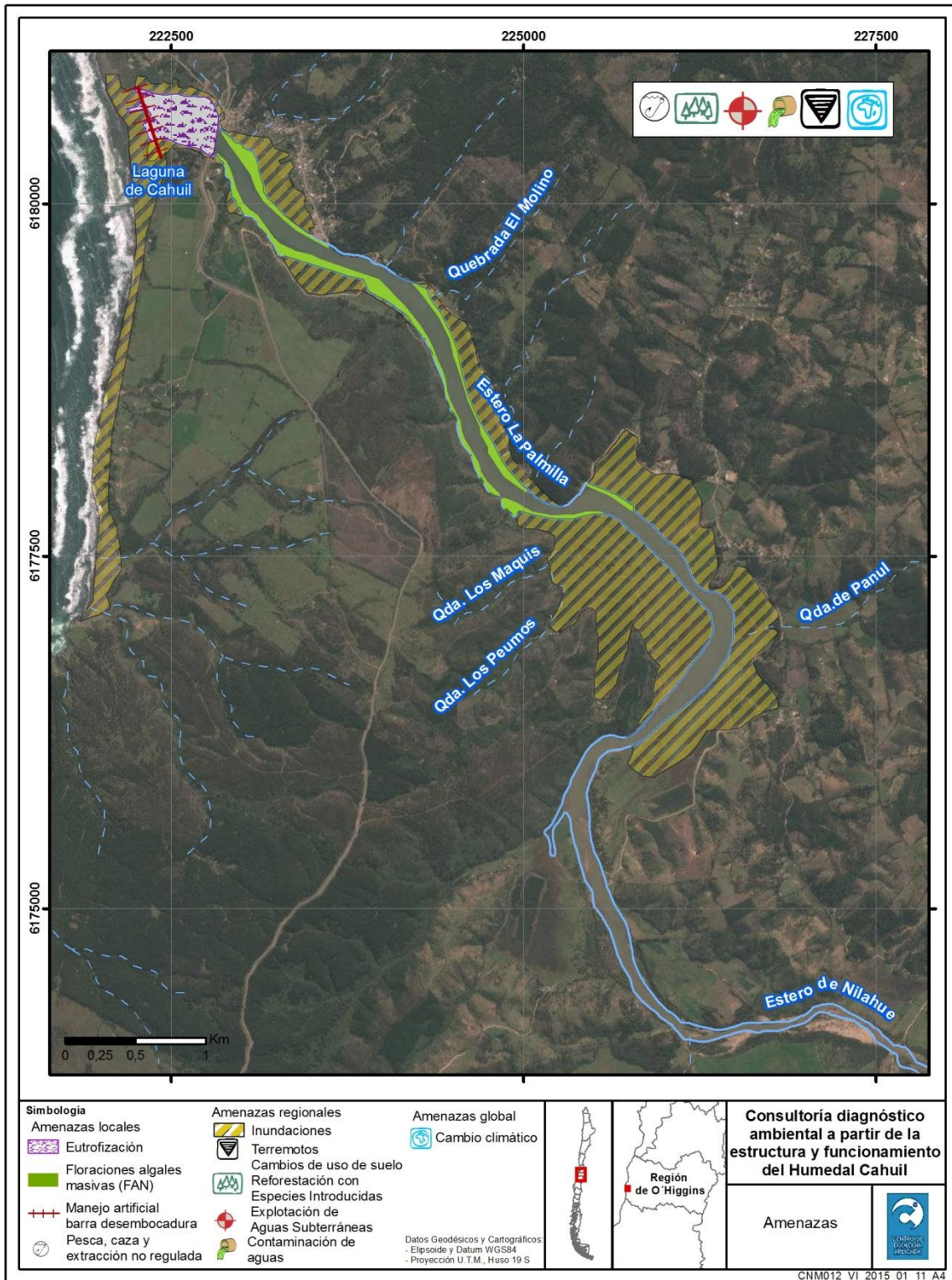


Figura 47. Mapa de amenazas de los servicios ecosistémicos en Cáhuil.

7.4.4 Determinación de las áreas de importancia ambiental (AIA)

Un área de importancia ambiental (AIA) puede ser entendida como aquella donde se verifican las mejores condiciones para el desarrollo de los procesos ecológicos naturales que redunden en una mayor presencia de biota nativa (Santillan, 2012). Aunque también desde un punto de vista más antropocéntrico se pueden asociar a los servicios ecosistémicos que presta, lo que para sistemas acuáticos corresponde a zonas de camping, de pesca comercial o recreativa, dilución de riles, riego, generación hidroeléctrica, etc. (CEA 2008). En este estudio se utilizó este último enfoque para la determinación de las AIA.

Las AIA definidas para el humedal corresponden a las áreas o sectores donde se sostienen los servicios ecosistémicos de provisión, apoyo (integridad ecológica), culturales y de regulación, se presentan en **Figura 48**. Su priorización se encuentra relacionada con el número de servicios ecosistémicos que cada una de ellas sustenta, por lo que las de más alta prioridad son las AIA de servicios de provisión y regulación ya que son los que sustentan el desarrollo y el mantenimiento de los otros servicios ecosistémicos (culturales, de apoyo). Las medidas de prevención y restauración propuestas para las AIA fueron definidas en base a las amenazas identificadas para cada servicio ecosistémico y se presentan en el siguiente capítulo.

7.4.5 Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos en Cáhuil

Al analizar las áreas donde se desarrollan los servicios ecosistémicos con las amenazas identificadas, se obtuvo que la vulnerabilidad de todo el sistema es alta. Sin embargo, para priorizar las medidas de manejo, restauración y monitoreo se diferenció entre áreas de primera atención y de atención secundaria (**Figura 49**). Las áreas de mayor vulnerabilidad se localizan en a) la desembocadura de la laguna Cáhuil, debido a la gran cantidad de amenazas (inundaciones, eutrofización) y servicios ecosistémicos, y en b) en las cercanías de las salineras y zona actual de avistamiento de aves, debido a que poseen gran cantidad de servicios ecosistémicos y concentra la mayor cantidad de población del pueblo.

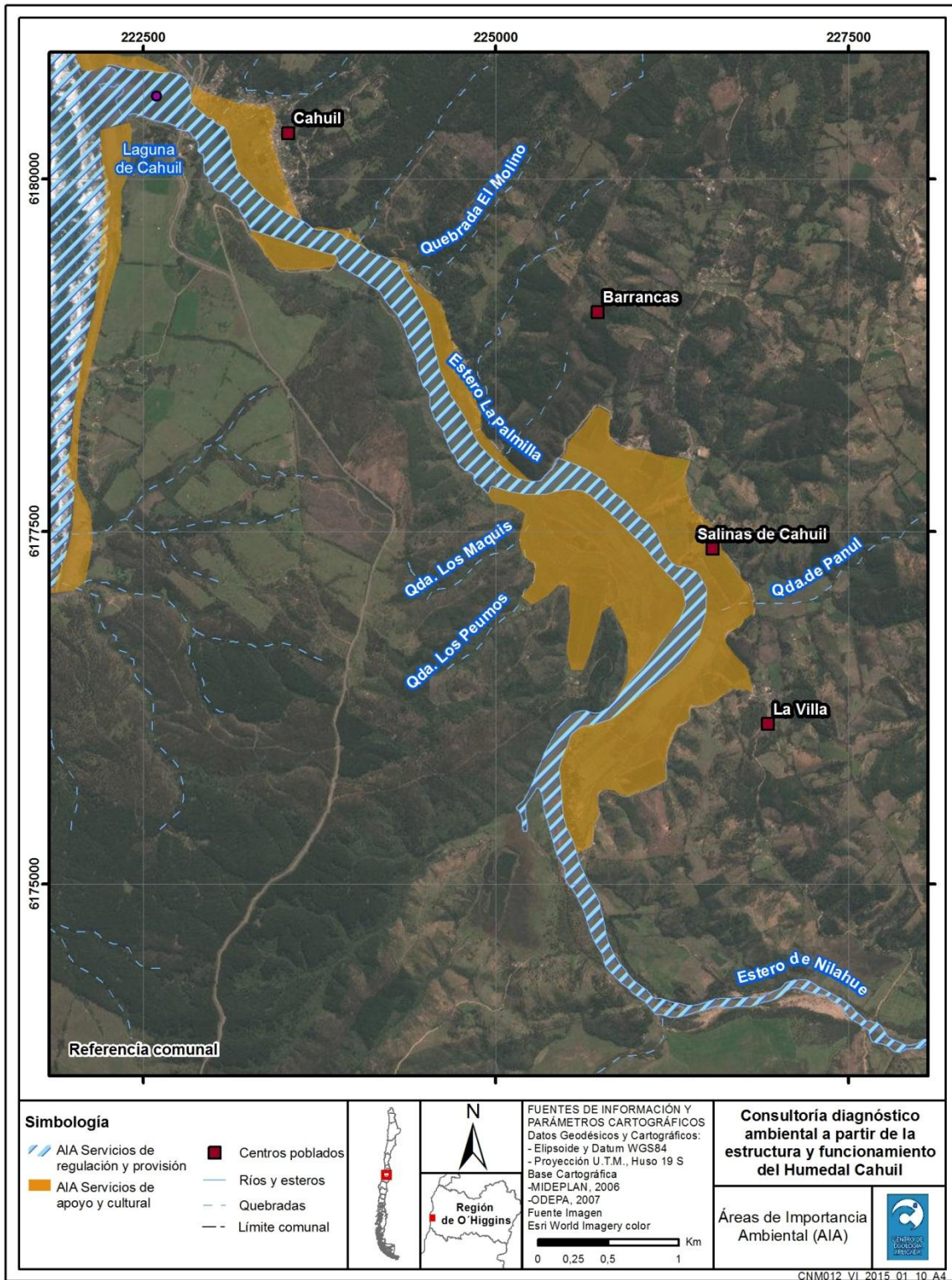


Figura 48. Cobertura espacial de las Áreas de Importancia Ambiental (AIA) en el humedal Cahuil.

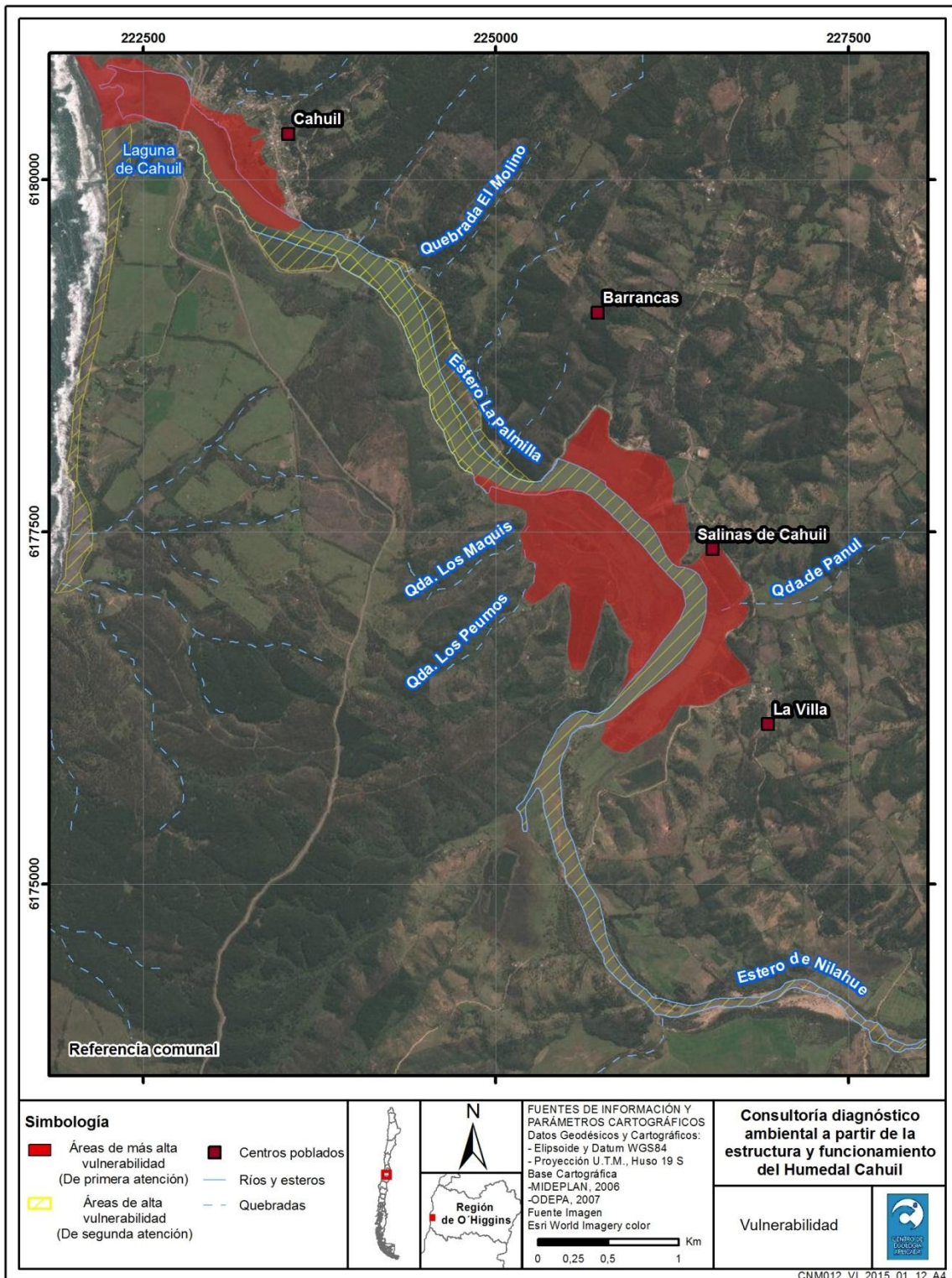


Figura 49 Mapa de vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos en Cáhuil.

8 PLAN DE SEGUIMIENTO

8.1 Medidas de prevención y restauración del humedal tendiente a establecer un trabajo multisectorial en gestión ambiental

El Gobierno de Chile, a través de la Comisión Nacional del Medio Ambiente y el Centro de Ecología Aplicada LTDA. (CEA), propusieron una serie de medidas de manejo de áreas protegidas en el contexto de un plan de seguimiento de acuerdo al ecotipo dominante (CONAMA, 2006). En este documento se describen medidas físicas, biológicas, sociales, de investigación, con aspectos legales y económicos, que fueron consideradas y analizadas en este estudio, a fin de determinar aquellas que pueden ser aplicables al caso del humedal Cáhuil.

En la tabla del **ANEXO digital 11**, se detalla el tipo de medida por amenaza y que se sugiere considerar mediante un trabajo multisectorial en gestión ambiental.

Dentro de las medidas sociales, se propone una zonificación para uso múltiple de los servicios ecosistémicos y la acción participativa en el monitoreo y seguimiento del estado de las funciones y servicios ecosistémicos invitando a la comunidad a empoderarse de su ecosistema, para conocerlo, evaluarlo en el tiempo y manejarlo en forma sustentable.

8.2 Sistema de monitoreo ambiental participativo

La Estrategia Nacional de Humedales plantea como Programa de Seguimiento Ambiental Mínimo para evaluar los parámetros de la **Tabla 16**.

Tabla 16. Programa de seguimiento ambiental mínimo

VARIABLE	DISEÑO MUESTREO
Caudal de los ríos	Controlar el caudal de los ríos mensualmente
Nivel hidrométrico	Controlar periodos hidrológicos mensualmente
Disco Secchi	Controlar periodos hidrológicos extremos en cubeta principal del humedal (estación profundidad máxima)
Temperatura	Controlar periodos hidrológicos extremos en cubeta principal del humedal (estación profundidad máxima, superficie y fondo), tributario y desagüe.
pH	Controlar periodos hidrológicos extremos en cubeta principal del humedal (estación profundidad máxima, superficie y fondo), tributario y desagüe.
Oxígeno disuelto	Controlar periodos hidrológicos extremos en cubeta principal del humedal (estación profundidad máxima, superficie y fondo), tributario y desagüe.
Conductividad	Controlar periodos hidrológicos extremos en cubeta principal del humedal (estación profundidad máxima, superficie y fondo), tributario y desagüe.
Potencial redox (sedimento)	Controlar periodos hidrológicos extremos en cubeta

	principal del humedal (estación profundidad máxima), tributario y desagüe.
Clorofila a	Controlar periodos hidrológicos extremos en cubeta principal del humedal (estación profundidad máxima, superficie y fondo), tributario y desagüe.
Nitrógeno orgánico total	Controlar periodos hidrológicos extremos en cubeta principal del humedal (estación profundidad máxima, superficie y fondo), tributarios y desagüe
Fósforo total	Controlar periodos hidrológicos extremos en cubeta principal del humedal (estación profundidad máxima, superficie y fondo), tributarios y desagüe
Cobertura macrofitas	Controlar periodos hidrológicos extremos cobertura total

Adicionalmente, se sugiere llevar un seguimiento de la cobertura de macroalgas, abundancia y de la riqueza de aves acuáticas

Un factor clave que debe ser considerado en el manejo y protección de los humedales, es la participación ciudadana. Voluntarios entrenados pueden monitorear diferentes cuerpos de agua como ríos, lagos, embalses, estuarios y humedales. Esto se basa en que los voluntarios quieren ayudar a proteger los sistemas donde ellos viven trabajan o se recrean (EPA, 2015a; 2015b). Entre las actividades que pueden realizar se encuentran las observaciones visuales de hábitat, uso del suelo, e impactos de inundaciones por ejemplo. También pueden realizar mediciones físicas y químicas del agua, y estimar abundancia y diversidad de la biota. Por ejemplo la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA), incentiva a la comunidad a aprender sobre los recursos hídricos y a apoyar los programas de monitoreo voluntario. Esto puede tener múltiples beneficios, tales como crear conciencia comunitaria respecto a los problemas de contaminación, ayudar a identificar problemas, y aumentar la cantidad de información disponible sobre los sistemas.

De acuerdo a las experiencias internacionales (MPCA, 2008; CEPA 2015; University of Wisconsin, 2015), los programas de monitoreo voluntarios requieren de la educación, difusión y apoyo de los gobiernos regionales, de modo que la comunidad tenga el entrenamiento para realizar las actividades, que principalmente se basan en la medición de transparencia mediante la utilización del disco Secchi.

Existen experiencias en otras partes del mundo donde de forma exitosa, los habitantes de los humedales realizan un seguimiento del estado del ecosistema. En este documento proponemos que la evaluación de ciertas funciones y servicios ecosistémicos los realicen las personas naturales que habitan en Cáhuil. Esta iniciativa conlleva innumerables beneficios, entre los cuales se cuentan, la disminución en costos en estudios científicos, el conocimiento más acabado del entorno y aumento de la riqueza cultural del lugar. Al conocer mejor el sistema, lo lugareños son capaces de transmitir y manejar la información con fines turísticos, políticos y económicos.

A continuación se detallan algunas sugerencias de monitoreo participativo.

8.2.1 Evaluación del nivel de trofía del humedal

Para la evaluación del nivel de trofía por parte de la comunidad se sugiere su interpretación a través del nivel de transparencia del agua. Esta se puede medir mediante la profundidad media a la que es visible el Disco Secchi. Este es una placa de metal pintada de blanco y negro, unida a una cuerda calibrada. Es una herramienta muy barata y fácil de usar e interpretar (**Figura 50**).



Figura 50. Disco Secchi.

Fuente: <http://courses.washington.edu/uwtoce06/webg3/images/secchi2.jpg>

Los datos obtenidos se pueden comparar con los rangos propuestos por el comité de eutrofización de la Organización de la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982) que se muestra en la **Tabla 17**.

Tabla 17. Estado trófico de un sistema acuático de acuerdo con la profundidad en que es visible el disco Secchi.

Estado de trofía	Profundidad disco Secchi (m)
Ultraoligotrófico	≥ 12
Oligotrófico	≥ 6
Mesotrófico	6 - 3
Eutrófico	3 - 1,5
Hipereutrófico	$\leq 1,5$

Se ha probado que esta metodología es adecuada para el diagnóstico y monitoreo de la calidad de agua por parte de personas sin preparación previa de la comunidad. Otra posibilidad es utilizar kits químicos de medición de concentración nutrientes, clorofila y oxígeno disuelto, los cuales son más precisos en la estimación del nivel de trofia que el disco Secchi, no obstante, este último es superior en cuanto a la facilidad de uso, menor costo y facilidad en la interpretación de los resultados.

8.2.2 Evaluación de la cobertura de algas FAN

Debido a que las floraciones algales nocivas son recurrentes en Cáhuil, y que obliga a los mismos habitantes a “limpiar” la laguna de las densas poblaciones de algas, se sugiere que se realice un monitoreo con registro fotográfico de forma periódica a fin de disponer de un seguimiento de la temporalidad de estos eventos y de su magnitud en términos de cobertura espacial.

8.2.3 Censo de aves

Basándose en testimonios de los lugareños de Cáhuil, quienes indican un notorio cambio en la geografía del lugar, se torna de suma importancia llevar un catastro claro de la fauna del lugar. Por un lado, debido al efecto que puede tener esto sobre la fauna local (según datos obtenidos de la lista roja de la UICN (versión 2014.3) y del estado de conservación de especies que facilita el MMA, actualmente 5 especies de aves nativas, con algún grado de vulnerabilidad, habitan y/o frecuentan Cáhuil: Cisne de cuello negro (VU), Cisne de cuello blanco (EN), gaviotín piquerito (VU), Torcaza (EN), Chercán y Hued-hued castaño), y por otro lado, el impacto que repercutirá en los mismos locatarios, ya que su economía se ha basado fuertemente en los distintos servicios ecosistémicos que entrega la zona propiamente como humedal. Se puede seguir como ejemplo, los censos realizados por CONAF en los esfuerzos por la conservación y manejo de humedales en el SNASPE (CONAF, 2010).

8.2.4 Evaluación de la cobertura de macrófitas ribereñas

Las macrófitas ribereñas son esenciales como refugio y sitios de anidamiento de las aves. Se sugiere llevar un registro fotográfico de la cobertura de este tipo de vegetación, a fin de estimar su composición y cobertura espacial.

9 PROPUESTA DE SECTORIZACIÓN DE HUMEDAL

En base a los resultados obtenidos, se entrega una propuesta de sectorización de los usos del humedal Cáhuil. La **Figura 51** señala las zonas que serían las más apropiadas para el uso de los servicios ecosistémicos. Se propone fomentar las actividades turísticas en la zona de las salineras, a fin de prolongar la estadía de los visitantes, promoviendo el desarrollo de deportes, por ejemplo estableciendo rutas de recorridos en bicicleta, y zonas de prácticas de otros deportes. Esto puede ir acompañado de la habilitación de zonas de camping y recreación (como juegos infantiles, arriendo de implementos deportivos, etc.), lo cual puede ir acompañado de una mayor oferta gastronómica. Las actividades de pesca

y extracción de recursos bentónicos se mantendrían para toda la cubeta, debido a que depende del desplazamiento de los organismos. La desembocadura es sugerida para el fomento de actividades acuáticas (ej. baño, remo), lo cual puede aumentar los retornos económicos del sector mejorando las ofertas en productos y servicios. La concesión de acuicultura se encuentra en una zona muy vulnerable, debido a la eutrofización y alta colonización de algas verdes que pueden promover el colapso de las especies fitoplanctónicas que son alimento de los organismos filtradores. Adicionalmente existe el riesgo de biofouling en las estructuras del cultivo y en los mismos organismos. Por ello proponemos desplazar la concesión en dirección del estero, antes de la ubicación de las salineras, para evitar estos problemas.

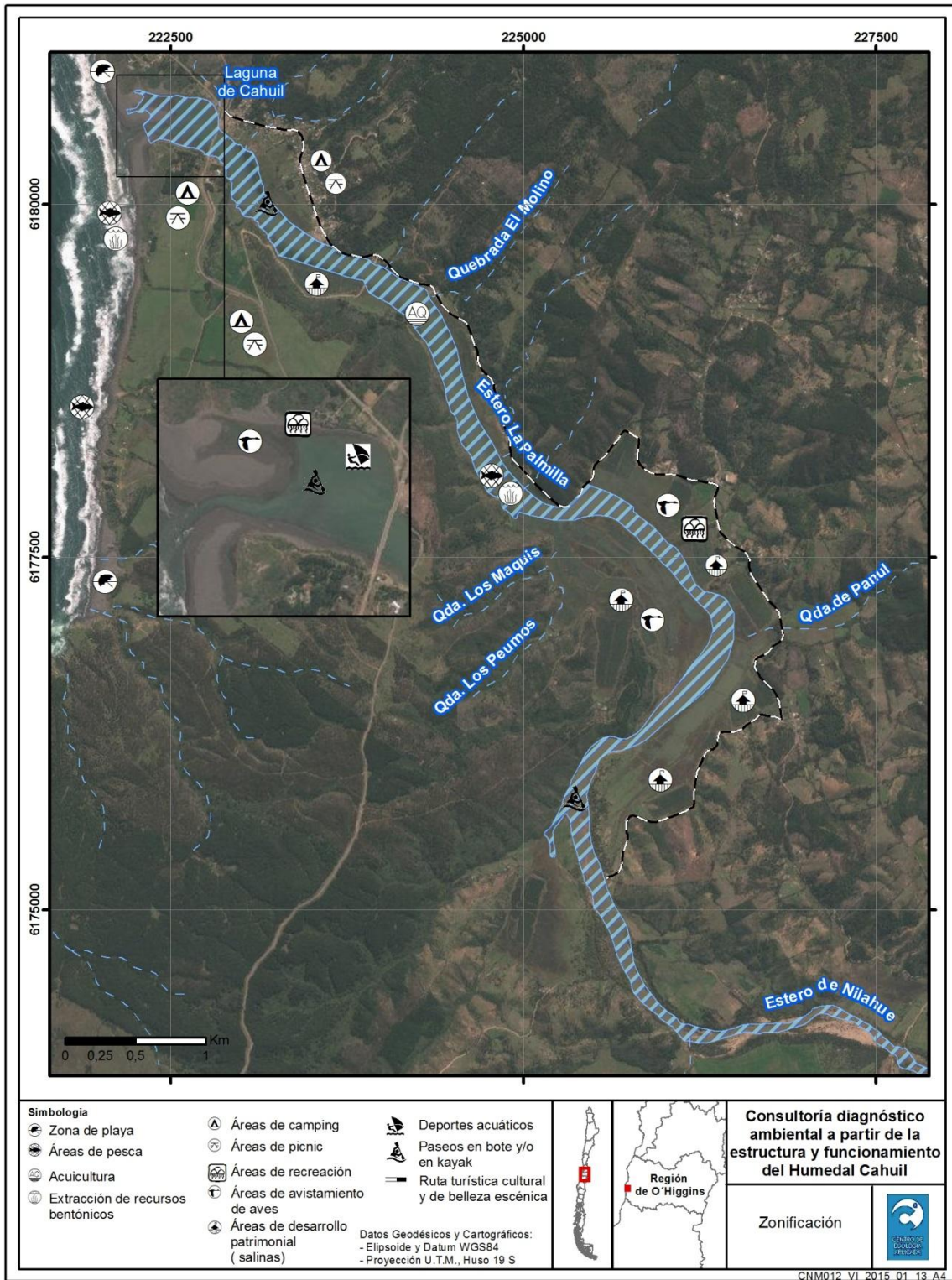


Figura 51. Mapa de sectorización de los servicios ecosistémicos del humedal Cáhuil.

10 DISCUSIÓN

La condición hidrológica del estero Nilahue se mantuvo como la de un estuario bien mezclado, sin cuña salina, según los resultados obtenidos en las campañas de octubre y diciembre 2014, lo cual concuerda con los estudios de Ibarra (2013) y de la DGA (2006). Históricamente en periodos de alta pluviosidad, esta condición cambiaba hacia una condición de estuario estratificado con cuña salina. La alternancia de estos regímenes se ha visto amenazada por eventos naturales catastróficos, como el terremoto del 2010 y por actividades humanas, como el manejo irregular de la barrera y la extracción subterránea de agua para proveer a la ciudad de Pichilemu.

En relación a los efectos del terremoto del año 2010, si bien, no existe información de mediciones precisas sobre el desplazamiento vertical en la zona costera de Cáhuil, se infiere que el sistema pudo haber tenido un cambio drástico que terminó por afectar al estuario, debido a que en la actualidad la barra de arena tiene dificultades para cerrarse de forma natural. La percepción de la comunidad da cuenta de un cambio, evidenciable por ejemplo en la eutrofización de la laguna y la apertura continua de la barrera, identificando esta nueva condición del sistema con el periodo post –terremoto. Ahora bien, en general, los ecosistemas están expuestos a cambios graduales en clima y descarga de nutrientes, entre otros procesos, y las repuestas a estos cambios se producen de manera paulatina. Cuando estos cambios graduales son interrumpidos por eventos drásticos repentinos, como el caso del terremoto del 2010, el sistema puede llegar a un estado contrastante y perder la capacidad de recuperación, por lo que el sistema tiende a mantenerse en un estado alternativo (Scheffer et al., 2001). Esto implica que el sistema del humedal Cáhuil podría mantenerse en este estado eutrofizado por un periodo de tiempo indeterminado. Bajo este escenario, los altos valores en los indicadores de la eutrofización del humedal, que superan los límites establecidos por el SAG (2006) 50 $\mu\text{g/l}$ de fósforo y 100 $\mu\text{g/l}$ de nitrógeno, sugieren que el humedal se encuentra eutrofizado, tal vez en un punto sin retorno.

La eutrofización se ha manifestado de varias formas en Cáhuil. Cómo se discutió anteriormente, con altos valores de nutrientes y clorofila *a* y aguas turbias. La clorofila *a* en altas concentraciones, y usada como *proxy* de la biomasa algal, es señal de proliferaciones de algas. Por otro lado, durante las campañas de terreno, se observó un fenómeno recurrente en la zona, una gran cobertura de macroalgas (Chloroficeae). En caso de Cáhuil, estos fenómenos constituyen FANs, es decir, floraciones algales nocivas, ya que perjudican la calidad del agua, alteran las cadenas tróficas y modifican la estructura comunitaria (Anderson et al., 2002). Los altos valores de nutrientes estarían contribuyendo al aumento de las tasas reproductivas de las algas y los altos tiempos de residencia del agua de mar que ingresa al estuarios en las zonas intermedia y alta del estuario, permitirían la acumulación de biomasa.

El área intermedia de la laguna presenta una concesión para la implementación de cultivos de moluscos bivalvos, no obstante, el nivel de trofia y acumulación de algas constituyen una seria amenaza para el éxito de esta actividad, por lo que es importante discutir y considerar un traslado de la concesión a la parte más interna de la laguna.

Al cruzar los resultados de las áreas donde se ubican los principales servicios ecosistémicos con las principales amenazas que los afectan, el resultado fue que todo el humedal se encuentra en una condición vulnerable, esto debido a la cantidad de amenazas presentes y a su extensión espacial. Conforme a estos resultados se sugieren dos medidas principales: Monitorear continuamente el sistema, desde una perspectiva socio ambiental y con una metodología participativa en donde los mismos usuarios lleven un control de los servicios ecosistémicos y sus amenazas; e Implementar una zonificación de las distintas actividades en el humedal, que permita obtener el mejor equilibrio entre los servicios ecosistémicos que entrega el ecosistema, los intereses (económicos, culturales, de subsistencia) de los distintos actores y el desarrollo local de la población. Con ambas medidas se espera lograr una participación activa de la comunidad local, que pueda contar con las herramientas para hacerse responsable de su territorio.

11 CONCLUSIONES

El presente documento entrega resultados del estudio de Diagnóstico Ambiental del Humedal de Cáhuil. Las conclusiones emanadas a partir de la revisión de los antecedentes recabados son las siguientes:

- Durante ambas campañas de monitoreo (octubre y diciembre 2014) el humedal Cáhuil, se encontraba con la barrera abierta, y una condición bien mezclada sin cuña salina dominado por influencia de las mareas; la extensión del estuario fue de al menos 11,4 kilómetros desde la desembocadura.
- A lo largo del cuerpo de agua se identificaron tres zonas con diferentes tiempos de residencia del agua: Bajo (< 1 día), Medio (1 día a 4 días) y Alto (> 4 días), esto indica el tiempo en que se renueva el agua de mar que entra en el sistema. Los resultados indican que la condición de laguna se mantendría bajo los escenarios de caudales actuales, y solamente podría cambiar en condiciones de año húmedo.
- La concentración de nutrientes y la profundidad del disco Secchi, señalaron que la mayor parte del área estaba en estado eutrófico o hipereutrófico en ambas campañas de terreno. La concentración de clorofila a, señaló menores niveles de eutrofización, con varias estaciones de muestreo en estado meso y oligotrófico, aunque algunas muestras indicaron eutrofia.
- De acuerdo a la guía de CONAMA (2006), el ecotipo predominante del área de estudio es de tipo humedal costero, con intrusión salina y de tipo cubeta cuando la barrera se encuentra cerrada y de canal cuando la barrera se encuentra abierta.
- Respecto del uso de suelo, en la cuenca del estero Nilahue destaca el uso para Plantaciones Forestales como uno de los que ocupa mayor superficie, seguido por praderas y matorrales y agricultura.
- En el humedal de Cáhuil se identificaron ocho servicios ecosistémicos principales entre ellos, cuatro de provisión (pesca artesanal, extracción de algas, acuicultura, salineras), uno de apoyo (avistamiento de avifauna) y uno cultural (turismo) y dos de regulación (regulación de nutrientes y protección contra inundaciones).
- Las Áreas de Importancia Ambiental (AIA) identificadas de acuerdo a los principales servicios ecosistémicos del humedal, son principalmente de regulación y provisión y se encuentran a lo largo del sistema hídrico del humedal, mientras que los servicios de apoyo y cultura segundos se concentran en las riberas.
- Las principales amenazas para los servicios ecosistémicos identificadas en distintas escalas espaciales fueron; a escala local, la eutrofización del agua, floraciones algales nocivas recurrentes, manejo irregular de la barra de la desembocadura, la presencia del puente en Cáhuil y pesca, caza y extracción de productos marinos no regulada. A nivel regional, se detectaron amenazas en las inundaciones, efectos de terremoto del 2010, cambios en el uso del suelo, explotación de aguas subterráneas, y contaminación del agua. El cambio climático es considerado una amenaza a escala global.

- Es necesario realizar y mantener un plan de seguimiento que considere las medidas de acuerdo a las amenazas detectadas y las propuestas de la Comisión Nacional del Medio Ambiente.
- Para este humedal, es altamente recomendable un monitoreo ambiental participativo donde miembros de la comunidad de Cáhuil realicen el seguimiento de los cambios de los principales servicios ecosistémicos y de sus amenazas.
- Se proponen las metodologías para algunos de estos monitoreos dejando abierta la posibilidad de toma de decisiones por parte de los usuarios.

En términos generales podemos concluir que el humedal de Cáhuil ha cambiado de estado ecológico, respecto de su condición histórica, lo cual se refleja en su nivel trófico actual. Si bien este fenómeno es la tendencia natural de los humedales, se ha visto acelerado por procesos que tienen su origen a diferentes escalas, desde intervenciones locales como la disminución de los recursos hídricos superficiales hasta modificaciones derivadas de terremotos o cambio climático global.

En este escenario acciones orientadas a reducir el nivel trófico de la laguna de Cáhuil, para recuperar algunas características históricas como la calidad del agua, deben enfocarse a las amenazas de escala local. No obstante, una forma complementaria es adaptarse al nuevo estado ecológico del humedal, a través del ordenamiento territorial de los servicios ecosistémicos

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, D., GLIBERT, P. & BURKHOLDER, J.M 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries* 25 (4b): 704-726

ANDRADE, B. & GRAU, S. 2005. La laguna de Cáhuil, un ejemplo de estuario estacional en Chile central. *Revista de Geografía Norte Grande*, 33: 59-72.

ANDRADE, E. 2008. Revisión crítica del marco institucional y legal chileno de ordenamiento territorial: el caso de la zona costera. *Revista de Geografía Norte Grande*. 41: 23-48.

APHA, AWWA & WEF. 2005. Standard Methods: for the examination of water and wastewater. 21th Edition.

ARANA, C. y SALINAS, L. 2003. Flora vascular de los humedales de Chimbote, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 10(2): 221-224.

ÁVILA, P. 2008. Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México. *Sistema de Información Científica*.

BURKHARD, B., KROLL, F., MÜLLER, F. & WINDHORST, W. 2009. Landscapes' Capacities to Provide Ecosystem Services – a Concept for Land-Cover Based Assessments. *Landscape online*, 1:22.

CÁNEPA, A., TELLO, P. & MARTÍNEZ, P. 2006. Nota sobre la avifauna de las lagunas costeras de la VI Región. *Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia Natural* N°257.

CORREA-ARANEDA, F., URRUTIA, J. Y 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.

CARLSON, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 361-369.

CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA (CEA). 2008. Estimación del caudal ecológico del Proyecto Hidroeléctrico Altomaipo. Preparado para AES Gener.
<http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=3342955>

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN), (2014). Base de datos del uso actual del suelo de la VI Región.
<http://190.196.10.75/handle/123456789/510>. [Consulta 11 de Noviembre de 2014]

CONAMA-CEA. 2006. Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2010. la conservación y manejo de humedales en el SNASPE. “Programa Nacional para la Conservación de Humedales insertos en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado”

CONSEJO NACIONAL DE LA CULTURA Y LAS ARTES. GOBIERNO DE CHILE.2010. Tesoros humanos vivos. Quad/Graphics Chile S.A. 196 pp.

CORPORACIÓN AMBIENTES ACUÁTICOS DE CHILE. 2005. Los humedales no pueden esperar: Manual para el Uso Racional del Sistema de Humedales Costeros de Coquimbo. Luna Quevedo, D. (ed.) 136pp, Santiago, Chile.

DE GROOT, R.S. 1992. Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making. Wolters-Noordhoff, Groningen.

DE GROOT, R.S., VAN DER PERK, J., CHIESURA, A., MARGULIEW, S. 2000. Ecological functions and socio-economic values of critical natural capital as a measure for ecological integrity and environmental health. In: Crabbe, P., Holland, A., Ryszkowski, L., Westra, L. (Eds.), Implementing Ecological Integrity: Restoring Regional and Global Environmental and Human Health. NATO-Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences, vol. 1. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, pp. 191–214.

DE GROOT, R. S., WILSON, M. A. & BOUMANS, R. M. J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics 41 (2002) 393–408.

DELGADO, L.E. & MARÍN, V.H. 2005. FES-sistema: un concepto para la incorporación de las sociedades humanas en el análisis medioambiental en Chile. Revista Ambiente y Desarrollo 21(3): 18-22.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2007. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del acuífero Nilahue. Informe Técnico, S.D.T. N° 246.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), 2009. Análisis metodológico para determinar caudales de dilución en zona estuarinas. S.I.T. N°189. Realizado por Departamento de Conservación y Protección Recursos Hídricos DGA MOP y Dept Ingeniería Civil, U. de Chile. Septiembre 2009.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), 2013. Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la Región del Libertador Bernardo O’Higgins y Región del Bío-Bío. S.I.T. N°318. Informe Final realizado por Aqualogy Medioambiente Chile. S.A. Noviembre 2013.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (2014). Estadísticas hidrológicas en línea. <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>. [Consulta 17 de Noviembre de 2014]

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). (2014). Derechos de Agua registrado en DGA. http://www.dga.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx. [Consulta 20 de Noviembre de 2014]

DI CASTRI F. & E. HAJEK. 1976. Bioclimatología de Chile. Editorial de la Universidad católica de Chile. 163 pp.

eBird Chile. <<http://ebird.org/content/chile/>>. Recuperado el 20 de marzo del 2015.

EPA, 1995. U.S. Environmental Protection Agency. America's wetlands: Our vital link between land and water. Office of Water, Office of Wetlands, Oceans and Watersheds. EPA843-K-95-001.

EPA, 2015a. U.S. Environmental Protection Agency. Starting Out in Volunteer Water Monitoring.

EPA, 2006. U.S. Environmental Protection Agency. Wetlands: Protecting Life and Property from flooding. EPA843-F-06-001. Office of Water. May 2006.

EPA, 2015b. Monitoring and Assessing Water Quality - Volunteer monitoring. <http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring>

CEPA, 2015. California Environmental Protection Agency. Clean Water Team (CWT) – Citizen Monitoring http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/cwt_volunteer.shtml

ESTEVE M.A., CARREÑO M.F., ROBLDANO F., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ J. & J. MIÑANO. 2008. Dynamics of coastal wetlands and land use changes in the watershed: implications for the biodiversity. In: Russo R.E. (Ed): Wetlands: Ecology, Conservation & Restoration, pp.133-175. Nova Science Publishers. New York. USA.

FARÍAS, M., VARGAS, G., TASSARA, A., CARRETIER, S., BAIZE, S., MELNICK, D., Y BATAILLE, K. ET AL. 2010 Land-Level Changes Produced by the Mw 8.8 2010 Chilean Earthquake. Science 20 August 2010. Vol. 329 no. 5994 p. 916.

FOLKE, C., CARPENTER, S., WALKER, B., SCHEFFER, M., ELMQVIST, T., GUNDERSON L. & HOLLING, C.S. 2004. Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 35: 557-581.

FRAILE, H., ORIVE, E. & POZO, J. 1995. Evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso (río Tera, Zamora). Limnética, 11 (2): 29-37 (1 995)

HAKANSON L. 1981. A manual of lake morphometry. Springer-Verlag. Berlín, Heidelberg, New York. 78 pp.

HUBER, A., IROUME, A., MOHR, C. & FRENE, C. 2010. Efecto de plantaciones de Pinus radiata y Eucalyptus globulus sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Chile. Bosque 31(3): 219-230.

HUOT, Y., BABIN, M., BRUYANT F., GROB, C., TWARDOWSKI, M. S. & CLAUSTRE H. 2007. Does chlorophyll a provide the best index of phytoplankton biomass for primary

productivity studies? Biogeosciences Discussions, European Geosciences Union (EGU), 2007, 4 (2), pp.707-745. <hal-00330232>

HAUER, F. & LAMBERTI, G. 2007. Methods in stream ecology. Second edition. Elsevier. 895 pp.

HOLLING, C.S. 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. Annu. Rev. Ecol. Syst. 4:1-23.

IBARRA, I.E. 2013. Geomorfología aplicada en la evaluación y análisis de amenazas naturales en la zona sur de la comuna de Pichilemu: sectores de Punta de Lobos-Cáhuil-estero Nilahue. VI región, Chile. Memoria para optar al título profesional de Geógrafo. Universidad de Chile.

INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE (IWMI). 2014. Wetlands and people. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 32p. doi: 10.5337/2014.202

JARAMILLO A. 2005. Aves de Chile. Lynx Ed. 240 pp. <<http://www.avesdechile.cl/>>. Recuperado el 20 de marzo del 2015.

KEDDY, P.A. 2010. Wetland ecology: principles and conservation. Second Edition. Editorial Cambridge University Press. New York, United States of America.

LAVELL, A. Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición. 1993. [En línea]. En: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/riesgo-apuntes.pdf>> [consulta: FEBRERO 2015]

Listado de Especies Clasificadas desde el 1° al 9° Proceso de Clasificación. <www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/index2.htm>. Recuperado el 20 de marzo del 2015.

MEADOWS, D. H., J. RANDERS Y D. N. MEADOWS. 2004. Limits to growth: The 30-year update. Chelsea Green Publishing Company, White River Jct.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005. Ecosystems and human well-being.

MIRANDA, J. 2000. Estudio analítico y experimental de los efectos de la batimetría en la intrusión salina en estuarios estratificados. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.

NIÑO, Y. y TAMBURRINO, A. 2002. Apuntes del curso Hidrodinámica Ambiental.

MPCA. 2008. Minnesota Pollution Control Agency. Citizen Lake Monitoring Program. Minnesota Pollution Control Agency. Instruction manual.

OCDE, 1982. Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. Paris. 164 pp.

- OLIVARES, M. 2000. "Estudio analítico-numérico y experimental de la cuña salina en estuarios". Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
- OYARZÚN, C. & HUBER A. 1999. Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en el sur de Chile. *Terra Latinoamericana*, vol. 17, núm. 1, Pp. 35-44.
- OYARZÚN, C., NAHUELHUAL, L. & NÚÑEZ, D. 2005. Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Revista Ambiente y Desarrollo* 20(3) – 21(1): 88-95.
- OTERO, L., CONTRERAS, A. & BARRALES, L. 1994. Efectos ambientales del reemplazo de bosques nativo por plantaciones (Estudio en cuatro microcuencas en la provincia de Valdivia). *Ciencia e Investigación Forestal* (8): 252-276.
- PLAN DE DESARROLLO COMUNAL DE PICHILEMU. 2010 - 2014. TOMO I. CARACTERIZACIÓN DIAGNÓSTICO TÉCNICO COMUNAL. PAC CONSULTORES. Ilustre Municipalidad de Pichilemu.
- PUTUHENA, W. & CORDERY, I. 2000. Some hidrological effects of changing forest cover from eucaliptus to *Pinus radiata*. *Agricultural and Forest Meteorology* (100): 59-72.
- RAMÍREZ, C. & SAN MARTIN, C. 2008. Ecosistemas dulceacuícolas. *Diversidad de Ecosistemas*. Pp. 106 – 116.
- RAMÍREZ, C. & PLISCOFF, P. 2007. Centros de riquezas de especies y áreas prioritarias para la conservación. En: Libro Rojo IV Región (pp. 111-121). Región de O'Higgins, Chile: Ministerio de Agricultura, CONAF y Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
- SANTELICES, B. 1989. *Algas Marinas de Chile*. Univ. Católica der Chile, 399 pp.
- SANTELICES, B. 1991. Production ecology of *Gelidium*. *Hydrobiologia*, 221: 31-44.
- SANTIBÁÑEZ F., ROA P. & P. SANTIBÁÑEZ. 2008. El medio físico. En: *Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos*. CONAMA.
- SANTILLÁN V. 2012. Identificación de zonas de importancia ambiental y vulnerabilidad de ecosistemas mediante métodos de evaluación multicriterio (EMC) en el entorno de los sistemas de información geográfica (SIG). Cuenca del río Paute (CRP), suroriente del Ecuador. *GESIG*. Luján, Año 4, Número 4, 2012, Sección I: Artículos. pp. 56-76.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C. & Walker, B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413: 591- 596.
- SECRETARÍA DE LA CONVENCION DE RAMSAR. 2006. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 4a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

SECRETARÍA DE LA CONVENCION DE RAMSAR. 2013. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). Sexta Edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), 2006. Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales. Ejecutado por Centro de Ecología Aplicada.

SERVICIO AGRÍCOLA GANADERO SAG. 2012. Censos nacionales de aves acuáticas. <http://www.sag.cl/sites/default/files/cnaa_informe-fina.pdf> Recuperado el 20 de marzo del 2015.

SHOA, 2014. Tablas de Marea de la Costa de Chile 2014. PUB 3009. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.

SILVA, I. Metodología para la elaboración de estrategias de desarrollo local. CEPAL. Serie Gestión Pública. Número 42. 2003

SMITH V., TILMAN G.D. & J.C. NEKOLA. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environ Pollut 100, 179-196.

TABILO-VALDIVIESO E. 2004. El beneficio de los humedales en la región Neotropical. Centro Neotropical de entrenamiento en humedales, La Serena, Chile. 73 pp.

The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2014.3. <www.iucnredlist.org>. Recuperado en 19 Marzo 2015.

UNIVERSITY OF WISCONSIN, 2015. Wisconsin's Citizen-Based Water Monitoring Network. <http://watermonitoring.uwex.edu>

URMENETA, F. 2013. Metodología para la determinación del caudal ecológico en estuarios: Aplicación en el estuario del Río Aysén. Memoria para optar al título de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

VAN DER VALK, A.G. 2006. The Biology of Freshwater Wetlands. Oxford University Press, Oxford, UK. 173pp.

13 ANEXOS (EN DIGITAL)

13.1 Anexo 1 Tabla de resultados

Tabla 18. Matriz de determinación de los servicios ecosistémicos de Burkhard et al. (2009) para sistemas equivalentes a la Laguna Cáhuil en condiciones de Laguna costera y en condiciones de estuario. La escala de determinación abarca desde el 0= Capacidad irrelevante para proveer este servicio ecosistémico particular, 1= baja relevancia, 2= capacidad relevante 3= mediana capacidad relevante, 4= alta capacidad relevante, y 5 muy alta capacidad relevante. Se calculan las sumas de cada servicio ecosistémico individual. En naranja los servicios ecosistémicos de integridad ecológica, en celeste aquellos de provisión y en verdes los servicios culturales identificados en Cáhuil, en morado los servicios de regulación.

13.2 Anexo 2. Listado de Coordenadas

13.3 Anexo_03_Datos_Sonda_CTD

13.4 Anexo_04_Perfiles_Batimetricos

13.5 Anexo_05_Datos_Sensores_Nivel

13.6 Anexo_06_Datos_Sensores_Salinidad

13.7 Anexo_07_Fichas_Aforos

13.8 Anexo_08_Hidrologia_Nilahue_Sta_Teresa

13.9 Anexo_09_Calculo_Cuña_Salina

13.10 Anexo_10_Catastro fotografico_Fauna

13.11 Anexo_11_funciones_servicios ecositémicos_amenazas_medidas

13.12 Anexo 12. Fauna del humedal Cáhuil. (En digital)

Tabla 19. Avifauna censada en Cáhuil (2009-2015).

Tabla 20. Especies de anfibios presentes en Pichilemu y comunas adyacentes (Litueche, Marchihue, Paredones)

Tabla 21. Especies de reptiles presentes en Pichilemu y comunas adyacentes (Litueche, Marchihue, Paredones)

13.13 Anexo 13. Entrevistas Salida a Terreno Cáhuil (En digital)

13.14 Anexo 14 equipo de trabajo

14 ANEXO MAPAS

15 ANEXO LITERATURA RELACIONADA CAHUIL