



Reporte

Riesgo de humedales costeros frente al cambio climático

Agosto de 2023

Rol	Profesional	Especialidad
Autor principal	Manuel Contreras López	Humedales costeros
Segundo autor	Sebastián Vicuña Díaz	Balance Hídrico
Colaboradores	Yisset Rabeiro Rodríguez	Humedales costeros
	Paula Toledo Zárata	Balance Hídrico
	David Morales Moraga	Balance Hídrico



Contenido

Resumen ejecutivo	1
Introducción	2
Metodología y área de estudio	4
Resultados	12
Discusión	27
Conclusiones.....	30
Análisis de brechas.....	31
Referencias	33
Anexos.....	36

Resumen ejecutivo

En el presente trabajo se analiza una muestra representativa de 83 humedales distribuidos entre las regiones de Arica y Parinacota y Los Lagos, a partir de un índice de vulnerabilidad de humedales costeros que considera las siguientes variables: tamaño del espejo de agua, erosión en la playa inmediata, altura y granulometría de la barra de arena que separa al humedal del mar, tipo de humedal (estuario / laguna), existencia de lagunas costeras asociadas, urbanización, antropización de riberas y la existencia o no de figuras de protección.

Junto con ello, se analiza el cambio en la disponibilidad de agua para 23 humedales priorizados, a partir de los resultados de los proyectos de actualización del Balance hídrico Nacional (ejecutados entre 2017 y 2019) (DGA, 2017, 2018 y 2019). Esta amenaza tiene un origen climático y se encuentra forzada principalmente por variables como las temperaturas extremas y las precipitaciones. No obstante, también considera componentes de uso de suelo de las cuencas y sus flujos de agua subterránea. En análisis contempló la obtención de los cambios en Precipitación, evapotranspiración real (ET_r), evapotranspiración Potencial (ETP) y en la componente de Escorrentía + Flujo base. Los resultados se reportan tanto para el entorno del humedal como para las subcuenca y cuenca aportante vinculadas a este, de modo de caracterizar los que los modelos de cambio climático prevén hacia el periodo 2030-2060.

La mayoría de los 83 humedales costeros analizados resultaron ser vulnerables o altamente vulnerables respecto de las variables mencionadas. El humedal más vulnerable es el humedal de Chañaral (Región de Atacama), mientras que el menos vulnerable, resultó ser la desembocadura del río Valdivia (Región de Los Ríos). Los humedales con mayor vulnerabilidad se encuentran entre las latitudes 26°S y 34°S (Chañaral a Pichilemu).

Por su parte, salvo el humedal Huasco para el cambio en Escorrentía + Flujo base, todos los humedales presentan cambios esperados negativos del orden de 10 a 30% tanto en evapotranspiración real como en Escorrentía + Flujo base. Esto es transversal en todos los humedales priorizados, sin haber una componente latitudinal diferenciadora. Por su parte, la evapotranspiración potencial, por efectos de aumentos en temperatura hacia 2060, se espera que la demanda de agua de la atmósfera también se incremente, y que esto ocurra en todas las cuencas y subcuencas estudiadas en una magnitud del orden del 2 al 3%.

Introducción

En el litoral de Chile existe un complejo y numeroso sistema de humedales costeros (Marquet *et al.* 2012), constituido por desembocaduras de ríos y esteros, estuarios, lagunas costeras, criptohumedales y charcas estacionales (Zuleta - Ramos *et al.* 2019). Estos humedales costeros son ambientes extremadamente dinámicos y frágiles, y cuya existencia se encuentra condicionada por una gran variedad de factores naturales y antrópicos, entre los que se cuentan la variabilidad hidrológica y climática, el alto contenido energético litoral, la variabilidad en la disposición de sedimentos, la sismicidad y los procesos tectónicos de la costa chilena, que generan cambios morfológicos mayores en los sectores costeros. Esta combinación tan particular solo tiene referentes similares en algunos sectores de Sudáfrica, Australia (Cienfuegos *et al.* 2012) o Nueva Zelanda (Nichol *et al.* 2007).

Los humedales costeros juegan un rol fundamental en los ciclos reproductivos de algunos animales, el crecimiento de las plantas y la subsistencia de comunidades. Son, asimismo, parte de un sistema interconectado de cuerpos de agua que forma un verdadero corredor ecológico. Fariña *et al.* (2012) establecen cómo el cambio en el régimen de precipitaciones puede alterar la dinámica del humedal, facilitando las conexiones con el mar cuando existe aporte de precipitaciones y disminuyendo su espejo de agua en períodos de sequía. Contreras-López *et al.* (2017a), por su parte, muestran cómo 57 humedales costeros ubicados entre la región de Valparaíso y Coquimbo, redujeron en un 40% sus espejos de agua durante la extensiva sequía desde el año 2007 a 2016, y que se ha extendido hasta el año 2022. Los regímenes estacionales de estos cuerpos de agua típicos de la región de Coquimbo hacia el sur se transformaron de lagunas permanentes en lagunas estacionales (Zuleta-Ramos & Contreras-López 2020). Es esperable que el sistema de humedales costeros de Chile reaccione a cambios en el régimen de precipitaciones, temperatura ambiente, oleaje y nivel del mar, entre otros.

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología para estimar la vulnerabilidad de los humedales costeros de Chile y evaluar esta vulnerabilidad para una muestra representativa de estos cuerpos de agua. Junto con ello, evaluar los cambios en la disponibilidad de agua para el entorno del humedal y las subcuencas y cuencas aportante a este bajo el escenario de cambio climático RCP8.5 derivado de los resultados de la actualización del balance hídrico nacional. Para ello se seleccionaron 83 humedales costeros distribuidos entre las regiones de Arica y Parinacota y Los Lagos, para los cuales se cuenta con información suficiente, levantada en terreno, que permite cuantificar un índice de vulnerabilidad de estos humedales, considerando aspectos como: tamaño espejo de agua, antropización en su entorno, existencia de figuras de protección, características del litoral inmediato: granulometría de la playa, topografía, tasas de erosión costera, entre otros. En la Figura 1 se muestran los humedales analizados y su situación con respecto a la totalidad de los humedales costeros inventariados (MMA 2020). De este total de humedales, y para efectos de caracterizarlos hidrológicamente a partir de los resultados del Balance hídrico nacional, se hizo un

primer filtro de 52 humedales, de los cuales por distintas condiciones de delimitación de sus áreas, redundancia, ya que pueden pertenecer a subcuencas similares, y disponibilidad de información, se priorizaron 23.

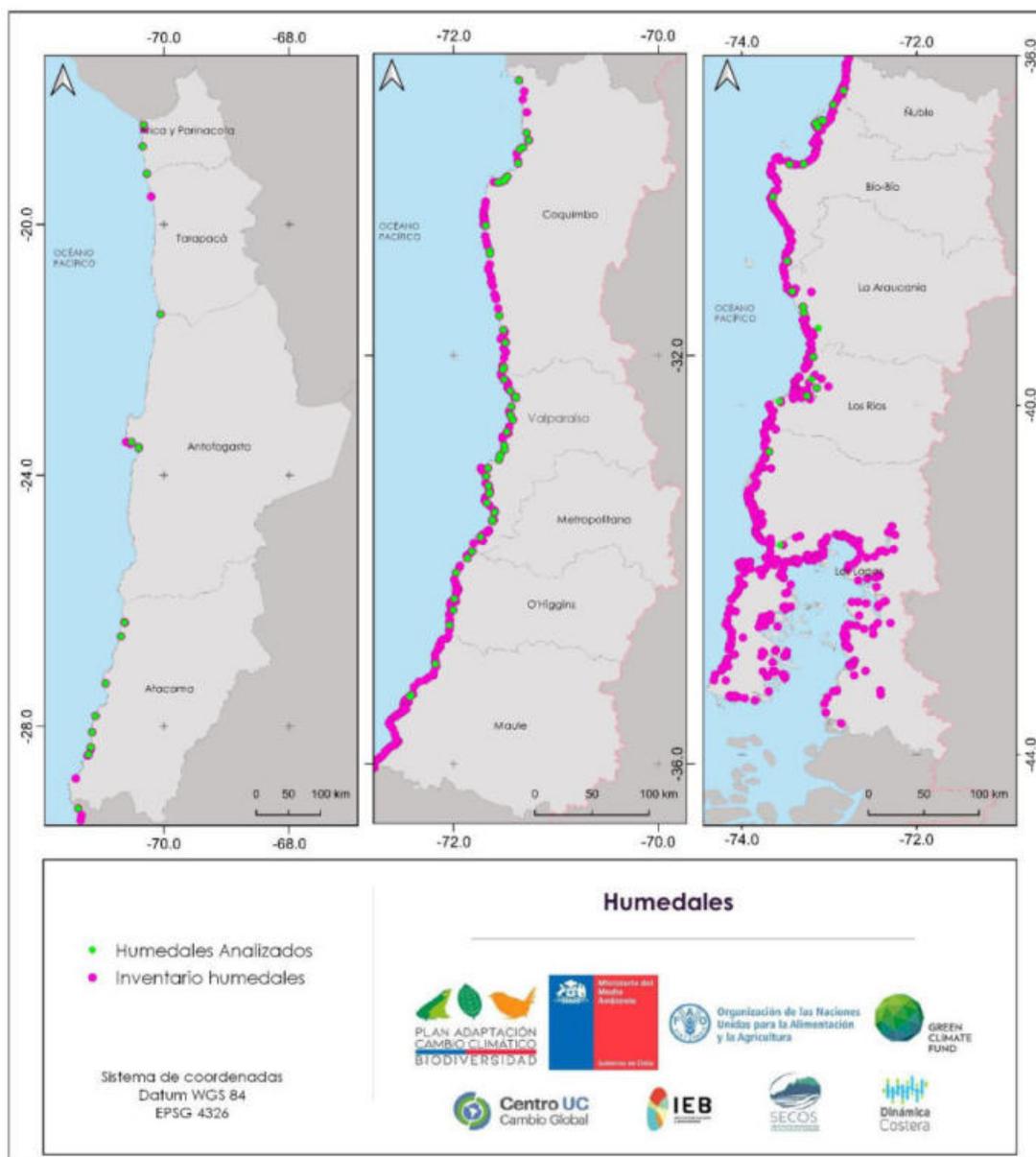


Figura 1: Humedales costeros analizados (verde) versus los humedales costeros existentes en la costa expuesta desde la región de Arica hasta Los Lagos (morado).

Fuente: Elaboración propia.

Metodología y área de estudio

Índice de vulnerabilidad

Se seleccionaron 83 humedales costeros entre las regiones de Arica y Parinacota y Los Lagos, para analizar la vulnerabilidad de estos humedales. La selección se basó principalmente en la disponibilidad de datos levantados en terreno, y antecedentes disponibles para estos humedales. En la Figura 2 se muestra la distribución geográfica de estos humedales y en Anexos se encuentran sus características y localización (latitud, longitud).

Para cada humedal se consignó:

- **Latitud, Longitud:** calculadas a partir del centro geométrico del polígono cerrado que delimita el espejo de agua identificado en la última imagen satelital disponible en Google Earth.
- **Tipo de Humedal:** solo se consideraron: Estuario y Lagunas Costeras.
- **Existencia de Lagunas Costeras Asociadas:** Si/No.
- **Antropización:** Sí (en el caso de que las riberas se encuentren confinadas, la existencia de infraestructura vial que intervenga el álveo del humedal o la conectividad hidráulica, cualquier tipo de intervención que afecte la dinámica natural del humedal) / No.
- **Ocupación humana:** Urbano (en el caso de la existencia de un asentamiento importante – Ciudad o Pueblo – o instalaciones industriales en su entorno) / Rural.
- **Figuras de Protección:** Sin Protección / Declaración Humedal Urbano, Protegido (si es una Reserva Marina, Santuario de la Naturaleza, Reserva Nacional u otra figura oficial del SNASPE, Relevancia Internacional (Sitio Ramsar) / GEF-Humedales (contemplado como plan piloto en el Proyecto).
- **Superficie:** Estimación de la superficie del espejo de agua en base a la última imagen satelital disponible en Google Earth, calculado a una resolución de 10 m² (hectáreas con tres decimales).
- **Erosión costera:** Estimación de las tasas de cambio en la playa inmediata, basados en los resultados de Martínez *et al.* (2018 y 2022).
- **Tipo de conexión:** Si la conexión es permanente (abierta) o esporádica (cerrada), estacional, o, se encuentra manejada artificialmente.

- **Altura Barra:** Medición con nivel topográfico de la altura de la barra de arena que separa al humedal del mar, con respecto al Nivel de Reducción de Sonda (NRS)¹ local.
- **Granulometría:** tamaño de los sedimentos de la barra de arena que separa al humedal del mar.

Luego, para estimar la vulnerabilidad se realizaron los siguientes supuestos:

- **Tipo de Humedal:** Una laguna costera es más vulnerable que un estuario, debido a que ante el alza del nivel del mar una laguna costera puede ser completamente anegada y desaparecer bajo las aguas. En cambio, un estuario siempre tiene la posibilidad de reconfigurar su desembocadura aguas arriba, en la medida que el alza del nivel del mar propicie el retroceso de la costa. Por esta razón se asigna a este parámetro el valor estandarizado de 1 si se trata de una laguna (más vulnerable) y 0,5 si se trata de un estuario.
- **Laguna asociada:** Si una desembocadura tiene una laguna costera asociada, la biodiversidad del humedal costero depende (y potencialmente se incrementa) de la diversidad de ambientes disponibles (típicamente estas lagunas son hipersalinas propiciando la presencia de organismos halófilos; o bien son oligohalina a mesohalinas², propiciando la presencia de organismos que dependen de agua dulce o salobre). Como las lagunas costeras son ambientes frágiles, humedales que tienen lagunas costeras asociadas resultan más vulnerables que aquellos que no las tienen. De esta forma se propone que este parámetro asuma el valor 1 cuando hay presencia de una laguna costera y 0 en caso contrario.
- **Antropización:** Si un humedal tiene confinadas sus riberas con infraestructura vial, muros u otra clase de estructuras, las posibilidades de reconfigurar su desembocadura en el caso un alza del nivel del mar disminuye. Por esta razón, si el humedal se encuentra antropizado se propone un valor 1 para este parámetro (mayor vulnerabilidad), y 0 (menor vulnerabilidad) en el caso que no se encuentre perturbado por estructuras.

¹ El Nivel de Reducción de Sonda (NRS) corresponde al plano al cual están referidas las sondas o profundidades de una localidad. Cada país adopta el NRS de acuerdo con las características del régimen de marea de sus costas. Dado que el tipo de marea predomina en el litoral chileno corresponde al de "marea semidiurna mixta", se adoptó para nuestras costas como nivel de reducción de sondas el plano determinado por la mayor bajamar en sicigias estando la Luna en el perigeo. Una buena aproximación en la determinación del NRS la entrega el nivel que alcanza la mayor bajamar observada en un período de registro mensual.

² Hace referencia a una medida de medición de la cantidad de sal que se encuentra disuelta en un líquido.

- **Ocupación Humana:** Si la presencia humana es importante, el humedal sufre mayores presiones, por ejemplo, debido presumiblemente a la presencia de mascotas. Por esta razón se asume un valor 1 para este parámetro si el humedal se encuentra en un ambiente urbano y 0 en el caso de encontrarse asociado a un ambiente rural.
- **Protección:** Si un humedal no cuenta con una figura de protección, es más vulnerable que uno gestionado y protegido. Ahora bien, existen diversas alternativas de figuras de protección:
 - *Sin protección:* Vulnerabilidad máxima, valor 1.
 - *Humedal Urbano:* El humedal se encuentra delimitado y reconocido, pero no existe necesariamente un administrador formal, ni se cuenta con un plan de administración: Vulnerabilidad 0,75.
 - *Humedal pertenece a un Área Silvestre Protegida (Reserva Marina, Santuario de la Naturaleza, Reserva Nacional, etc.):* En este caso, típicamente el área cuenta con un administrador formal y existe un plan de gestión. Sin embargo, normalmente no existen los recursos suficientes para gestionar el área. Se asume una vulnerabilidad igual a 0,5
 - *Humedal tiene reconocimiento de relevancia internacional (sitio Ramsar):* Existe un administrador formal, un plan de gestión y la posibilidad de acceder a recursos para su gestión, vulnerabilidad igual a 0,25.
 - *Humedal pertenece a los humedales pilotos del proyecto GEF-Humedales:* Existe un plan de administración y los recursos para realizar labores de restauración y gestión del humedal. Vulnerabilidad mínima.
- **Superficie del espejo de agua:** Entre mayor superficie del humedal, éste es menos vulnerable (0), mientras que, a menor tamaño, la vulnerabilidad aumenta: humedal más pequeño: vulnerabilidad 1.
- **Erosión:** A mayor erosión, vulnerabilidad aumenta. Si existe acreción, la vulnerabilidad es 0. Se considera, por tanto:
 - *Erosión alta (mayor o igual a 1 metro de pérdida de playa por año):* vulnerabilidad 1.
 - *Erosión (pérdida de playa inferior a 1 metro por año):* Vulnerabilidad 0,5.
 - *Estabilidad:* Vulnerabilidad 0,25
 - *Acreción:* Vulnerabilidad 0:
- **Barra:** Si la barra se encuentra permanentemente abierta, el humedal es menos vulnerable que si la barra se encuentra cerrada.
- **Altura:** A mayor altura de la barra, se considera que la vulnerabilidad disminuye. Además, se debe considerar que el régimen de mareas típico en el litoral de Chile donde se emplazan los 83 humedales analizados es micromareal (Figura 2), de ahí que se propone:
 - *Altura <2 m:* Vulnerabilidad 1

- *Altura > 2 m y <4 m*: Vulnerabilidad 0,5
- *Altura > 4 m*: Vulnerabilidad 0.
- **Granulometría:** A mayor tamaño de los granos, menor vulnerabilidad, de ahí que se considera:
 - *Cantos rodados*: Vulnerabilidad 0
 - *Grava o granulometría gruesa*: Vulnerabilidad 0,5
 - *Arena o granulometría fina*: Vulnerabilidad 1.

El Índice de Vulnerabilidad de Humedales Costeros (IVHC) se calcula como la media aritmética de todos los parámetros evaluados.

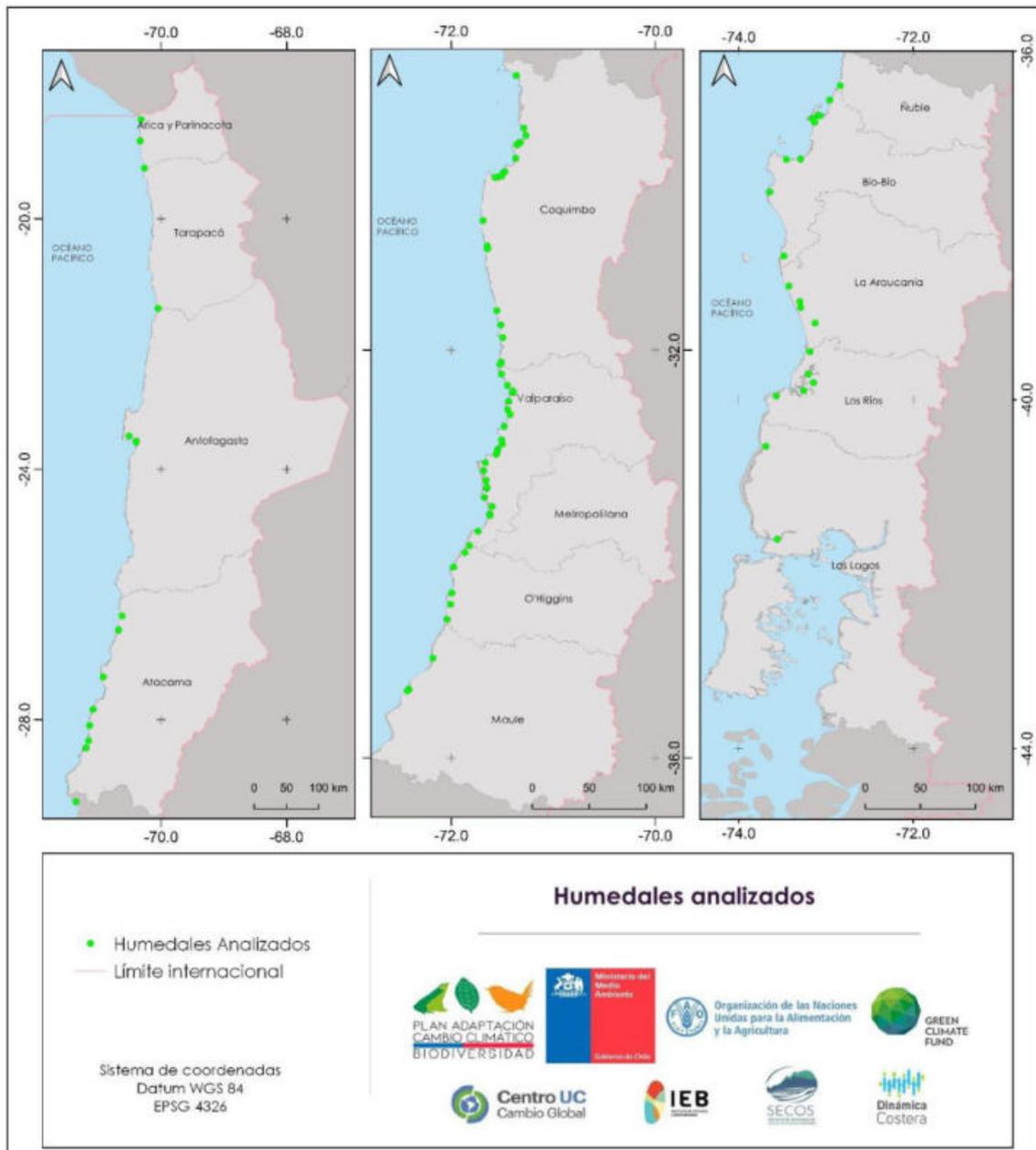


Figura 2: Distribución de humedales costeros analizados para el índice de vulnerabilidad
Fuente: Dinámica Costera.

Análisis de amenaza de origen climático

Para comprender los impactos potenciales del cambio climático sobre la disponibilidad de agua de los 23 humedales (Anexo A2) representativos de los 83 analizados, ubicados entre las regiones de Arica y Parinacota y Los Ríos, se utilizaron los resultados obtenidos en la actualización del Balance Hídrico Nacional (BHN)(DGA, 2017, 2018, 2019) desarrollado por la Dirección General de Aguas (DGA), para evaluarlos en profundidad. La metodología propuesta en aquel trabajo utilizó una representación espacial de las principales variables que caracterizan el ciclo hidrológico en grillas regulares de $0,05^{\circ} \times 0,05^{\circ}$ (aproximadamente 5x5 km), publicados por la DGA en proyectos independientes para diferentes macrozonas de Chile. Para la modelación y procesos intermedios, los principales insumos utilizados fueron: 1) variables de temperaturas y precipitación derivadas del producto grillado CR2met (Boisier *et al.*, 2018), el cual es espacialmente distribuido en la grilla mencionada, a escala diaria entre 1979 y 2015 (actualizado hasta abril de 2020 en su última versión), 2) información pluviométrica y meteorológica principalmente obtenida a partir de la red de estaciones de la DGA y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), 3) información satelital del sensor radiométrico MODIS (Justice *et al.* 2002) y 4) productos climatológicos derivados desde el modelo grillado ERA-Interim (Actual ERA-5) (Berrisford *et al.* 2009).

La herramienta para la obtención de resultados en la actualización del BHN fue el modelo de Capacidad de Infiltración Variable (VIC por sus siglas en inglés), que corresponde a una serie de algoritmos que modelan los balances de energía y agua superficial (Liang *et al.* 1994). Los resultados obtenidos fueron variables vinculadas al ciclo hidrológico claves para el cálculo de balance hídrico: Precipitación, escorrentía, flujo base, humedad de suelo en tres niveles, equivalente de agua de nieve, fracción del área cubierta por nieve, evapotranspiración real y evapotranspiración potencial, que fueron reportados en celdas de red conectadas con dimensiones espaciales de $0,05^{\circ}$ de latitud por $0,05^{\circ}$ longitud (aproximadamente 5x5 km), tomando como base la distribución de estas en CR2Met.

Además de su aplicación en el Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017; 2018; 2019), el modelo VIC se ha utilizado anteriormente para representar los impactos del cambio climático en distintas cuencas hidrográficas en Chile (Demaria *et al.* 2013; Bozkurt *et al.* 2018; Hebel *et al.* 2019), llegando en todos los casos a conclusiones similares sobre una tendencia a la disminución de la disponibilidad de agua (especialmente las contribuciones del deshielo) debido a los incrementos proyectados en temperatura y las reducciones en precipitación. La aplicación del modelo VIC en la región de estudio consideró la calibración de parámetros desde cuencas no intervenidas (régimen natural) con base en el trabajo desarrollado por Alvarez-Garreton *et al.* (2018).

Estas salidas del modelo VIC a partir de los resultados del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017; DGA, 2018; DGA, 2019), se reportaron como series de tiempo tanto para el período de referencia 1985-2015, como para proyecciones climáticas en cuatro Modelos de Circulación General (GCM, por sus siglas en inglés) para el período 2030-2060. Estos modelos climáticos fueron seleccionados bajo tres criterios: 1) correlación de los modelos con el fenómeno de El Niño (ENSO por sus siglas en inglés) y la Oscilación Antártica (AAO por sus siglas en inglés), 2) la sensibilidad climática de cada modelo, medida como la respuesta de la temperatura ante distintos forzamientos radiativos y 3) dispersión entre modelos respecto de los cambios esperados futuros. Con base en aquello, se seleccionaron cuatro modelos: CCSM4, MIROC-ESM (en adelante MIROC), CSIRO-MK-3-6-0 (en adelante CSIRO) e IPSL-CM5A-LR (en adelante IPSL), a los cuales luego se les aplica un procedimiento de downscaling estadístico. Este busca reducir tanto la escala gruesa de los modelos (de entre 0,8 a 2,5° aproximadamente) hacia la de la grilla más fina de CR2Met (0,05°), así como remover el sesgo respecto de las observaciones (Cannon *et al.* 2015). Todos estos modelos fueron seleccionados y operados bajo el escenario RCP8.5³ de la Fase 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5 por sus siglas inglés; Taylor *et al.* 2012). En definitiva, y a nivel práctico, estos modelos fueron seleccionados con base en su capacidad para reproducir las condiciones de gran escala que gobiernan el clima medio y los patrones de variabilidad climática en Chile (DGA, 2017) con un enfoque en la zona centro-sur y austral, dadas las relaciones de los modelos con las oscilaciones ENSO y AAO respectivamente. Esto implica que las capacidades de desempeño de los modelos en la zona norte pueden verse un poco más reducidas con base en lo mencionado, teniendo en cuenta las condiciones de mayor aridez y la baja densidad de observaciones que otorgue robustez a las estimaciones.

A partir de estos datos, se extrajeron para todas las celdas que tengan al menos algún segmento inscrito en la cuenca DARH-CIREN los datos del modelo VIC del BHN para las variables de precipitación, escorrentía, flujo base, evapotranspiración real y evapotranspiración potencial para todo el periodo 1985-2065, a escala diaria. Esta información se agregó para ser representativa a nivel de cuenca mediante la suma de cada uno de los valores respectivos de cada una de las celdas del modelo presentes en la cuenca, ponderadas por el porcentaje de área que cada una de ellas comprende dentro del polígono. De este proceso, se obtiene una serie de tiempo para cada una de las variables tanto para el periodo histórico calibrado (regionalización), como en el periodo histórico + futuro en los cuatro modelos GCM. Finalmente, esta información es agregada a nivel anual a partir de sumas (precipitación, evapotranspiración potencial evapotranspiración

³ En RCP 8.5, las emisiones continúan aumentando durante todo el siglo XXI, en el escenario "business as usual" (negocios como siempre). Desde el Quinto reporte se ha pensado que esto es muy poco probable, pero aún posible, ya que las retroalimentaciones no se comprenden bien.

real) o promedio (escorrentía y flujo base), para por último obtener una media del periodo histórico 1985-2015 y del periodo futuro 2030-2060.

A partir de los datos disponibles, se evalúa la respuesta hidrológica mediante la comparación de ambos escenarios climáticos, a partir el cálculo del cambio esperado porcentual de la variable entre el valor promedio anual para el período de referencia 1985-2015 y el valor promedio anual para el período 2030-2060.

$$\text{Cambio esperado (\%)} = ((VF - VH) \times VH^{-1}) \times 100$$

Donde:

VF: Valor futuro en periodo 2030-2060

VH: Valor histórico en periodo 1985-2015

Con base en lo anterior, se presentan los cambios en mapas de valores promedio anuales y mapas de cambio relativo en los valores respecto del periodo de referencia (1985-2015) para las cuatro variables de interés mencionadas: precipitación (Pp, en milímetros (mm), definida como el promedio de agua caía en la celda de 5x5 Km correspondiente), evapotranspiración potencial (PET, en mm, definida como la cantidad de agua demandada por la atmósfera y que será suplida al no existir restricciones) , evapotranspiración real (ETr, en milímetros, definida como la cantidad real de agua entregada a la atmósfera según las condiciones de suelo y cultivo), y la suma de escorrentía (ESC, en mm, como el agua que escurre en la red de drenaje) y flujo base (FB, en mm, como el caudal que proviene de la descarga de aguas subterráneas). Un valor negativo de la variación (en porcentaje) implica una disminución de la variable en el futuro, mientras que un valor positivo en la variación porcentual implica un aumento hacia el periodo futuro.

Esta representación se hace en una triple superficie comparativa: una es a nivel del entorno del humedal (vale decir las celdas que rodean inmediatamente al polígono definido), a nivel de subcuenca aportante y a nivel de cuenca aportante al humedal.

Resultados

Índice de vulnerabilidad

En Anexos se presentan los resultados para cada parámetro evaluado de los 83 humedales costeros analizados, junto con 115 cartografías de los espejos de agua y los resultados de los cambios esperados en variables del balance hídrico. A modo ilustrativo, se destacan: a) humedal Los Molles, b) Humedal de Pullally y C) Humedal de San Sebastián.

El Humedal de Los Molles, es un estuario de barra cerrada reconocido como Humedal Urbano, que se emplaza en una playa que se encuentra en erosión (Figura 3). Con una altura que separa al humedal del mar superior a 2 m e inferior a 4 (Figura 4). Esto lo convierte en un humedal vulnerable con un riesgo alto (IVHC = 0,88). Se puede observar como en el invierno del año 2022, la playa perdió aproximadamente 0,5 m de altura producto de las marejadas y sobrepasos (Figura 4A y Figura 4C).



Figura 3: Humedal Urbano Los Molles. A) Vista emplazamiento del humedal (naranja), línea de más alta marea (línea roja) y perfiles de topografía (línea azul). B) Acercamiento puntos levantamiento nivel topográfico referidos al NRS. Se puede apreciar en la imagen satelital como el año 2021 el mar ya supera la línea de más alta marea.



Figura 4: Humedal Urbano Los Molles. A) Comparación topografías Abril y Julio 2022. B) Vista de la Playa en el lugar del levantamiento topográfico en Abril 2022. C) Mismo emplazamiento en Julio 2022. Se puede apreciar el efecto de un reciente sobrepaso por marejadas.

El Humedal de Pullally, es un estuario de barra cerrada reconocido como Santuario de La Naturaleza, que se emplaza en una playa que se encuentra en erosión alta (Figura 5). Con una duna que separa al humedal del mar cercana a los 4 metros de altura (Figura 6), esto lo convierte en un humedal vulnerable con un riesgo moderado (IVHC = 0,39). Se puede observar como en el invierno del año 2022, la playa perdió aproximadamente 0,5 m de altura producto de las marejadas (Figura 6A y Figura 6C), pero no experimentó mayores cambios en la zona de antedunas.

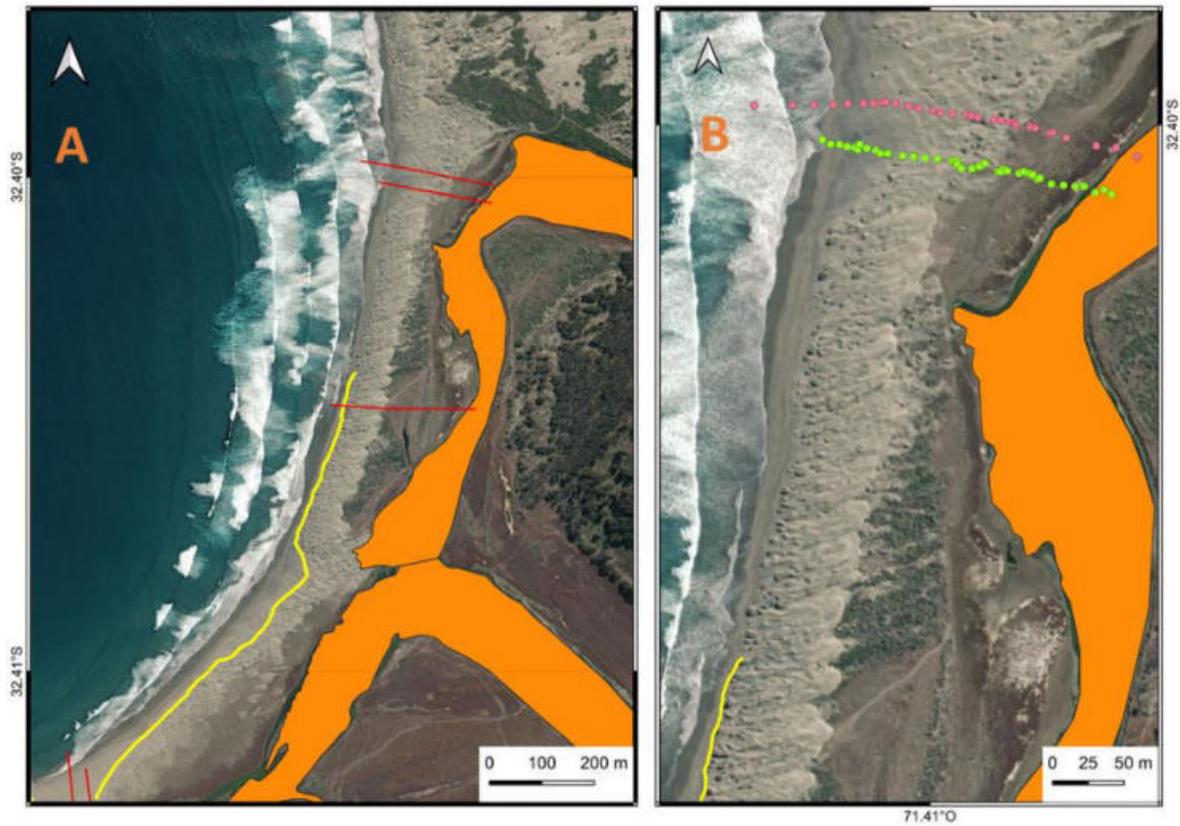


Figura 5: Humedal Pullally. A) Vista emplazamiento del humedal (naranja), línea de playa (línea amarilla) y perfiles de topografía (línea roja). B) Acercamiento puntos levantamiento nivel topográfico referidos al NRS. Se puede apreciar que la línea de playa es coherente con la imagen satelital.

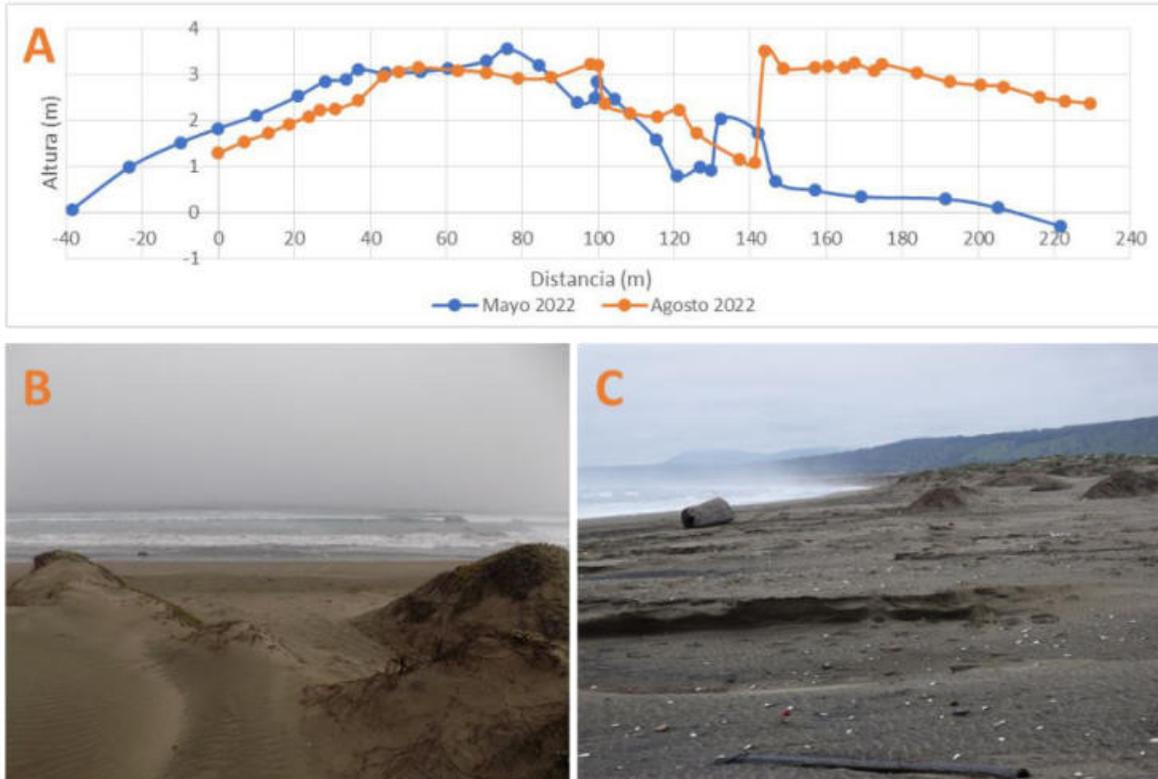


Figura 6: Humedal de Pullally. A) Comparación topografías Mayo y Agosto 2022. B) Vista de la Playa en el lugar del levantamiento topográfico en Mayo 2022. C) Mismo emplazamiento en Agosto 2022. Se puede apreciar el efecto de erosión en la playa por marejadas.

El Humedal de San Sebastián, es un estuario de barra cerrada reconocido como Humedal Urbano y RENAMU, que se emplaza en una playa que se encuentra en erosión alta y antropizada (Figura 7). Con una altura que separa al humedal del mar cercana a los 3 metros (Figura 8). Esto lo convierte en un humedal vulnerable con un riesgo alto (IVHC = 0,74). Se puede observar como en la época invernal, la playa pierde su anteduna producto de las marejadas (Figura 8A y Figura 8C).



Figura 7: Humedal San Sebastián. A) Vista emplazamiento del humedal (naranja), línea de playa (línea amarilla) y perfiles de topografía (línea roja). B) Acercamiento puntos levantamiento nivel topográfico referidos al NRS. De la imagen satelital, se puede apreciar un severo proceso erosivo inmediatamente al norte de la desembocadura del estuario.

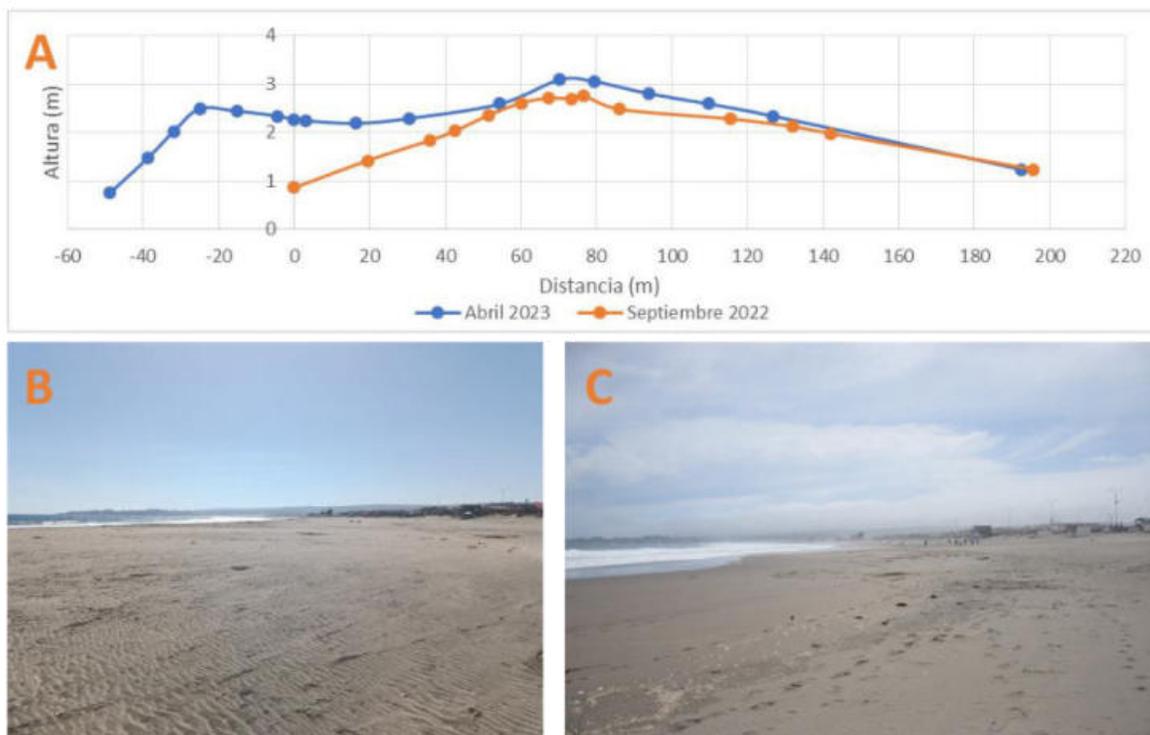


Figura 8: Humedal de San Sebastián. A) Comparación topografías Abril 2023 y Septiembre 2022. B) Vista de la Playa en el lugar del levantamiento topográfico en Abril 2023. C) Mismo emplazamiento en Septiembre 2023. Se puede apreciar el efecto de erosión en la playa por marejadas.

Se destaca las diferencias considerables en los espejos de agua, de hasta 3 órdenes de magnitud diferentes (Figura 10). Por lo que el índice de vulnerabilidad de humedales costeros (IVHC) propuesto, incorpora el tamaño de los humedales (superficie de espejos de agua y hectáreas), mediante una fórmula logarítmica: $\text{índice_superficie} = 1 - \ln(\text{superficie humedal}) / \ln(\text{superficie máxima encontrada})$. Esto permite distribuir mejor los resultados alcanzados.

El cálculo del índice muestra que las mayores vulnerabilidades se encuentran entre las latitudes 26 y 34°S (Chañaral a Pichilemu), es decir un área predominantemente semi-árida a mediterránea y con estacionalidades bien marcadas.

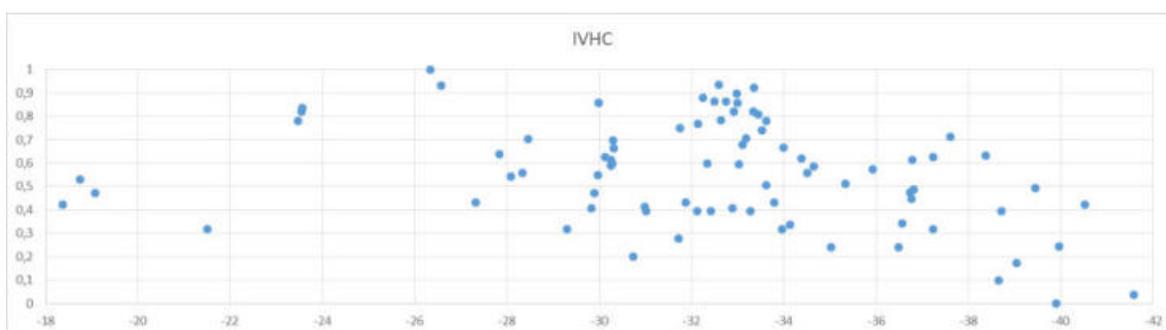


Figura 9: Distribución latitudinal de los resultados de Índice de Vulnerabilidad de Humedales Costeros. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que el humedal más vulnerable es el humedal de Chañaral, mientras que el humedal con menor vulnerabilidad es la desembocadura del río Valdivia (Figura 5). En promedio la vulnerabilidad resultó ser 0,56, con una desviación estándar 0,22, lo que indica que existe un mayor sesgo hacia la vulnerabilidad (la mayoría de los humedales costeros analizados son vulnerables). La totalidad de las lagunas costeras tienen vulnerabilidades mayores a 0,8, reafirmando la extrema sensibilidad de estos sistemas. Las desembocaduras de ríos con grandes caudales (Biobío, Valdivia, Maullín), destacan por su baja vulnerabilidad.

De los 83 humedales analizados, 4 resultan tener vulnerabilidad inferior a 0,2; mientras que 30 tienen vulnerabilidad entre 0,2 y 0,5; 33 tienen vulnerabilidad entre 0,5 y 0,8; 16 humedales costeros tienen vulnerabilidades mayores a 0,8; y destacan 3 humedales con vulnerabilidades superiores a 0,9.

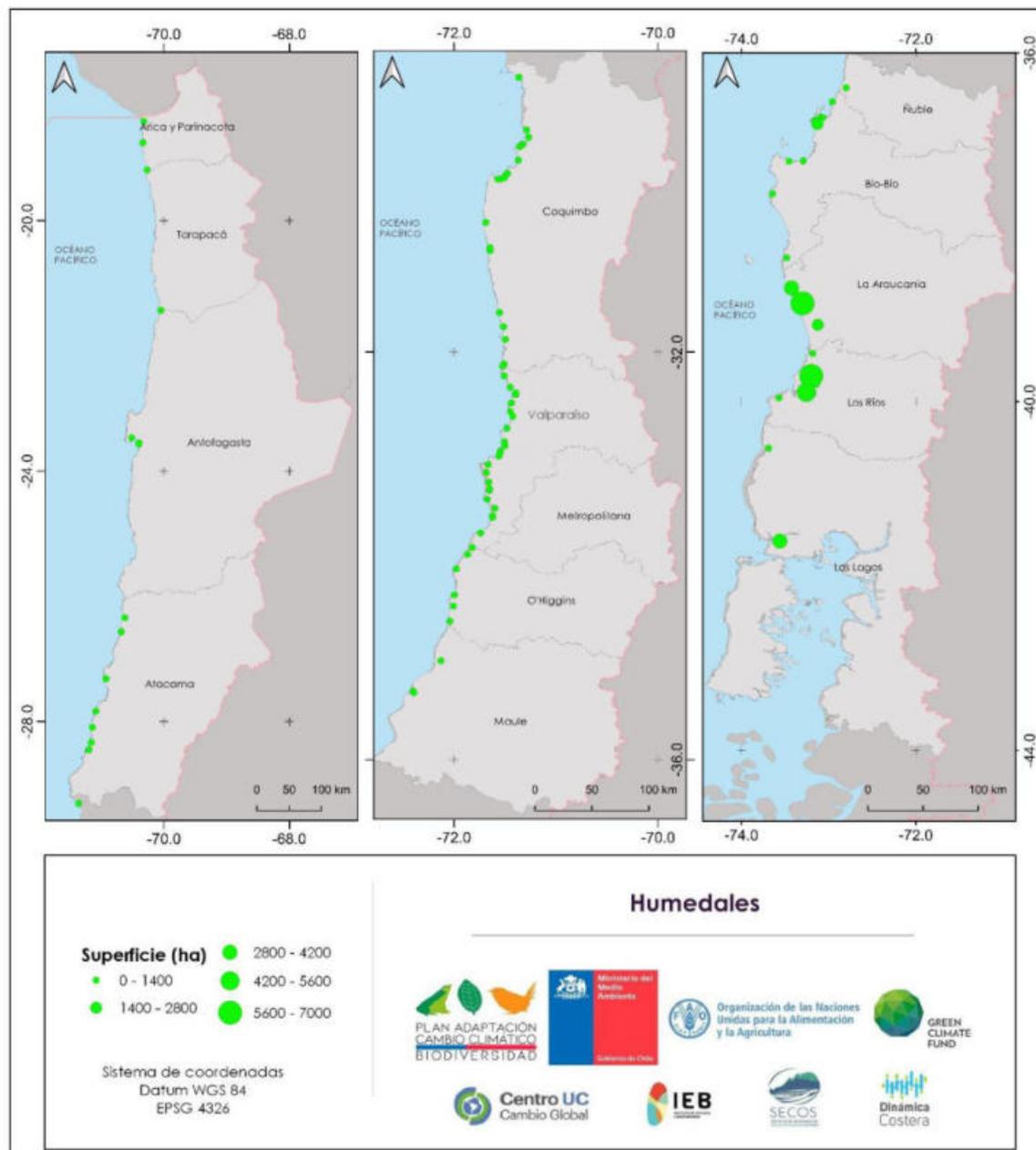


Figura 10: Distribución del tamaño de los espejos de agua de los humedales analizados. Fuente: Elaboración propia.

A

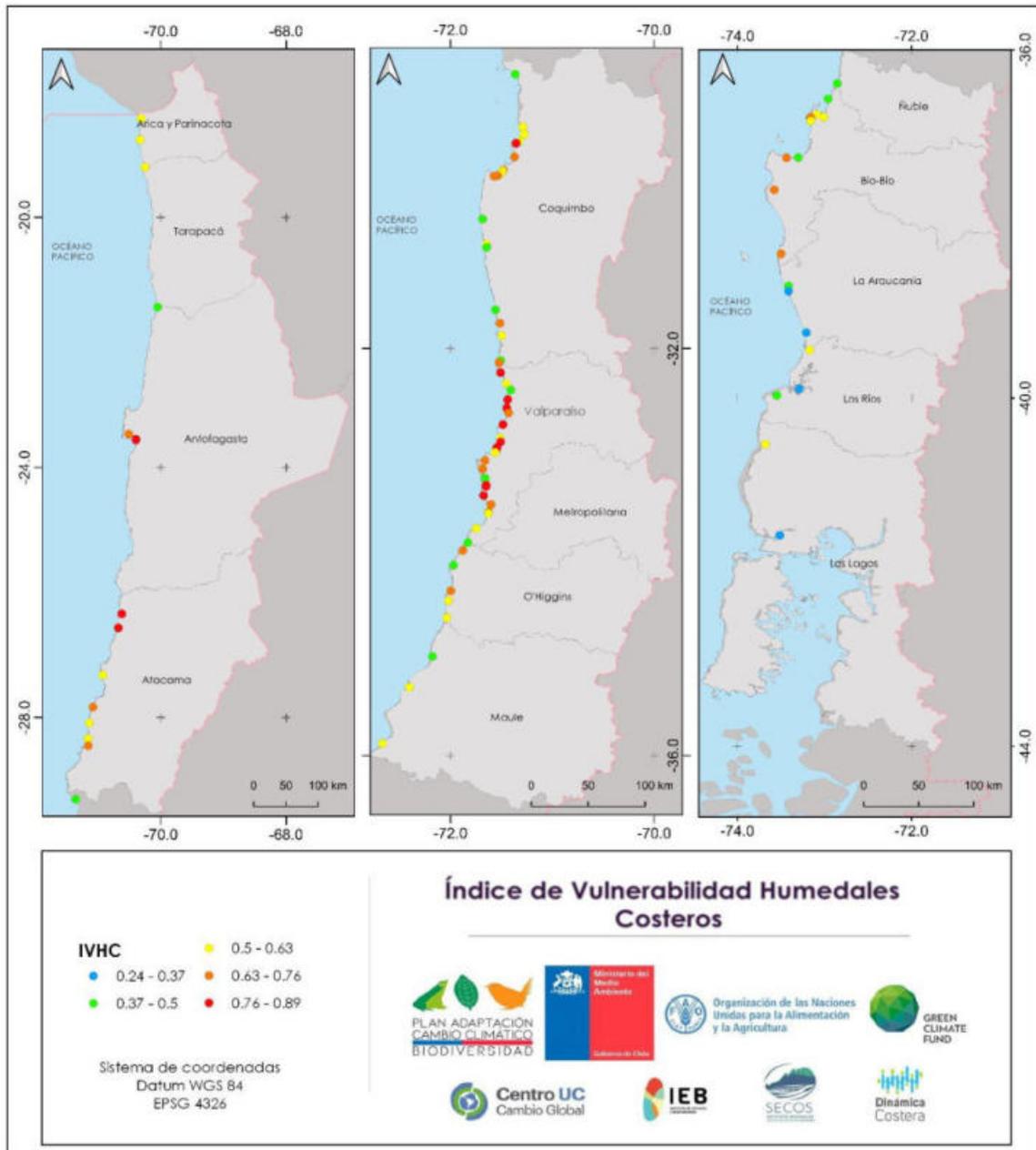


Figura 11: Resultados aplicación del índice de vulnerabilidad de humedales costeros a los 83 humedales representativos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

Análisis de amenaza climática

Los resultados indican que el cambio climático es un factor relevante a considerar en los humedales estudiados. Se analizaron los resultados de cada modelo por separado, así como el promedio de estos tanto a nivel nacional como por macrozona, según la clasificación del Atlas del Agua (DGA, 2016) que fue la utilizada en el BH. El análisis nacional considera el promedio de las proyecciones del entorno de los 23 humedales priorizados, mientras que el por macrozona considera el promedio de las proyecciones del entorno de los 52 humedales filtrados en primera instancia (en el Anexo A2 se presenta una tabla con la macrozona a la que pertenece cada humedal). Los resultados se muestran en las Tabla 1 a la Tabla 4.

Todos los modelos proyectan una disminución de precipitación, ETr y flujo base más escorrentía y, un aumento de la PET. El aumento de PET fue homogéneo para todos los modelos en cada macrozona y a nivel nacional, con una desviación estándar de 0,37%. Sin embargo, el promedio del aumento es de un orden de magnitud menor a la disminución de la precipitación.

El flujo base más escorrentía fue la variable con más variabilidad entre modelos tanto a nivel de macrozona, con una desviación estándar por macrozona promedio de 11,21 %, como a nivel nacional con una desviación estándar del 9,65% y, con mayor variabilidad entre macrozonas para cada modelo, con una desviación estándar promedio de 14,66%.

El modelo CSIRO presenta los menores cambios a nivel nacional para la disminución de precipitación, ETr y flujo base más escorrentía.

Se aprecia de forma generalizada en todos los humedales (ver Anexo A3), una reducción de las precipitaciones, con variaciones promedio de 13,12% del total de agua caída respecto del periodo 1985-2015. En el caso de la evapotranspiración real ocurre algo similar ya que existe menos agua disponible para ser evaporada o transpirada hacia la atmósfera, con una reducción media de 10,55%. No obstante, si la cuenca aportante tiene su origen en la cordillera, se espera que en estas zonas las evapotranspiraciones aumenten, principalmente por mayor disponibilidad de agua por precipitaciones carácter líquido en vez de sólido. En el caso del escurrimiento y flujo base, se espera una señal similar a las anteriores con ciertas excepciones específicas como el humedal Huasco, donde se prevé que en la subcuenca del río Huasco existan aumentos en la escorrentía hacia 2060. Finalmente, dados los aumentos en temperatura, es esperable que la evapotranspiración potencial aumente, dada la mayor demanda de la atmósfera. No obstante, la magnitud de este cambio es leve, entre 1,15% y 1,97%. La Figura 12 a la Figura 15 muestra estos cambios para el humedal del río Mataquito, a modo de ejemplo. El detalle de estos cambios para 24 humedales priorizados, a partir de que incluyen el detalle del espejo de agua más cambios en variables del balance hídrico evaluadas, se encuentran en el Anexo A3.

Tabla 1. Cambios esperados (%), para el periodo 2030-2060 respecto de 1985-2015 de la evapotranspiración real, en el entorno de los humedales a nivel nacional y de macrozona, para los cuatro modelos reportados en la actualización del Balance Hídrico Nacional.

	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	Promedio
Norte	-8.01	-6.61	-20.72	-20.72	-14.01
Centro	-9.40	-4.74	-11.48	-15.47	-10.27
Sur	-8.57	-5.42	-9.45	-10.00	-8.36
Nacional	-8.35	-5.91	-13.54	-14.41	-10.55

Tabla 2. Cambios esperados (%), para el periodo 2030-2060 respecto de 1985-2015 del flujo base más la escorrentía, en el entorno de los humedales a nivel nacional y de macrozona, para los cuatro modelos reportados en la actualización del Balance Hídrico Nacional.

	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	Promedio
Norte	-6.03	25.15	12.42	-4.12	-10.32
Centro	-32.49	-3.09	-23.80	-20.20	-19.89
Sur	-20.80	-6.59	-19.80	-13.82	-15.25
Nacional	-17.83	5.03	-9.69	-11.34	-14.18

Tabla 3. Cambios esperados (%), para el periodo 2030-2060 respecto de 1985-2015 de la evapotranspiración potencial, en el entorno de los humedales a nivel nacional y de macrozona, para los cuatro modelos reportados en la actualización del Balance Hídrico Nacional.

	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	Promedio
Norte	0.68	0.78	0.60	1.16	0.81
Centro	0.73	0.67	0.82	0.94	0.79
Sur	1.71	1.49	3.12	1.83	2.04
Nacional	1.25	1.15	1.97	1.49	1.46

Tabla 4. Cambios esperados (%), para el periodo 2030-2060 respecto de 1985-2015 de la precipitación, en el entorno de los humedales a nivel nacional y de macrozona, para los cuatro modelos reportados en la actualización del Balance Hídrico Nacional.

	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	Promedio
Norte	-14.01	-5.25	-21.53	-21.56	-15.59
Centro	-16.54	-5.15	-15.37	-17.41	-13.62
Sur	-13.94	-6.08	-14.32	-11.91	-11.56
Nacional	-14.08	-5.74	-16.79	-15.87	-13.12

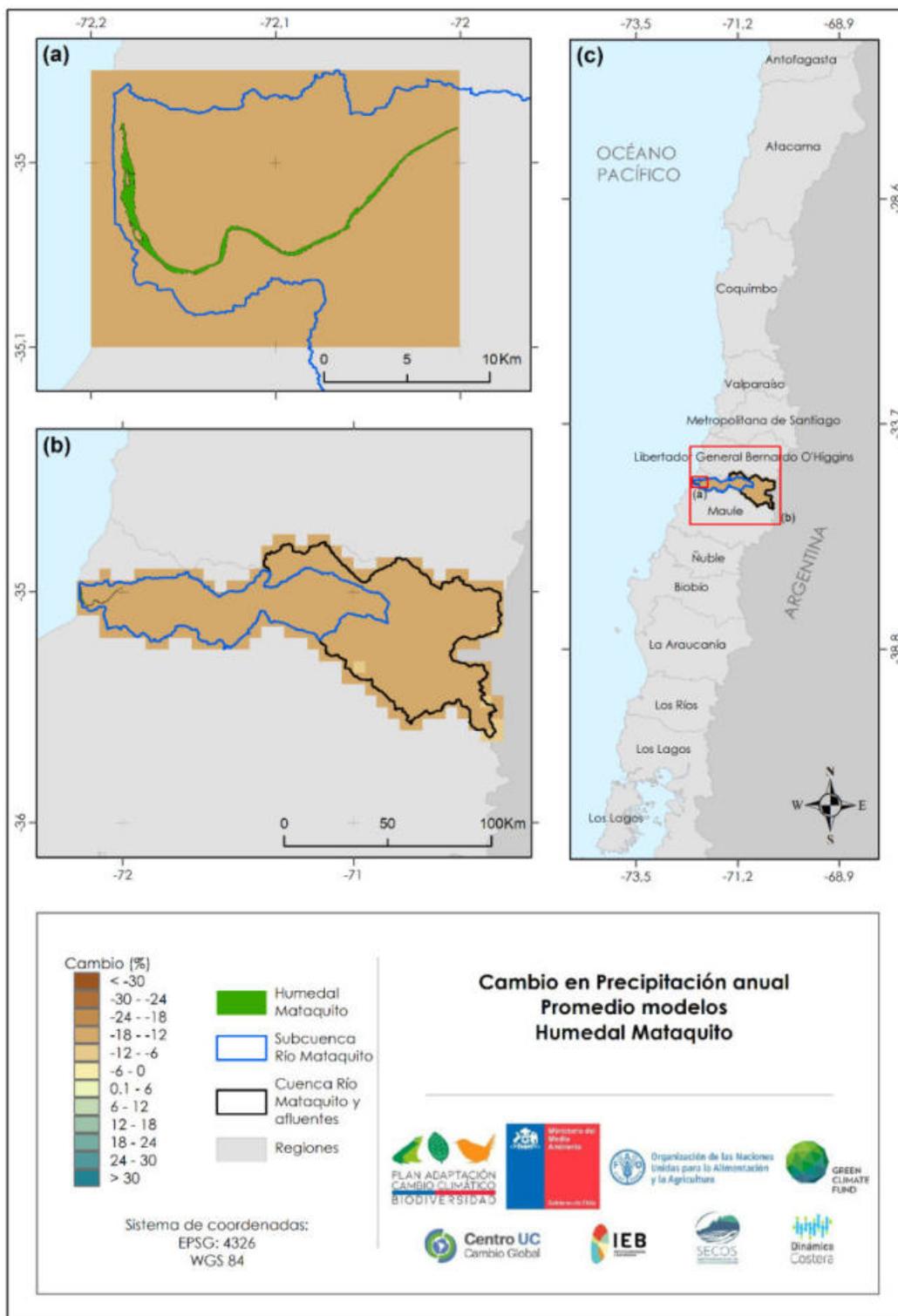


Figura 12: Cambios en precipitación media anual para humedal Mataquito para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

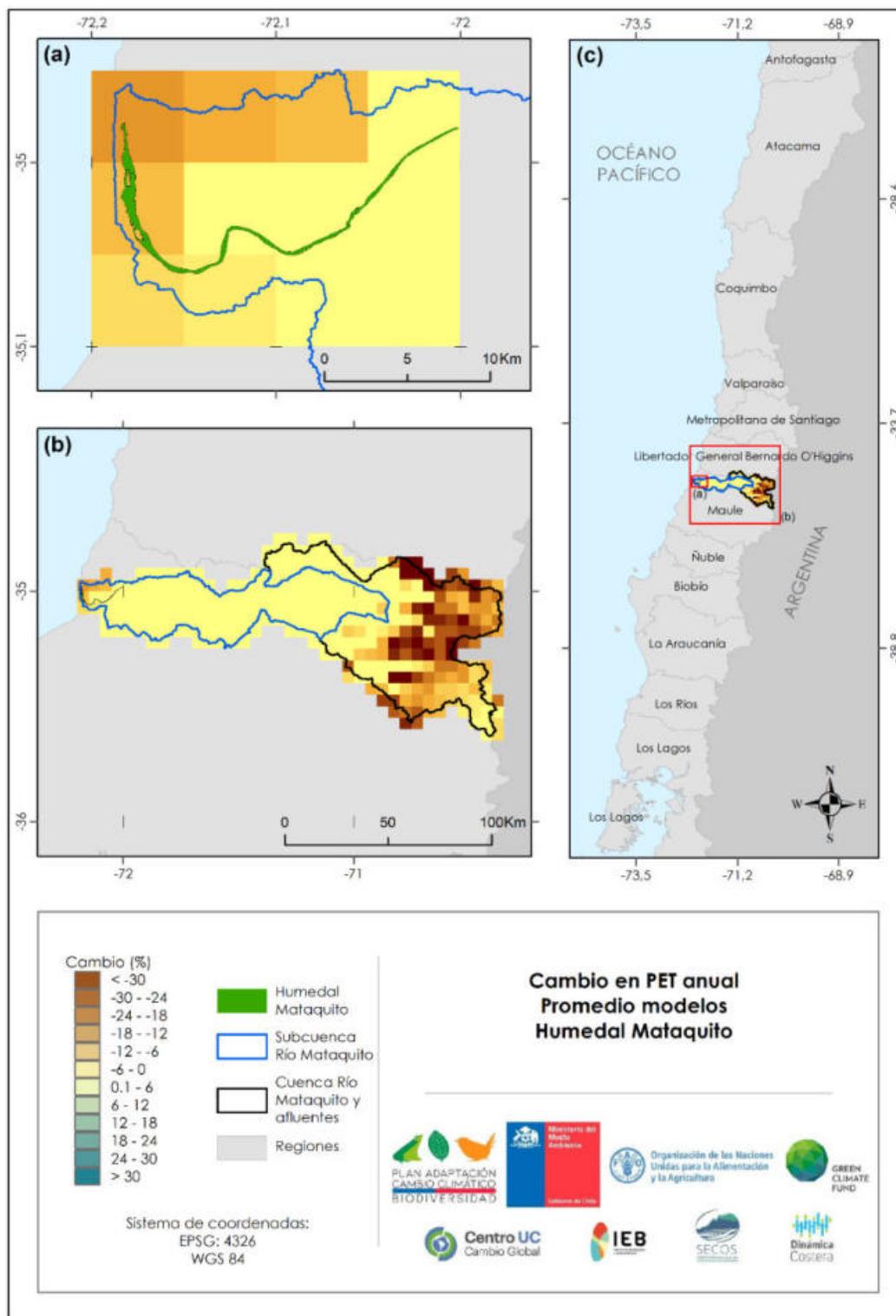


Figura 13: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Mataquito para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

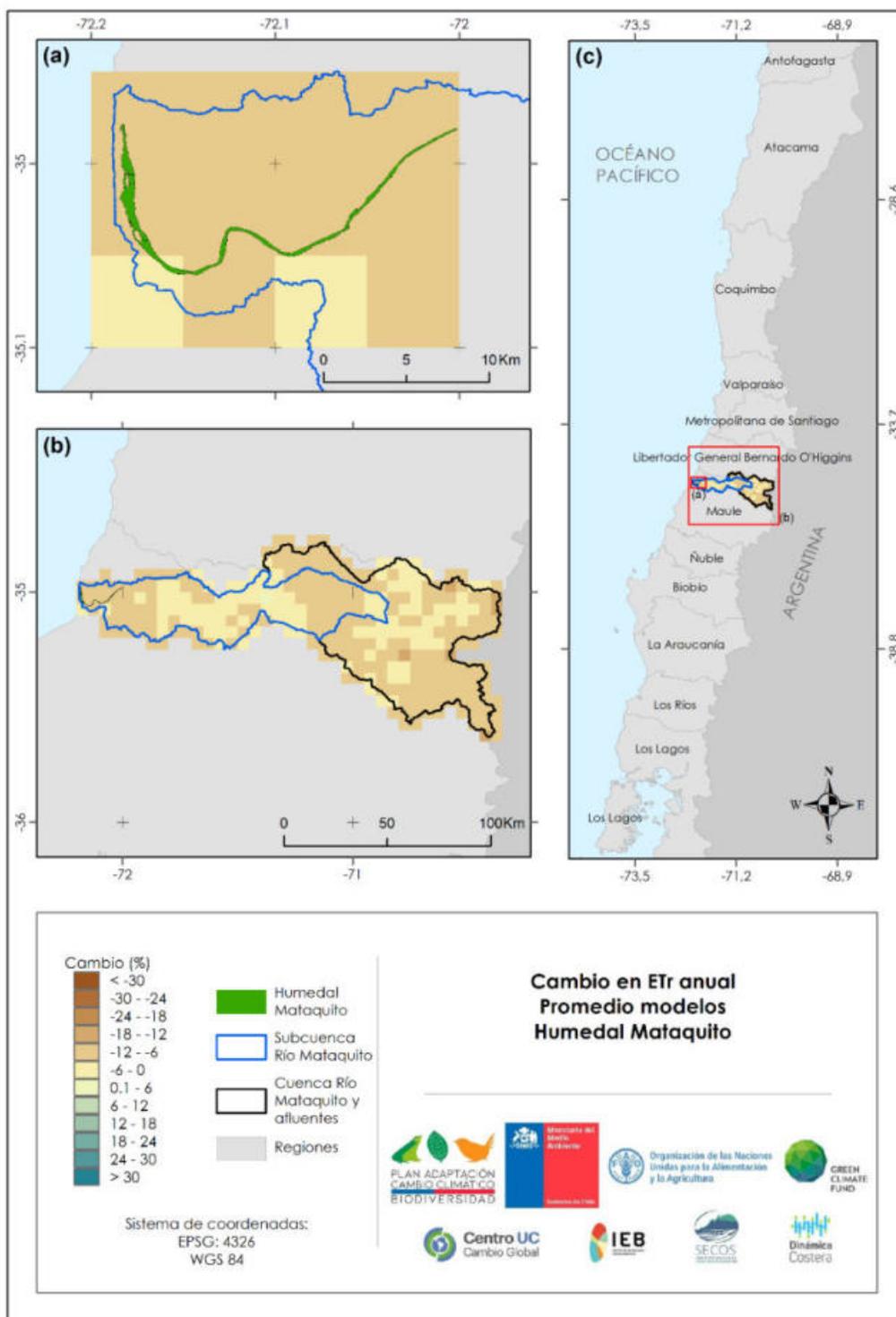


Figura 14: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal Mataquito para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

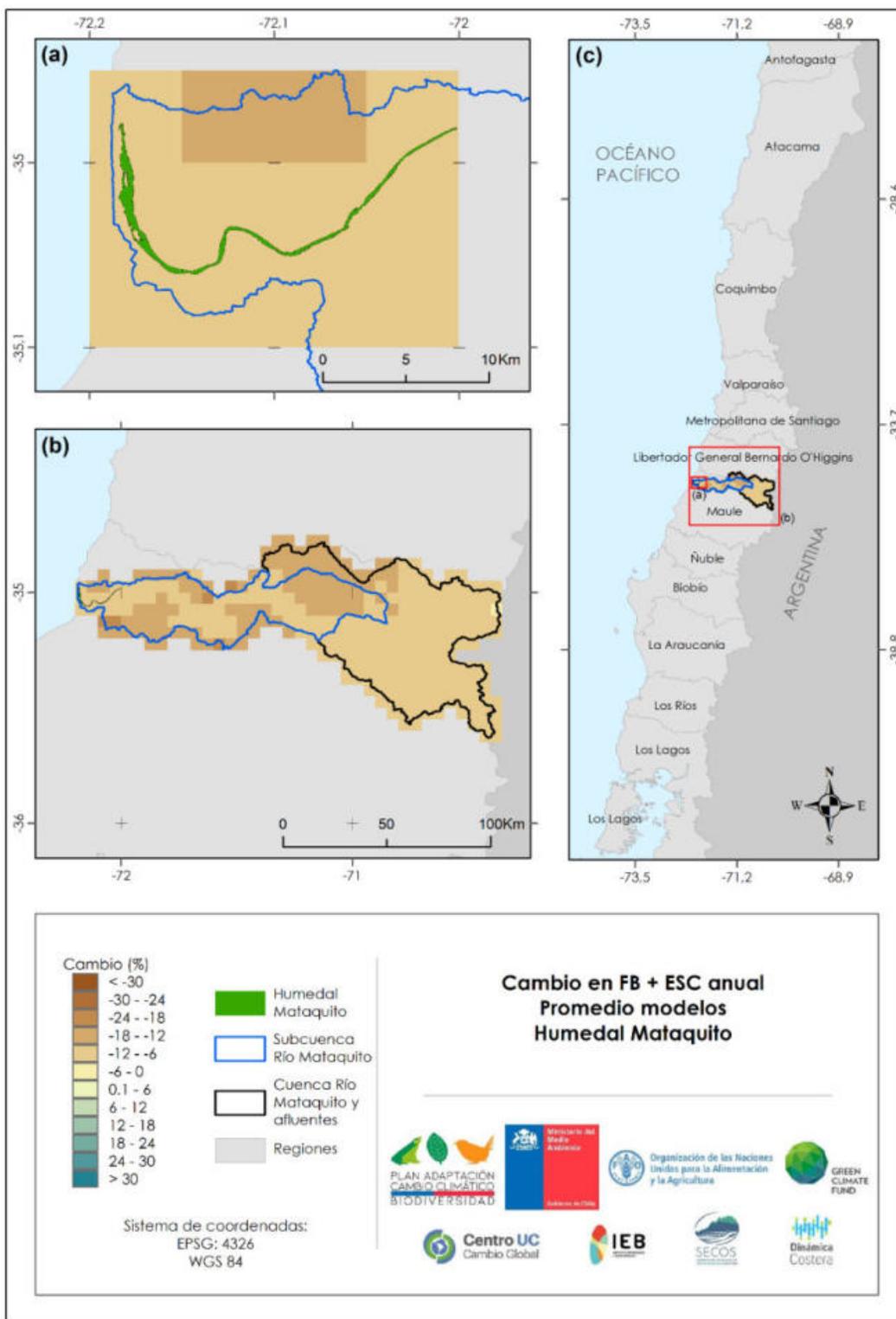


Figura 15: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Mataquito para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Los humedales costeros son frágiles ambientes que definen sus condiciones de acuerdo con la mezcla entre agua marina y dulce. En forma histórica muchos de los humedales de Chile central se conectaban con el mar a fines de invierno – comienzo de primavera debido a que el incremento de agua dulce por precipitaciones, sobre cierto umbral, propiciaba el rompimiento de la barra de arena que lo separa del mar. Así el agua mayoritariamente dulce se vaciaba en el mar y la apertura de la barra iniciaba un completo proceso de intercambio con el agua marina, modulado por las mareas. En años normales, los humedales permanecían desconectados durante el resto del año. Ocasionalmente – producto de una marejada extrema – recibían aportes de agua marina, mediante sobrepasos, es decir ingresos de lenguas de agua marina de las olas más altas en pleamar. Estos sobrepasos solían ocurrir durante el invierno (junio a agosto) y en algunas ocasiones en verano (diciembre a febrero), producto de las marejadas tipo *swell* originadas en lejanas tormentas del invierno del hemisferio norte, que se propagaban a lo largo del océano Pacífico hasta llegar a nuestras costas. El aumento de la temperatura ambiente y la reducción de las precipitaciones está provocando que los humedales cada vez con mayor frecuencia no se abran ni conecten con el mar en la época fines de invierno – comienzos de primavera: el agua dulce no logra alcanzar el umbral que permite el rompimiento de la barra, entonces no se produce la conexión que facilita procesos de intercambios con agua marina bajo la modulación de las mareas. Esto se vería potenciado por efecto de la reducción en la disponibilidad de agua por precipitaciones y aquellas que provengan directamente del escurrimiento, producto del cambio climático. Por otra parte, como consecuencia del aumento de los eventos extremos de oleaje (marejadas), cada vez con mayor frecuencia ocurren sobrepasos, ingresando lenguas de agua marina en cualquier época del año, incluyendo la época de otoño, donde esto no ocurría históricamente. Así, el impacto del cambio climático sobre los humedales costeros del país ha implicado un cambio de régimen de conexión con el mar que incluyen:

- En otoño, se producen aportes de agua marina, lo que no ocurría anteriormente.
- En invierno, los aportes de agua marina se han incrementado.
- En primavera, la conexión y reinicio del sistema producto de la mezcla con el agua marina y la descarga del agua del humedal, se ha transformado en un ingreso de agua marina, no produciéndose la salida de agua del humedal al mar.
- En verano, los aportes de agua marina se han incrementado.
- A nivel anual, existirá menos disponibilidad de agua dulce directamente en los humedales y en la mayoría de las subcuencas y cuencas aportantes.

Es decir, al disminuir el aporte de agua dulce e incrementarse el aporte de agua marina, se propicia el aumento de la salinidad del cuerpo de agua asociado al humedal. Además, el aumento de la temperatura ambiente favorece la evaporación del agua del humedal, por incrementos en la demanda de agua desde la atmósfera (PET), la que se retira dejando la salinidad – de mayor peso – en el agua que no se evapora. Poco a poco los humedales incrementan así su salinidad y como no ocurre la conexión y mezcla con agua marina, este incremento paulatino de la salinidad produce que el humedal se transforme en un cuerpo de agua hipersalino. Los humedales costeros así están mutando de cuerpos de agua salobres, conformados por una mayor proporción de agua dulce, en cuerpos de agua donde la salinidad marina es preponderante. En la actualidad es común registrar salinidades en humedales costeros que duplican la salinidad presente en el mar.

Cambios en el régimen de conexión de los humedales costeros con el mar y un aumento paulatino de la salinidad, favorecen el ingreso de nuevas especies adaptadas a estos ambientes más salinos, estresando a las especies que estaban adaptadas a un ambiente más dulce. Por lo tanto, los humedales están cambiando su biota asociada.

En la medida que las condiciones climáticas se extremen, vale decir, en la medida que disminuyan los aportes de agua dulce por reducción de las precipitaciones y escorrentías y pérdidas por evapotranspiración dado una mayor demanda por aumentos de temperatura, se espera que los humedales costeros disminuyan aún más sus volúmenes de agua dulce y sean afectados con mayor frecuencia por ingresos esporádicos de agua marina.

Se estima que los humedales costeros son el sistema natural más vulnerable al cambio climático en las macrozonas Norte, Centro y Sur de Chile. Entre ellos, destacan las desembocaduras de estuarios, es decir cuerpos de aguas semi-cerrados donde aguas continentales interactúan con el mar, principalmente a través de la propagación de las ondas de marea y las plumas de dispersión. La amenaza de los humedales costeros estuarinos está representada por el cambio en el potencial de hidrógeno (pH), generándose acidificación que puede alterar a la biota; el aumento de la temperatura y la consecuente disminución del oxígeno en la columna de agua; la disminución de precipitaciones que disminuye el aporte de agua dulce y el incremento del nivel del mar y al frecuencia de marejadas, que incrementa el % de agua marina en el humedal costero, alterando la composición de la columna de agua y afectando así a la biota. Además, a los efectos anteriores se añaden los cambios en las tasas de evapotranspiración del humedal y los aportes a estos a partir de la escorrentía. Esto genera una degradación del humedal que se expresa en una disminución del espejo de agua, cambio de especies presentes, entre otros (Figura 10).

El análisis de los cambios en la precipitación anual de las cuencas aportantes proyectada a mediados de siglo, se ilustra en este trabajo para un subconjunto de

los humedales analizados, debido a que algunos humedales comparten la misma cuenca, su pequeño tamaño impide un análisis certero, o bien la cercanía entre humedales colindantes hace que no se aprecien diferencias significativas. Es así que se seleccionó un conjunto representativo latitudinalmente desde Arica a Chiloé de 24 humedales para los cuales se incluyen en Anexo A3 las proyecciones de cambio de la Evapotranspiración Potencial, Evapotranspiración real y los cambios proyectados del Flujo base más la Escorrentía media anual. Estos resultados complementan el índice de vulnerabilidad de humedales costeros, al otorgar una visión de los cambios proyectados en la disponibilidad de agua dulce.

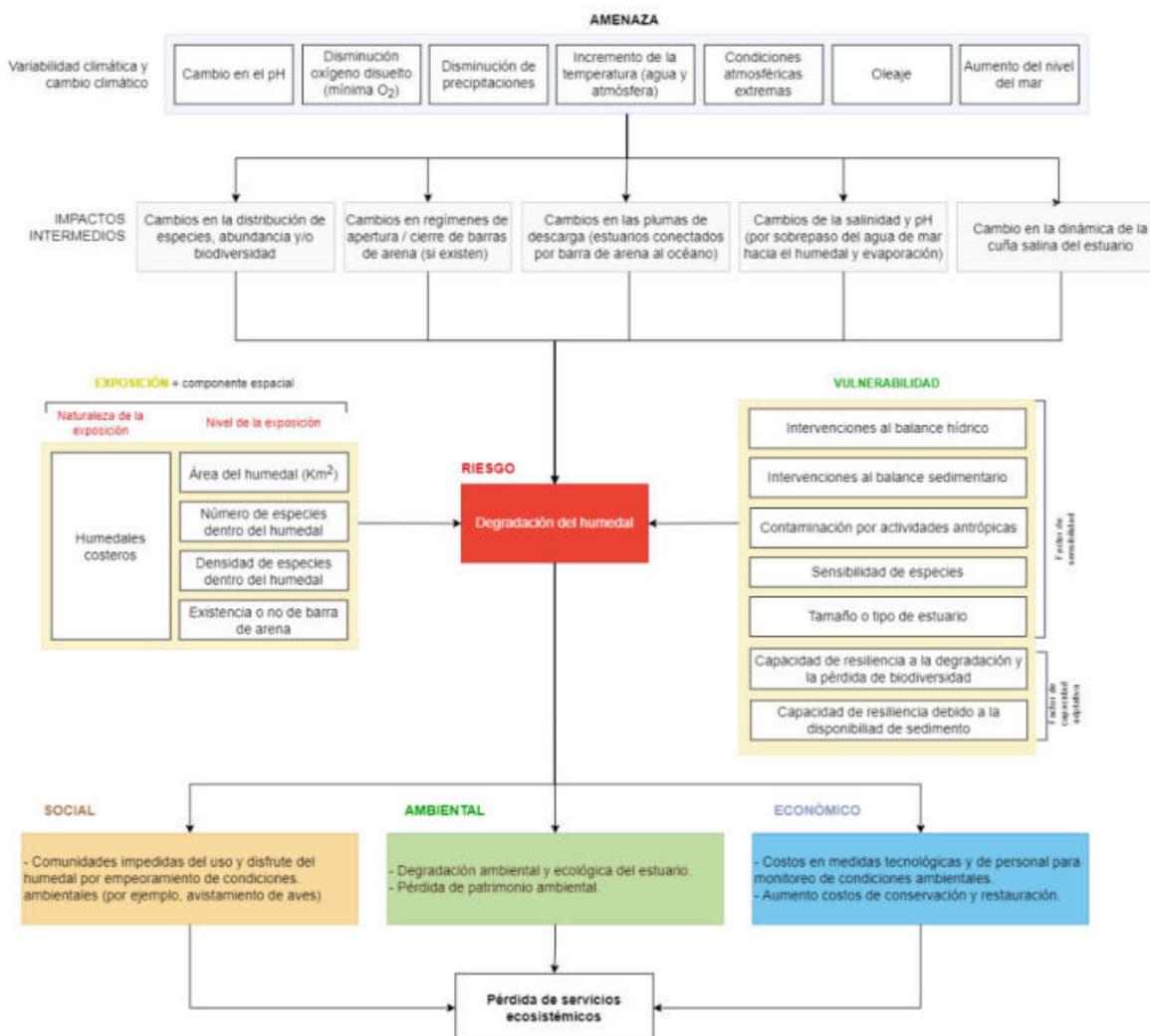


Figura 16: Cadena de impacto de la degradación ambiental de un humedal costero estuarino.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

La mayoría de los 83 humedales costeros analizados resultaron ser vulnerables (37,9%) o altamente vulnerables (22,9%). Con vulnerabilidad moderada, se encuentran el 34,5% de los humedales analizados y con escasa vulnerabilidad, solo el 4,5%. Es decir, los humedales costeros de Chile son ambientes vulnerables al cambio climático, dentro de ellos, destacan las lagunas costeras (mayor vulnerabilidad); mientras que las desembocaduras de los ríos con caudales importantes tienden a tener menor vulnerabilidad. El humedal más vulnerable es el humedal de Chañaral, mientras que el menos vulnerable, resultó ser la desembocadura del río Valdivia.

Los humedales con mayor vulnerabilidad se encuentran entre las latitudes 26 y 34°S (Chañaral a Pichilemu).

Por su parte, los cambios esperados en la disponibilidad hídricas medido como cambios en la precipitación, la Escorrentía + Flujo base, la evapotranspiración real y la evapotranspiración potencial, indican que transversalmente los 23 humedales totales analizados en este análisis tienen a una disminución en la magnitud de estas variables, lo que puede tener un impacto significativo tanto en su presencia como en el servicio ecosistémico que brindan.

Análisis de brechas

Se identifican tres tipos de brechas para los humedales costeros de Chile: a) de Información, b) de gestión, y c) de planificación y adaptación.

- a) **Brecha de Información:** Si bien en Chile existen más de 1.500 humedales costeros, solo se cuenta con información suficiente para evaluar la vulnerabilidad en 83 de ellos, es decir solo un 5,5% del total. Los humedales son ambientes frágiles y cambiantes, por lo que es necesario implementar redes de monitoreo, las que pueden ser llevadas a cabo con el seguimiento de variables cualitativas y listas de chequeo, pero que necesariamente deben ser levantadas en terreno. Si bien la teledetección ofrece la posibilidad de levantar información en amplios rangos territoriales a bajo costo, mediante el cálculo de índices como el NDWI o el NDVI, propiciando la existencia del inventario de humedales, esto debe ser complementado con confirmación en terreno de lo que se está detectando. Además, es necesario realizar seguimientos en el tiempo de algunos humedales representativos para constatar la existencia de cambios en la fenología y/o estacionalidad de estos cuerpos de agua. Junto con la anterior, la modelación climática y sus resultados juegan un rol clave, y las brechas de conocimiento y disponibilidad de información son claves para comprender también la baja magnitud de caracterizaciones que se pueden realizar. En ese sentido, los trabajos para la modelación de humedales y escalas especiales finas son escasos, siendo el principal la actualización del Balance Hídrico Nacional.
- b) **Brecha de Gestión:** una fracción importante de los humedales costeros se encuentran sin una figura de protección, esto es especialmente notorio en Chile central. Sin bien en los últimos años, la ley de humedales urbanos ha permitido el reconocimiento de la existencia y delimitación de humedales, no se debe perder de vista que estas declaratorias deben ser acompañadas de planes de gestión y el financiamiento adecuado para materializar las acciones identificadas y el cumplimiento de metas en restauración, conservación y protección. Es importante también complementar las figuras de protección de los humedales costeros sobre tierra (terrenos playa y áreas interiores), con figuras de protección marinas que permitan la protección de la playa y la costa inmediata a los humedales. Al no existir una figura de protección de las dunas, se omite también la protección de estos ambientes que suelen estar vinculados con la biodiversidad de los humedales costeros. Se necesita avanzar así en figuras de protección más integrales, y la implementación de recursos de inversión en los humedales, que permitan sustentar en el tiempo su gestión y conservación.
- c) **Brecha de Planificación y Adaptación:** actualmente una cantidad importante de humedales costeros urbanos se encuentran antropizados,

con intervenciones en sus riberas y álveos, esto rigidiza la posibilidad de adaptación natural de los humedales y en la medida que aumente el nivel y los eventos extremos de oleaje (marejadas), estos humedales costeros serán especialmente afectados. Es por ello que se debe incorporar medidas de adaptación en los planes de gestión de los humedales urbanos que consideren diferentes proyecciones y escenarios de cambio climático.

Referencias

- Alvarez-Garretón C, Mendoza PA, Boisier JP, Addor N, Galleguillos M, Zambrano-Bigiarini M, ... & Ayala A (2018) The CAMELS-CL dataset: catchment attributes and meteorology for large sample studies–Chile dataset. *Hydrology and Earth System Sciences* 22(11): 5817-5846.
- Berrisford P, Dee DPKF, Fielding K, Fuentes M, Kallberg P, Kobayashi S & Uppala S (2009) The ERA-interim archive. ERA report series (1): 1-16.
- Boisier JP, Alvarez-Garretón C, Cepeda J, Osses A, Vásquez N & Rondanelli R (2018, April) CR2MET: A high-resolution precipitation and temperature dataset for hydroclimatic research in Chile. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 19739).
- Bozkurt D, Rojas M, Boisier JP & Valdivieso J (2018) Projected hydroclimate changes over Andean basins in central Chile from downscaled CMIP5 models under the low and high emission scenarios. *Climatic Change* 150, 131–147. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2246-7>
- Cannon AJ, Sobie SR & Murdock TQ (2015) Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *J. Climate* 28(17): 6938-6959, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>
- Contreras-López M, Figueroa-Sterquel R, Salcedo-Castro J, Vergara-Cortés H, Zuleta C, Bravo V, Piñones C, Cortés-Molina F (2017a) "Vulnerabilidad de humedales y dunas litorales en Chile central" En Botello A, Villanueva S, Gutiérrez J y Rojas JL (eds.) *Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático*, Editorial Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) - Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) - Universidad Autónoma de Campeche (UAC), 227-246.
- Contreras-López M, Robles M, Salcedo-Castro J, Arumí JL, & Zuleta-Ramos C (2019). *Clima e Hidrografía de los humedales costeros de la Región de Coquimbo*. En Zuleta-Ramos C. & Contreras-López M. (eds.) *Humedales Costeros de la Región de Coquimbo: Biodiversidad, Vulnerabilidades & Conservación*. Ediciones Universidad de La Serena-Ministerio del Medio Ambiente, La Serena, Chile, pp. 30 - 59. (en prensa)
- Contreras-López M, Salcedo-Castro J & Larraguibel C (2021 a) Forzantes marítimos y atmosféricos que definen el clima y la hidrología del Humedal de Mantagua. En: Flores-Toro L, Contreras-López M, Figueroa R & Arenas A (eds) *Humedal costero de Mantagua. Un lugar para la conservación de la biodiversidad en Chile Central*, Ediciones Universitarias de Valparaíso, En prensa.
- Contreras-López M, Salcedo-Castro J, Cortés-Molina F, Figueroa-Nagel P, Vergara-Cortés H, Figueroa-Sterquel R & Mizobe CE (2017b) El Yali National Reserve: A system of coastal wetlands in the Southern Hemisphere affected by contemporary climate change and tsunamis. In: Finkl CW & Makowski C (eds) *Coastal Research Library (CRL) Coastal Wetlands: Alteration and Remediation*, 243-271. DOI: 10.1007/978-3-319-56179-0_8.
- Contreras-López M, Torres R & Cevallos J (2017) "Tendencias del Nivel Medio del Mar en el litoral del Pacífico Sur Oriental" En Botello A, Villanueva S, Gutiérrez J y

- Rojas JL (eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático, Editorial Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) - Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) - Universidad Autónoma de Campeche (UAC), 165-176.
- Contreras-López M, Zuleta C, Salcedo-Castro J & Larraguibel C (2021b) Impactos y Vulnerabilidad del Humedal de Mantagua en el contexto de Cambio Climático. En: Flores-Toro L, Contreras-López M, Figueroa R & Arenas A (eds) Humedal costero de Mantagua. Un lugar para la conservación de la biodiversidad en Chile Central, Ediciones Universitarias de Valparaíso, En prensa.
- Contreras-López M, Zuleta Ramos C, Bravo Naranjo V, Cea Villablanca A, Larraguibel González C, Salcedo Castro J & Pastén Marambio V (2020). Capítulo 13: Humedal El Teniente. En: Zuleta-Ramos C & Bravo-Naranjo V (eds) Atlas Humedales Costeros de Coquimbo: Territorio & Biodiversidad, Ediciones Universidad de La Serena, pp. 165 – 177.
- Demaria E, Maurer E, Thrasher B, Vicuña S & Meza FJ (2013) Climate change impacts on an alpine watershed in Chile: do new model projections change the story?, *Journal of Hydrology* 502: 128-138.
- Dirección General de Aguas (DGA) (1987). Balance Hídrico de Chile.
- Dirección General de Aguas (DGA) (2016). Atlas del Agua: Chile 2016
- Dirección General de Aguas (DGA) (2017). Actualización del Balance Hídrico Nacional, SIT N° 417, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: Universidad de Chile & Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Dirección General de Aguas (DGA) (2018). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional a las cuencas de las macrozonas norte y centro. SIT N° 435. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios Planificación, Santiago, Chile. Realizado por Fundación para la Transferencia Tecnológica y Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Dirección General de Aguas (DGA) (2019). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de la macrozona sur y parte norte de la macrozona austral, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: Universidad de Chile.
- Flores-Toro L & Contreras López M (2021) El futuro de la conservación del Humedal de Mantagua. En: Flores-Toro L, Contreras-López M, Figueroa R & Arenas A (eds) Humedal costero de Mantagua. Un lugar para la conservación de la biodiversidad en Chile Central, Ediciones Universitarias de Valparaíso, En prensa.
- Hebel M, Rubio E, Cepeda J, Mendoza P & Vargas X (2019, January) Effects of wildfires on hydrological processes: insights from a native forest catchment in southern Chile. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 21).
- Justice CO, Townshend JRG, Vermote EF, Masuoka E, Wolfe RE, Saleous N, ... & Morisette JT (2002) An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote sensing of Environment*, 83(1-2), 3-15.

- Liang X, Lettenmaier DP, Wood EF & Burges SJ (1994) A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models, *J. Geophys. Res.* 99(D7): 14415–14428, doi:10.1029/94JD00483
- Martínez C, Contreras-López M, Winckler P, Hidalgo H, Godoy E & Agredano R (2018) Coastal erosion in central Chile: A new hazard?, *Ocean & Coastal Management*, 156: 141 – 155, 2018.. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2017.07.011
- Martínez C, Winckler P, Agredano R, Esparza C, Torres I, Contreras-López M (2022) Coastal erosion in sandy beaches along the tectonically active Chilean coast: magnitudes and projections in context of climate change, *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 46(2): 250-271. DOI:10.1177/03091333211057194
- MMA (2020) Inventario Nacional de Humedales.
- Taylor, KE, Stouffer, RJ & Meehl GA (2012) An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(4): 485-498.
- Zuleta-Ramos C, Bravo-Naranjo V & Contreras-López M (2019). Conservación de los humedales costeros de la Región de Coquimbo. En Zuleta-Ramos C. & Contreras-López M. (eds.) *Humedales Costeros de la Región de Coquimbo: Biodiversidad, Vulnerabilidades & Conservación*. Ediciones Universidad de La Serena-Ministerio del Medio Ambiente, La Serena, Chile, pp. 284 -332.
- Zuleta-Ramos C, Contreras-López M, Robles M, Bravo-Naranjo V & Castillo C (2019) Capítulo 1: Sinopsis de Los Humedales costeros de la Región de Coquimbo. En Zuleta-Ramos C. & Contreras-López M. (eds.) *Humedales Costeros de la Región de Coquimbo: Biodiversidad, Vulnerabilidades & Conservación*. Ediciones Universidad de La Serena-Ministerio del Medio Ambiente, La Serena, Chile, pp. 2 - 28.

Anexos

A1. Listado de humedales para Índice de vulnerabilidad

N	Nombre	Comuna	Latitud	Longitud	Tipo	Laguna	Antropización	Urbano / Rural	Protección	Superficie (Ha)	Barra
1	Humedal Río Lluta	Arica	-18,3651	-69,9936	Estuario	Sí	No	Urbano	Santuario de la Naturaleza Humedal de la Desembocadura del Río Lluta	160,831	Abierta
2	Quebrada Vitor	Arica	-18,7524	-70,3354	Estuario	Sí	No	Rural	No	52,266	Cerrada
3	Camarones	Camarones	-19,0674	-69,9782	Estuario	Sí	No	Rural	No	539,092	Cerrada
4	Desembocadura Río Loa	Iquique	-21,5051	-69,7749	Estuario	Sí	No	Rural	No	32,147	Abierta
5	La Rinconada	Antofagasta	-23,4649	-70,5141	Laguna	Sí	Sí	Rural	Reserva Marina Bahía Moreno - La Rinconada	0,481	Cerrada
6	La Chimba Norte	Antofagasta	-23,5462	-70,3987	Laguna	Sí	Sí	Rural	Humedal Urbano Vertiente de la Chimba Norte	0,42	Cerrada
7	Humedal Aguada La Chimba	Antofagasta	-23,5561	-70,3999	Laguna	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano Aguada La Chimba + Santuario de la Naturaleza Aguada La Chimba	7,017	Cerrada
8	Desembocadura Río Salado	Chañaral	-26,3389	-70,6248	Laguna	Sí	Sí	Urbano	No	20,506	Cerrada
9	Humedal de Flamenco	Chañaral	-26,5639	-70,6805	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	1,217	Cerrada
10	Desembocadura Río Copiapó	Copiapó	-27,318	-70,9295	Estuario	Sí	Sí	Rural	Santuario de la Naturaleza Humedal Río Copiapó + Área Marina Costera Protegida - Múltiples Usos Punto Marra - Desembocadura Río Copiapó - Isla Grande	174,486	Abierta
11	Quebrada Totoral	Copiapó	-27,8308	-71,0867	Estuario	Sí	Sí	Rural	Santuario de la Naturaleza Humedal Costero Totoral	4,474	Cerrada
12	Quebrada Carrizal	Huasco	-28,0828	-71,1435	Estuario	No	No	Urbano	Santuario de la Naturaleza Humedal Costero Carrizal Bajo	37,931	Cerrada
13	Quebrada Taisani	Huasco	-28,336	-71,1633	Estuario	Sí	No	Rural	No	18,765	Cerrada
14	Humedal Estuario Río Huasco	Huasco	-28,4493	-71,1617	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	756,628	Cerrada
15	Humedal La Boca de Los Choros	La Higuera	-29,306	-71,3637	Estuario	Sí	No	Rural	Santuario de la Naturaleza Humedal La Boca	586,852	Cerrada
16	Humedal Punta Teatinos	La Serena	-29,8231	-71,2896	Estuario	No	No	Rural	No	100,397	Cerrada
17	Humedal Desembocadura Río Elqui	La Serena	-29,8942	-71,2728	Estuario	No	Sí	Urbano	Humedal Urbano Desembocadura del Río Elqui + GEF	155,821	Cerrada
18	Humedal El Culebrón	Coquimbo	-29,9622	-71,3231	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	158,382	Abierta
19	Humedal Herradura Norte	Coquimbo	-29,9829	-71,3538	Estuario	No	Sí	Urbano	No	0,242	Cerrada
20	Humedal Herradura Sur	Coquimbo	-29,984	-71,3573	Estuario	No	Sí	Urbano	No	0,935	Cerrada

N	Nombre	Comuna	Latitud	Longitud	Tipo	Laguna	Antropización	Urbano / Rural	Protección	Superficie (Ha)	Barra
21	Humedal Lagunillas (Laguna Adelaida)	Coquimbo	-30,1175	-71,3714	Estuario	Sí	No	Urbano	No	54,934	Cerrada
22	Quebrada El Romeral	Coquimbo	-30,2465	-71,4796	Estuario	No	Sí	Rural	No	3,416	Cerrada
23	Estero Tongoy	Coquimbo	-30,2557	-71,4898	Estuario	No	Sí	Urbano	Humedal Urbano Tongoy + Sitios Ramsar Humedales Costeros de la Laguna de Tongoy	8,337	Cerrada
24	Humedal Salinas Chicas	Coquimbo	-30,2821	-71,5065	Estuario	Sí	No	Rural	Santuario de la Naturaleza Humedales de Tongoy + Sitios Ramsar Humedales Costeros de la Laguna de Tongoy	3,24	Cerrada
25	Humedal Salinas Grande	Coquimbo	-30,3013	-71,5364	Estuario	Sí	Sí	Rural	Santuario de la Naturaleza Humedales de Tongoy + Sitios Ramsar Humedales Costeros de la Laguna de Tongoy	4,723	Cerrada
26	Humedal Pachingo	Coquimbo	-30,3081	-71,5711	Estuario	Sí	Sí	Rural	Santuario de la Naturaleza Humedales de Tongoy + Sitios Ramsar Humedales Costeros de la Laguna de Tongoy	14,407	Cerrada
27	Desembocadura del Río Limarí	Ovalle	-30,729	-71,6849	Estuario	Sí	No	Rural	Parque Nacional Bosque San Jorge + Santuario de la Naturaleza Desembocadura Río Limarí + Sitio Ramsar Limarí	196,652	Abierta
28	La Cebada	Ovalle	-30,9761	-71,6465	Estuario	Sí	No	Rural	No	1,517	Cerrada
29	El Teniente	Ovalle	-31,0064	-71,6456	Estuario	Sí	No	Rural	No	3,49	Cerrada
30	Desembocadura del Río Choapa (Huentelauquén)	Canela	-31,7217	-71,1964	Estuario	Sí	No	Rural	Sitio Ramsar Salinas de Huentelauquén	481,064	Cerrada
31	Estero Chigualoco	Los Vilos	-31,7513	-71,5142	Estuario	Sí	Sí	Rural	No	2,29	Cerrada
32	Humedal Conchalí	Los Vilos	-31,8752	-71,4959	Estuario	Sí	Sí	Rural	Sitio Ramsar Laguna de Conchalí + Santuario de la Naturaleza Laguna Conchalí	50,873	Cerrada
33	Humedal Quilmarí	Los Vilos	-32,1176	-71,5077	Estuario	Sí	No	Rural	No	10,093	Cerrada
34	Humedal de Pichidangui	Los Vilos	-32,139	-71,5247	Estuario	Sí	No	Urbano	No	1,068	Cerrada
35	Los Molles	La Ligua	-32,2368	-71,5081	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano Los Molles	1,657	Cerrada
36	Pichicuy	La Ligua	-32,3436	-71,4519	Estuario	Sí	No	Rural	No	2,358	Cerrada
37	Pullalí	La Ligua	-32,4092	-71,4071	Estuario	Sí	No	Rural	Santuario de la Naturaleza Humedal Salinas de Pullalí - Dunas de Longotoma	98,696	Cerrada

N	Nombre	Comuna	Latitud	Longitud	Tipo	Laguna	Antropización	Urbano / Rural	Protección	Superficie (Ha)	Barra
38	Papudo	Paudo	-32,5009	-71,4374	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano Estero Agua Salada	1,698	Cerrada
39	Cachagua	Zapallar	-32,5843	-71,4474	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	0,619	Cerrada
40	La Laguna de Zapallar	Zapallar	-32,6323	-71,4298	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano Laguna y Estero de Catapilco	11,917	Cerrada
41	Estero Campiche	Puchuncaví	-32,7468	-71,484	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano Los Maitenes - Campiche	2,288	Cerrada
42	Mantagua	Quintero	-32,8819	-71,5093	Estuario	Sí	No	Rural	Humedal Urbano Mantagua	30,012	Cerrada
43	Desembocadura del Río Aconcagua	Concón	-32,9175	-71,5072	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano Río Aconcagua	40,66	Estacional
44	Estero Reñaca	Viña del Mar	-32,9733	-71,5449	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano Reñaca	0,126	Cerrada
45	Humedal Las Salinas	Viña del Mar	-32,9922	-71,5483	Estuario	No	Sí	Urbano	No	0,014	Cerrada
46	Estero Marga	Viña del Mar	-33,02	-71,5614	Estuario	No	Sí	Urbano	No	4,693	Manejado
47	Laguna Verde	Valparaíso	-33,104	-71,5658	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	5,509	Manejado
48	Quintay	Casablanca	-33,1828	-71,6844	Estuario	Sí	No	Urbano	Humedal Urbano El Jote	1,799	Cerrada
49	Tunquen	Algarrobo	-33,2753	-71,6585	Estuario	Sí	No	Rural	Santuario de la Naturaleza Humedal de Tunquén	12,762	Cerrada
50	El Membrillo	Algarrobo	-33,343	-71,649	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano El Membrillo	4,46	Cerrada
51	San Jerónimo	Algarrobo	-33,355	-71,6515	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	3,55	Cerrada
52	Estero de Cordova	El Tabo	-33,4442	-71,6748	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Santuario de la Naturaleza Quebrada de Cordova	2,372	Cerrada
53	San Sebastián	Cartagena	-33,5222	-71,5957	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano Sistema Laguna y Estero de Cartagena	8,711	Cerrada
54	Ojos de Mar de Lolleo	San Antonio	-33,6082	-71,6268	Laguna	Sí	Sí	Urbano	No	15,133	Cerrada
55	Desembocadura del Río Maipo	Santo Domingo	-33,6195	-71,6277	Estuario	No	Sí	Urbano	Santuario de la Naturaleza Desembocadura del Río Maipo	70,495	Abierta
56	El Yali	Santo Domingo	-33,7808	-71,7394	Estuario	Sí	No	Rural	Reserva Nacional El Yali + Sitio Ramsar Humedal El Yali	222,128	Cerrada
57	Desembocadura Río Rapel	Navidad	-33,9569	-71,7376	Estuario	Sí	No	Rural	No	134,16	Abierta
58	La Vega de Pupuya	Navidad	-33,9854	-71,8656	Estuario	Sí	No	Urbano	Humedal Urbano La Vega de Pupuya	0,264	Estacional
59	Estero de Topocalma	Litueche	-34,1282	-71,9698	Estuario	Sí	No	Rural	Santuario de la Naturaleza Piedra del Viento y Topocalma	28,659	Estacional
60	Laguna El Petrel	Pichilemu	-34,3812	-71,9965	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Humedal Urbano El Petrel	47,126	Cerrada
61	Laguna de Cahuil	Puchilemu	-34,5117	-71,9418	Estuario	Sí	Sí	Urbano	GEF	33,179	Manejada
62	Bucalemu	Paredones	-34,6436	-72,0349	Estuario	Sí	No	Urbano	Humedal Urbano	16,188	Estacional

N	Nombre	Comuna	Latitud	Longitud	Tipo	Laguna	Antropización	Urbano / Rural	Protección	Superficie (Ha)	Barra
63	Mataquito	Licanten	-35,0235	-72,1771	Estuario	Sí	No	Rural	No	243,313	Abierta
64	Maule	Constitución	-35,3266	-72,4021	Estuario	Sí	Sí	Urbano	Santuario de la Naturaleza Rocas de Constitución	147,19	Abierta
65	Río Chovellen	Pelluhue	-35,9272	-72,6475	Estuario	Sí	No	Urbano	No	9,687	Abierta
66	Vegas del Itata	Coelemu	-36,4894	-72,6873	Estuario	Sí	No	Rural	Santuario de la Naturaleza Desembocadura del Río Itata	926,643	Abierta
67	Vegas de Coliumo	Tomé	-36,5608	-72,9573	Estuario	Sí	No	Rural	Humedal Urbano Vegas de Coliumo	1,54	Abierta
68	Andalien	Talcahuano	-36,7715	-73,0073	Estuario	Sí	Sí	Urbano	GEF	43,101	Abierta
69	Rocuant	Talcahuano	-36,7397	-73,0876	Estuario	Sí	Sí	Urbano	GEF + Humedal Urbano Laguna Recamo	101,107	Abierta
70	Lenga	Hualpén	-36,773	-73,1568	Estuario	Sí	No	Urbano	Santuario de la Naturaleza Península de Hualpén	302,72	Cerrada
71	Biobio	San Pedro de la Paz	-36,8151	-73,1579	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	709,624	Abierta
72	Caranpangue	Arauco	-37,235	-73,3002	Estuario	Sí	Sí	Rural	Santuario de la Naturaleza Humedal Arauco Desembocadura Río Caranpangue	144,125	Abierta
73	Tubul	Arauco	-37,2381	-73,4359	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	76,188	Abierta
74	Lebu	Lebu	-37,6059	-73,5755	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	17,01	Abierta
75	Tirúa	Tirúa	-38,3761	-73,4317	Estuario	Sí	Sí	Urbano	No	17,437	Abierta
76	Moncul	Saavedra	-38,7104	-73,412	Estuario	Sí	No	Urbano	No	520,341	Abierta
77	Imperial	Saavedra	-38,6466	-72,6622	Estuario	Sí	No	Rural	No	364,758	Abierta
78	Toltén	Toltén	-39,0367	-72,5646	Estuario	Sí	No	Rural	No	120,486	Abierta
79	Río Lingue	Mariquina	-39,4467	-73,1676	Estuario	Sí	No	Urbano	No	26,087	Abierta
80	Río Valdivia	Corral	-39,8927	-73,2898	Estuario Pluvial	Sí	No	Rural	No	7488,575	Abierta
81	Chaihuin	Corral	-39,9673	-73,5463	Estuario	Sí	No	Rural	No	62,359	Abierta
82	Pucotrihue	San Juan de la Costa	-40,5273	-73,6781	Estuario	Sí	No	Urbano	No	15,261	Abierta
83	Mauilin	Mauilin	-41,5752	-73,5128	Estuario Pluvial	Sí	No	Rural	No	5270,628	Abierta

A2. Listado filtro inicial de humedales por macrozona. Se indica aquellos priorizados

N	Nombre	Región	Macrozona	Priorizado
1	Rio Illuta	Arica y parinacota	Norte	Sí
2	Camarones	Arica y parinacota	Norte	Sí
3	Desembocadura rio Copiapó	Atacama	Norte	Sí
4	Humedal Huasco	Atacama	Norte	Sí
5	Humedal La Boca (Los Choros)	Coquimbo	Norte	Sí
6	Humedal Punta Teatinos	Coquimbo	Norte	No
7	Desembocadura Río Elqui	Coquimbo	Norte	Sí
8	Humedal El Culebrón	Coquimbo	Norte	No
9	Laguna Adelaida (Lagunillas)	Coquimbo	Norte	No
10	Humedal Estero Tongoy	Coquimbo	Norte	Sí
11	Humedal Salinas Grande	Coquimbo	Norte	Sí
12	Humedal Salinas Chicas	Coquimbo	Norte	Sí
13	Humedal Pachingo	Coquimbo	Norte	Sí
14	Limarí	Coquimbo	Norte	Sí
15	Humedal Cebada	Coquimbo	Norte	Sí
16	Humedal El Teniente	Coquimbo	Norte	No
17	Humedal Huentelauquén	Coquimbo	Norte	Sí
18	Chigualoco	Coquimbo	Norte	No
19	Humedal Conchalí	Coquimbo	Norte	No
20	Humedal Quilimarí	Coquimbo	Norte	No
21	Humedal Pichidagui	Coquimbo	Norte	No
22	Humedal Pichicuy	Valparaíso	Centro	No
23	Humedal de Pullally	Valparaíso	Centro	No
24	Humedal La Laguna	Valparaíso	Centro	No
25	Humedal de Mantagua	Valparaíso	Centro	Sí
26	Río Aconcagua	Valparaíso	Centro	Sí
27	San Jerónimo	Valparaíso	Centro	Sí
28	Estero San Sebastián	Valparaíso	Centro	Sí
29	Desembocadura Maipo	Valparaíso	Centro	No
30	Humedal El Yali	Valparaíso	Centro	Sí
31	La Boca del Rapel	O'Higgins	Centro	No
32	Humedal Pichilemu (Laguna El Petrel)	O'Higgins	Centro	No
33	Cahuil	O'Higgins	Centro	Sí
34	Humedal Mataquito	Maule	Centro	No
35	Maule	Maule	Centro	Sí
36	Humedal Pocillas-Cardonal	Maule	Centro	No
37	Humedal Vegas del Itata	Ñuble (exBiobío)	Sur	No
38	Humedal Vegas de Coliumo	Biobío	Sur	No

N	Nombre	Región	Macrozona	Priorizado
39	Andalien	Biobío	Sur	No
40	Rocuant	Biobío	Sur	No
41	Humedal Lengua	Biobío	Sur	No
42	Bíobío	Biobío	Sur	No
43	Humedal Tubul	Biobío	Sur	No
44	Humedal Carampangue	Biobío	Sur	Sí
45	Río Tirua	Biobío	Sur	Sí
46	Río Imperial	La Araucanía	Sur	No
47	Río Toltén	La Araucanía	Sur	No
48	Queule	La Araucanía	Sur	No
49	Río Valdivia - Río Cruces	Los Ríos	Sur	No
50	Humedal Chaihuín	Los Ríos	Sur	Sí
51	Humedal Pucatrihue	Los Lagos	Sur	No
52	Mauillin	Los Lagos	Sur	No

A3. Amenaza hídrica en contexto de cambio climático

El humedal desembocadura Río Lluta (18,3651°S, 69,9936°W), es un estuario emplazado en la comuna de Arica. El estuario y sus alrededores se encuentran emplazados inmediatamente al norte de la ciudad de Arica y se encuentra altamente antropizado por la agricultura. Este humedal tiene dos figuras de protección: Santuario de la Naturaleza y Reserva Natural Municipal.

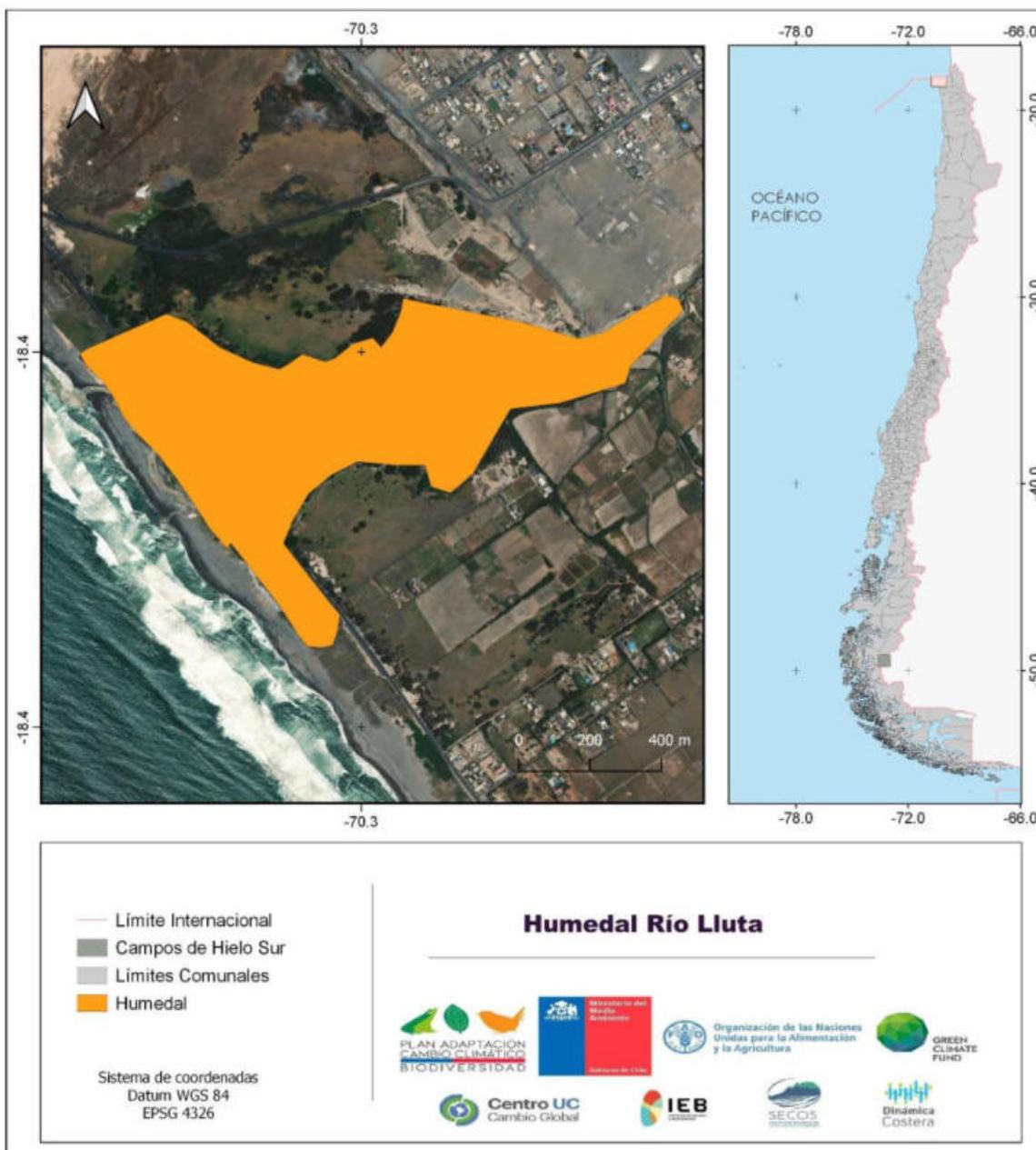


Figura A3- 1: Espejo de agua del humedal desembocadura del río Lluta. Fuente: Elaboración propia.

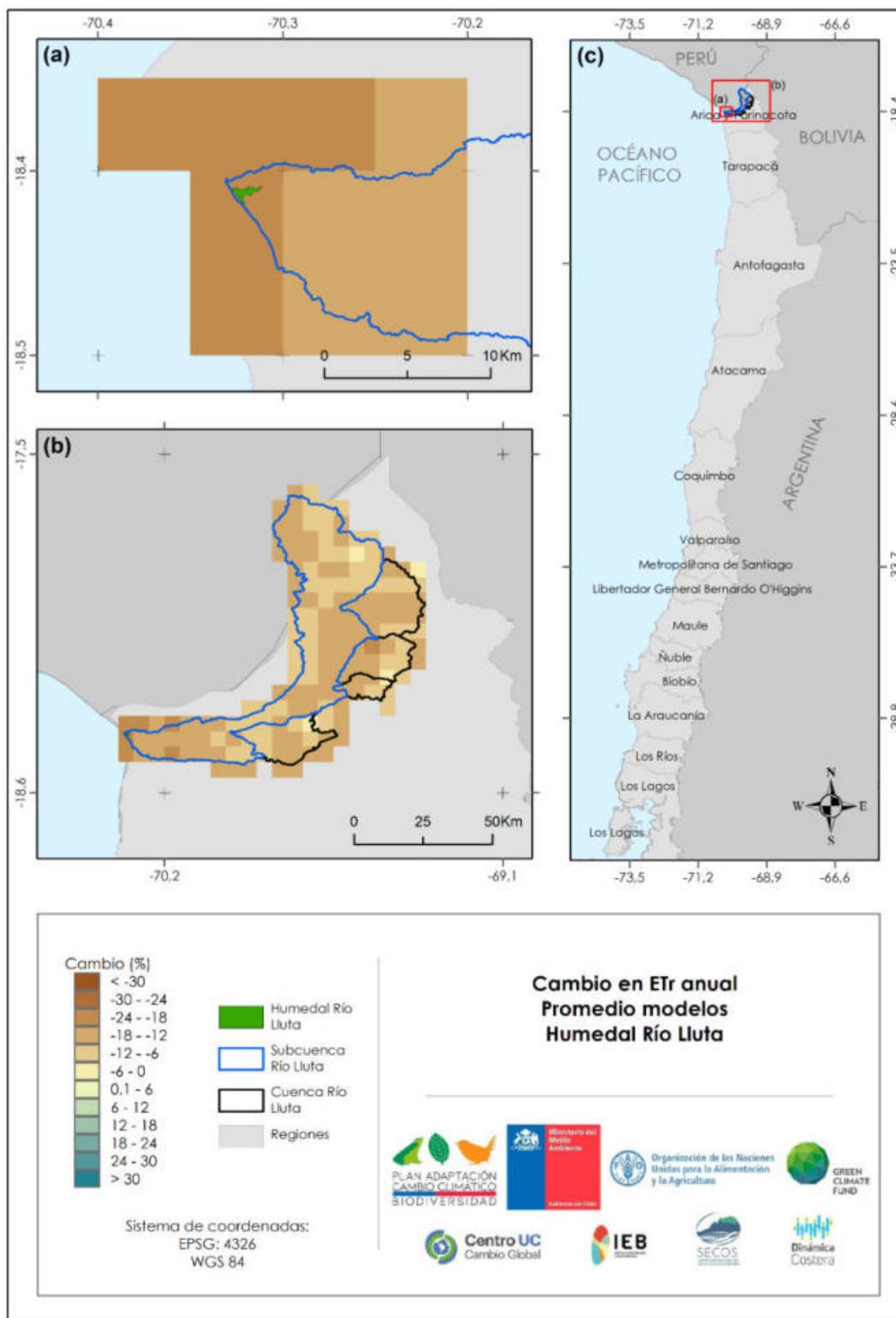


Figura A3- 2: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal río Luta para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

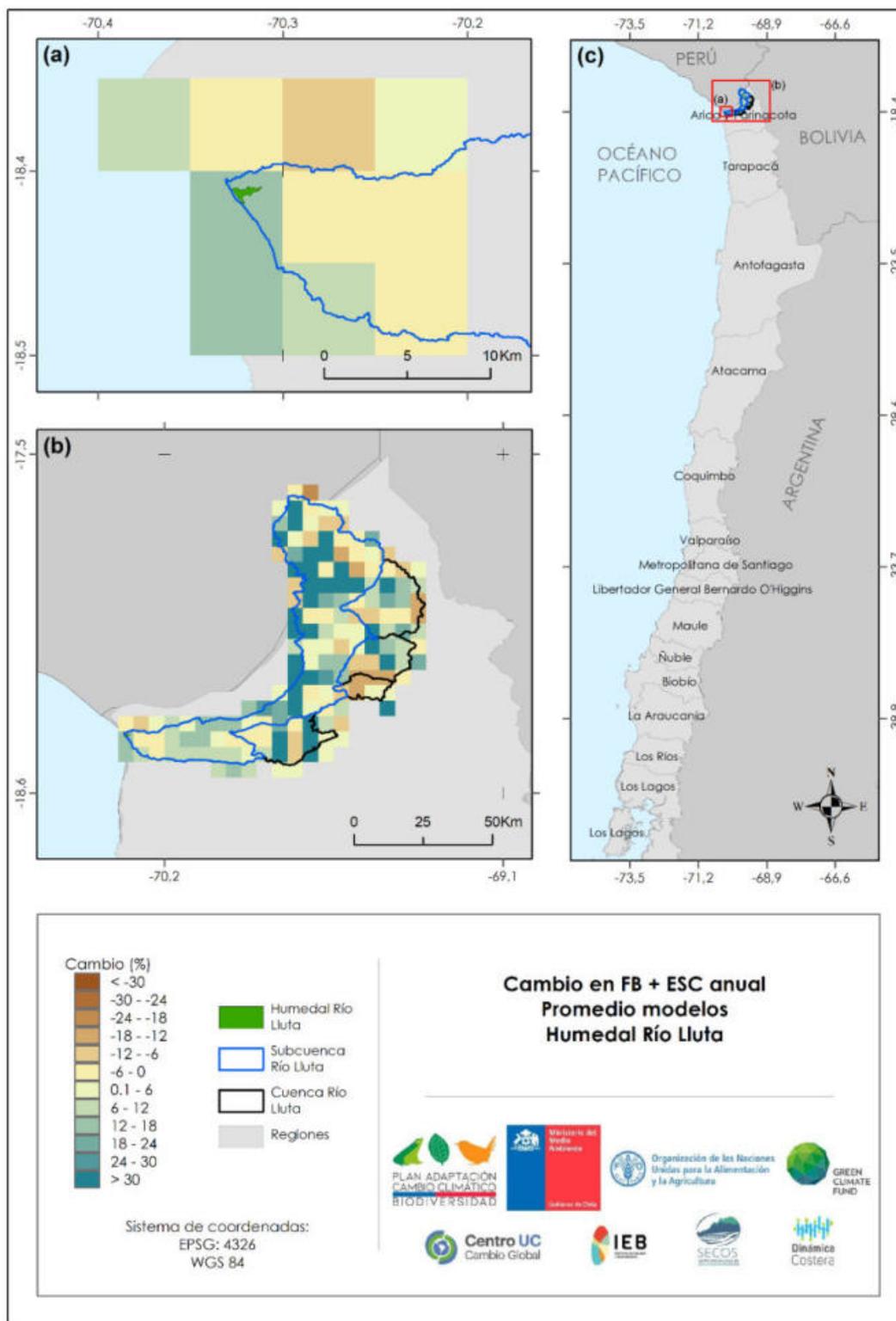


Figura A3- 3: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal río Lluta para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

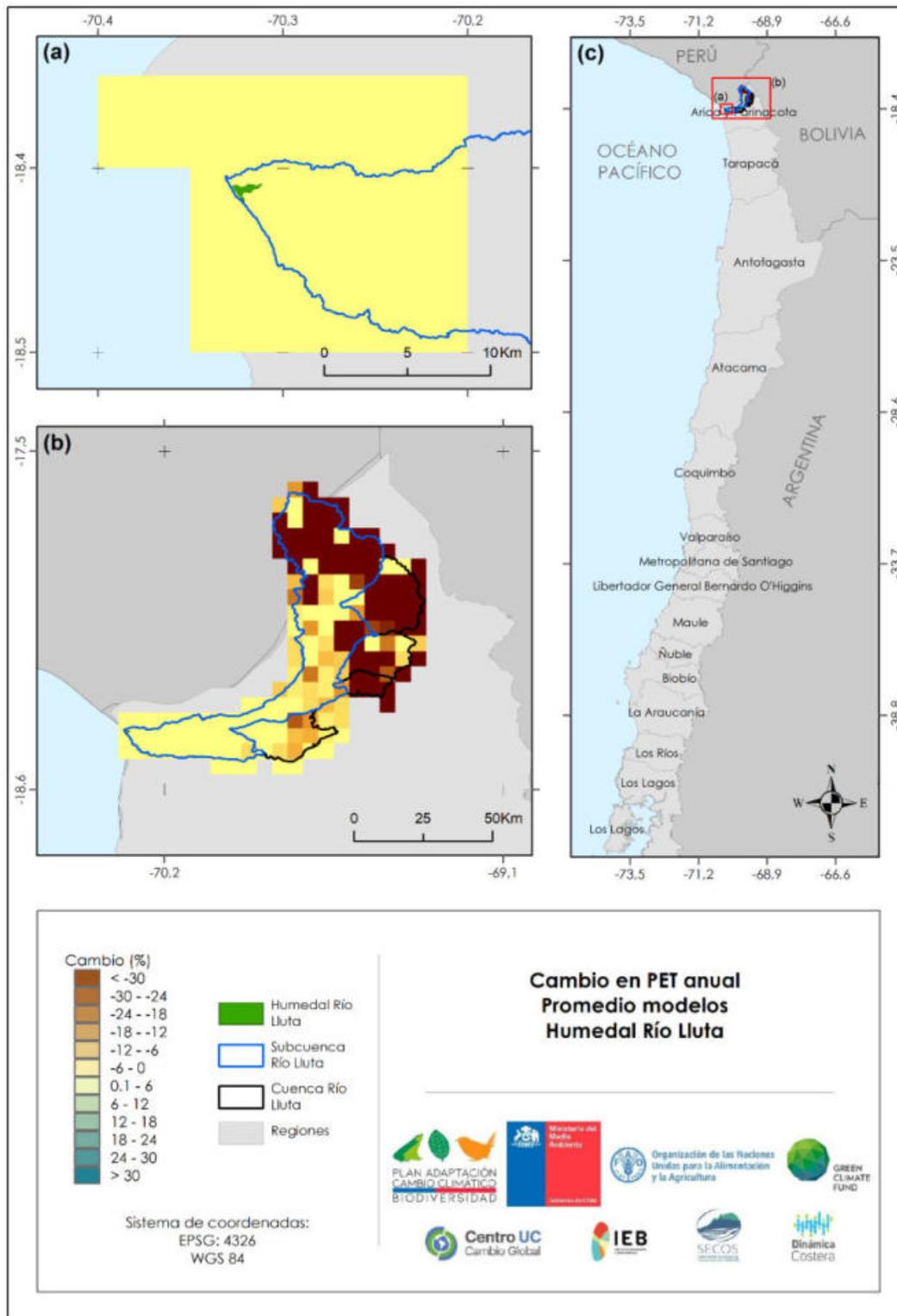


Figura A3- 4: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal río Luta para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

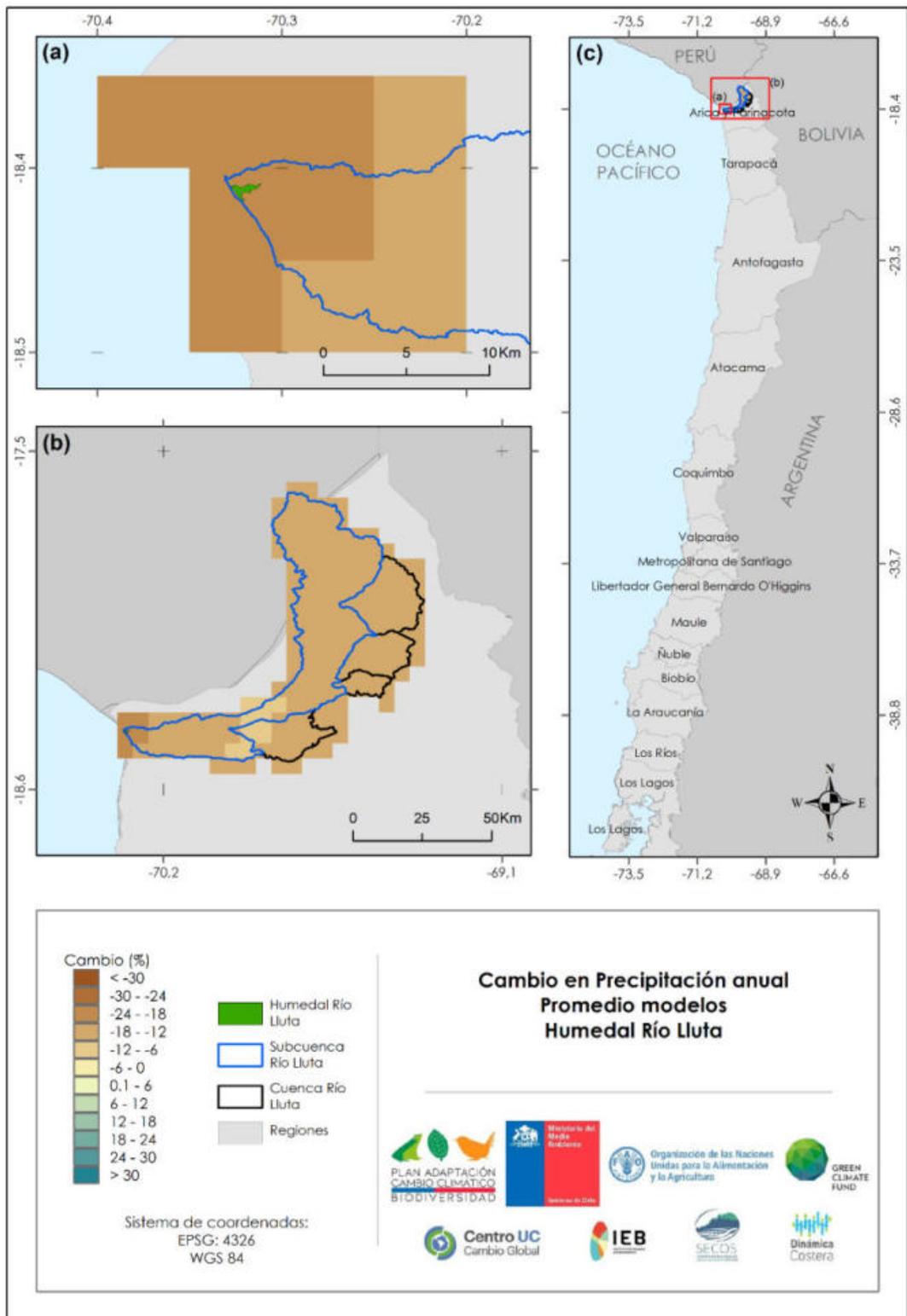


Figura A3- 5: Cambios en precipitación media anual para humedal río Luta para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia

El Humedal Camarones ($19,0674^{\circ}\text{S}$, $-69,9782^{\circ}\text{W}$), corresponde a la desembocadura del Río Camarones en la comuna homónima. En la desembocadura se emplaza una pequeña caleta de pescadores artesanales. Es un humedal de difícil acceso, por lo que solo personas de la caleta y alrededores suelen acceder a él, lo que lo mantiene en un estado poco intervenido.

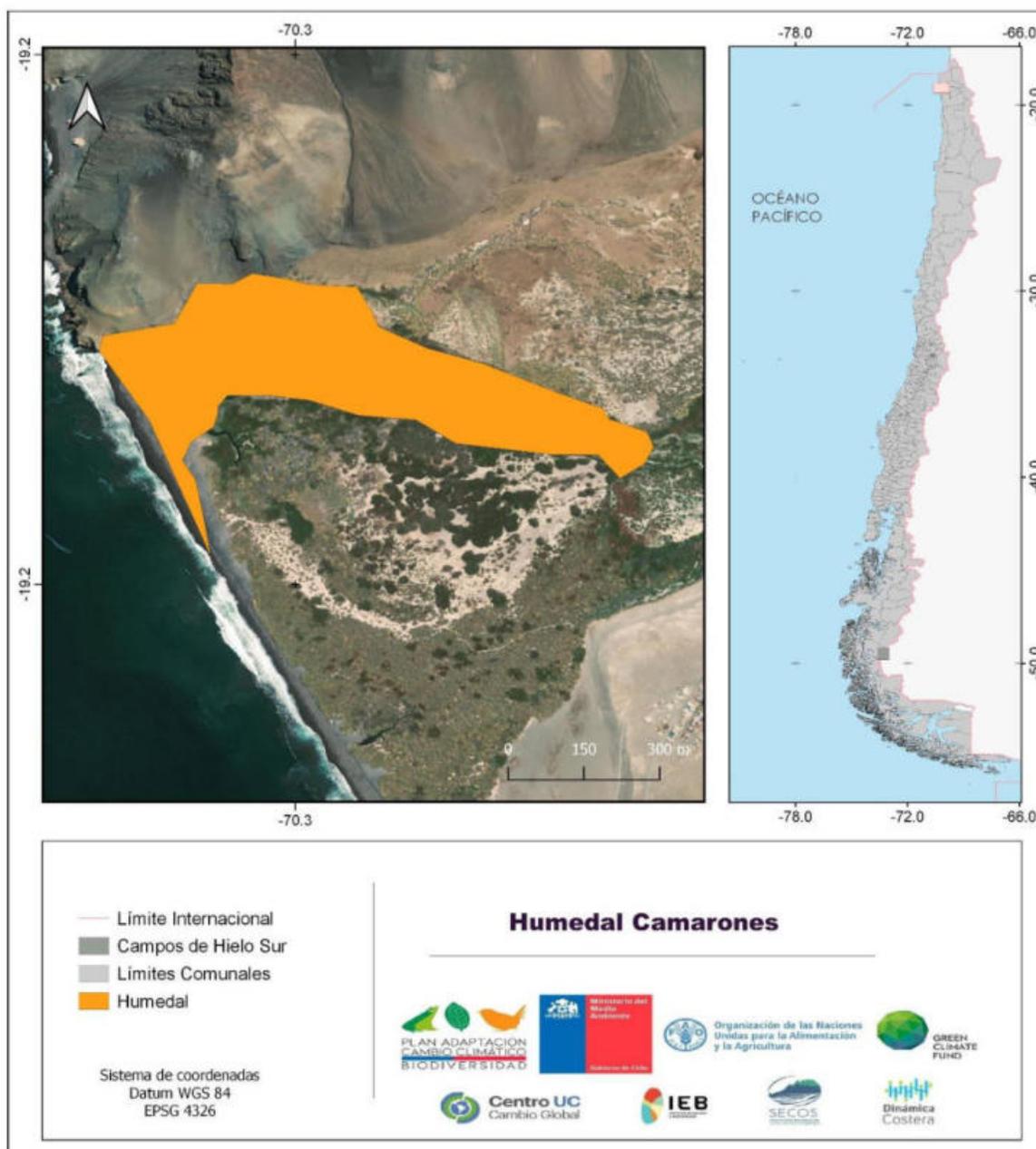


Figura A3- 6: Espejo de agua del humedal Camarones. Fuente: Elaboración propia.

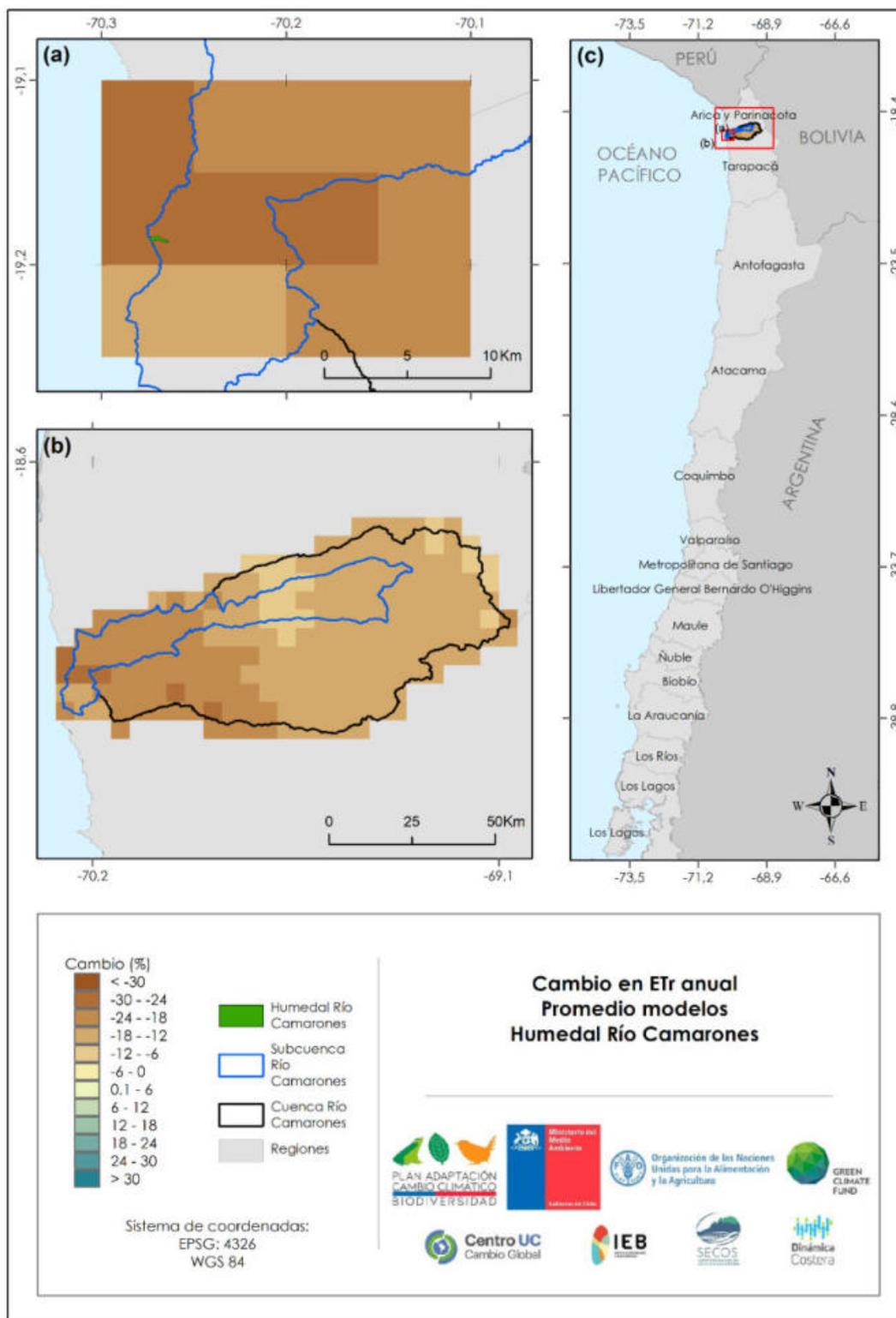


Figura A3- 7: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal Camarones para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

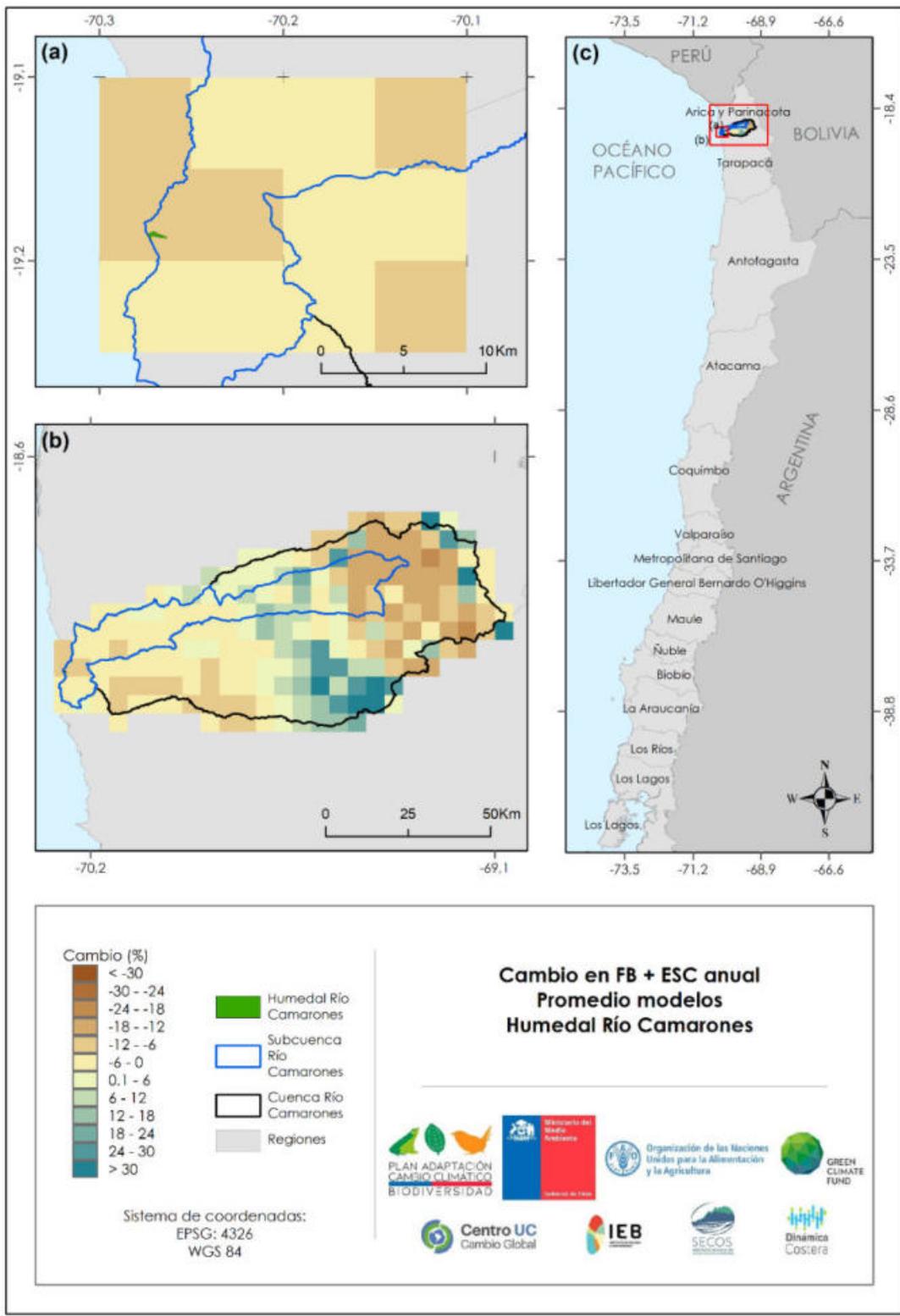


Figura A3- 8: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Camarones para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

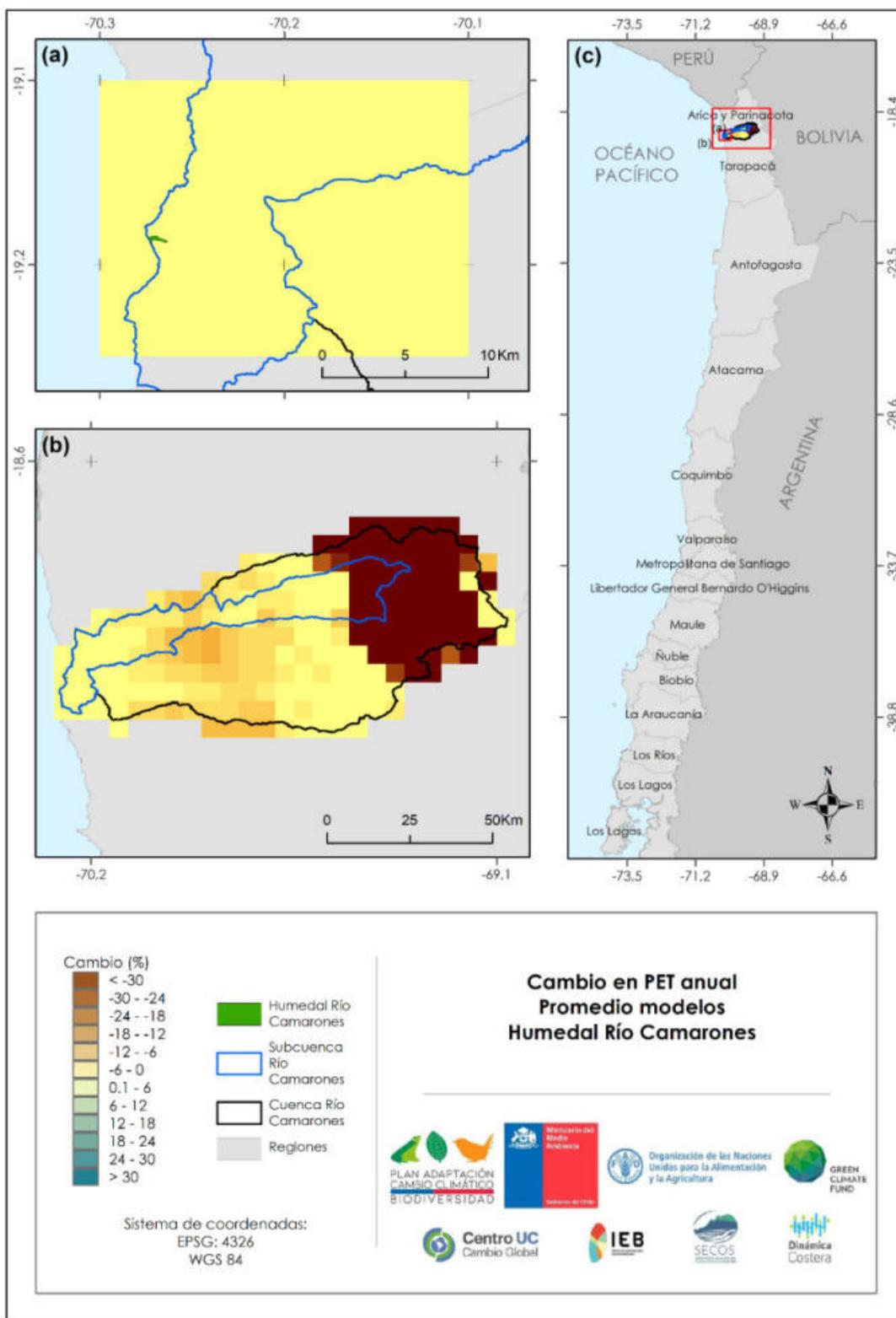


Figura A3- 9: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Camarones para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

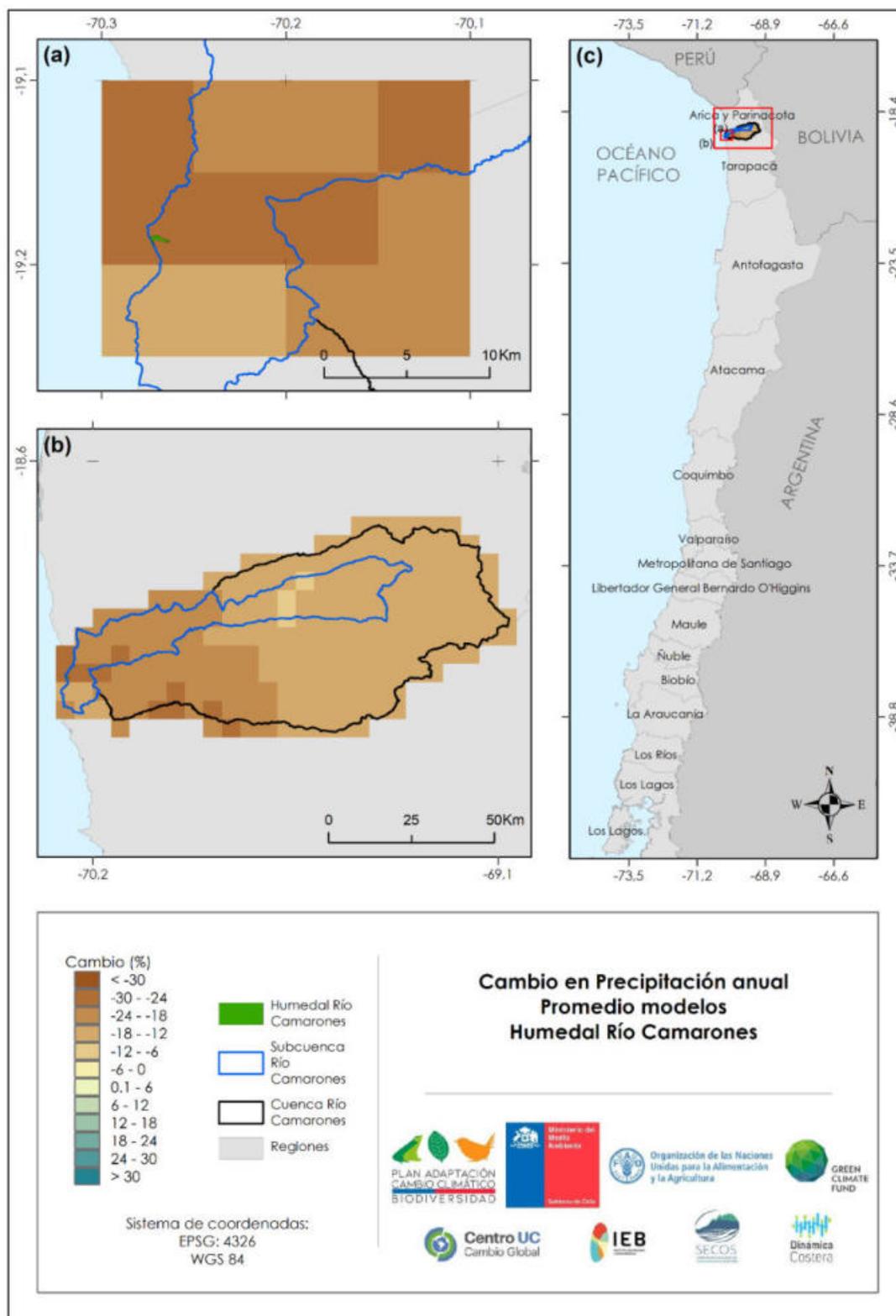


Figura A3- 10: Cambios en precipitación media anual para humedal Camarones para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia

El Humedal río Copiapó ($27,318^{\circ}\text{S}$, $70,9295^{\circ}\text{W}$) es un cuerpo de agua que se emplaza en la comuna de Copiapó. Este humedal conforma un estuario con lagunas costeras y salinas de reducido tamaño. El sitio concentra más de la mitad de la fauna de vertebrados de toda la cuenca de este río, por lo cual se encuentra dentro del Área Marina y Costera Protegida "Punta Morro-desembocadura Río Copiapó".

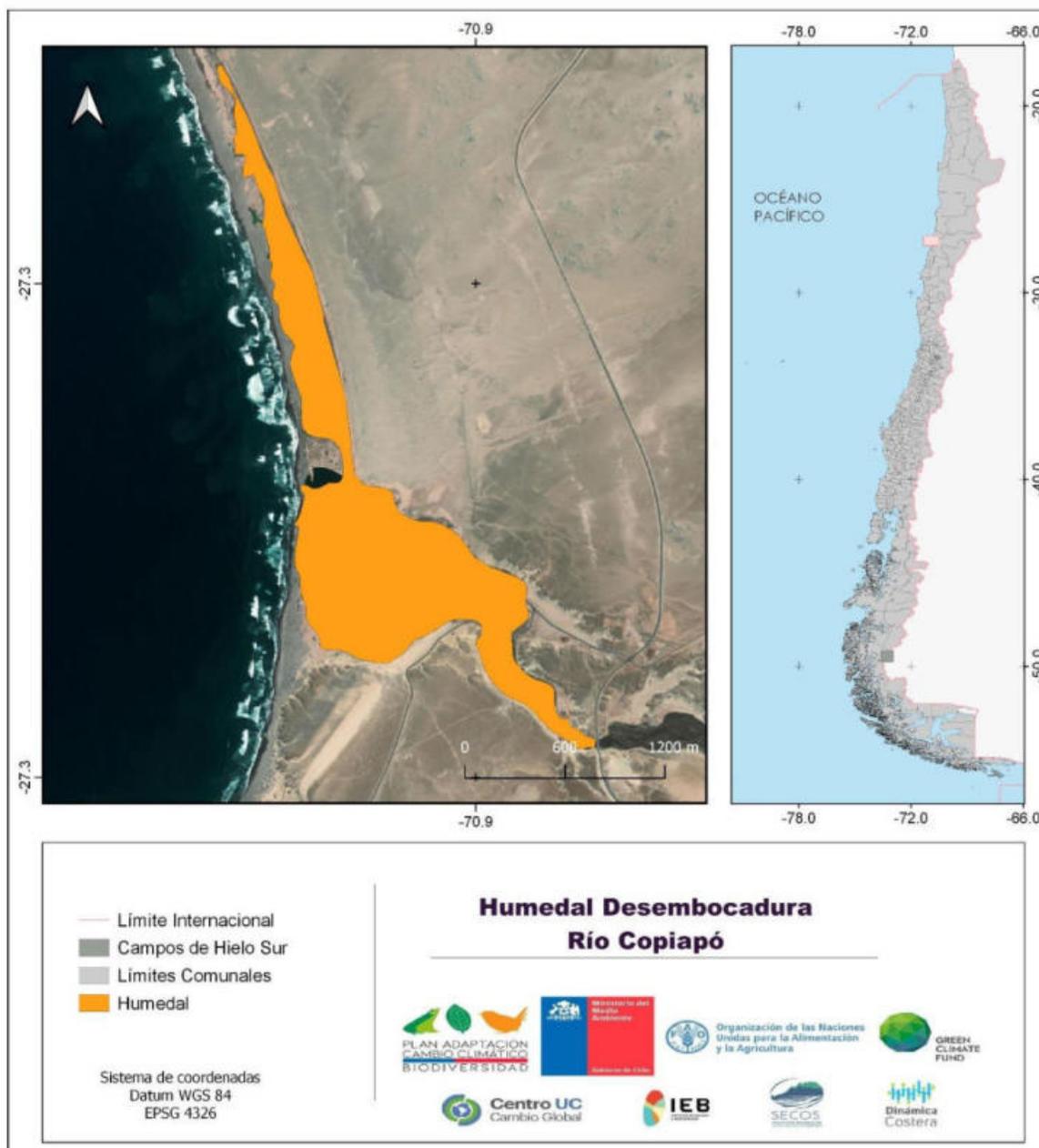


Figura A3- 11: Espejo de agua del humedal río Copiapó. Fuente: Elaboración propia.

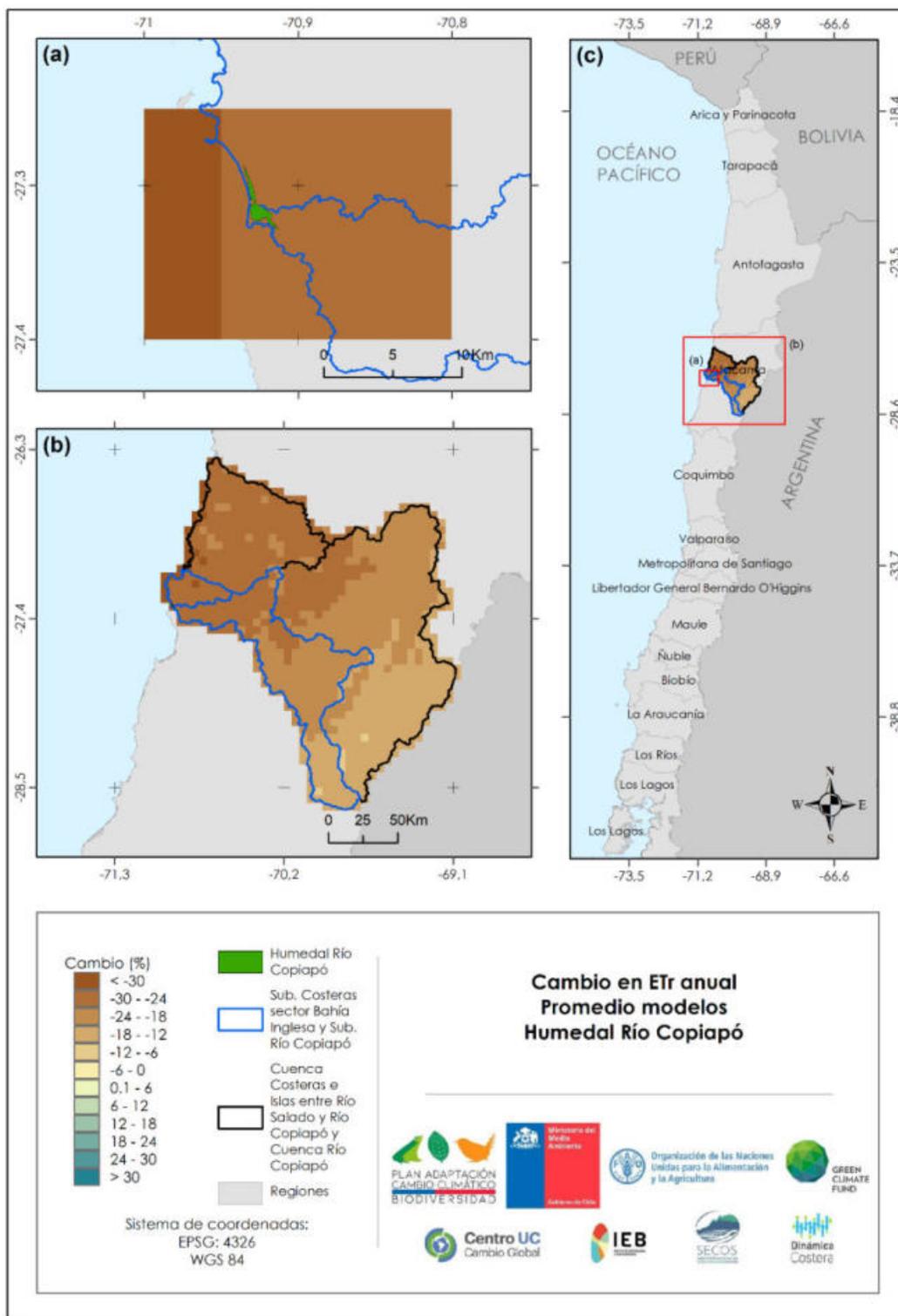


Figura A3- 12: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal río Copiapó para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

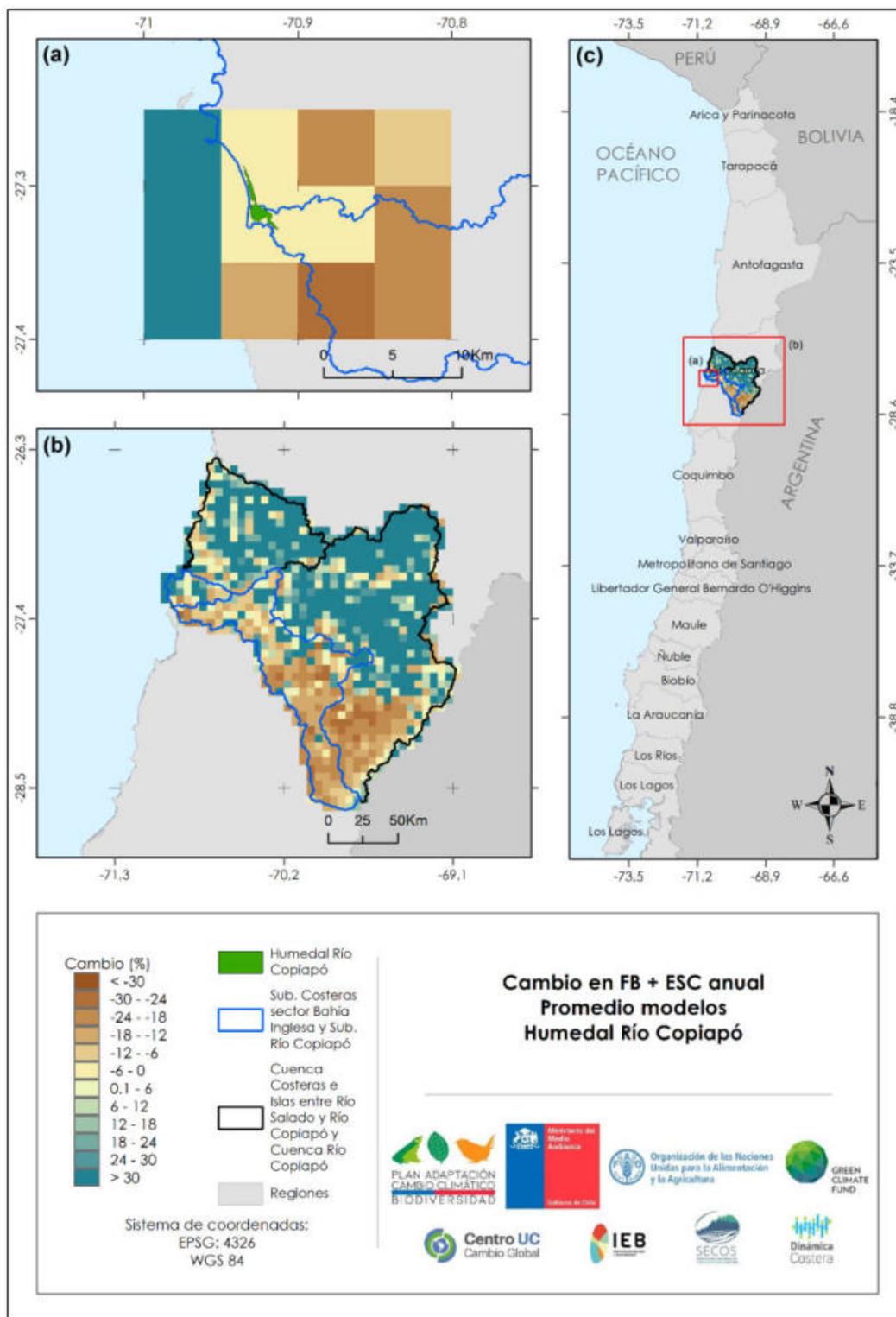


Figura A3- 13: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal río Copiapó para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

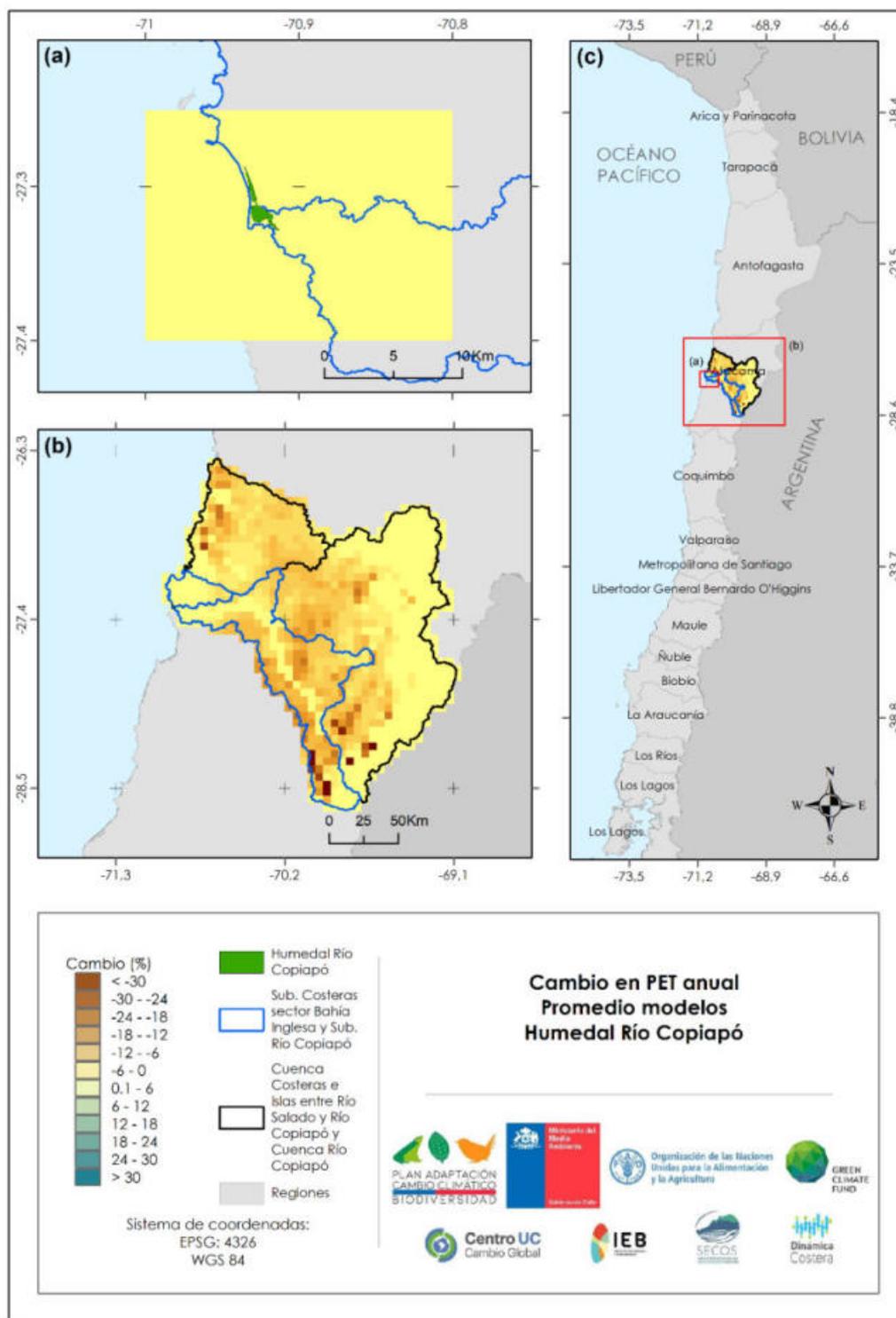


Figura A3- 14: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal río Copiapó para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

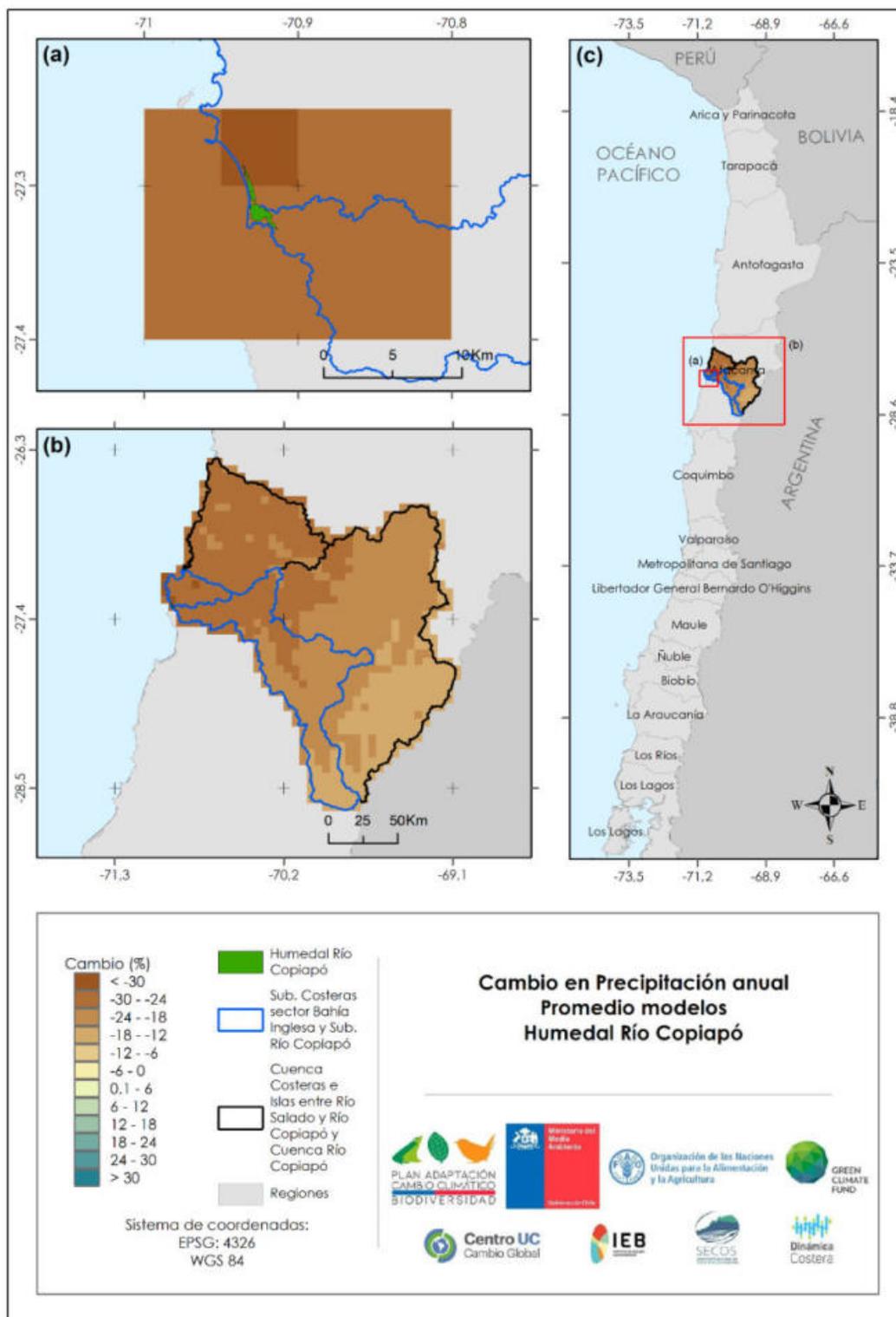


Figura A3- 15: Cambios en precipitación media anual para humedal río Copiapó para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia

El humedal desembocadura Río Huasco (28,4493°S, 71,1617°W), es un estuario emplazado en la comuna de Huasco. El estuario y sus alrededores dan forma a un complejo ecosistema con variadas capas de vegetación, capaz de albergar una diversidad de fauna residente y constituirse como sitio de parada para aves migratorias.

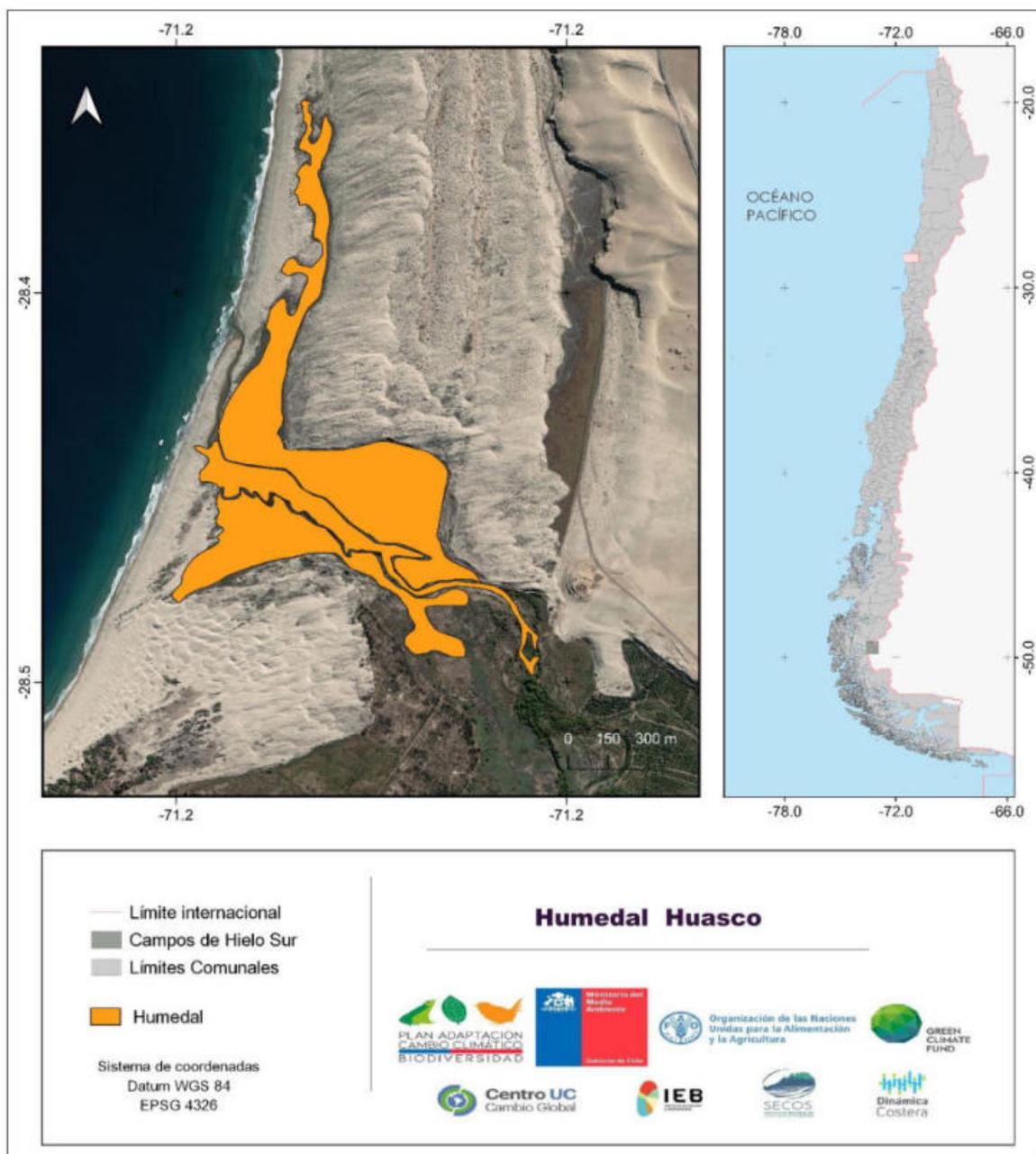


Figura A3- 16: Espejo de agua del humedal desembocadura del río Huasco. Fuente: Elaboración propia.

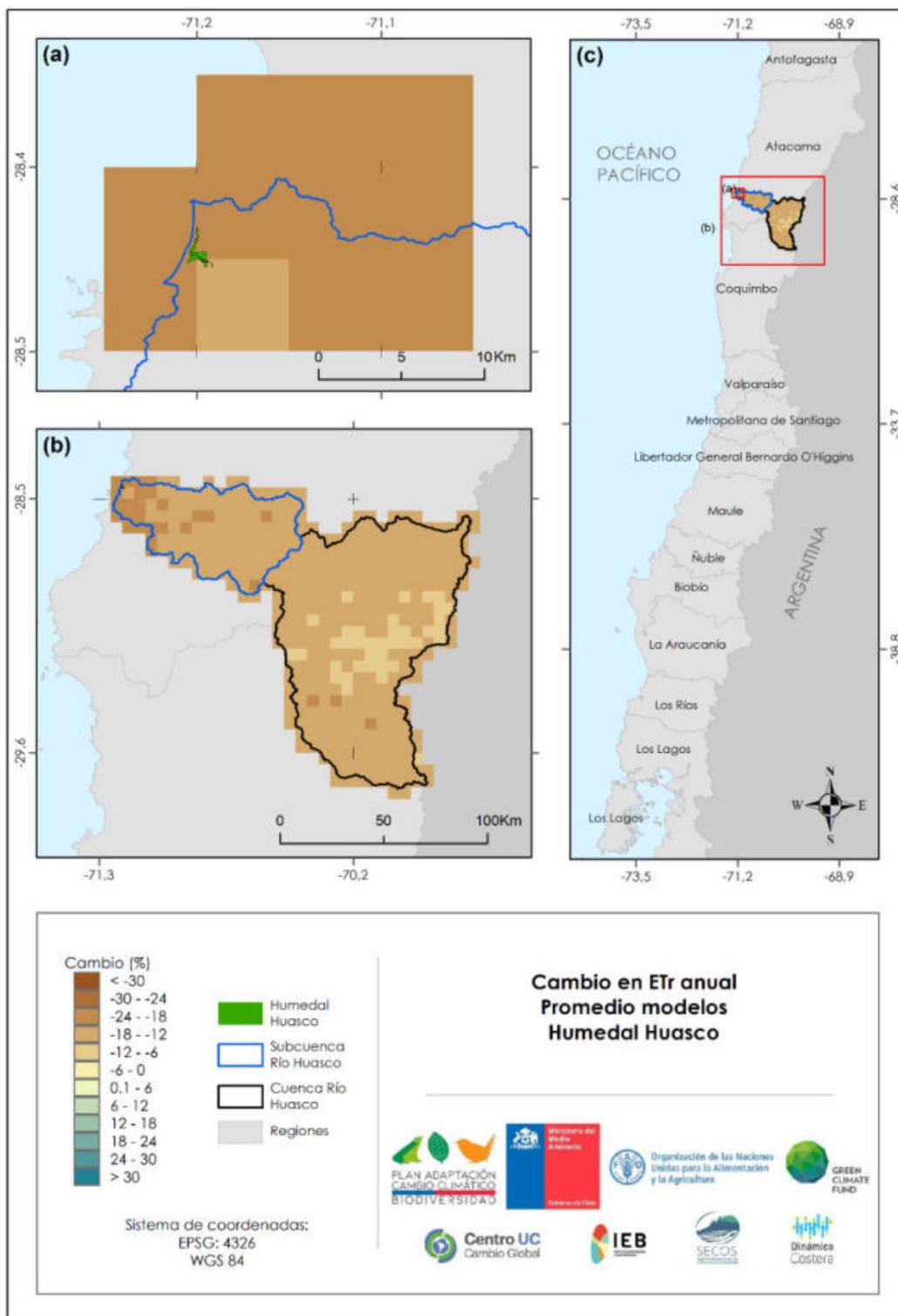


Figura A3- 17: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal Huasco para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

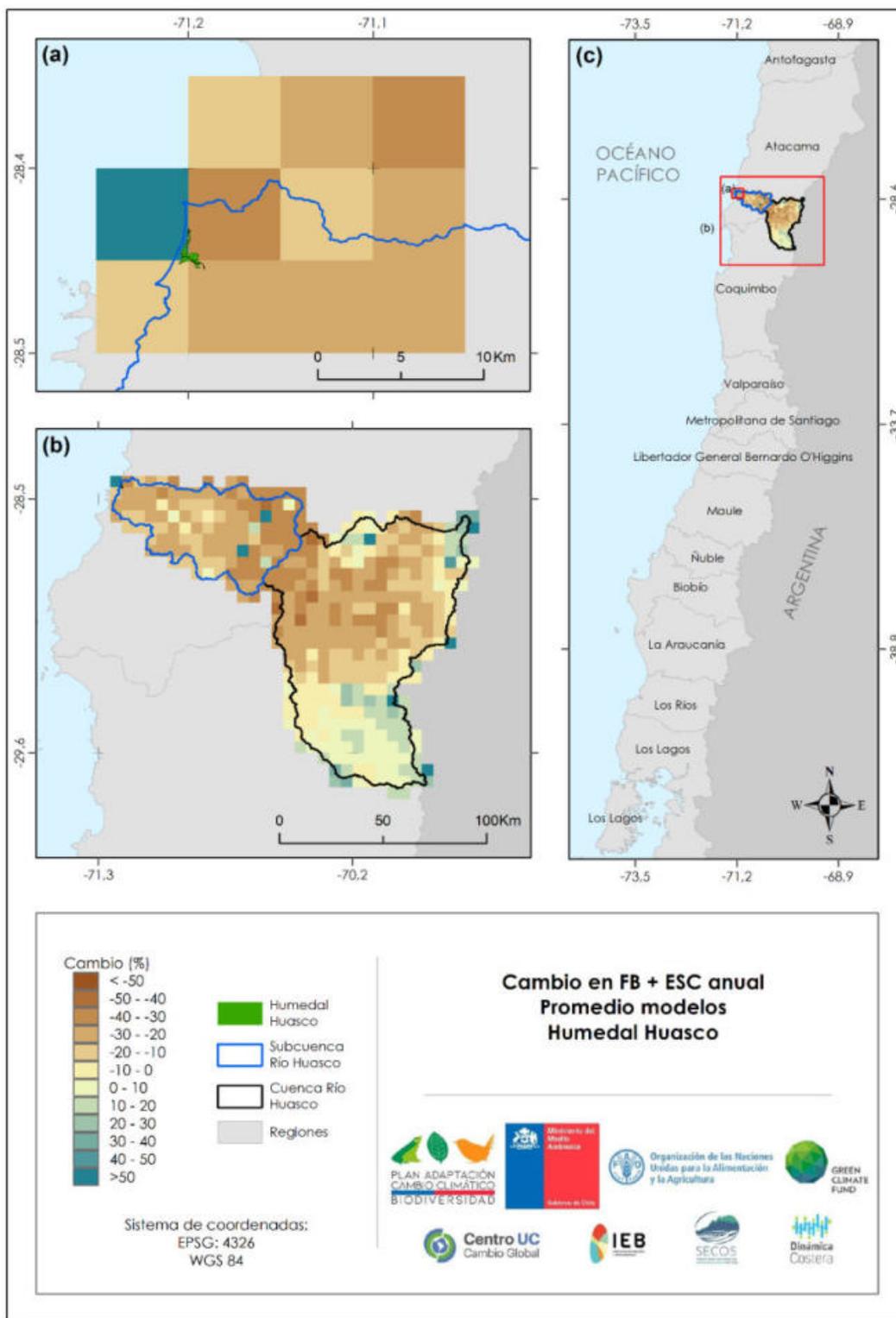


Figura A3- 18: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Huasco para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

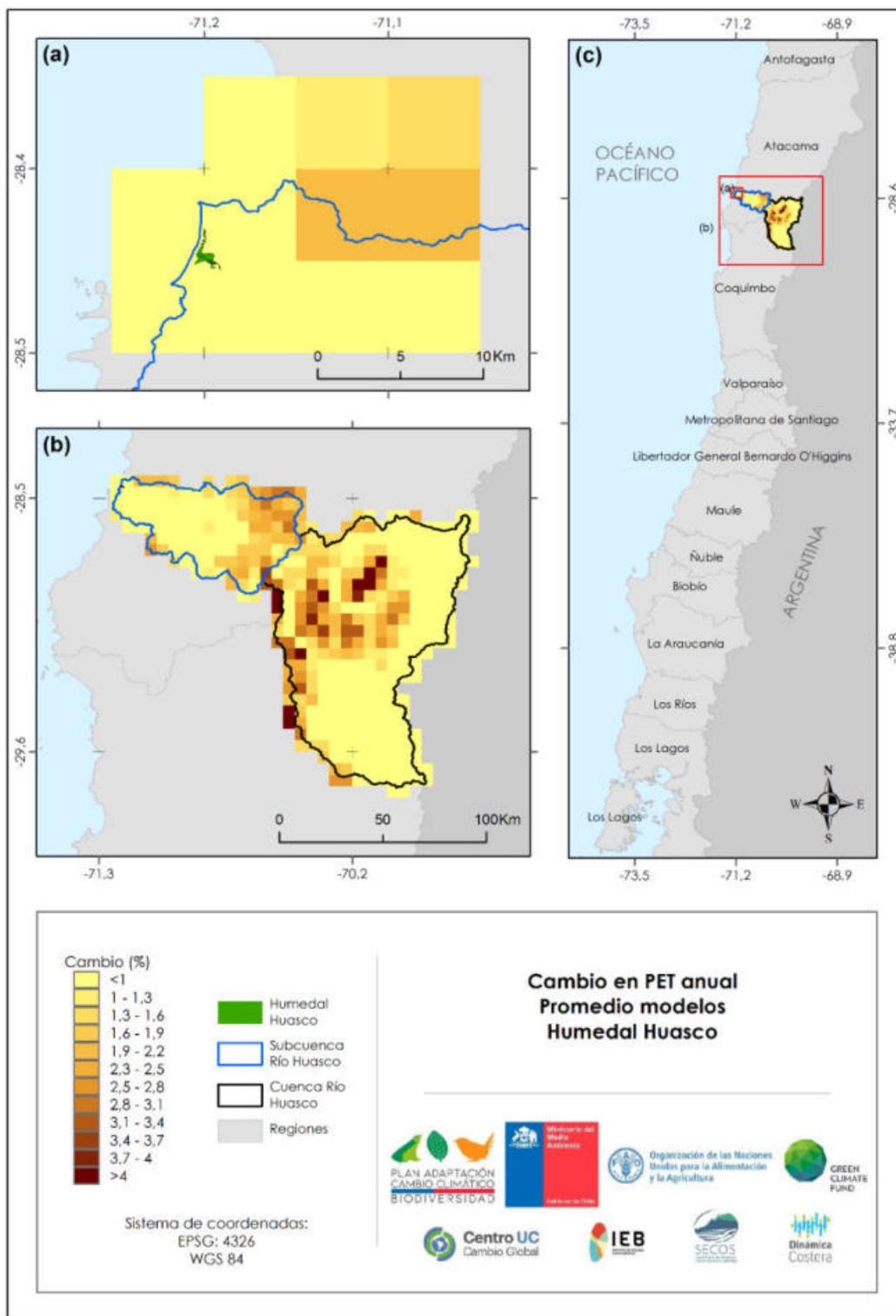


Figura A3- 19: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Huasco para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

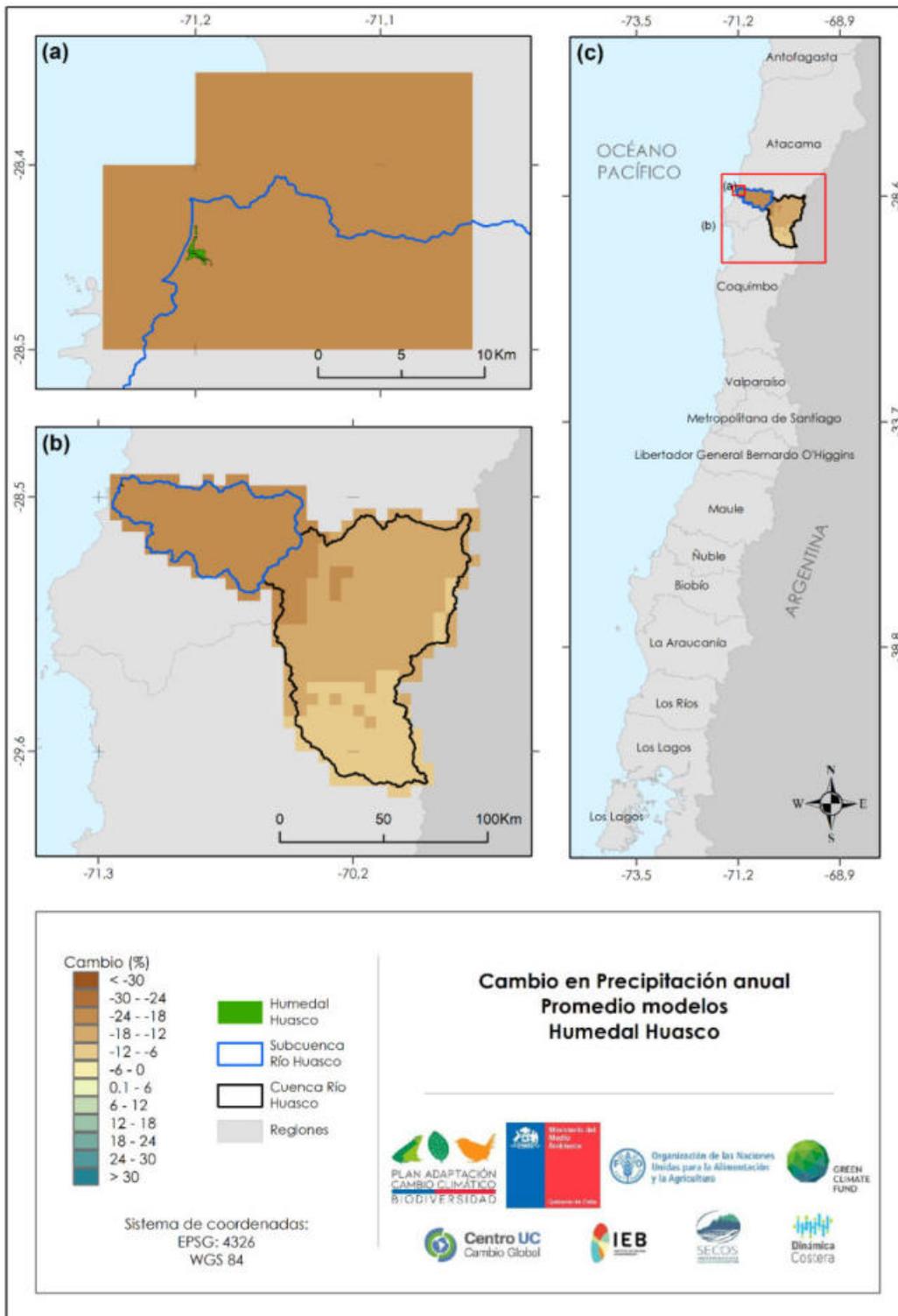


Figura A3- 20: Cambios en precipitación media anual para humedal Huasco para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia

El Humedal La Boca de los Choros ($29,3060^{\circ}\text{S}$, $71,3637^{\circ}\text{W}$) es un cuerpo de agua intermitente que se emplaza en la comuna de La Higuera. Hasta 1922 el río era torrentoso y corría superficialmente, lo que cambió luego del terremoto de ese año (Zuleta *et al.* 2019).

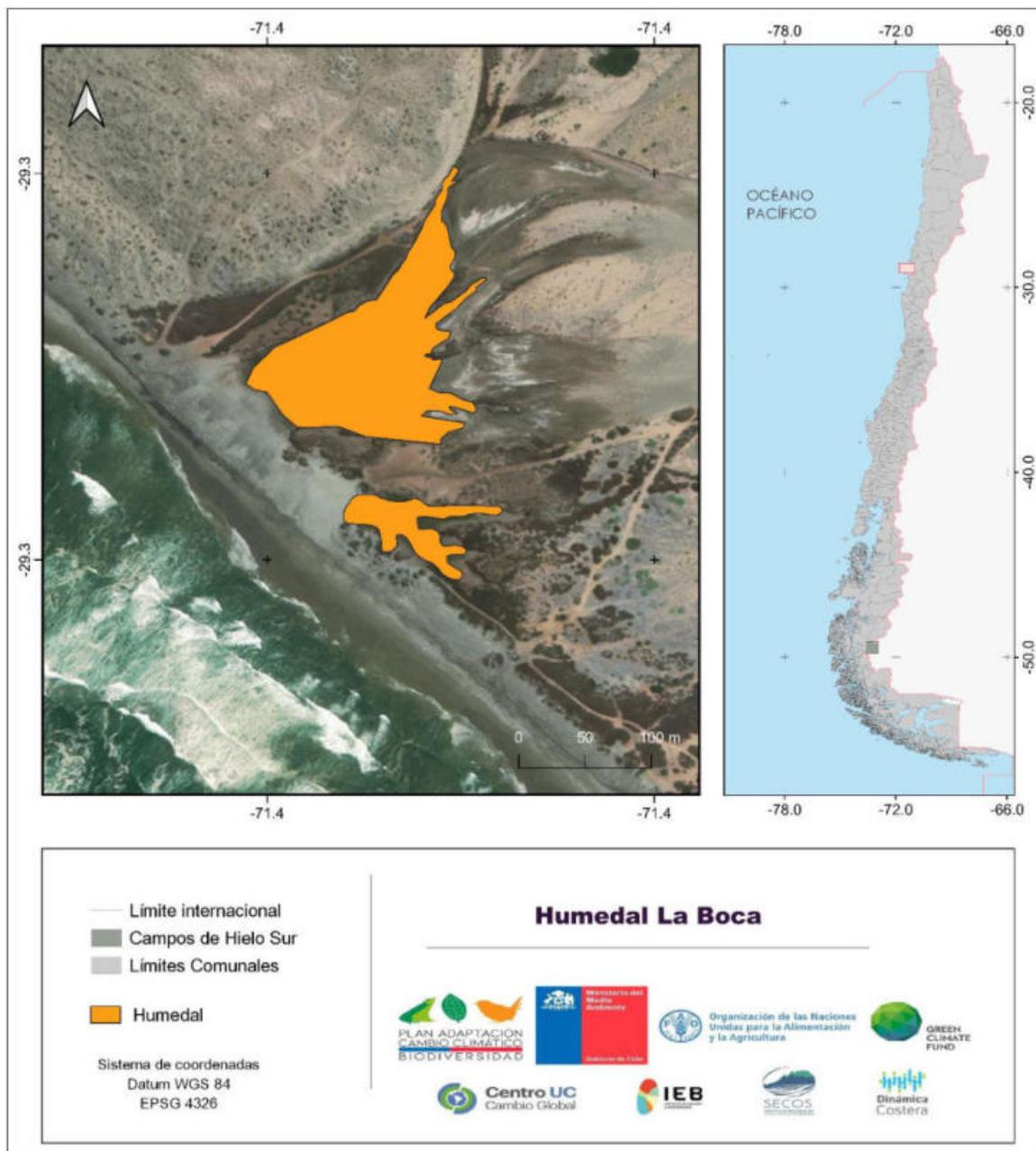


Figura A3- 21: Espejo de agua del humedal La Boca de Los Choros. Fuente: Elaboración propia.

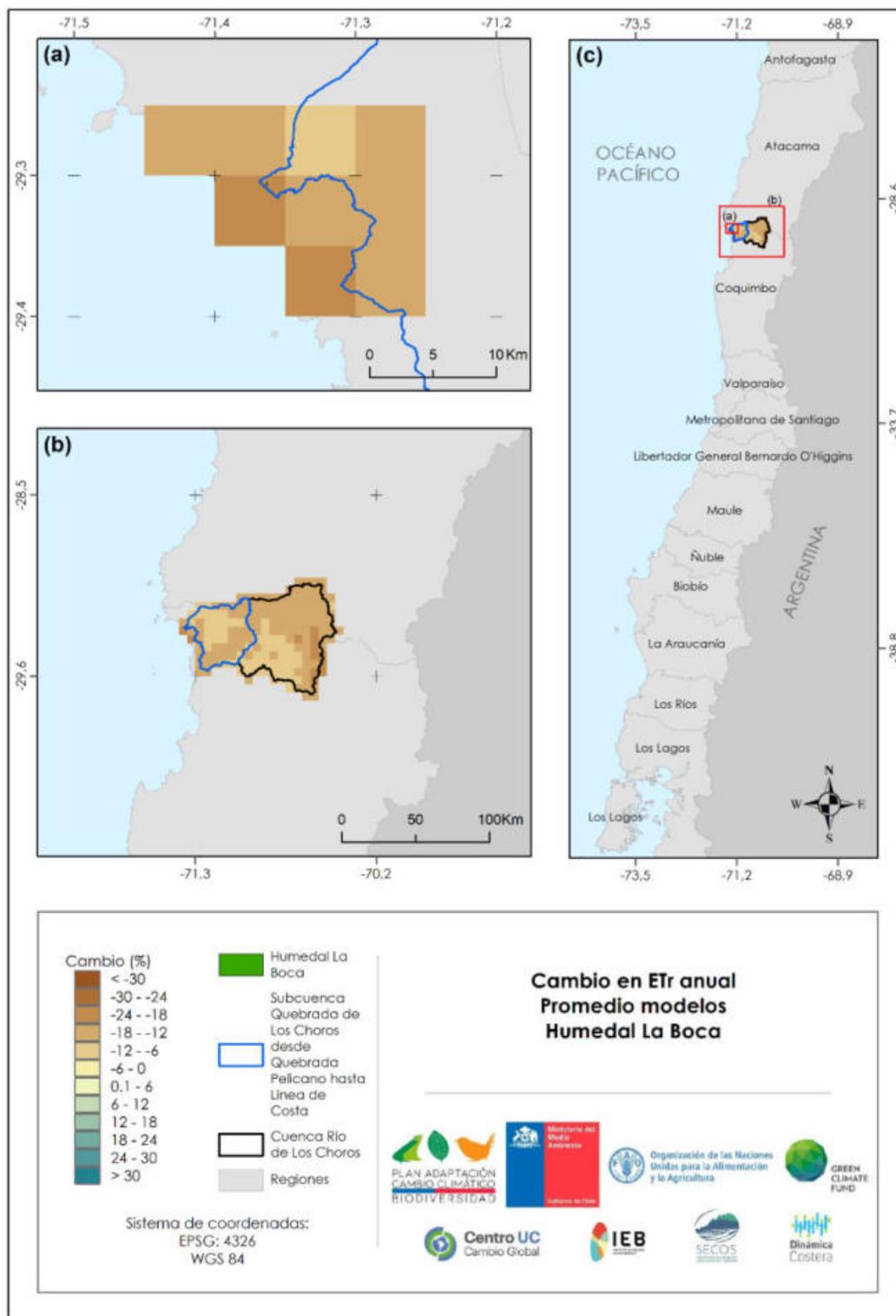


Figura A3- 22: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal La Boca para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

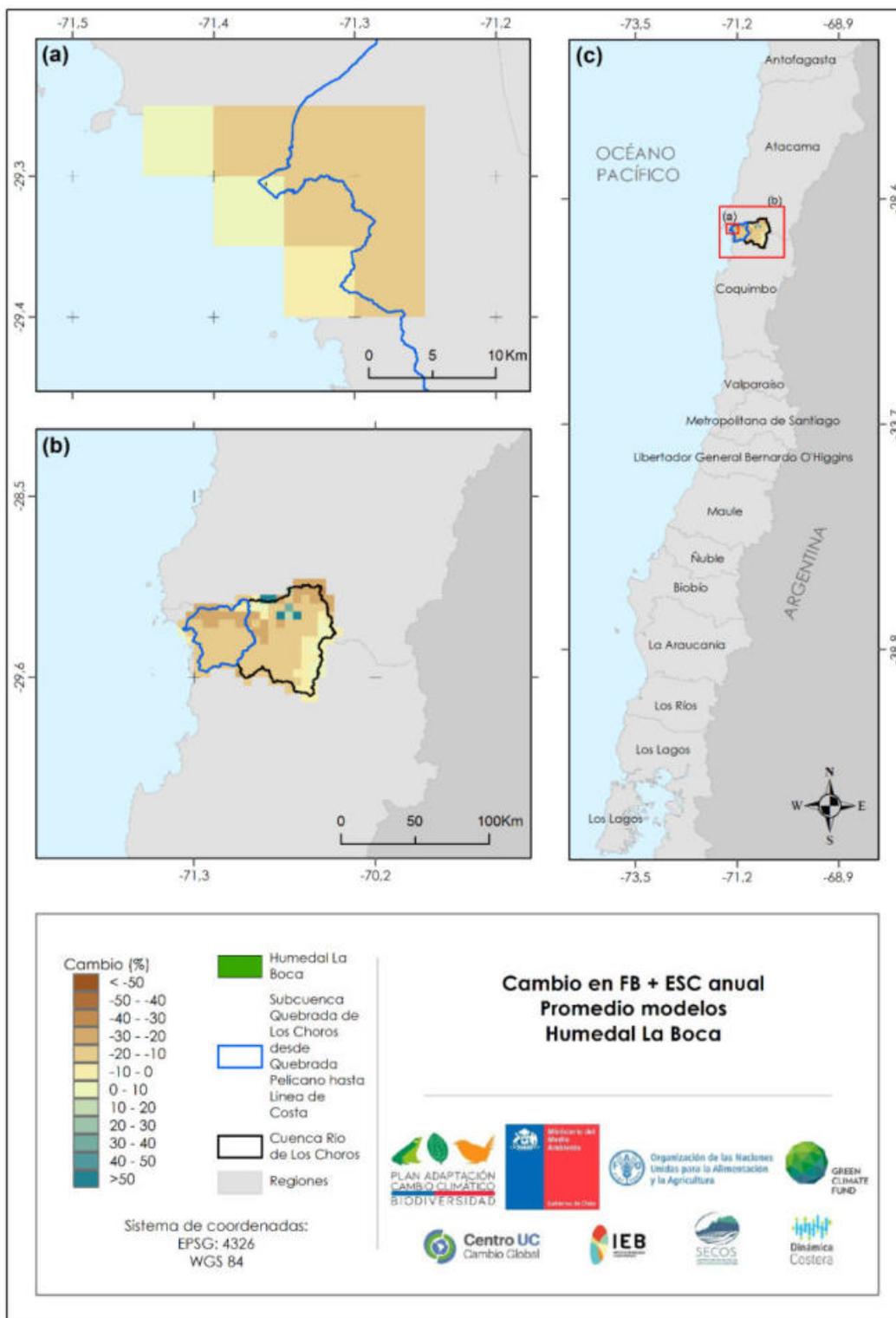


Figura A3- 23: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal La Boca para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

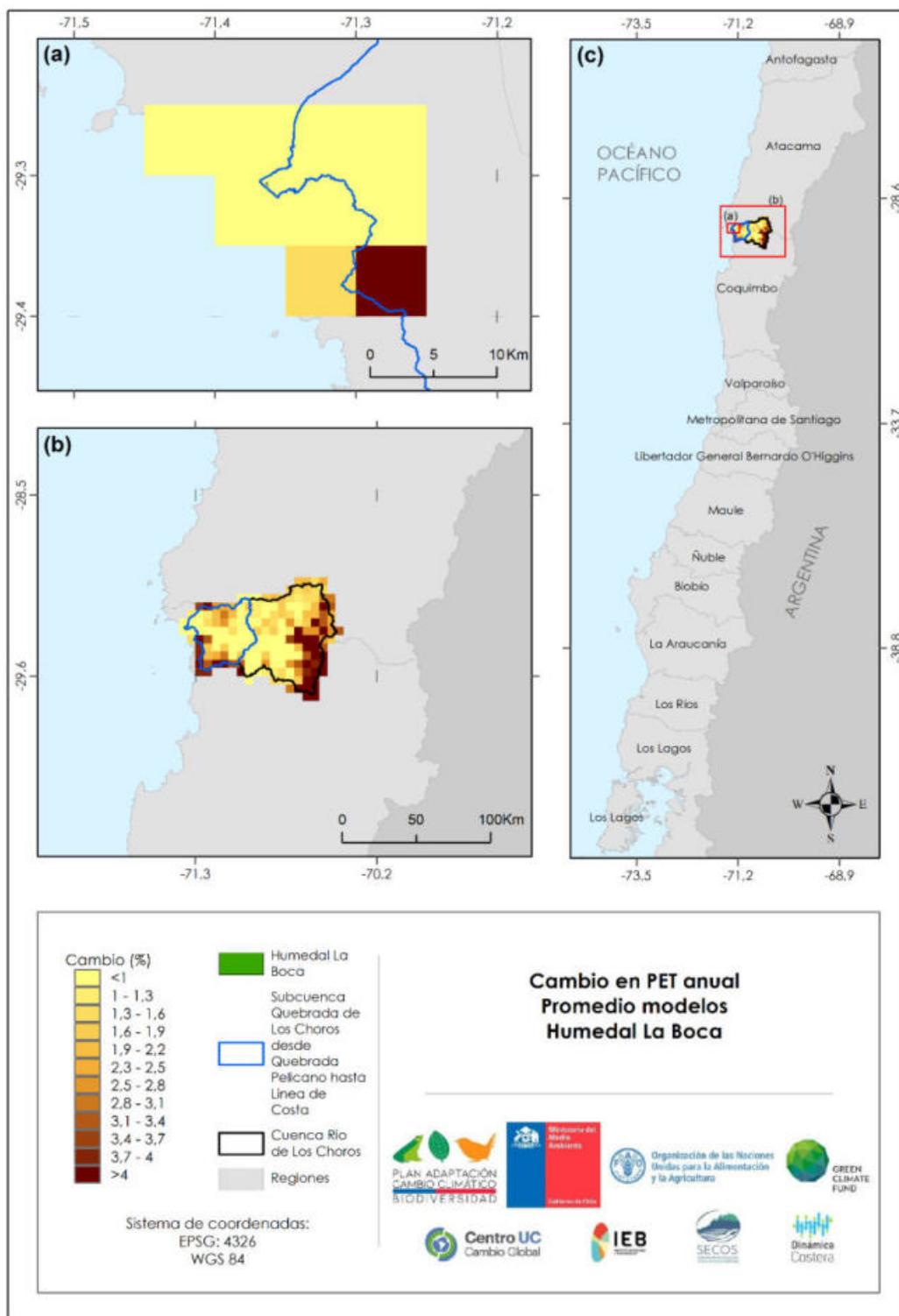


Figura A3- 24: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal La Boca para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

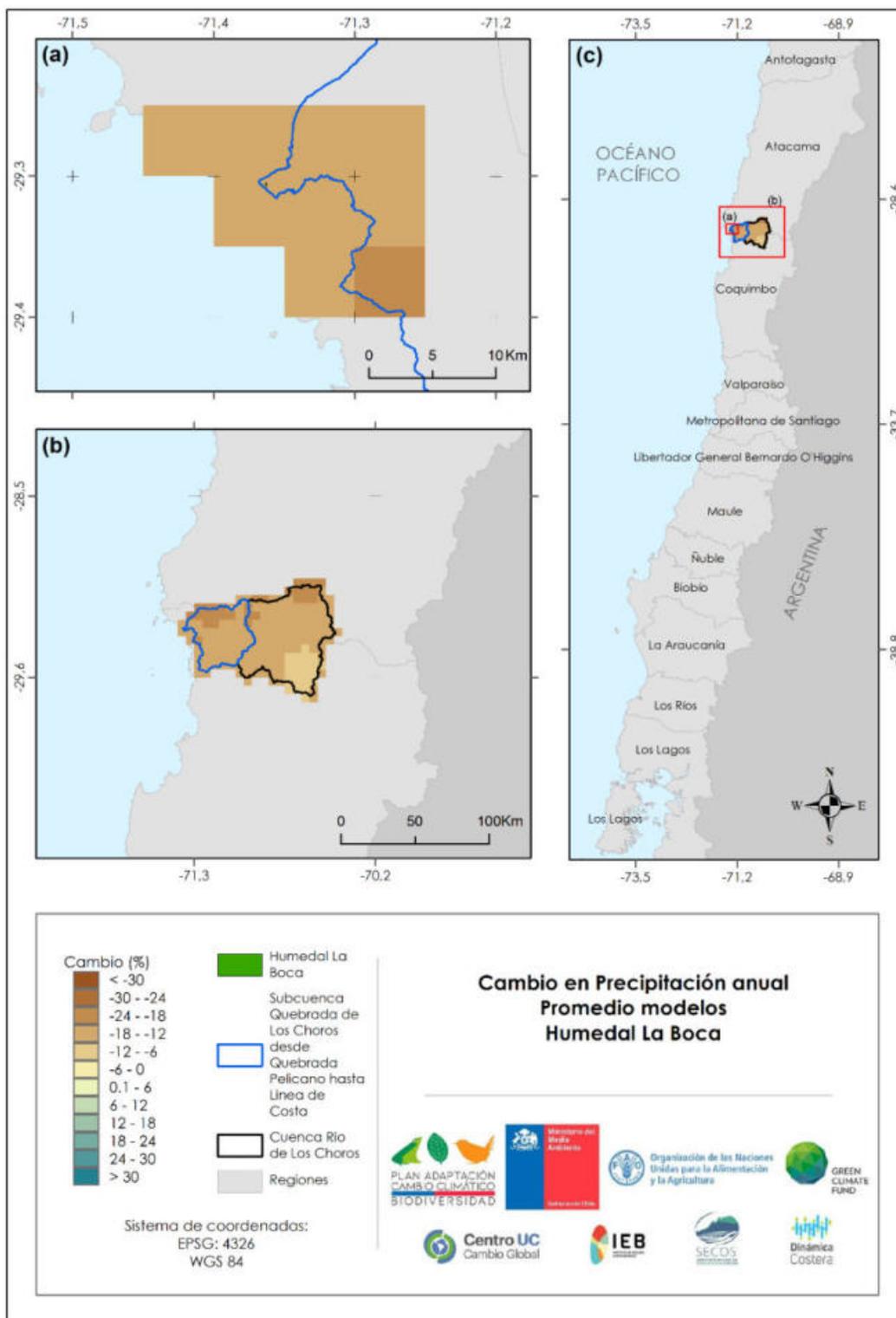


Figura A3- 25: Cambios en precipitación media anual para humedal La Boca para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

La desembocadura del Río Elqui ($29,8942^{\circ}\text{S}$, $71,2728^{\circ}\text{W}$) se inserta principalmente en una zona con uso urbano y terrenos agrícolas, atravesando La zona norte de la ciudad de La Serena. Corresponde a uno de los ecosistemas piloto del proyecto GEF-Humedales.

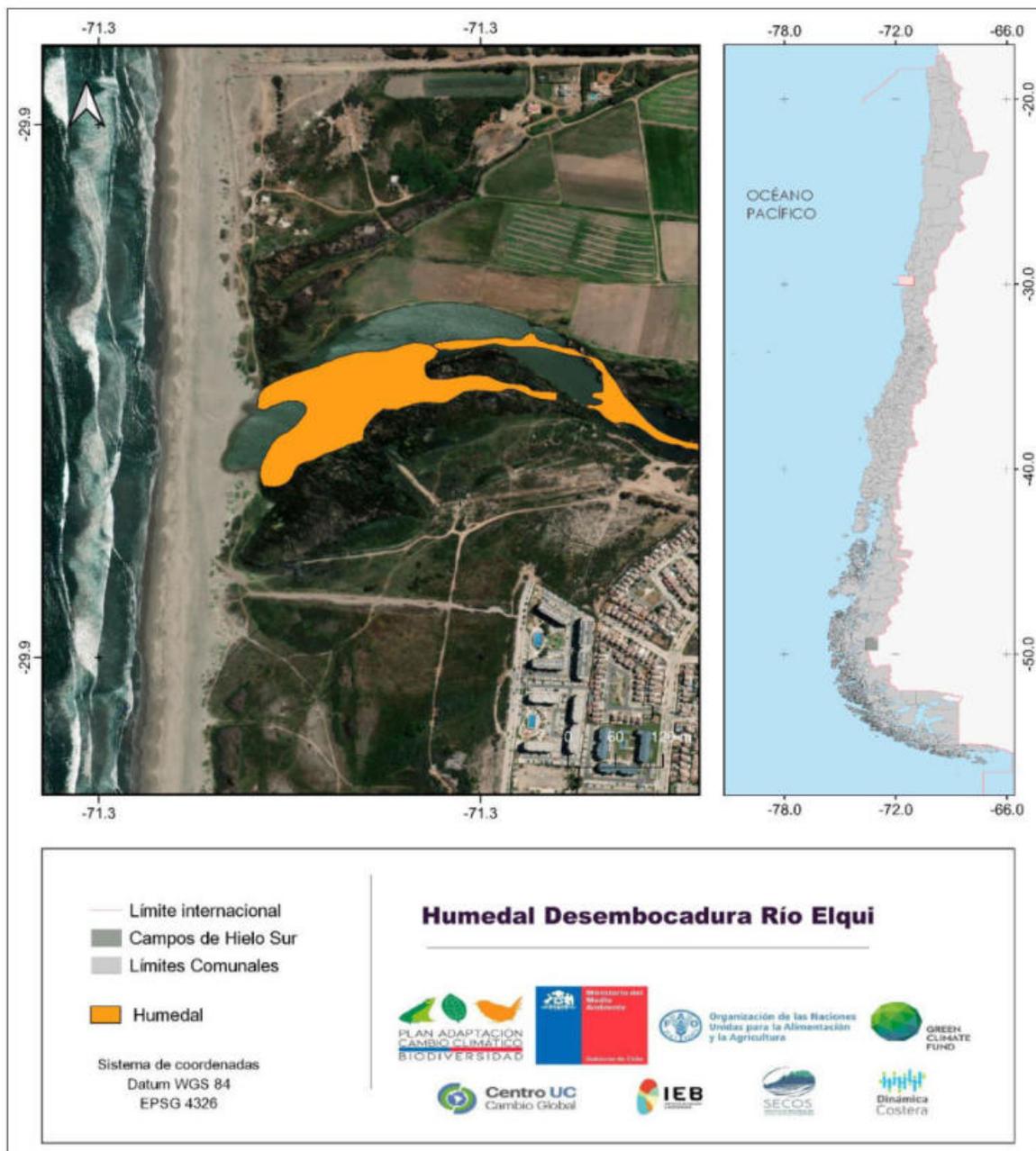


Figura A3- 26: Espejo de agua del humedal Desembocadura del Río Elqui. Fuente: Elaboración propia.

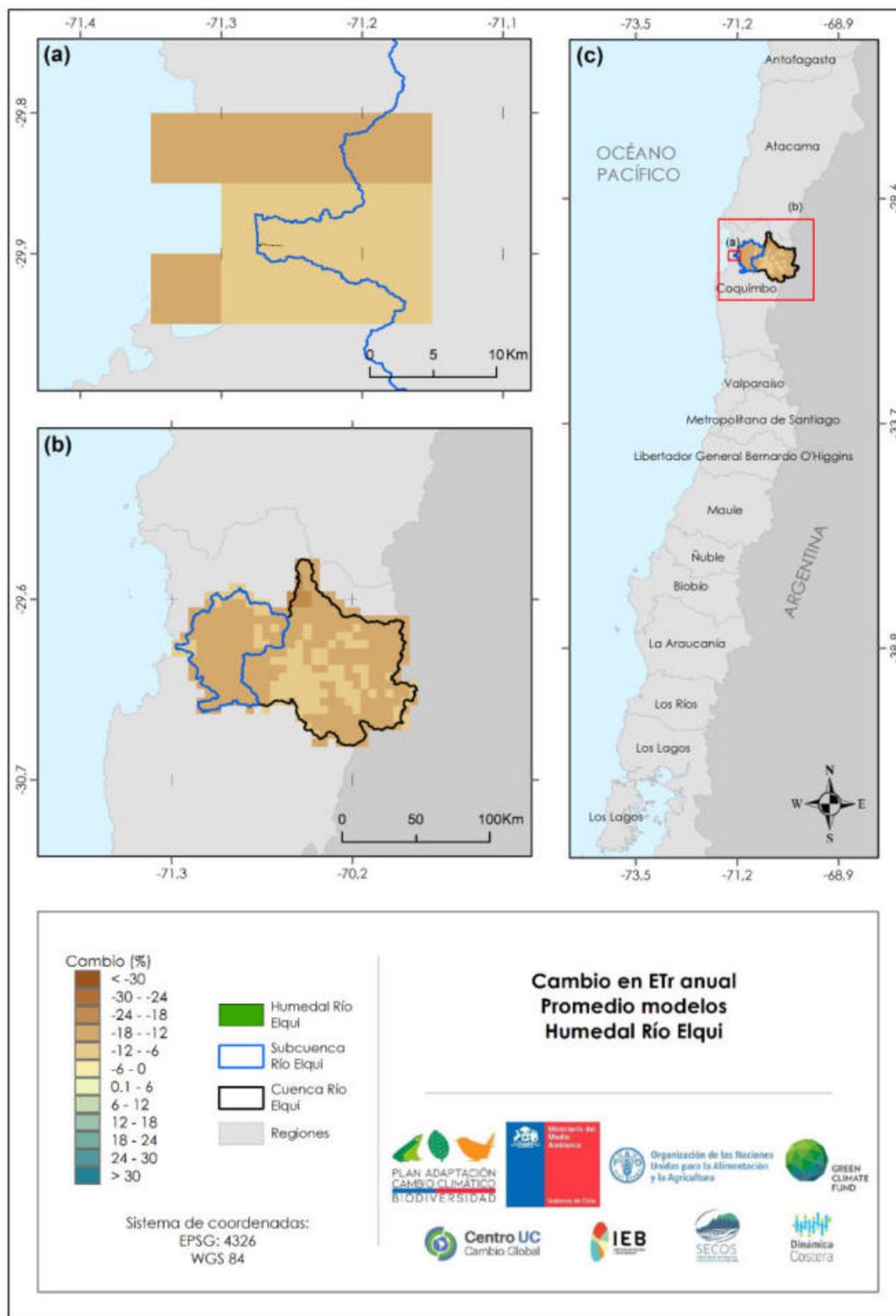


Figura A3- 27: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal Río Elqui para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

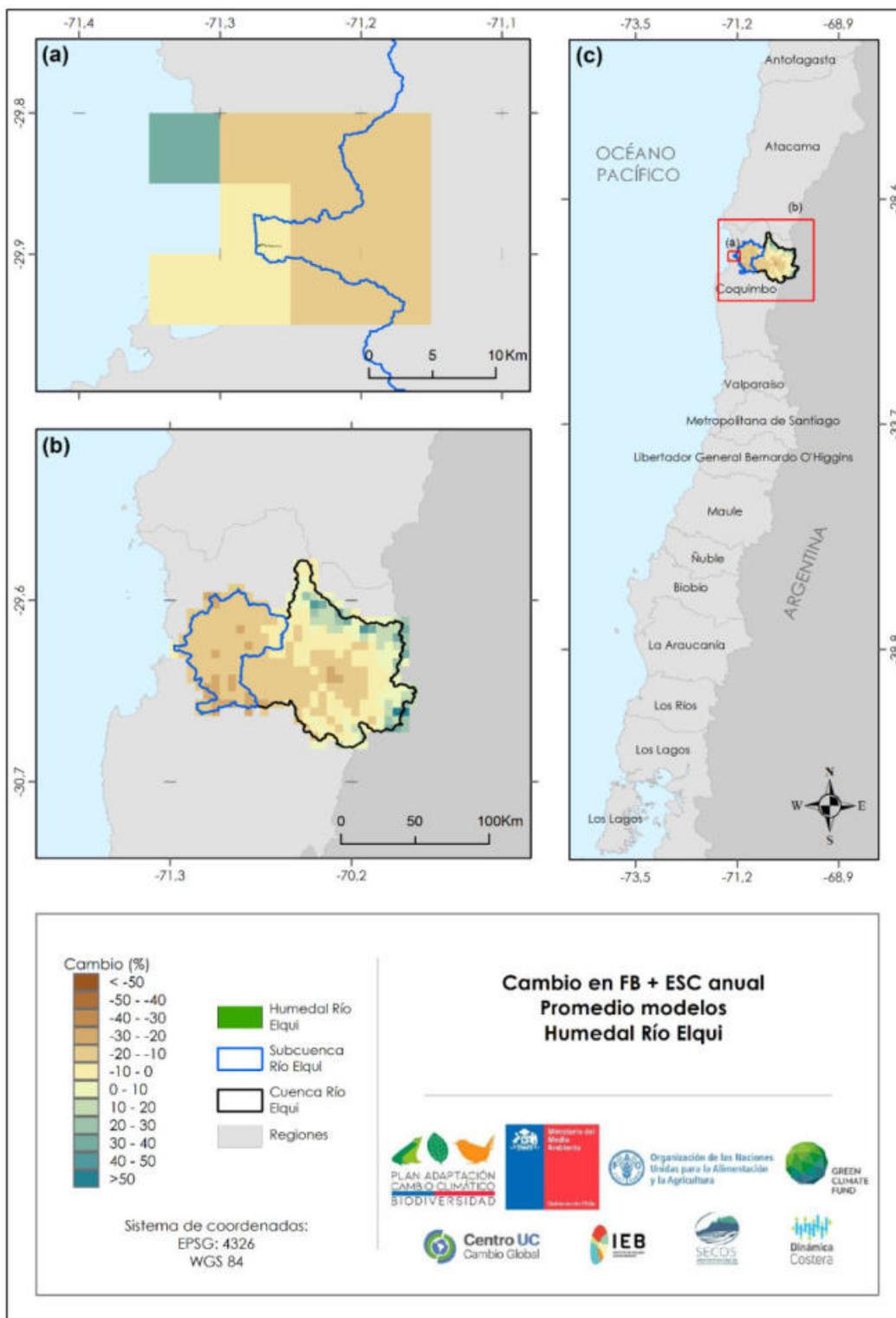


Figura A3- 28: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Río Elqui para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

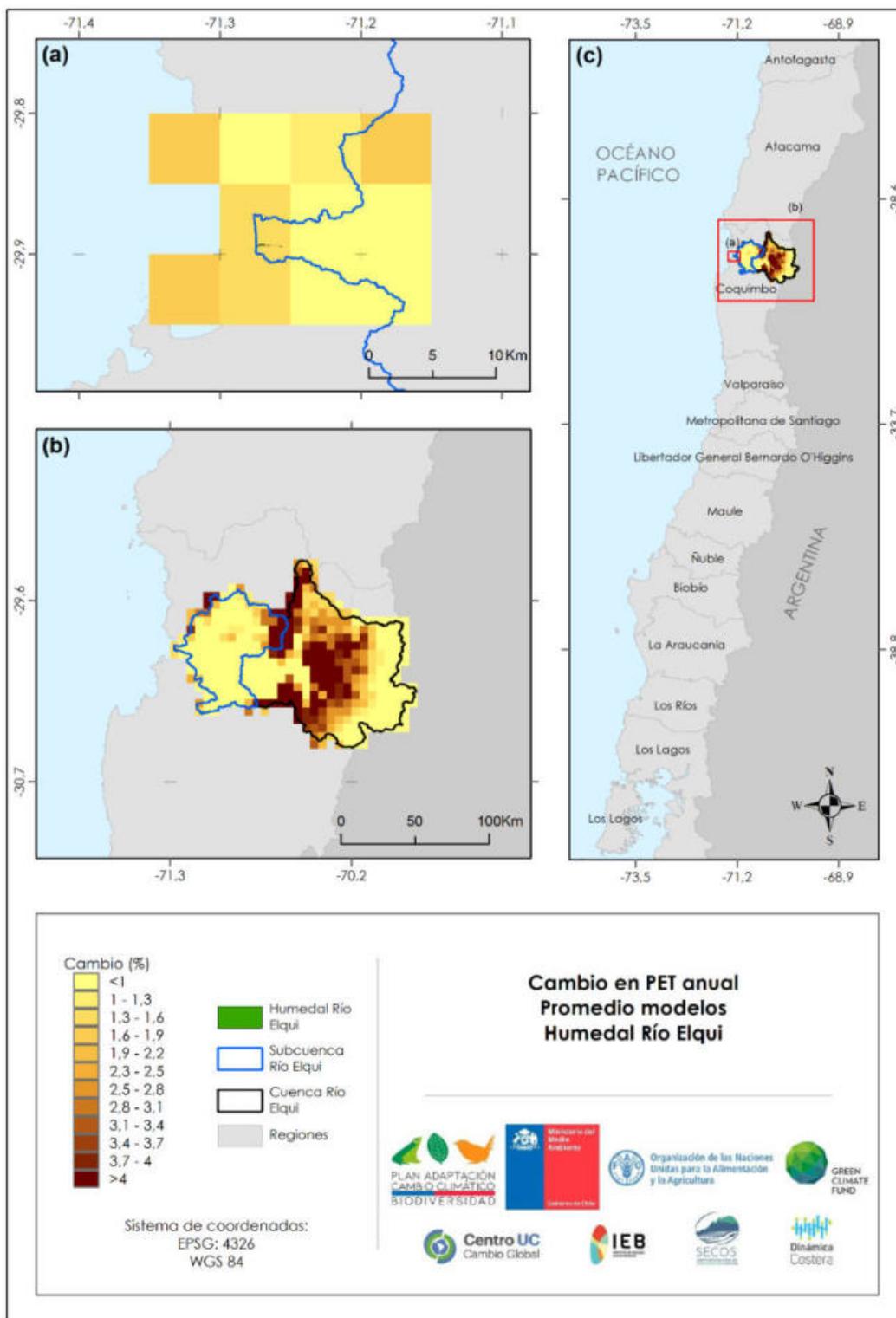


Figura A3- 29: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Río Elqui para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

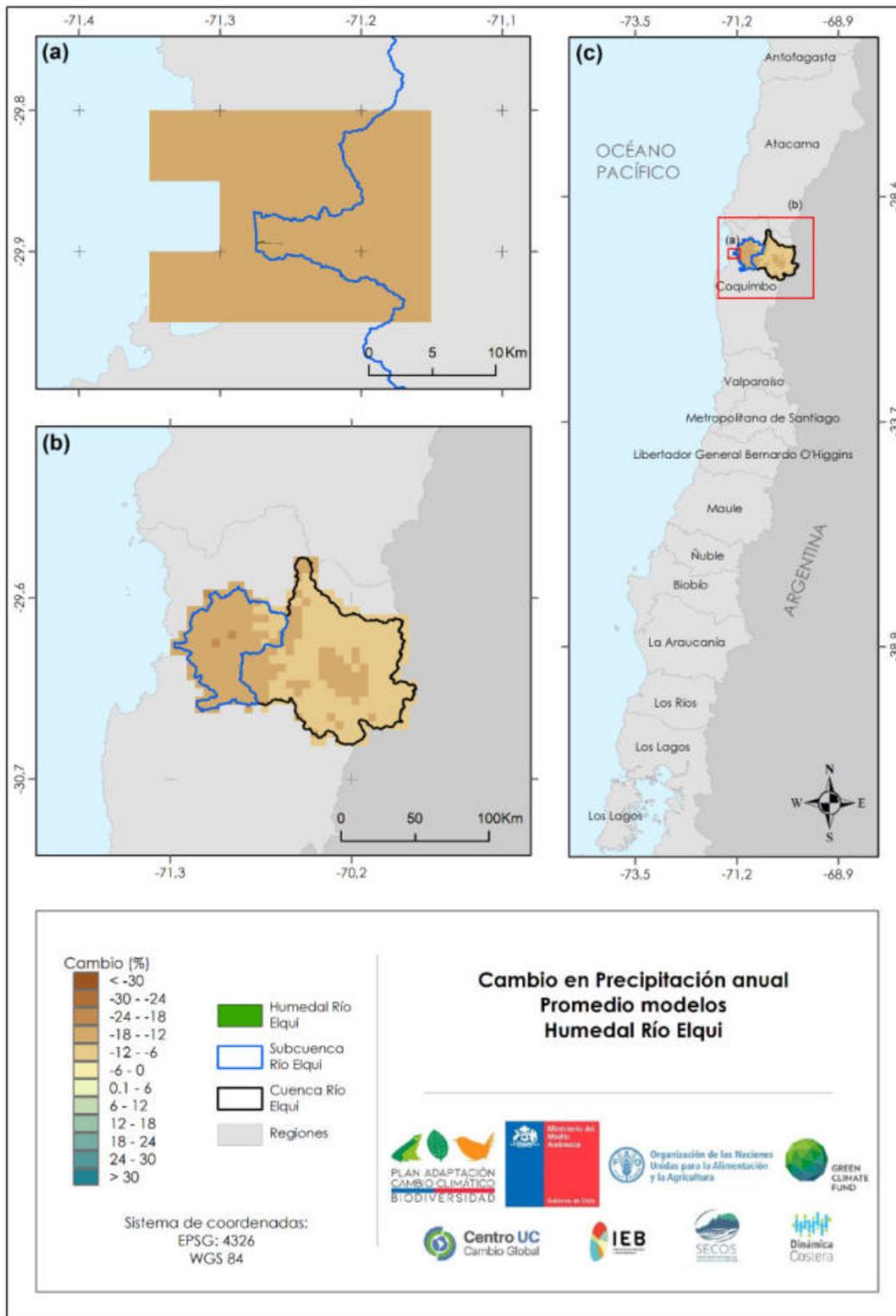


Figura A3- 30: Cambios precipitación media anual para humedal Río Elqui para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El humedal desembocadura del estero de Tongoy ($30,2557^{\circ}\text{S}$, $71,4898^{\circ}\text{W}$), se compone de un estuario de barra semi-cerrada. Es un sitio Ramsar.

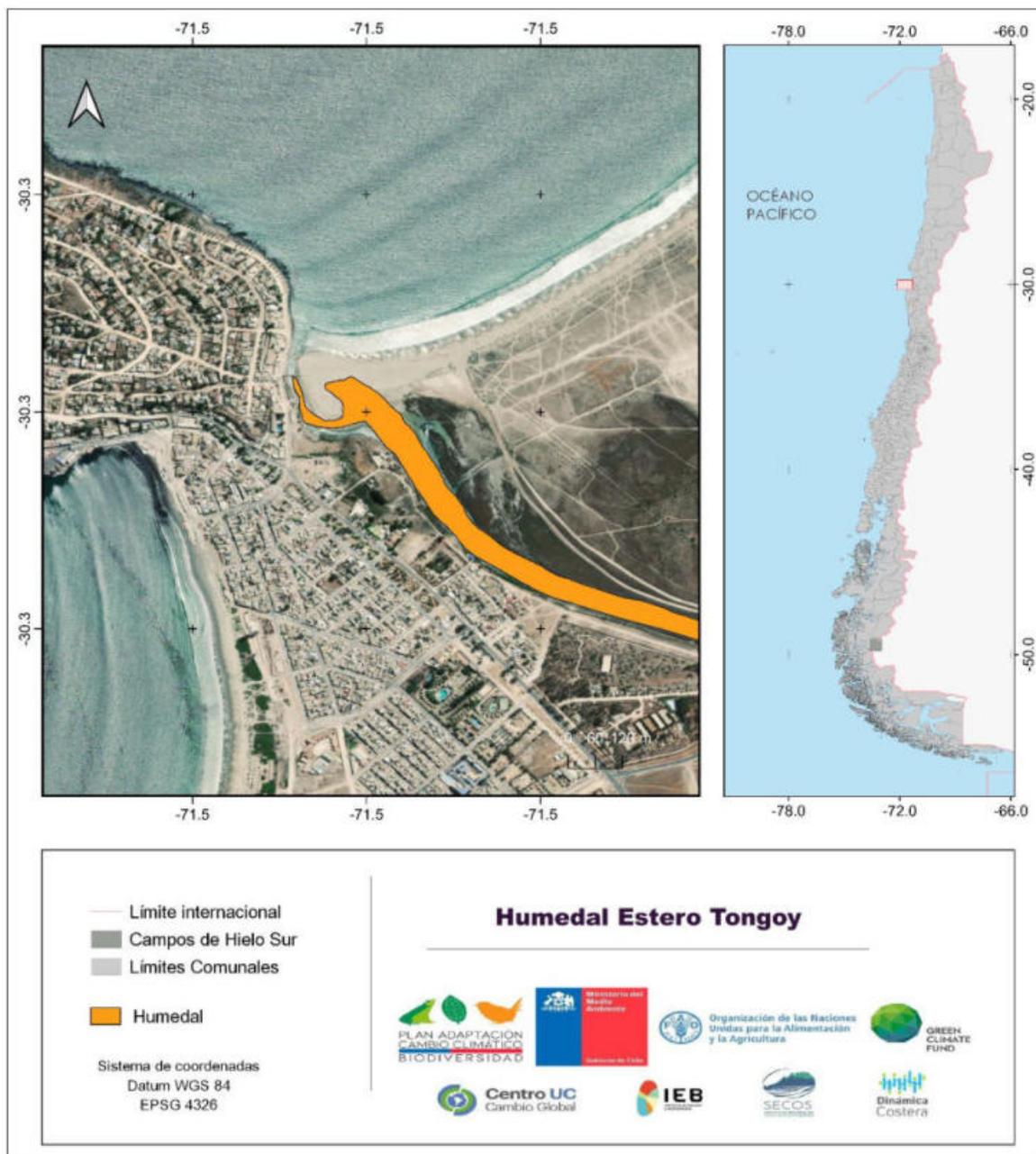


Figura A3- 31: Espejo de agua del humedal Estero Tongoy. Fuente: Elaboración propia.

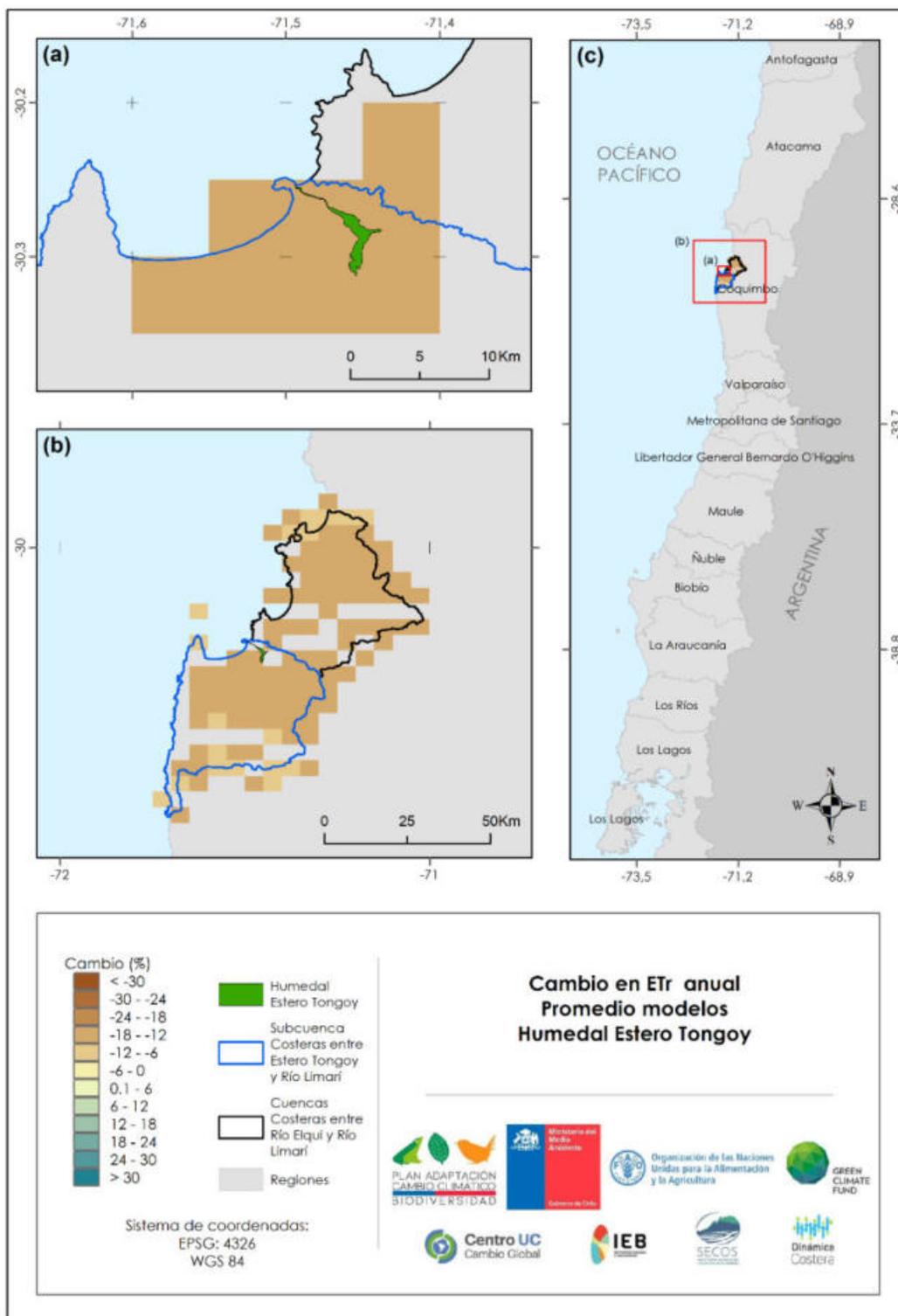


Figura A3- 32: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal Estero Tongoy para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

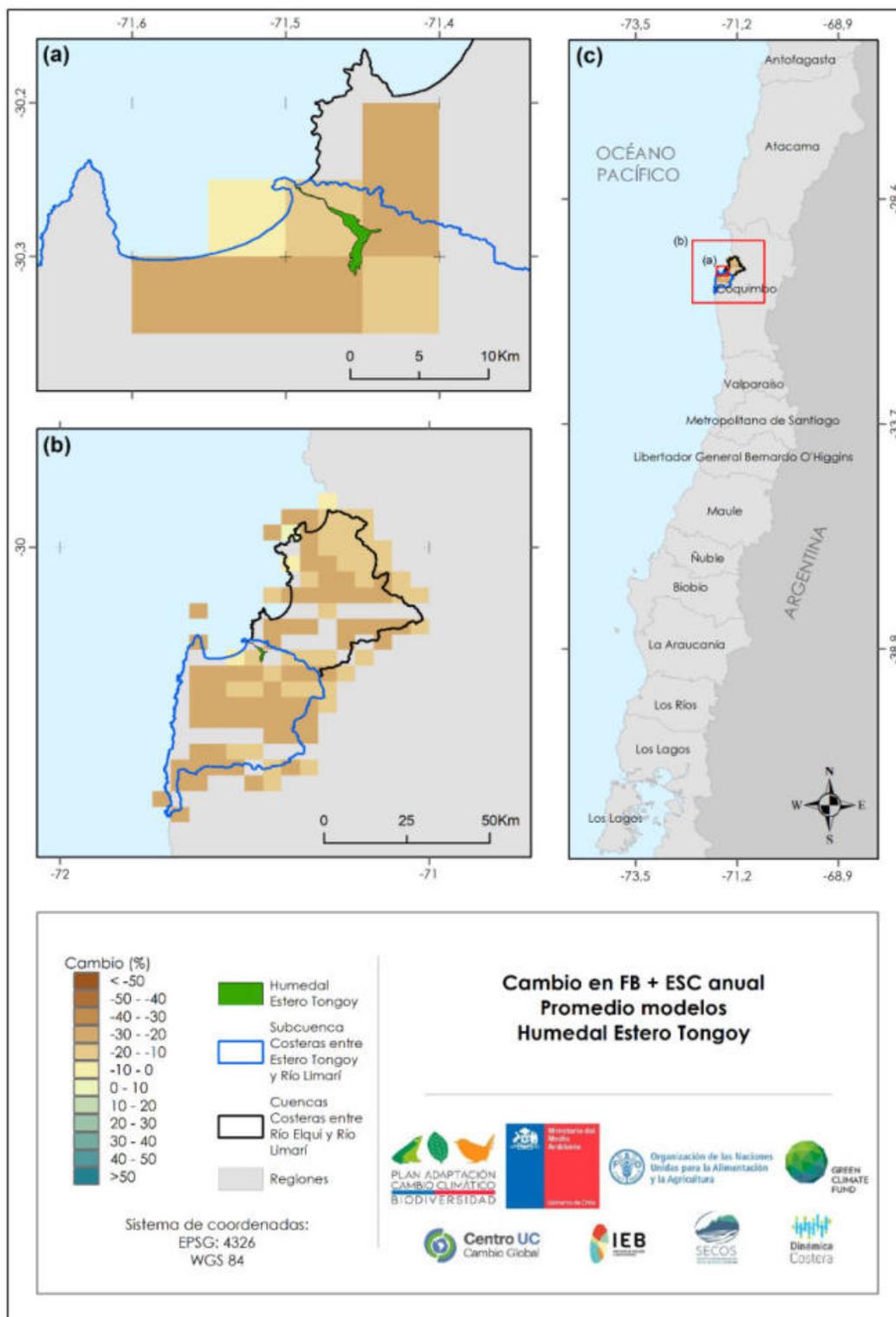


Figura A3- 33: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Estero Tongoy para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

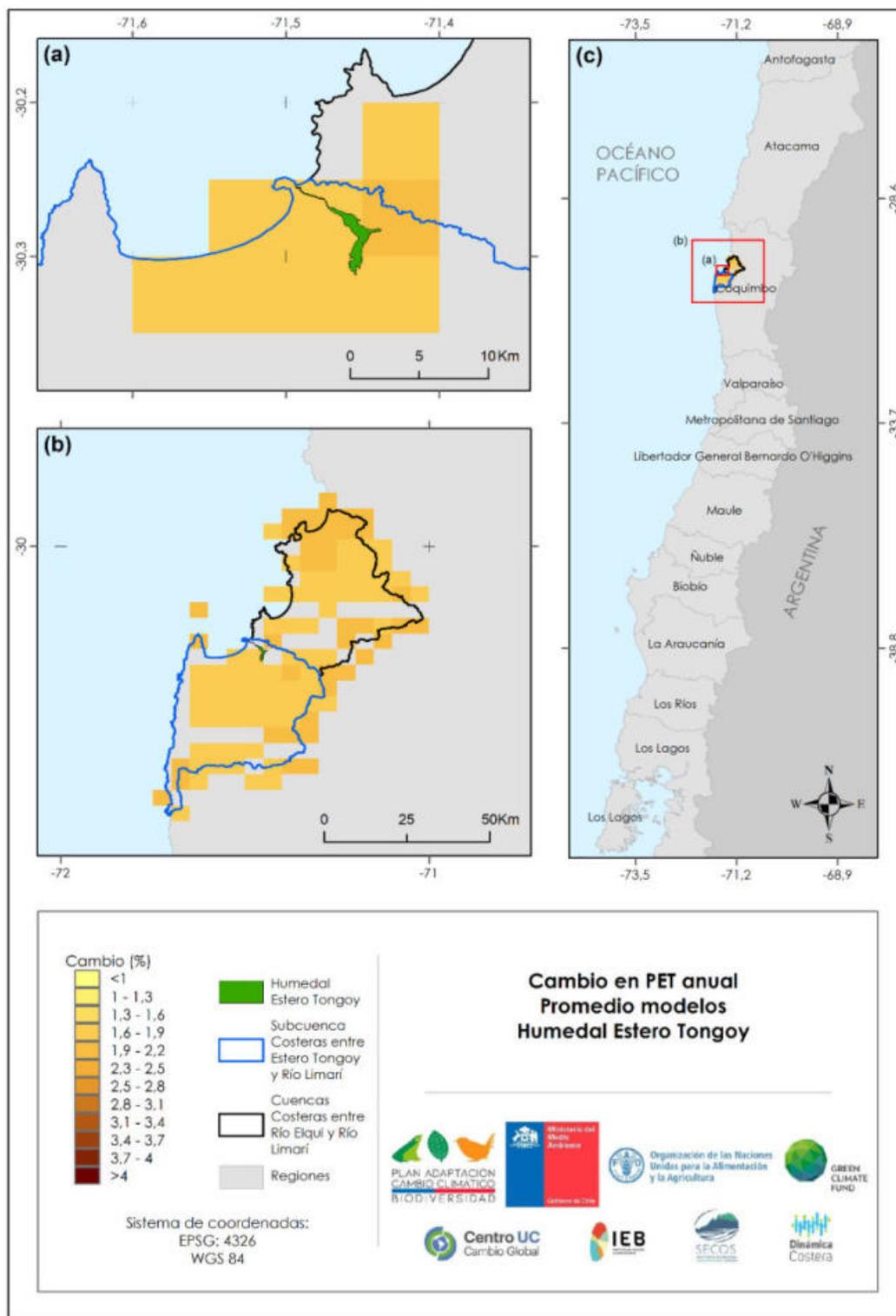


Figura A3- 34: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Estero Tongoy para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

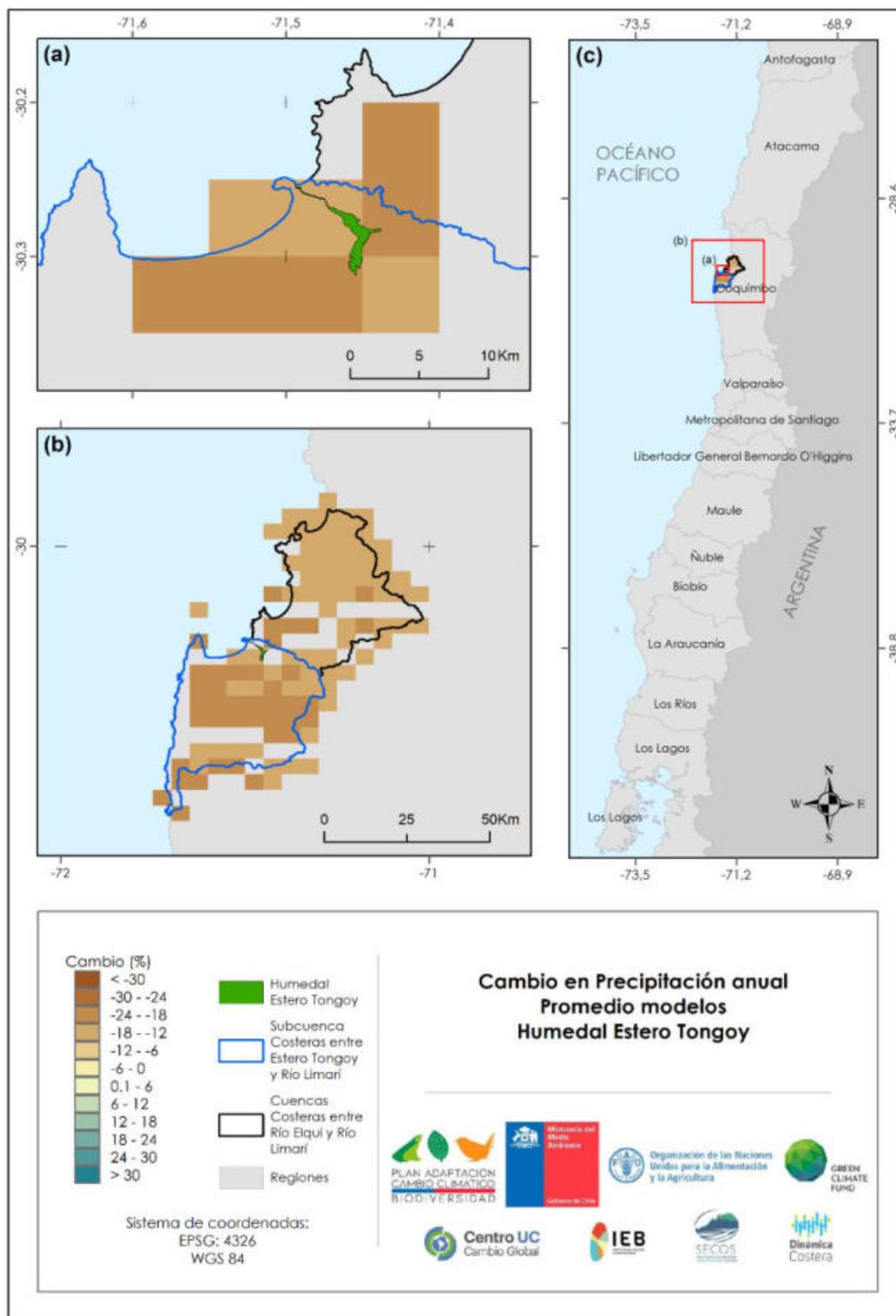


Figura A3- 35: Cambios en precipitación media anual para humedal Estero Tongoy para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal Salinas Grandes (30,3013°S, 71,5364°W) es un sitio Ramsar emplazado en la comuna de Coquimbo. Se encuentra presionado por parcelaciones y un camino que lo fragmenta (Zuleta *et al.* 2019).

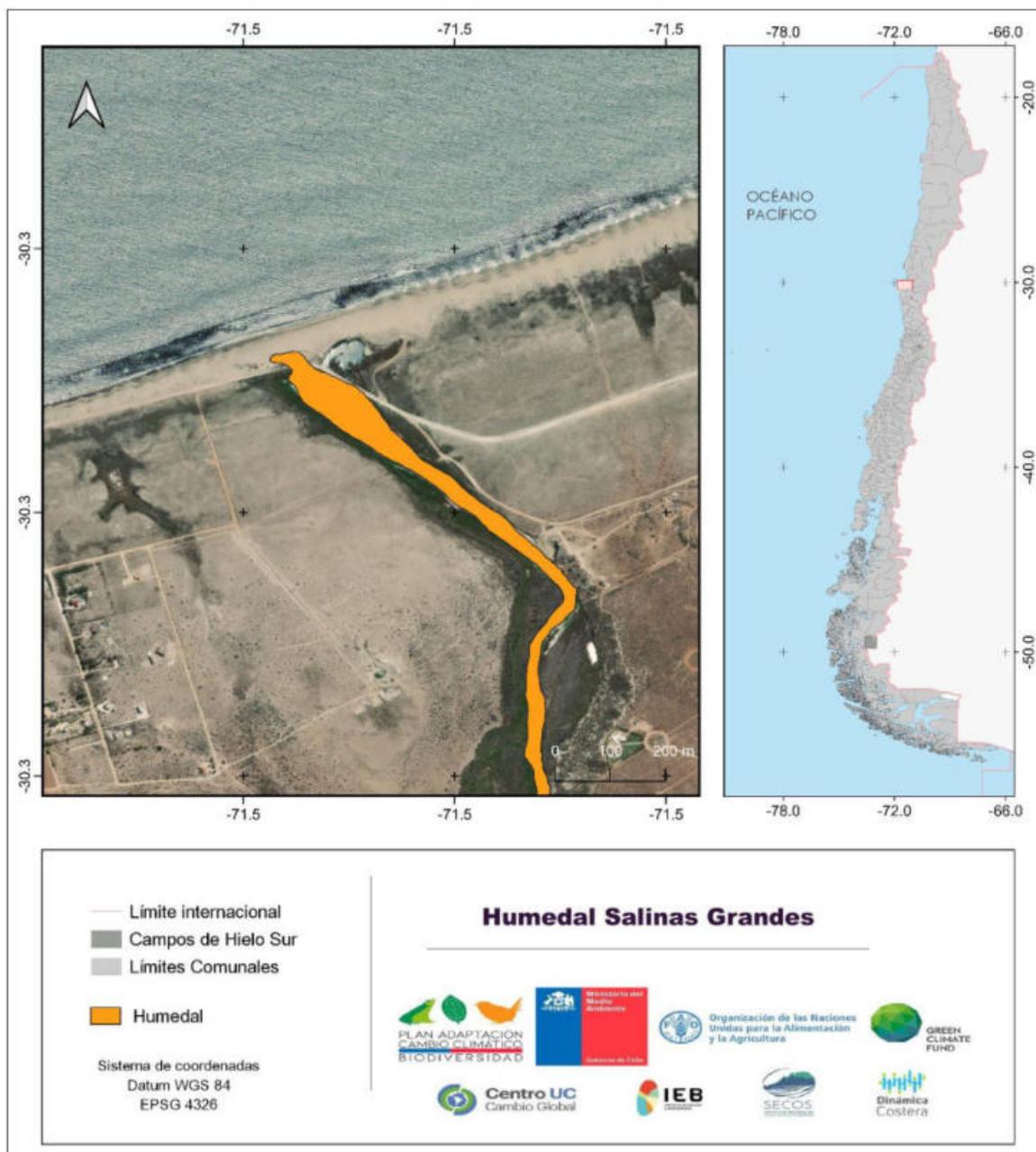


Figura A3- 36: Espejo de agua del humedal Salinas Grandes. Fuente: Elaboración propia.

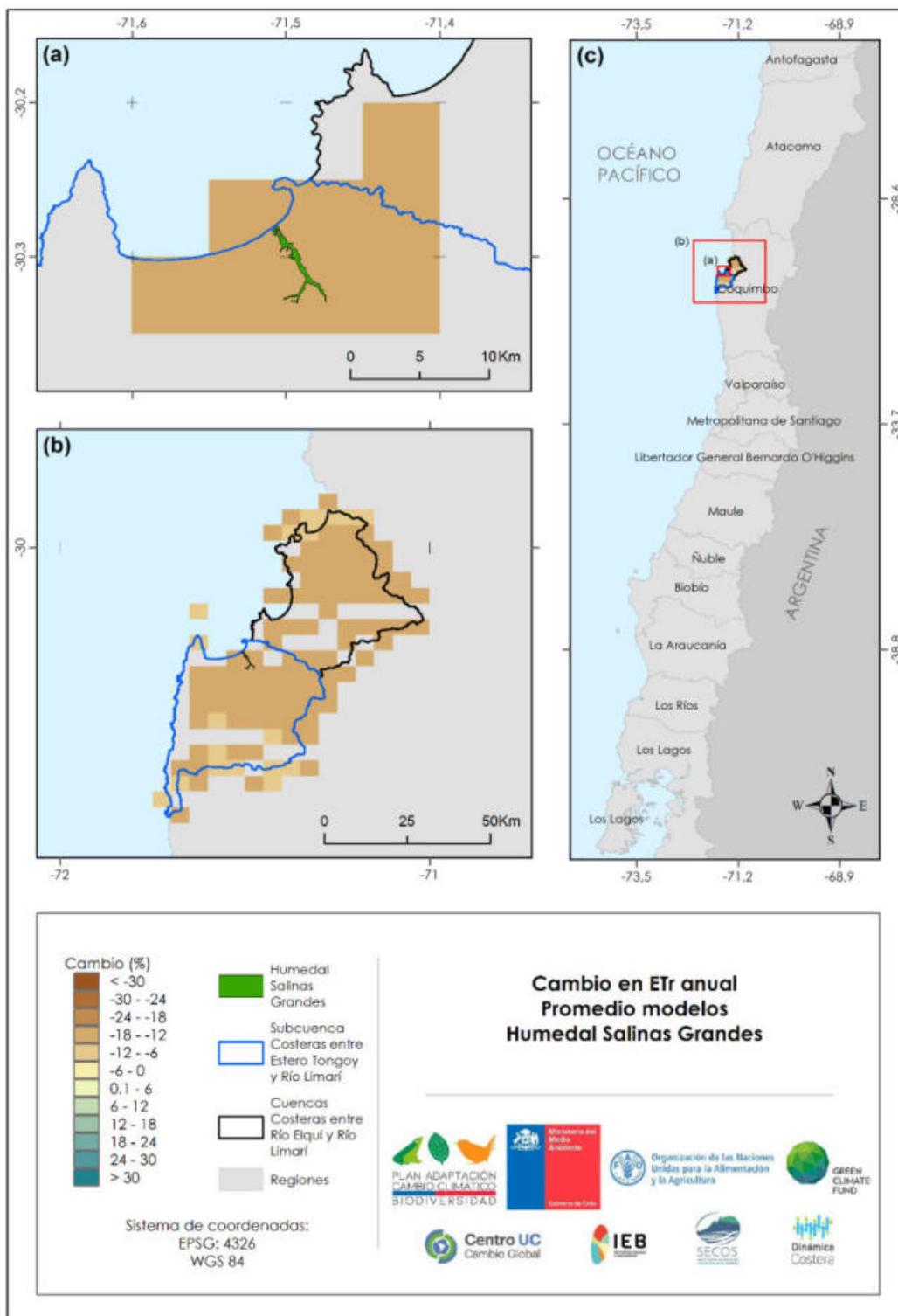


Figura A3- 37: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal Salinas Grandes para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

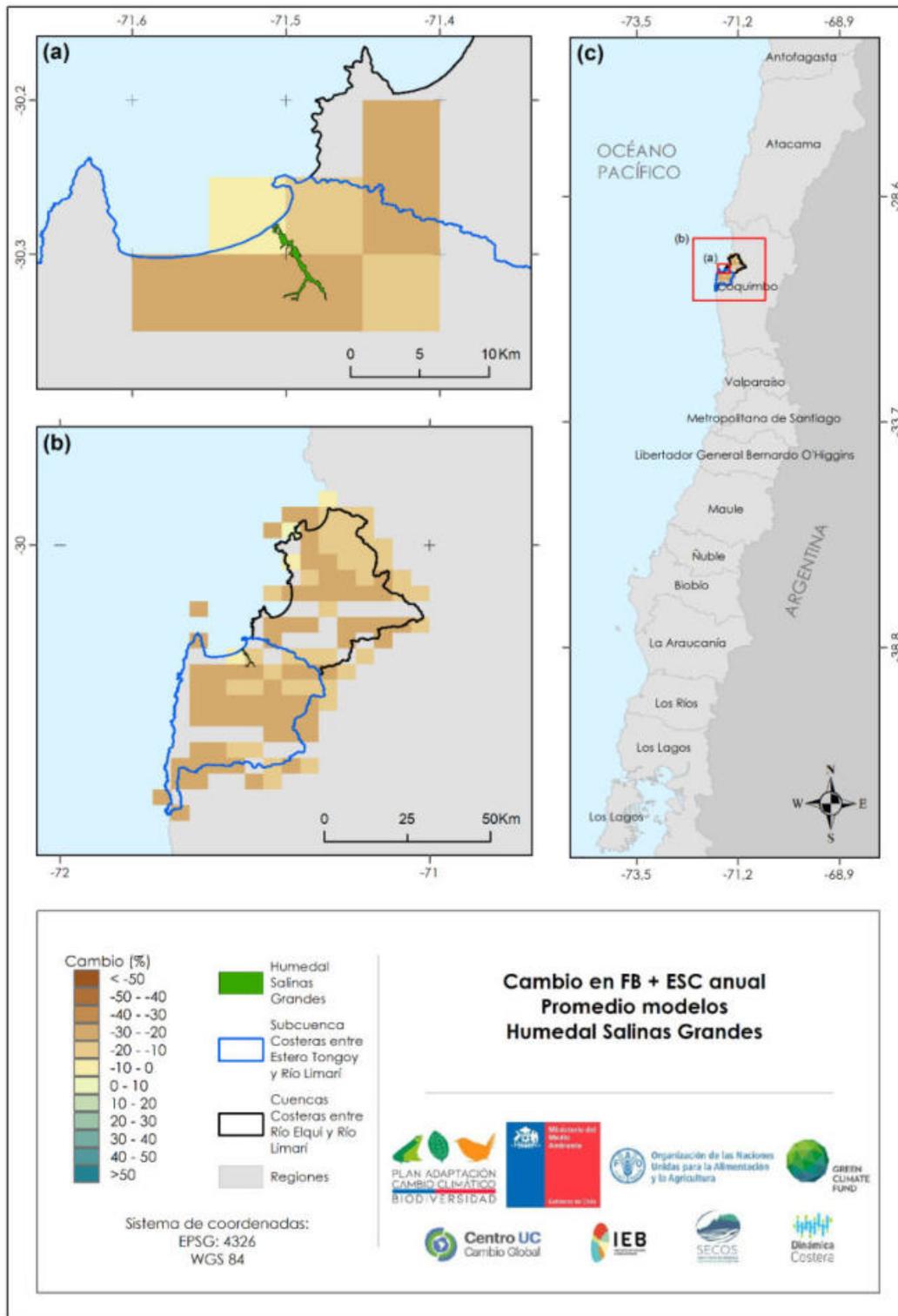


Figura A3- 38: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Salinas Grandes para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

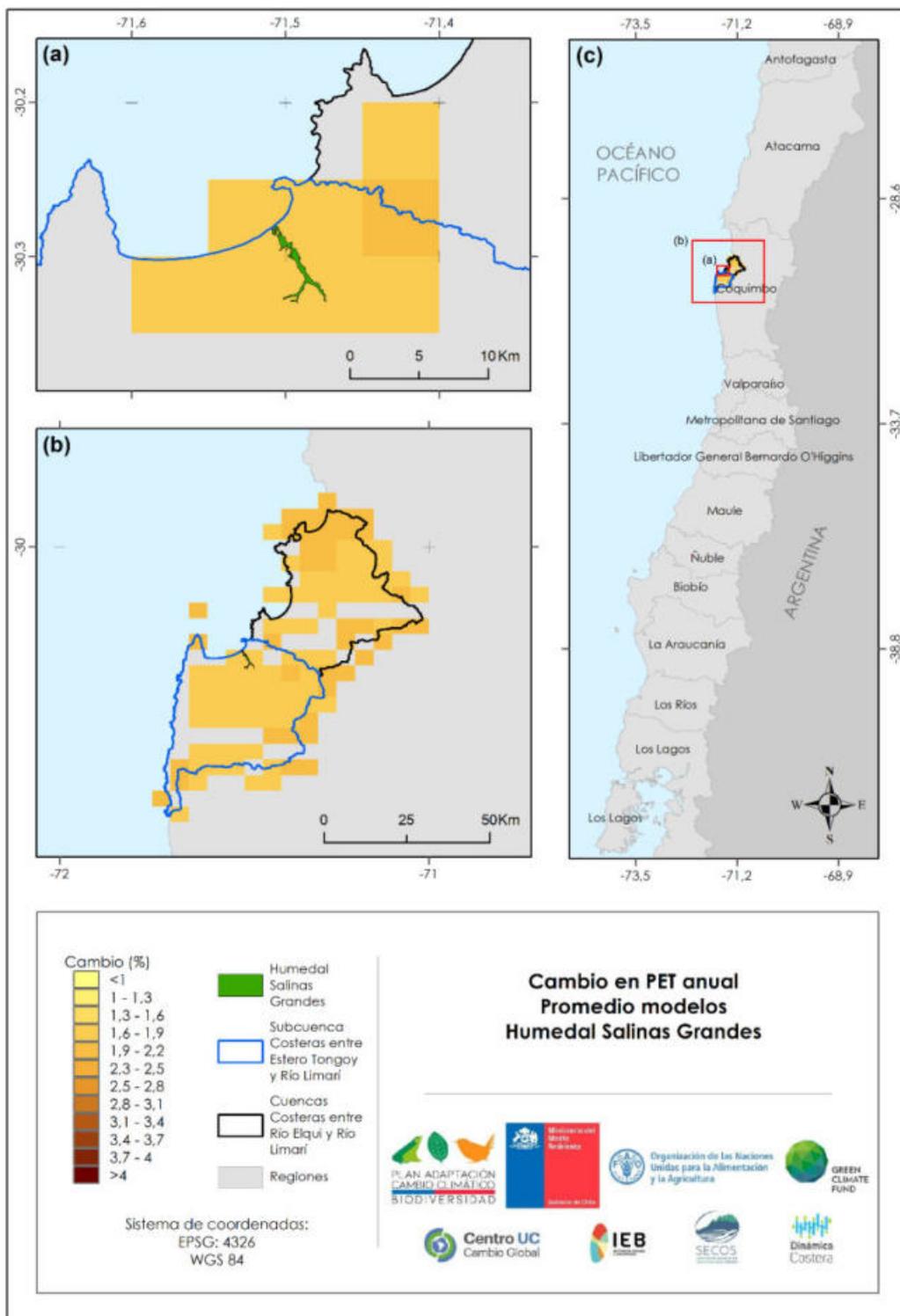


Figura A3- 39: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Salinas Grandes para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

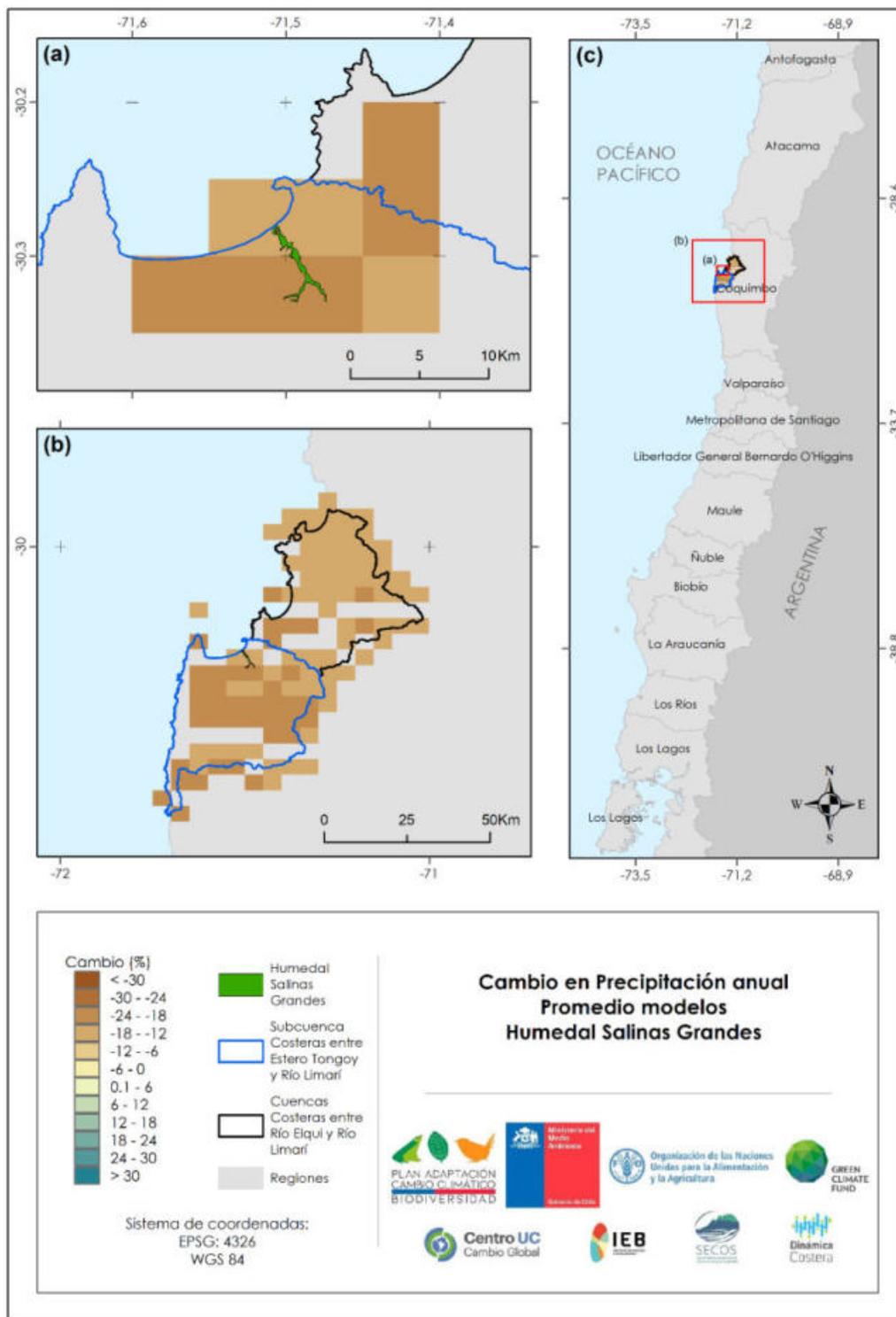


Figura A3- 40: Cambios en precipitación media anual para humedal Salinas Grandes para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal Salinas Chicas ($30,2821^{\circ}\text{S}$, $71,5065^{\circ}\text{W}$) es un sitio Ramsar emplazado en la comuna de Coquimbo. Se encuentra presionado por parcelaciones y un camino que lo fragmenta (Zuleta *et al.* 2019).

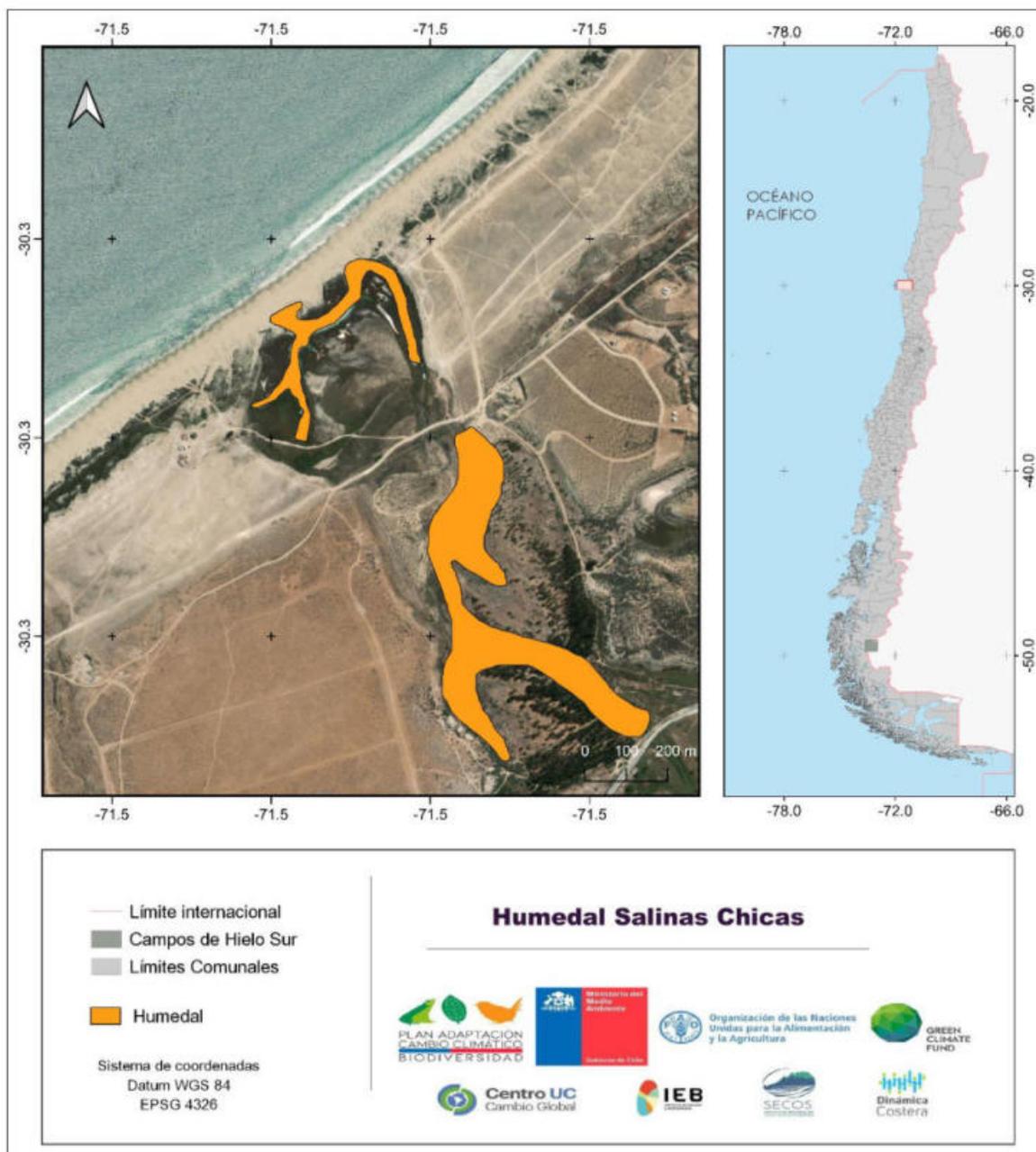


Figura A3- 41: Espejo de agua del humedal Salinas Chicas. Fuente: Elaboración propia.

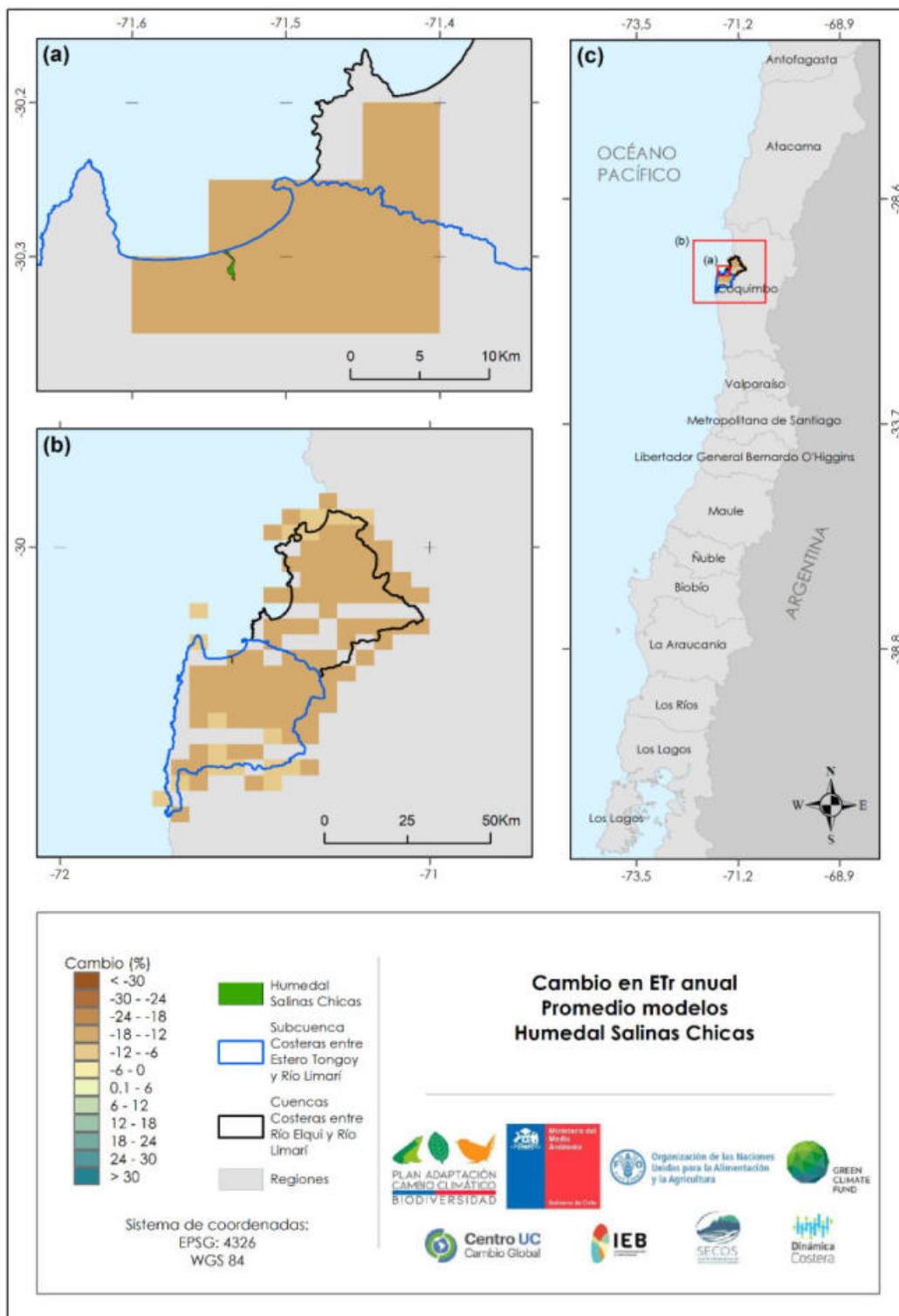


Figura A3- 42: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal Salinas Chicas para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

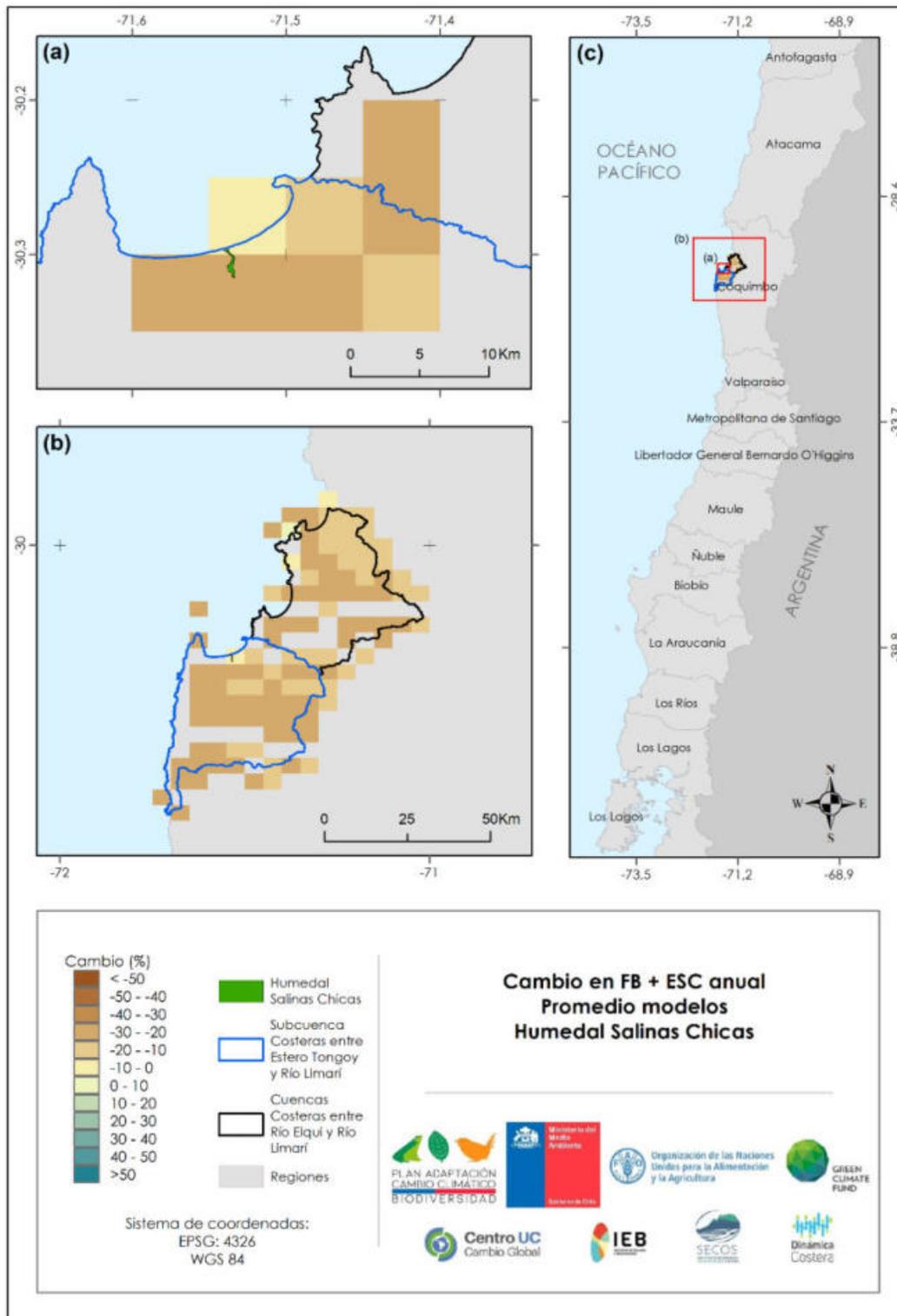


Figura A3- 43: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Salinas Chicas para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

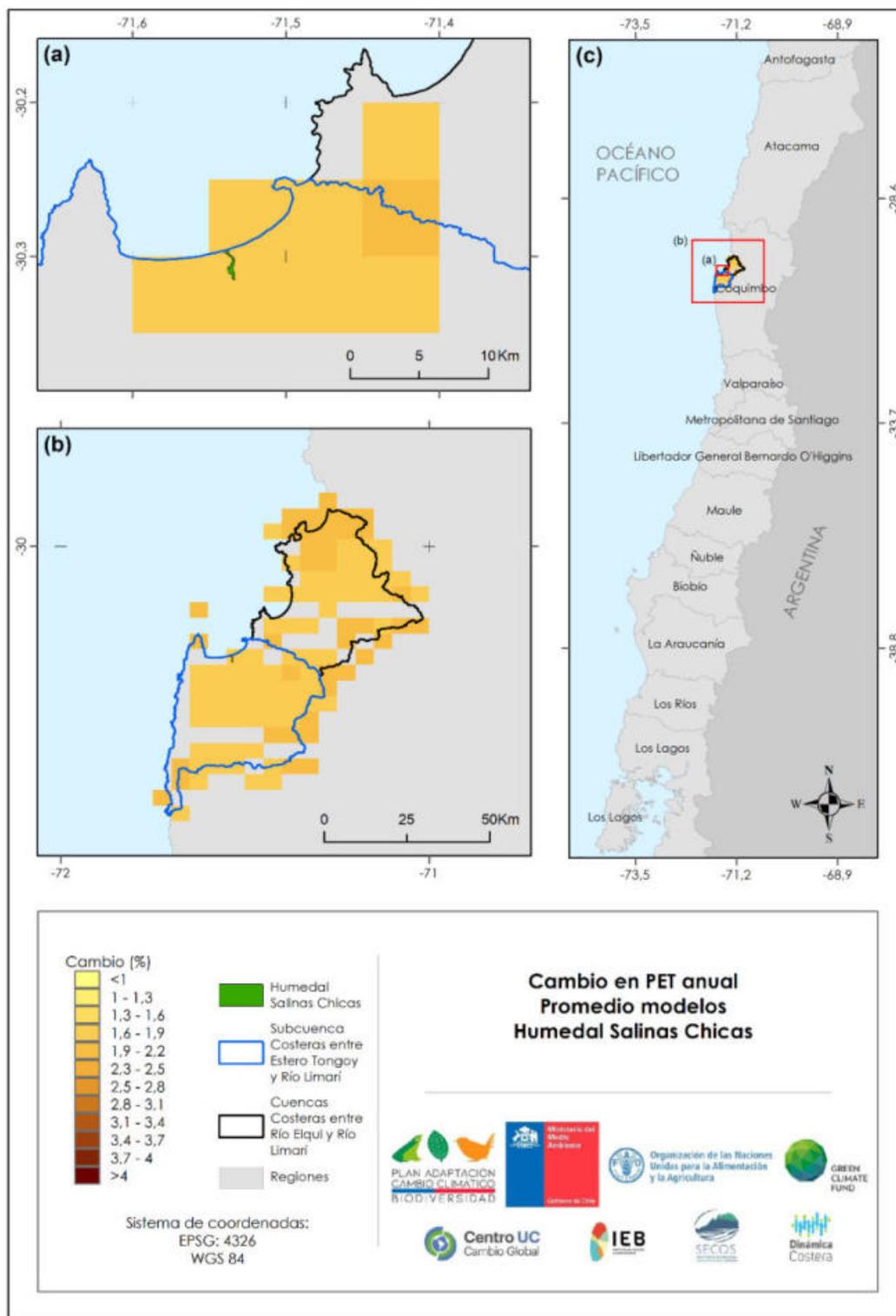


Figura A3- 44: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Salinas Chicas para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

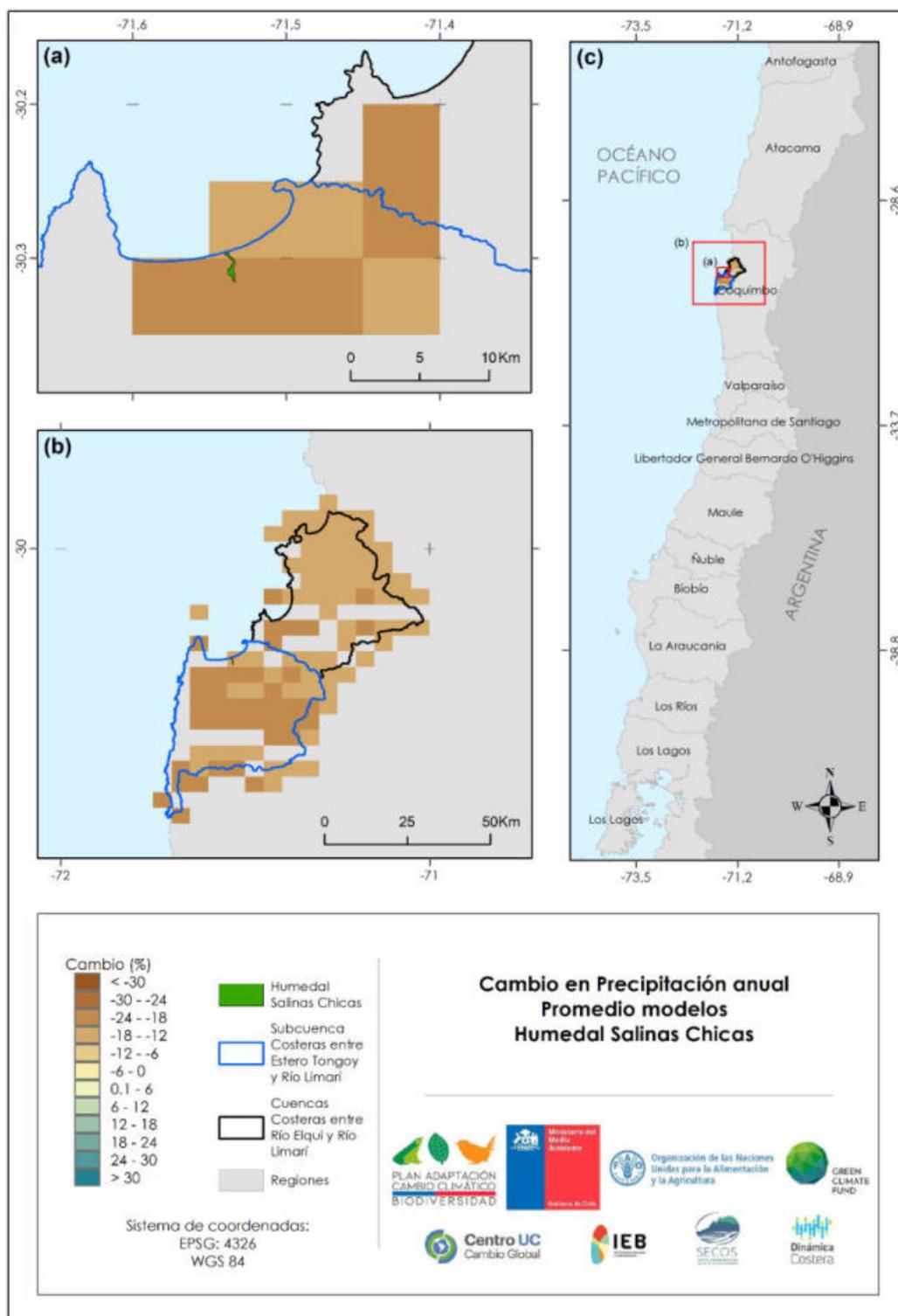


Figura A3- 45: Cambios precipitación media anual para humedal Salinas Chicas para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal Pachingo ($30,3081^{\circ}\text{S}$, $71,5711^{\circ}\text{W}$) es un sitio Ramsar emplazado en la comuna de Coquimbo. Se encuentra presionado por parcelaciones y un camino que lo fragmenta (Zuleta *et al.* 2019). Este humedal fue severamente afectado con el tsunami del año 2015 (Contreras *et al.* 2019).

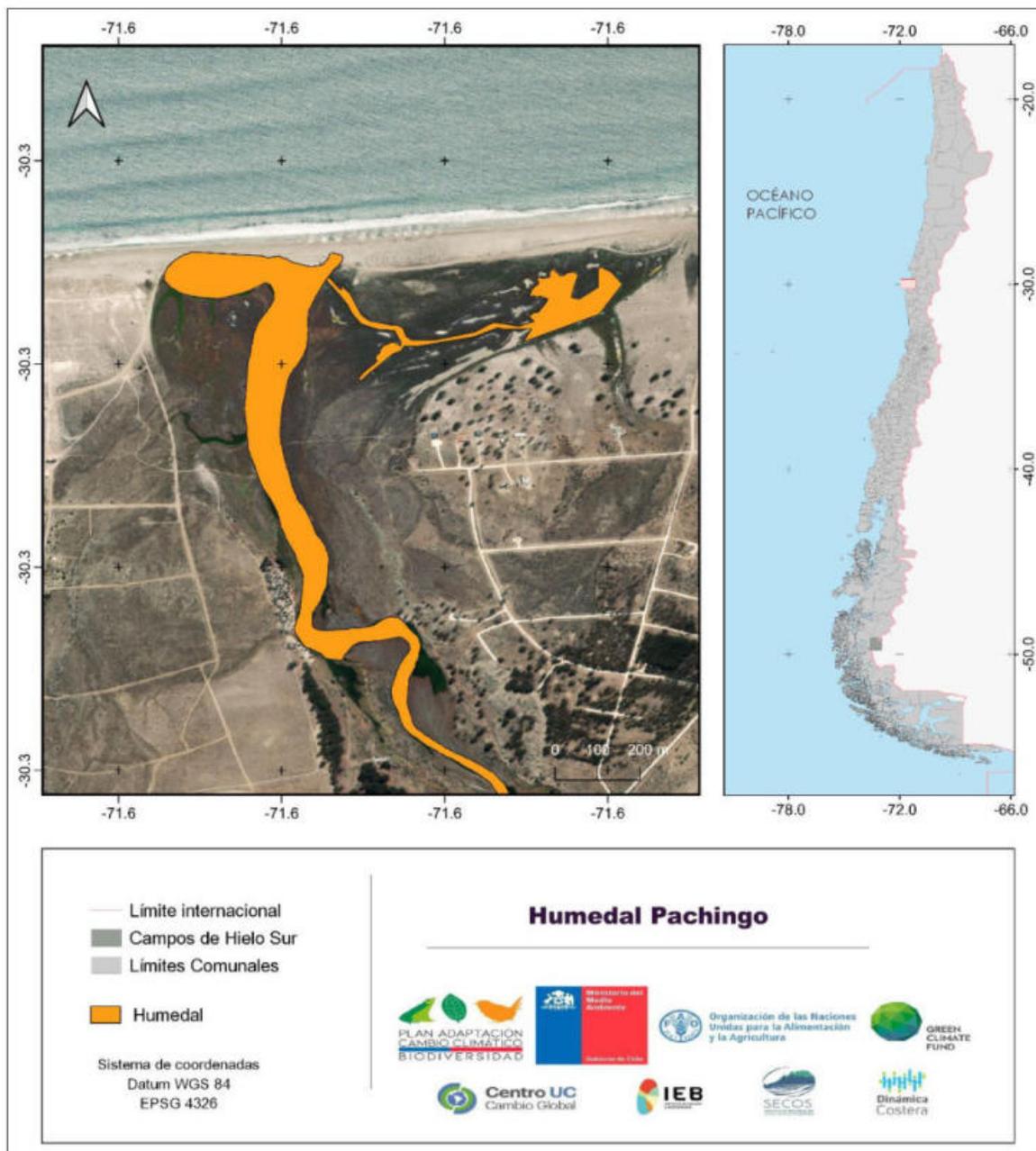


Figura A3- 46: Espejo de agua del humedal Pachingo. Fuente: Elaboración propia.

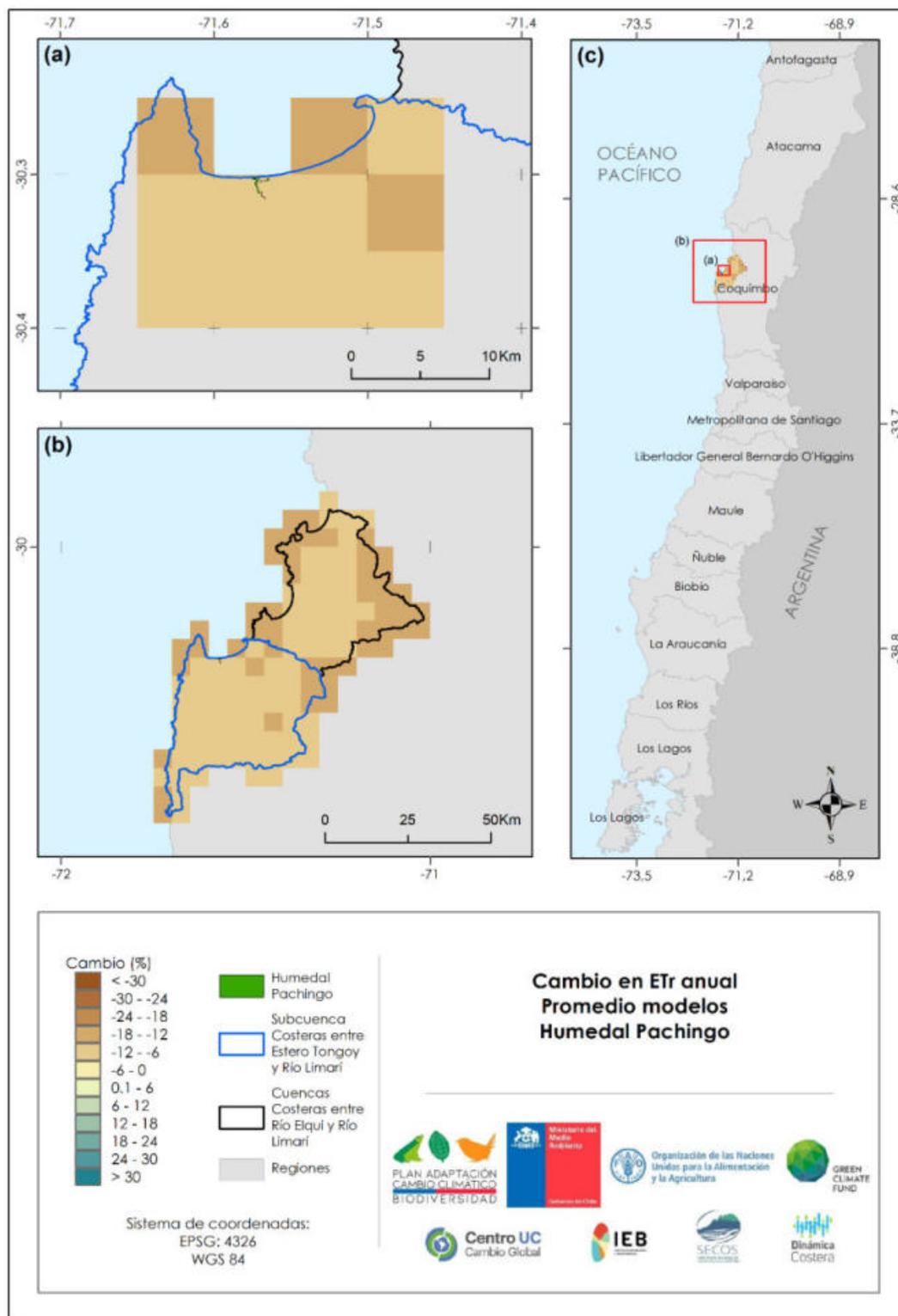


Figura A3- 47: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal Pachingo para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

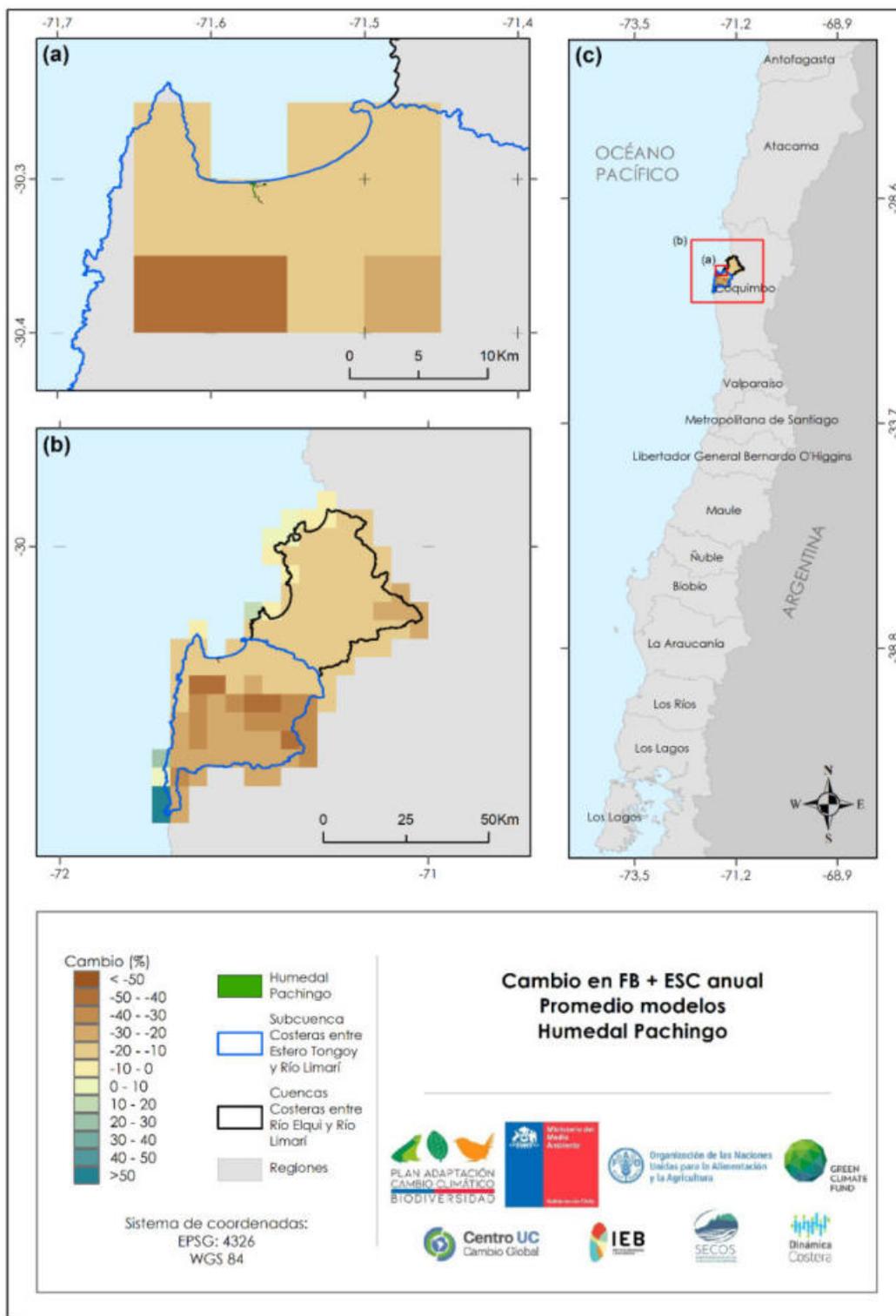


Figura A3- 48: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Pachingo para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

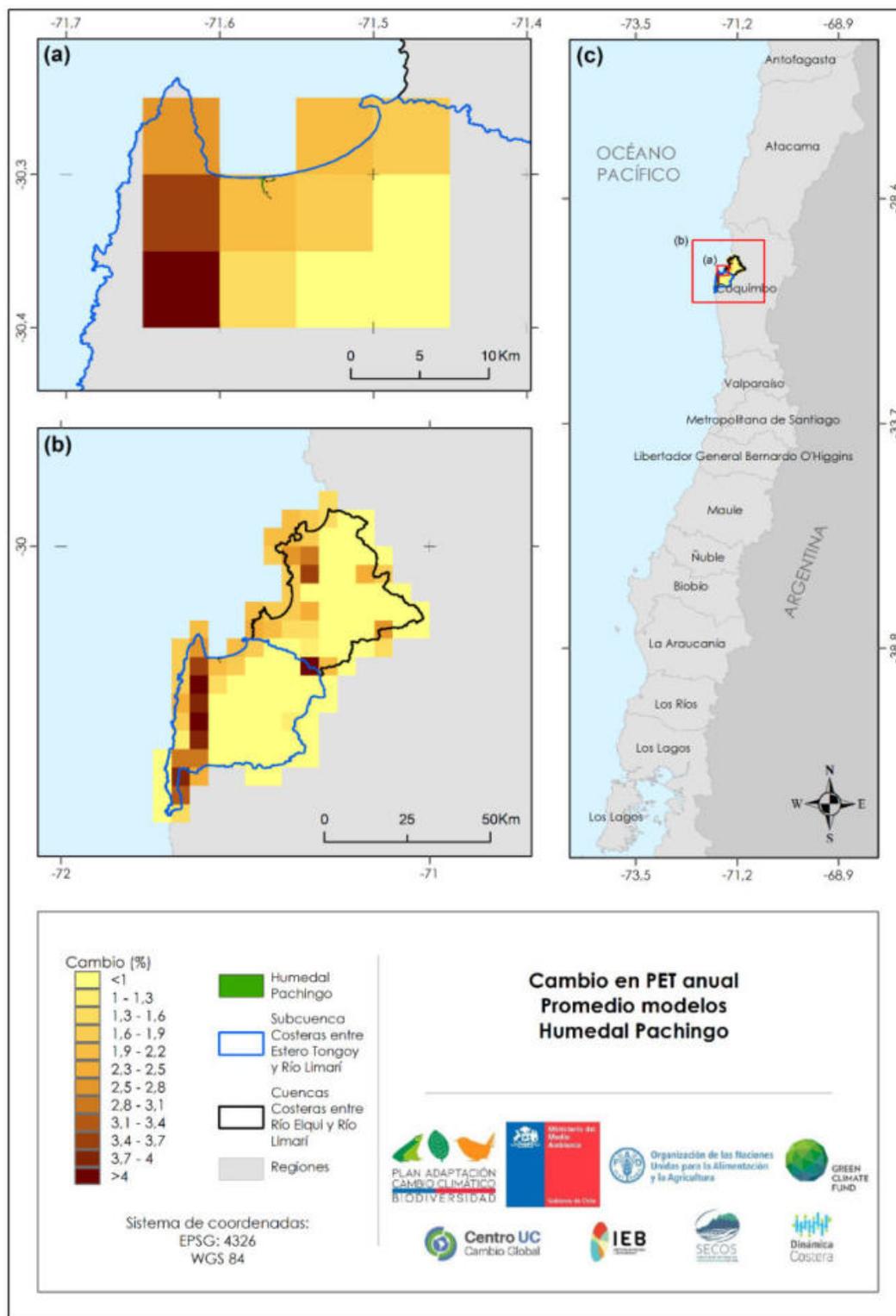


Figura A3- 49: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Pachingo para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

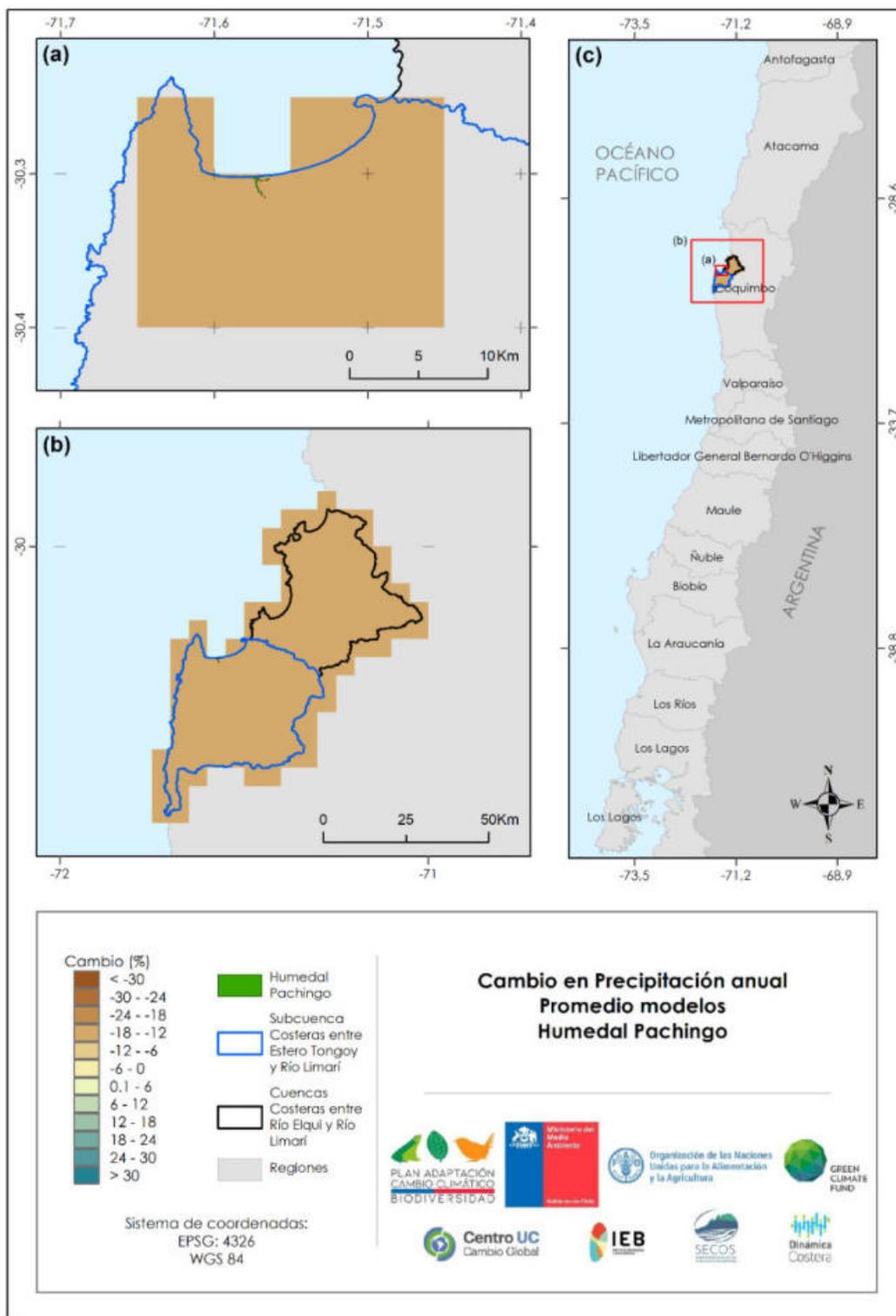


Figura A3- 50: Cambios en precipitación media anual para humedal Pachingo para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal desembocadura del río Limarí ($30,7290^{\circ}\text{S}$, $71,6849^{\circ}\text{W}$) está ubicado en el límite sur del Parque Nacional Fray Jorge y es parte de la Reserva de la Biosfera del mismo nombre. El humedal está relativamente bien protegido (Zuleta *et al.* 2019).

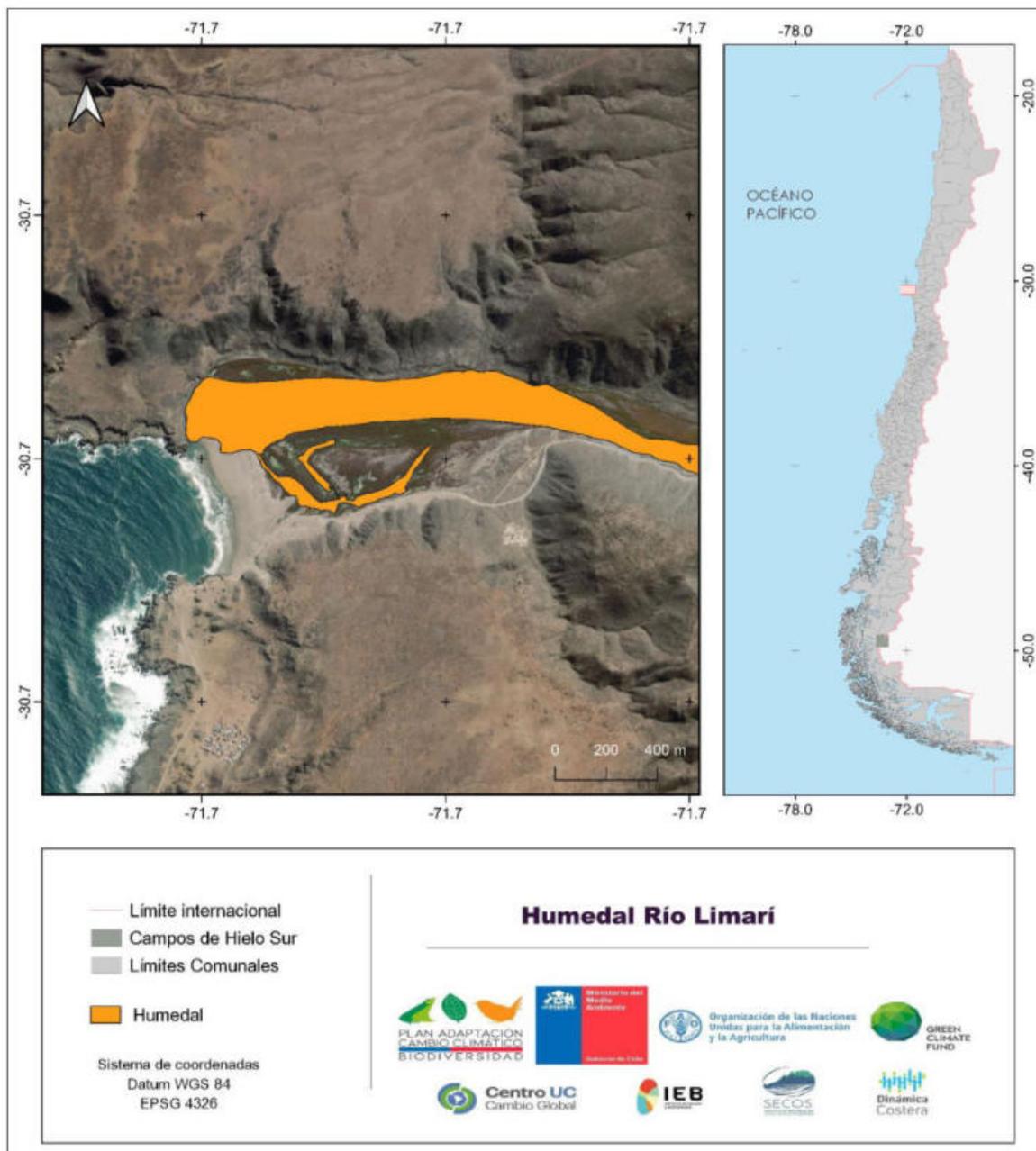


Figura A3- 51: Espejo de agua del humedal Desembocadura del Río Limarí. Fuente: Elaboración propia.

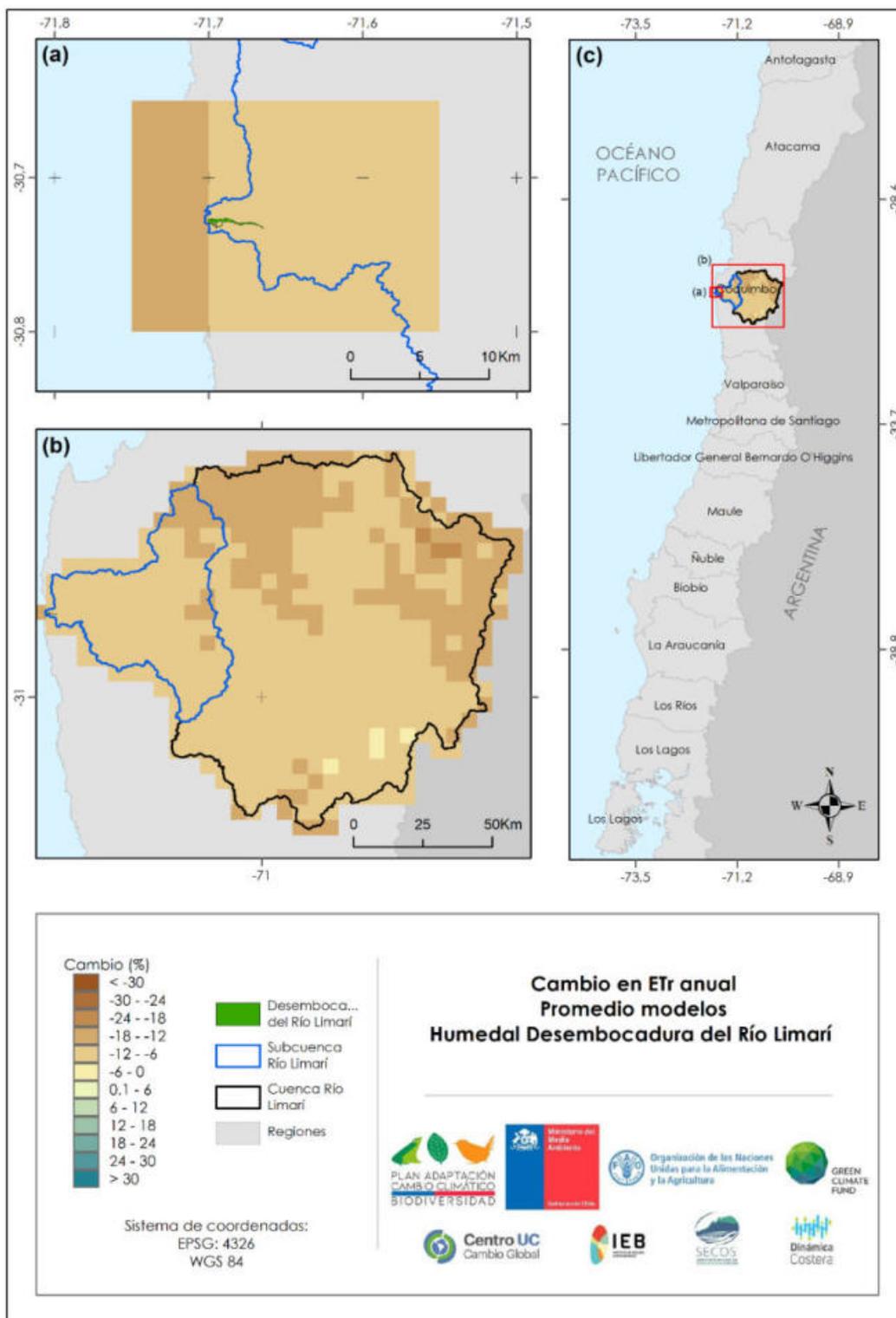


Figura A3- 52: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal Limarí para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

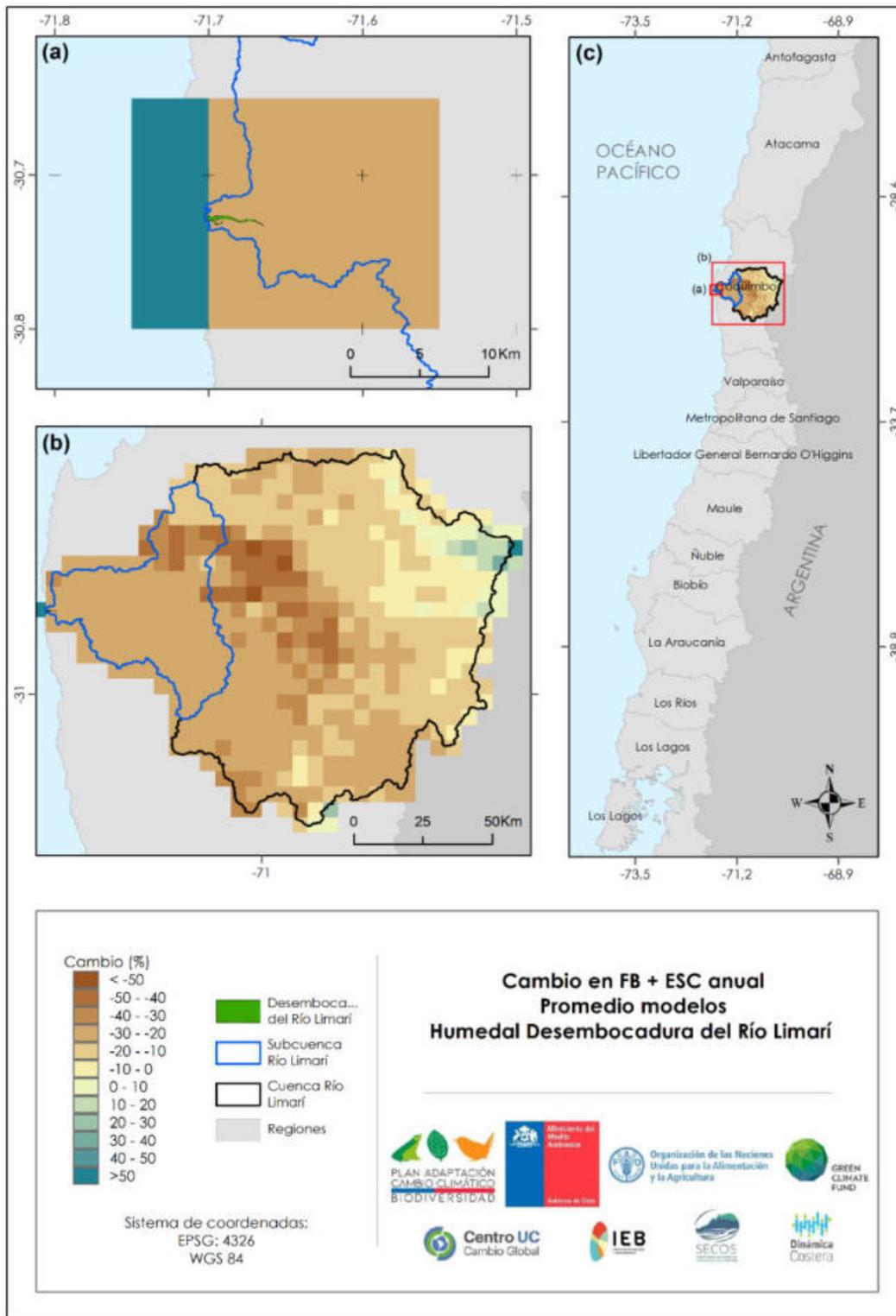


Figura A3- 53: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Limarí para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

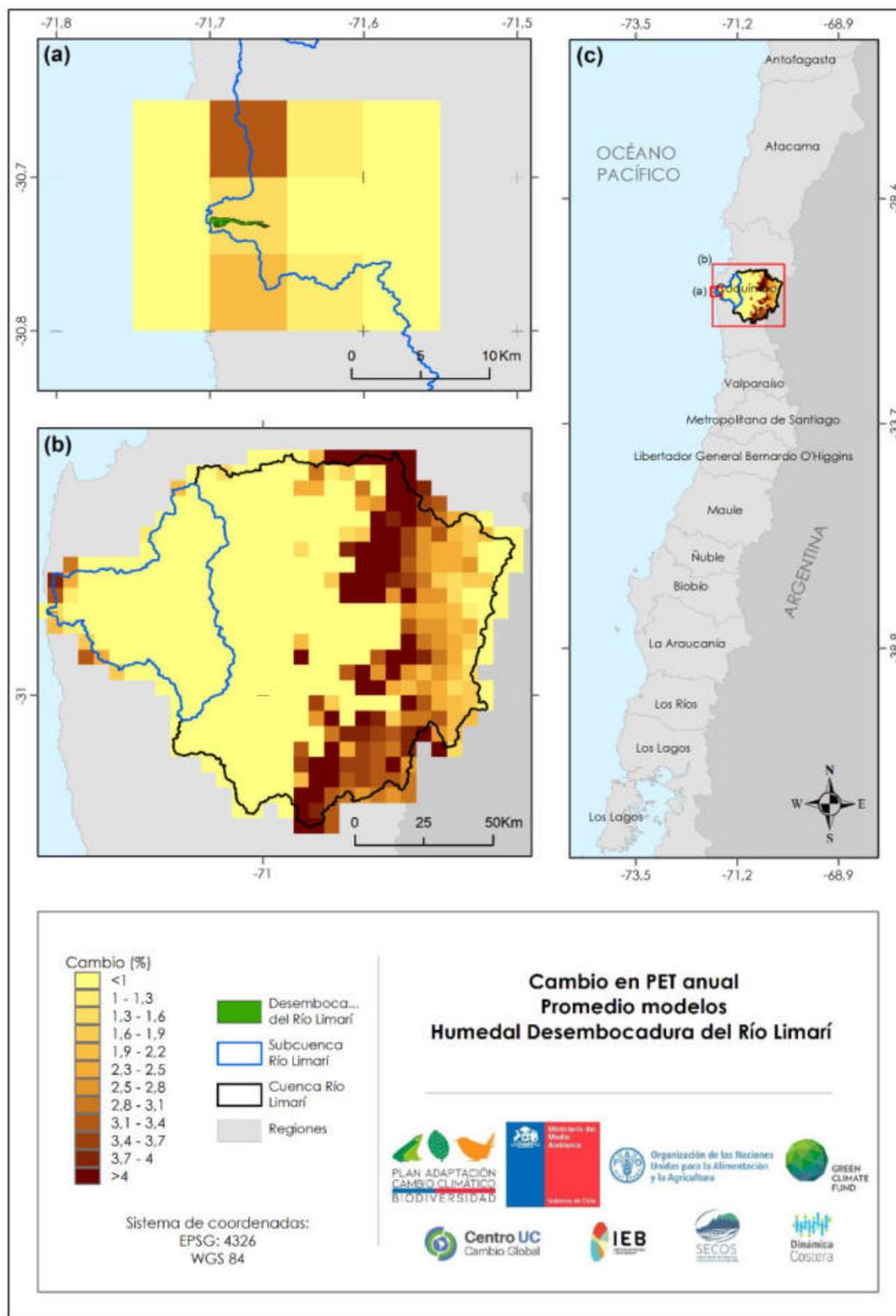


Figura A3- 54: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Limarí para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

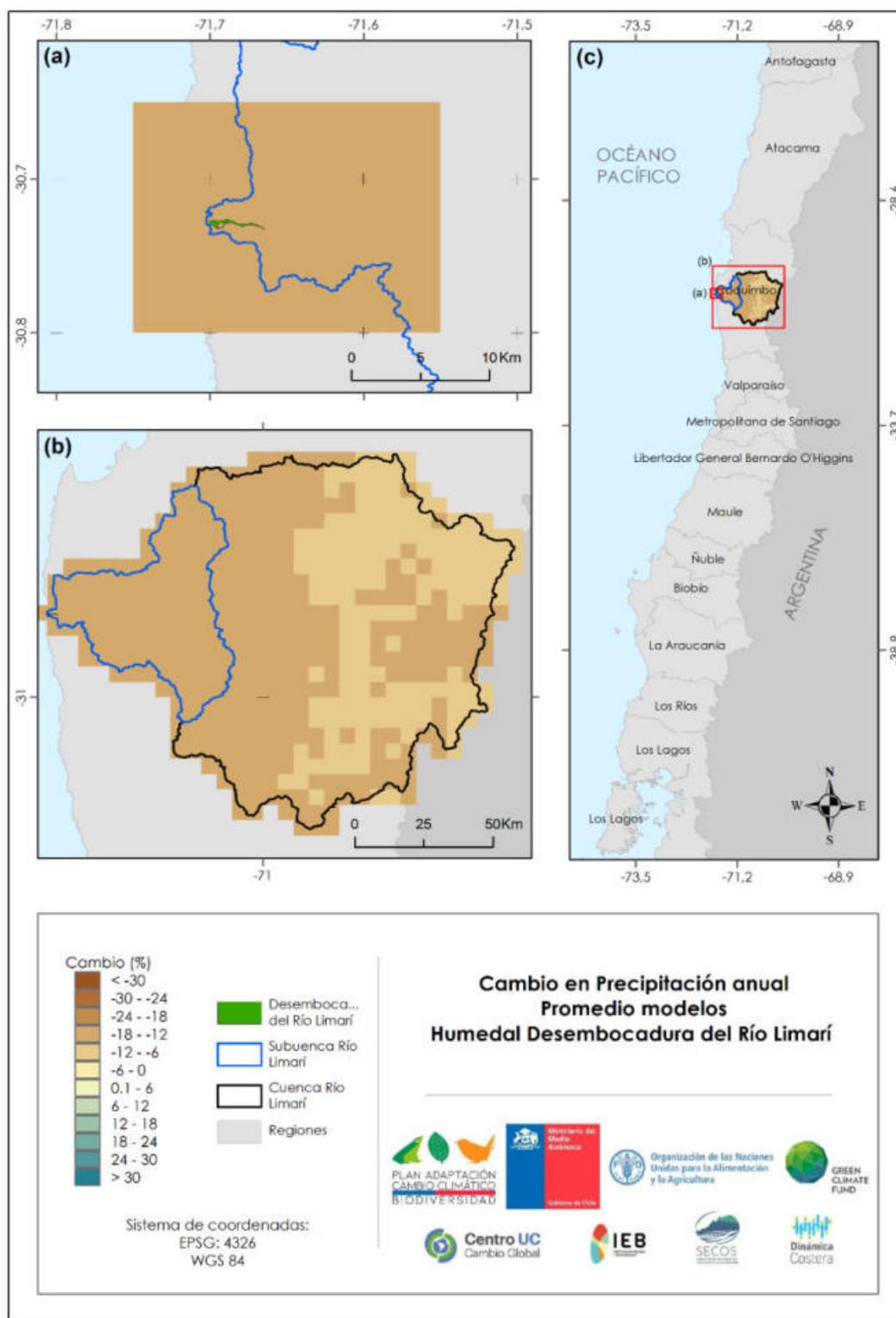


Figura A3- 55: Cambios en precipitación media anual para humedal Limarí para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal La Cebada ($30,9761^{\circ}\text{S}$, $71,6465^{\circ}\text{W}$) está ubicado en la comuna de Ovalle y se caracteriza por sustentar una importante biodiversidad (Zuleta *et al.* 2019). Este humedal se destaca por tener una barra de bolones debido a su alta exposición al oleaje (Contreras *et al.* 2020).

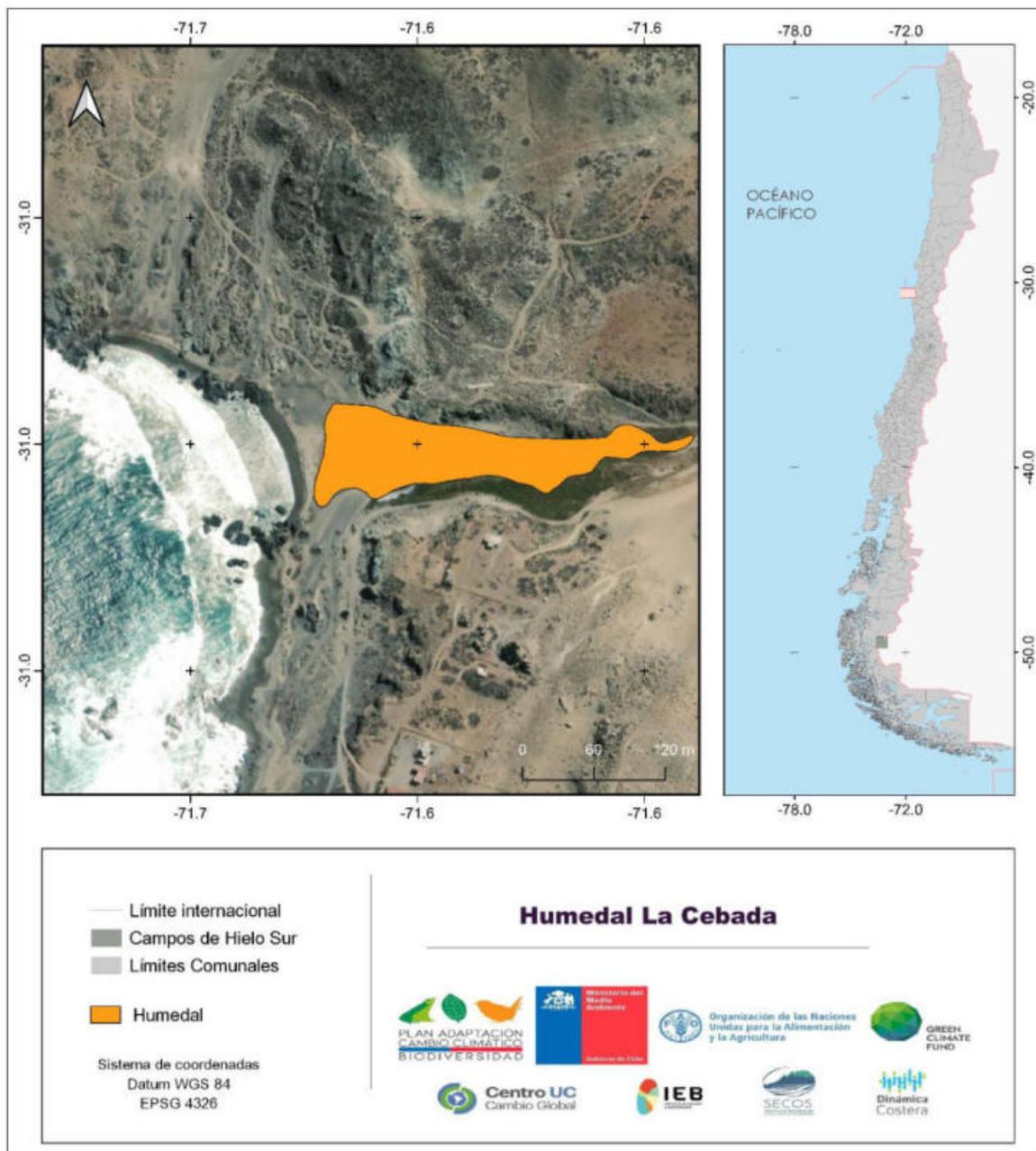


Figura A3- 56: Espejo de agua del humedal La Cebada. Fuente: Elaboración propia.

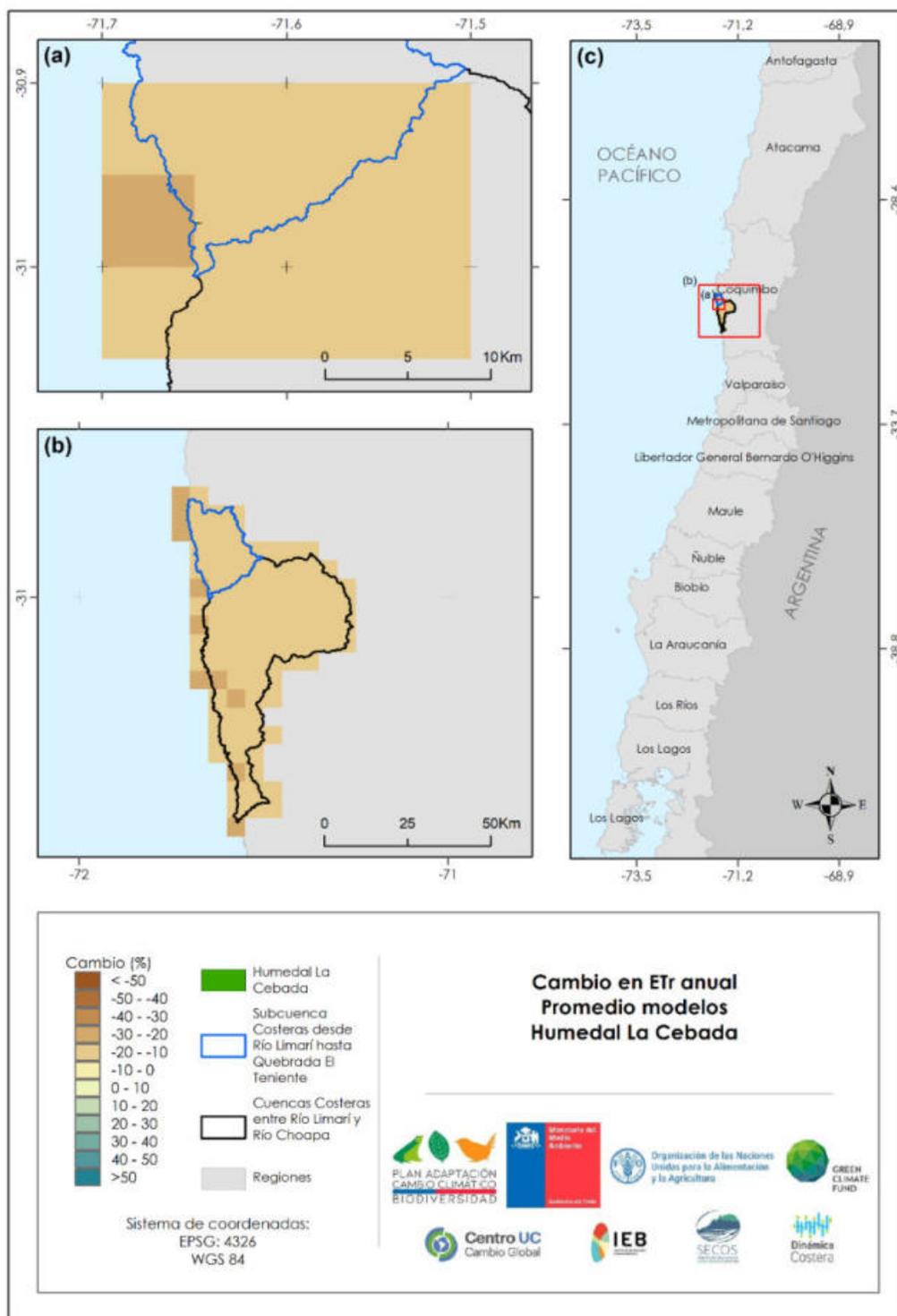


Figura A3- 57: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal La Cebada para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

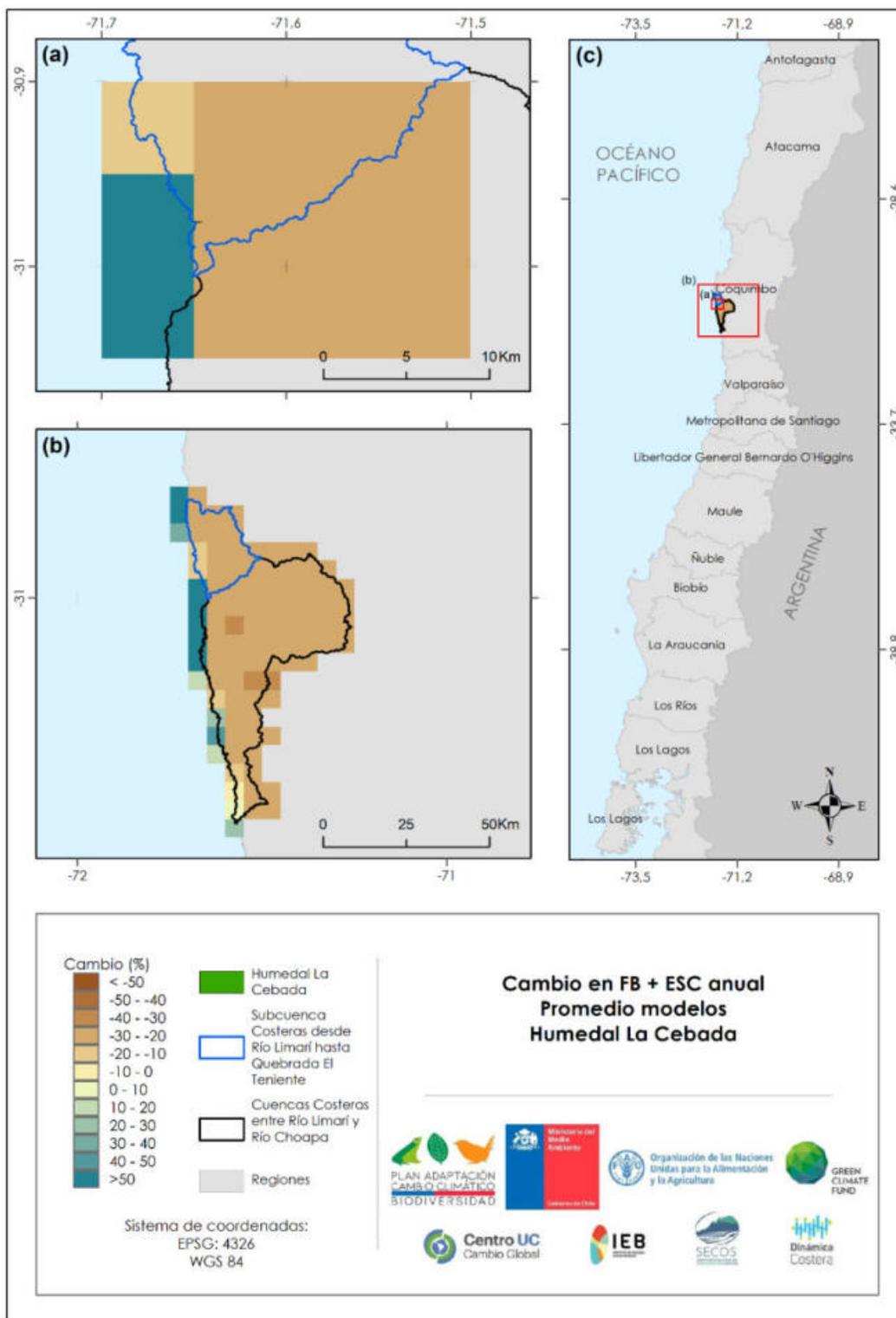


Figura A3- 58: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal La Cebada para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

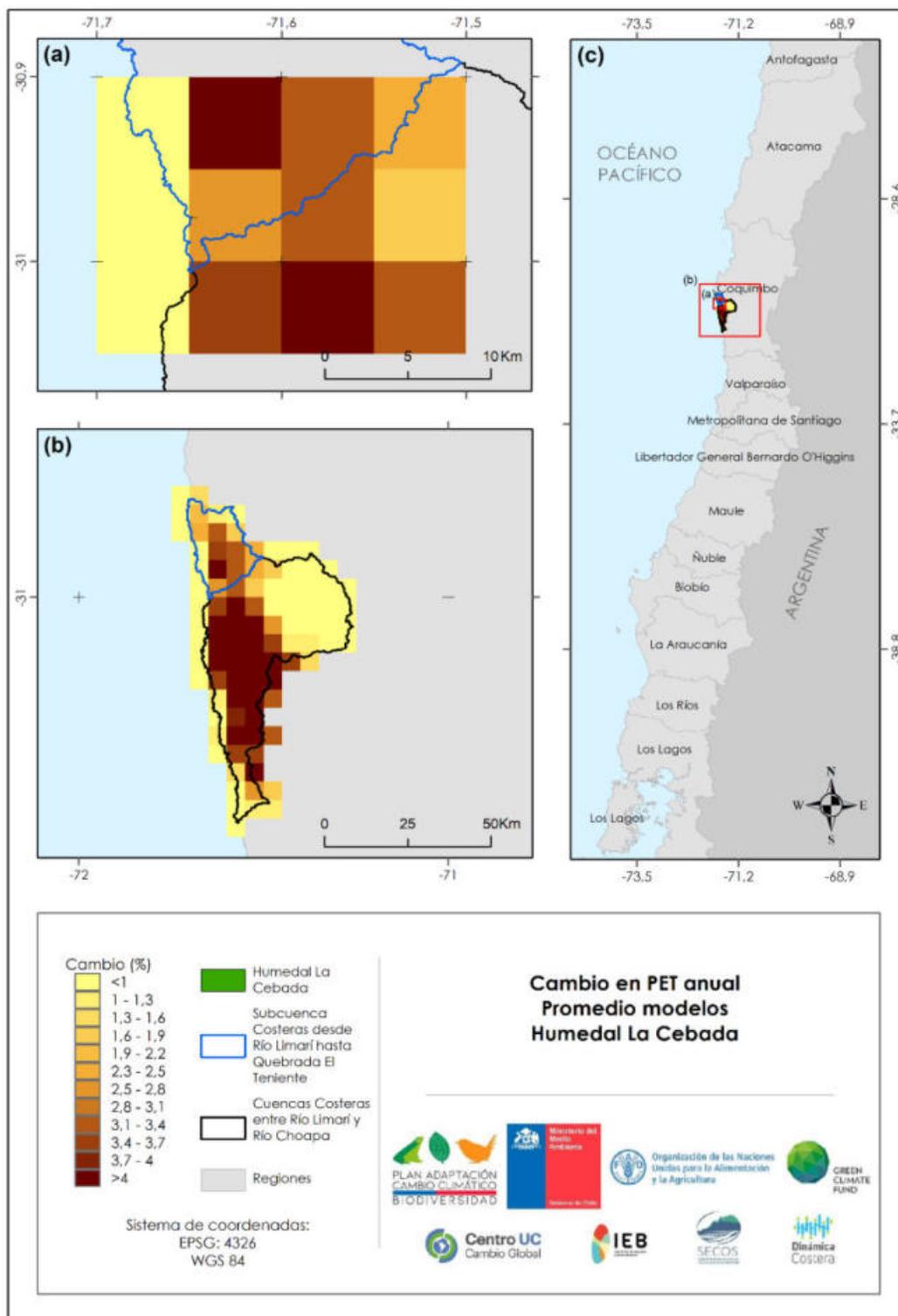


Figura A3- 59: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal La Cebada para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

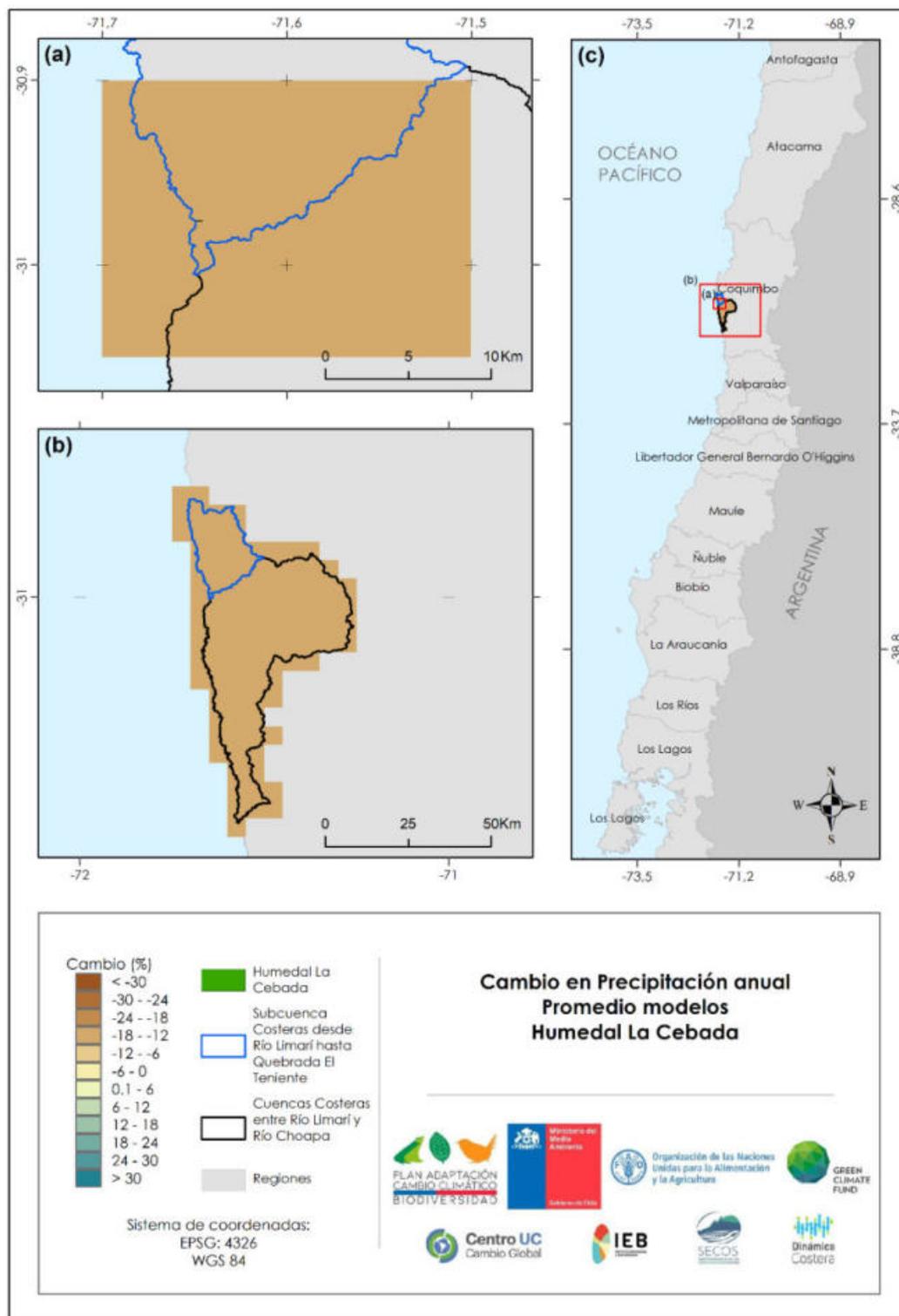


Figura A3- 60: Cambios en precipitación media anual para humedal La Cebada para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal del río Choapa o Huentelauquén ($31,7217^{\circ}\text{S}$, $71,1964^{\circ}\text{W}$) está ubicado en la comuna de Canela y es un sitio Ramsar. En las cercanías del humedal es posible encontrar asentamientos humanos rurales, que utilizan la desembocadura históricamente para diversas actividades como la pesca y el uso de sus aguas para agricultura y ganadería. (Zuleta *et al.* 2019).

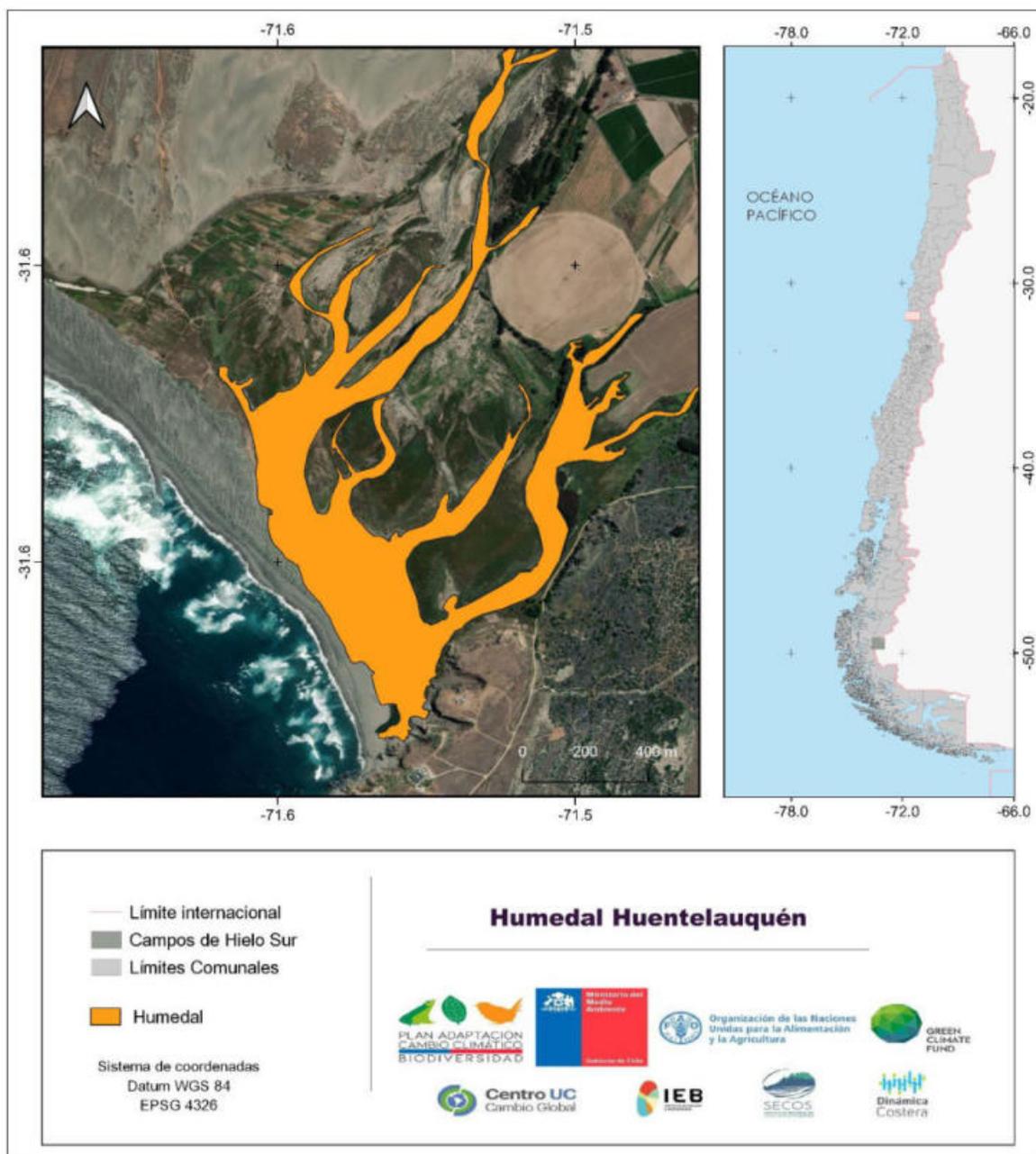


Figura A3- 61: Espejo de agua del humedal Huentelauquén. Fuente: Elaboración propia.

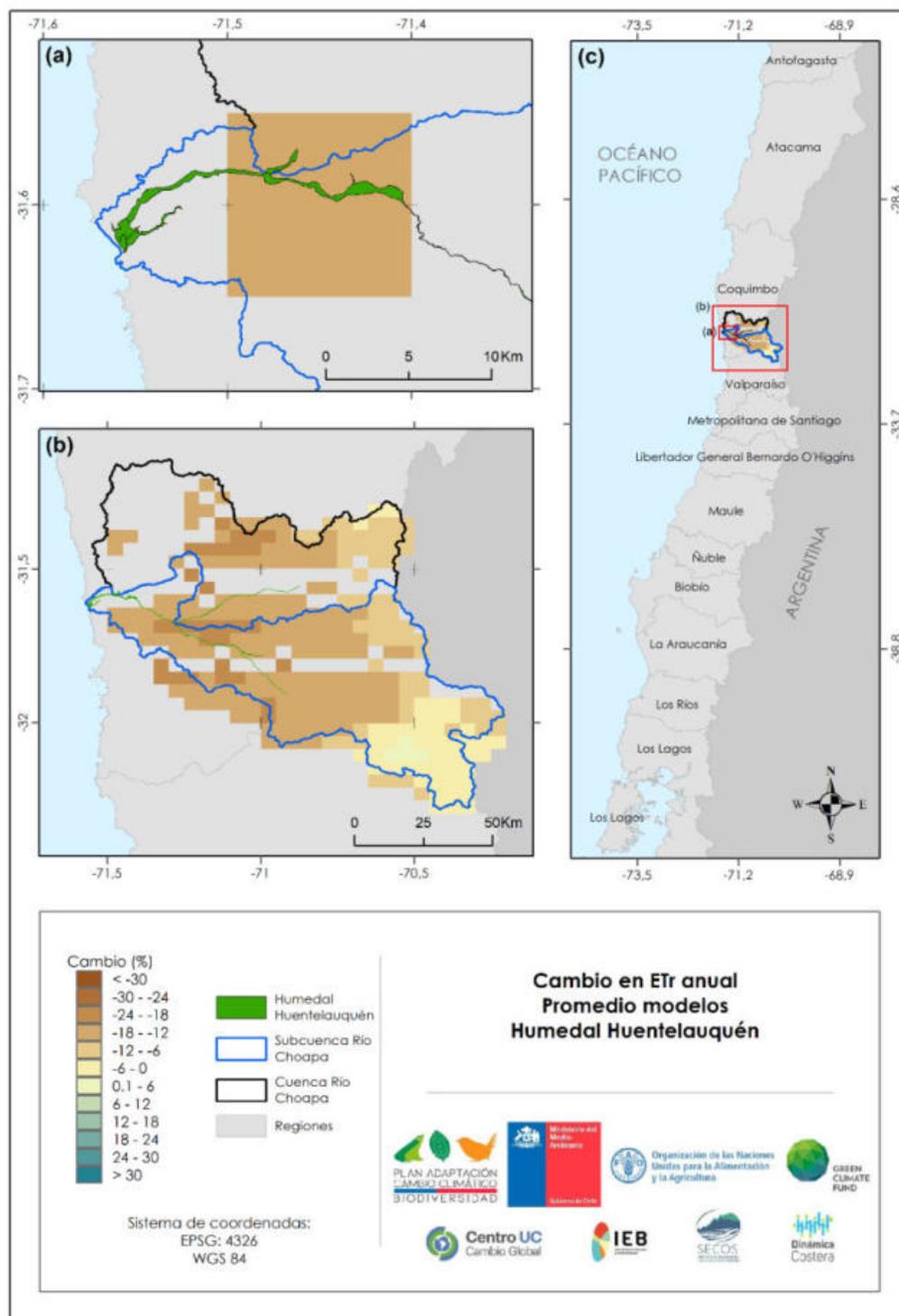


Figura A3- 62: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal Huentelauquén para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

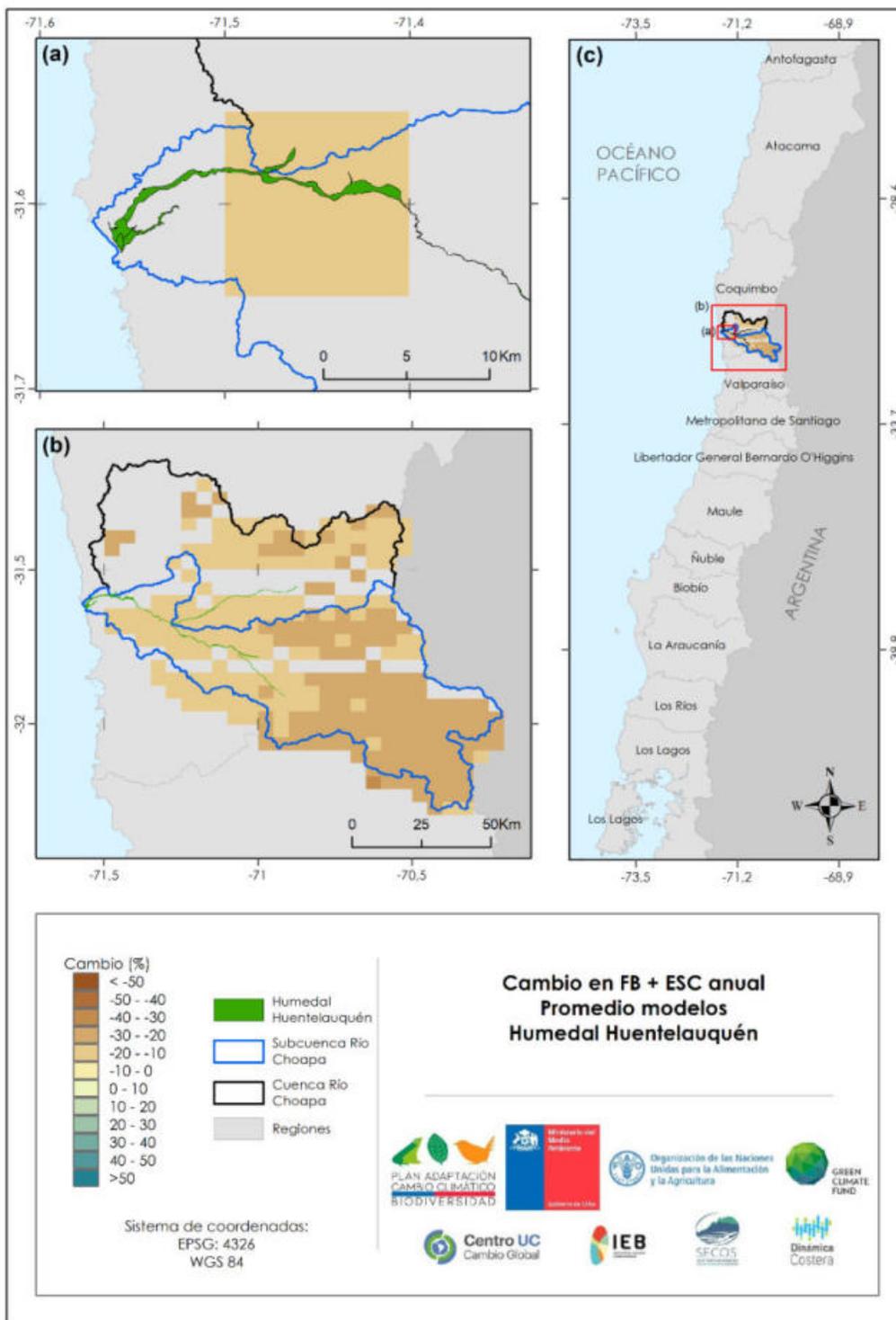


Figura A3- 63: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Huentelauquén para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

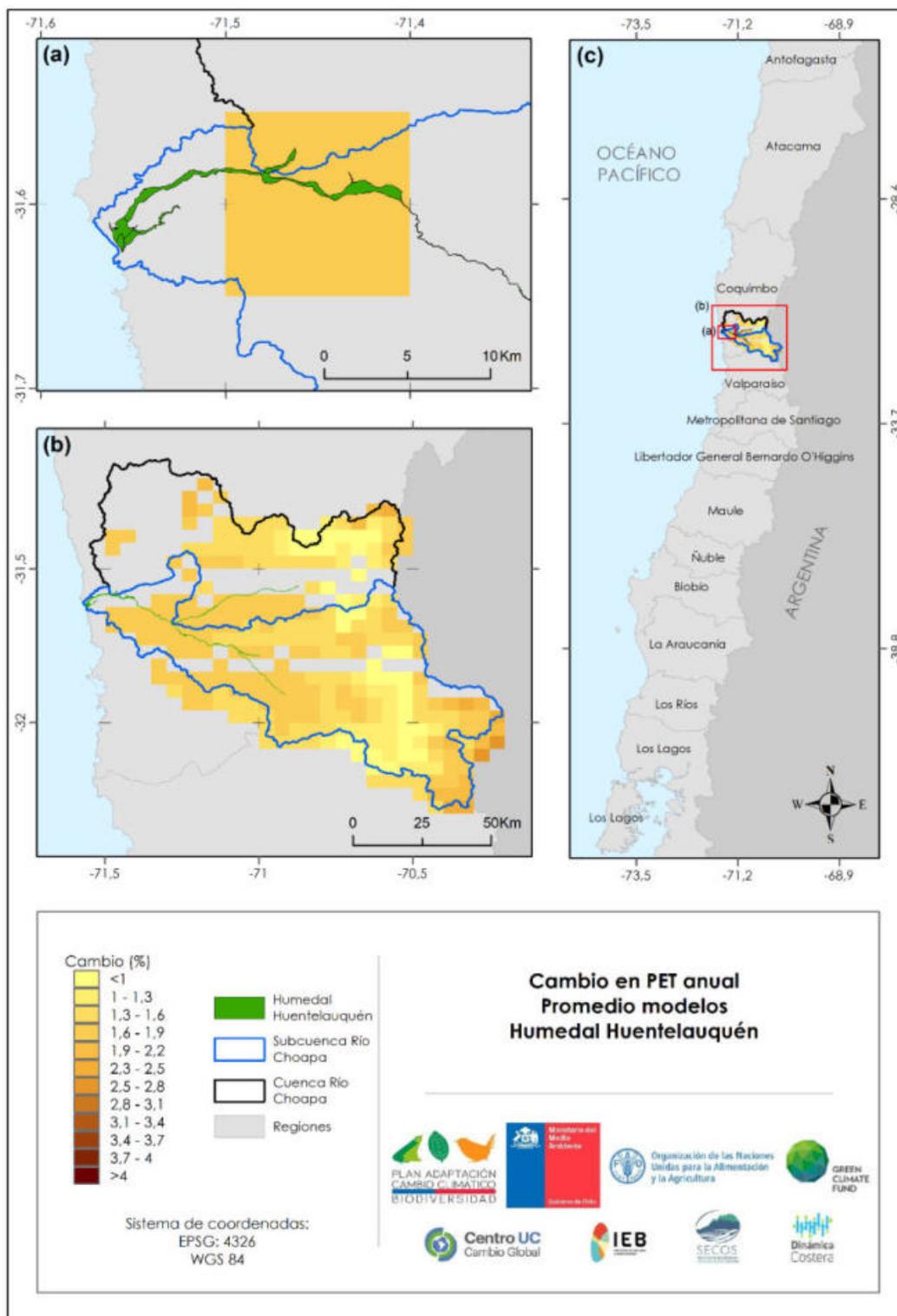


Figura A3- 64: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Huentelauquén para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

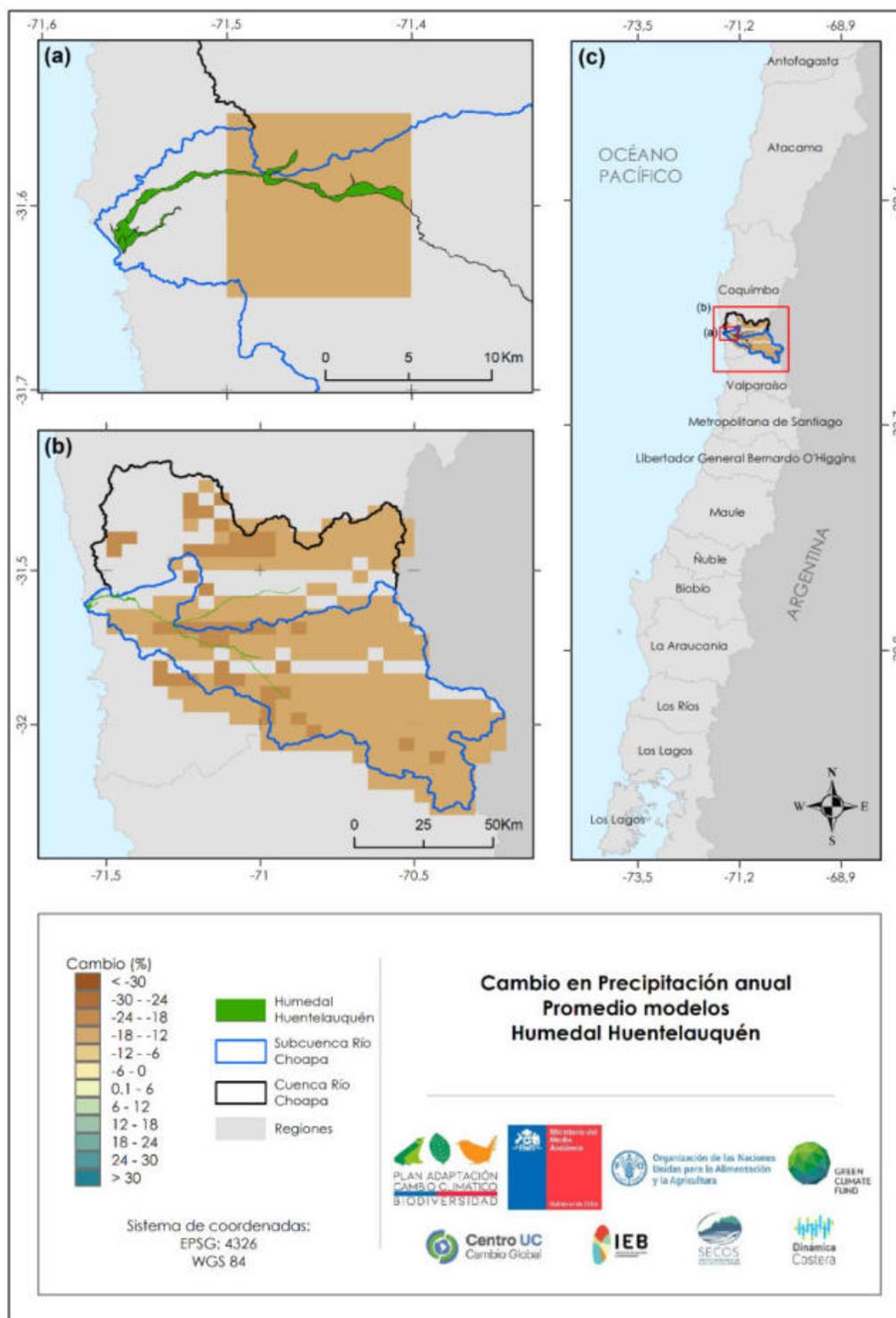


Figura A3- 65: Cambios en precipitación media anual para humedal Huentelauquén para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal de Mantagua ($32,8819^{\circ}\text{S}$, $71,5093^{\circ}\text{W}$) está ubicado en la comuna de Quintero y es uno de los ecosistemas piloto del proyecto GEF-humedales, también reconocido como un Humedal Urbano. Se compone de una laguna costera y un estuario en interacción con un campo dunar. Es uno de los sitios de importancia de la biodiversidad de la región de Valparaíso (Contreras *et al.* 2021, Flores-Toro *et al.* 2021).

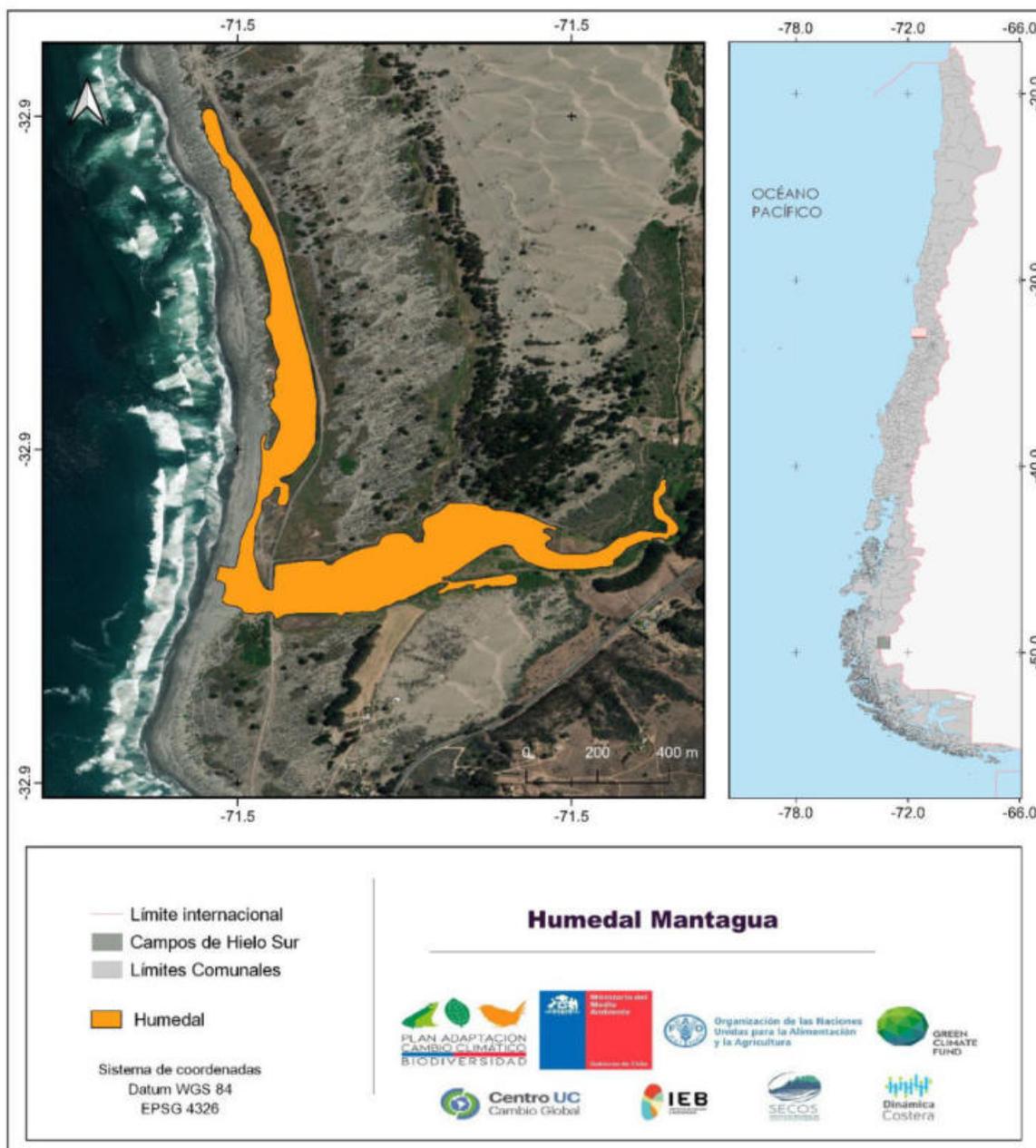


Figura A3- 66: Espejo de agua del humedal Mantagua. Fuente: Elaboración propia.

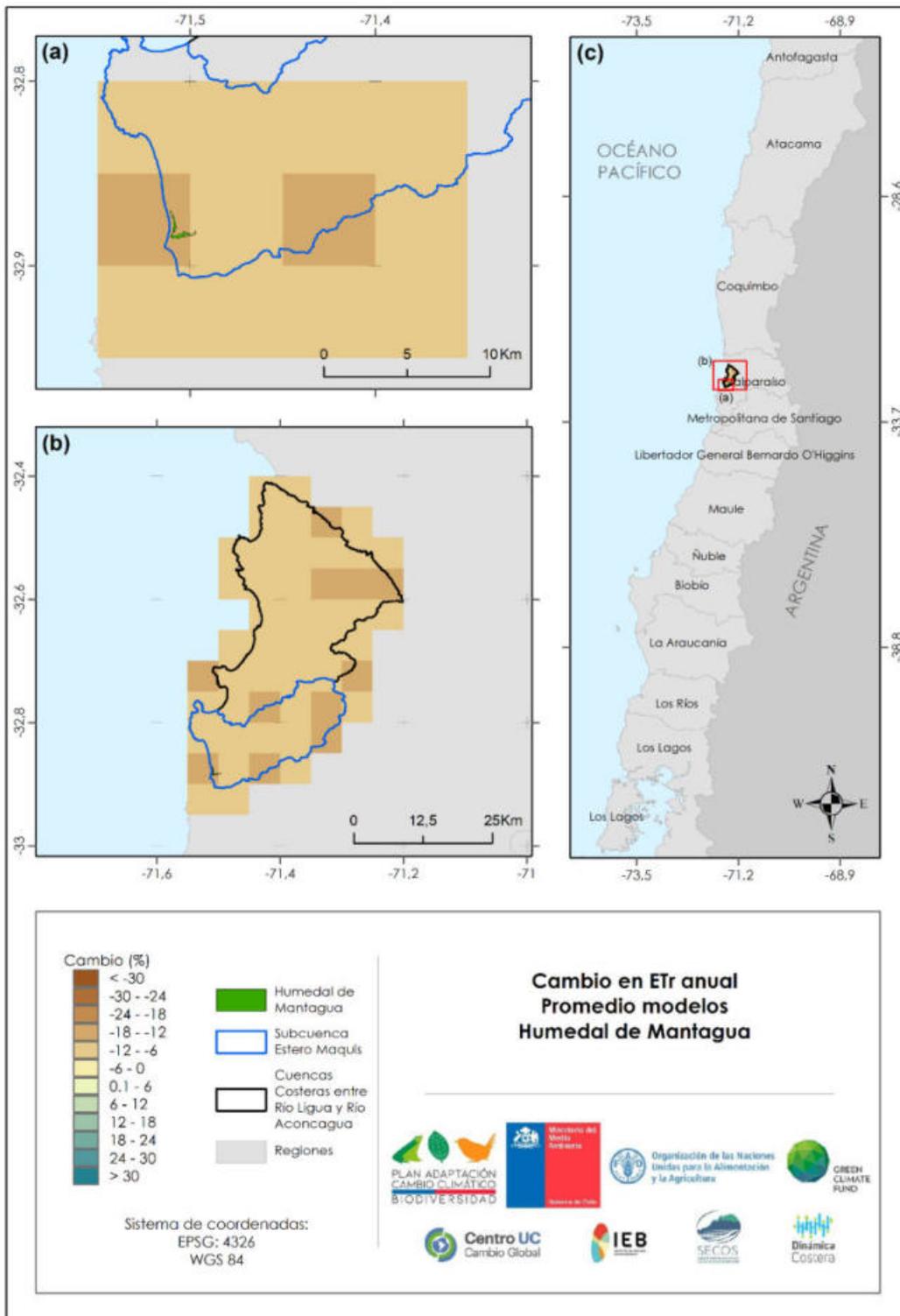


Figura A3- 67: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal Mantagua para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

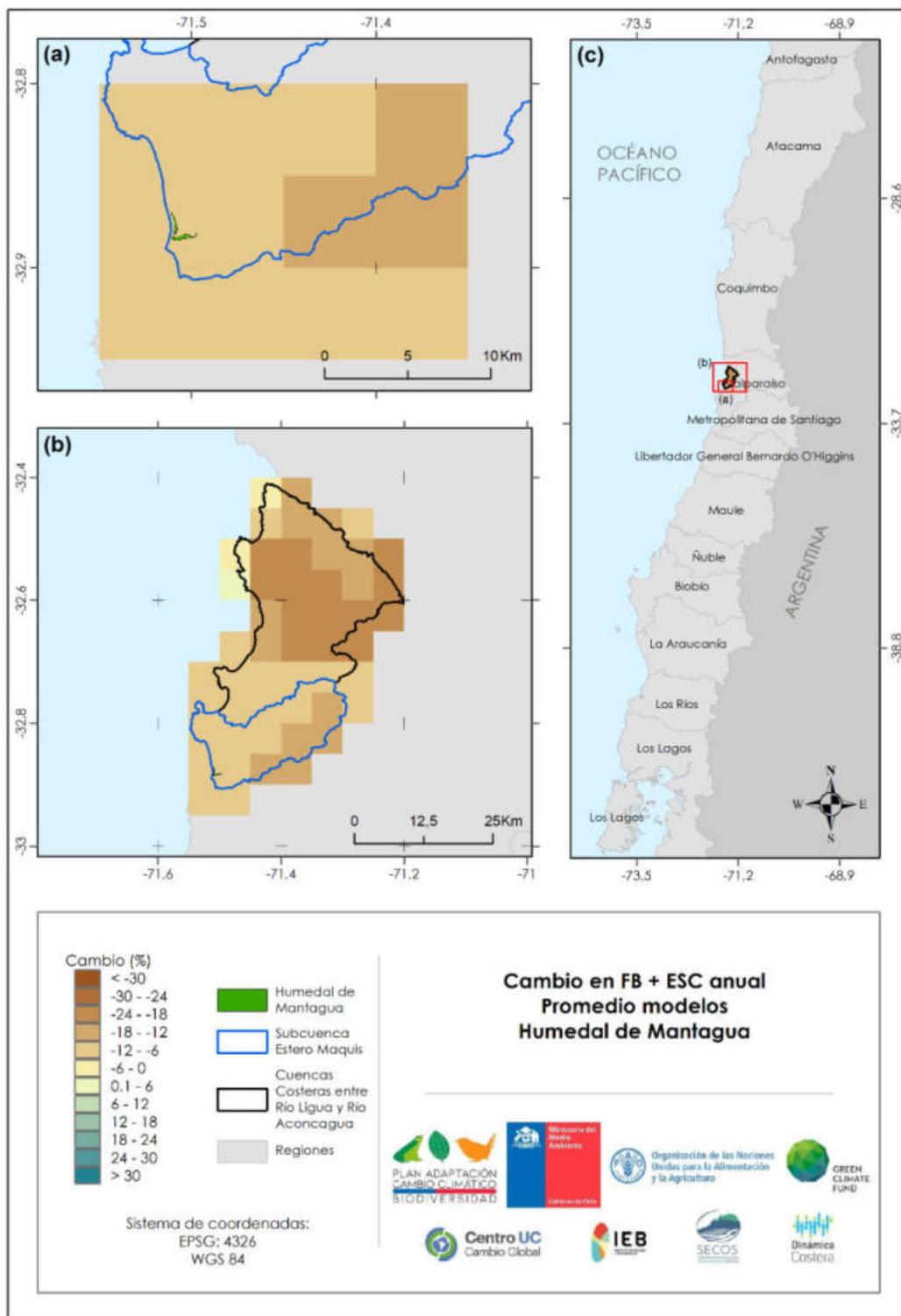


Figura A3- 68: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Mantagua para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

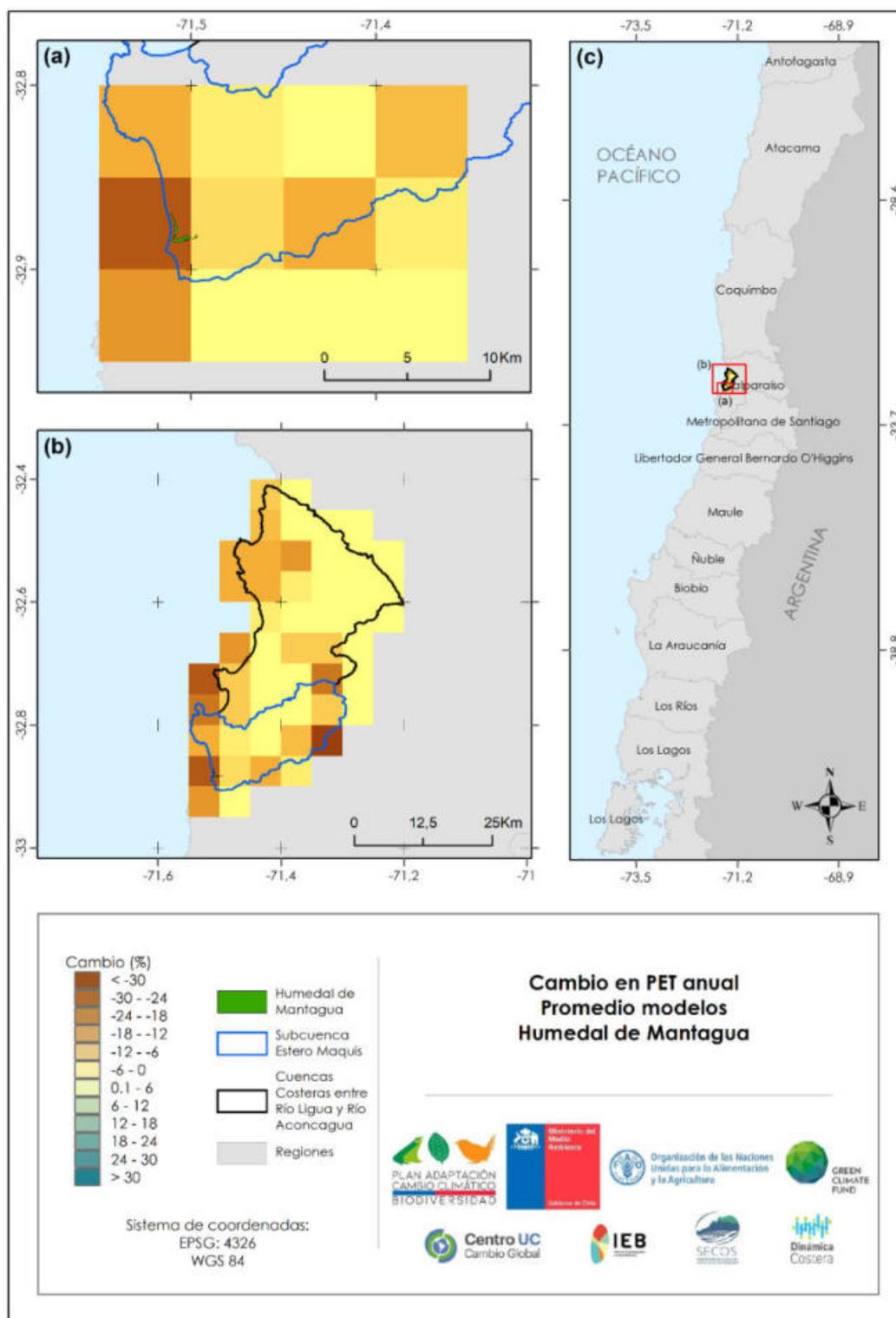


Figura A3- 69: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Mantagua para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

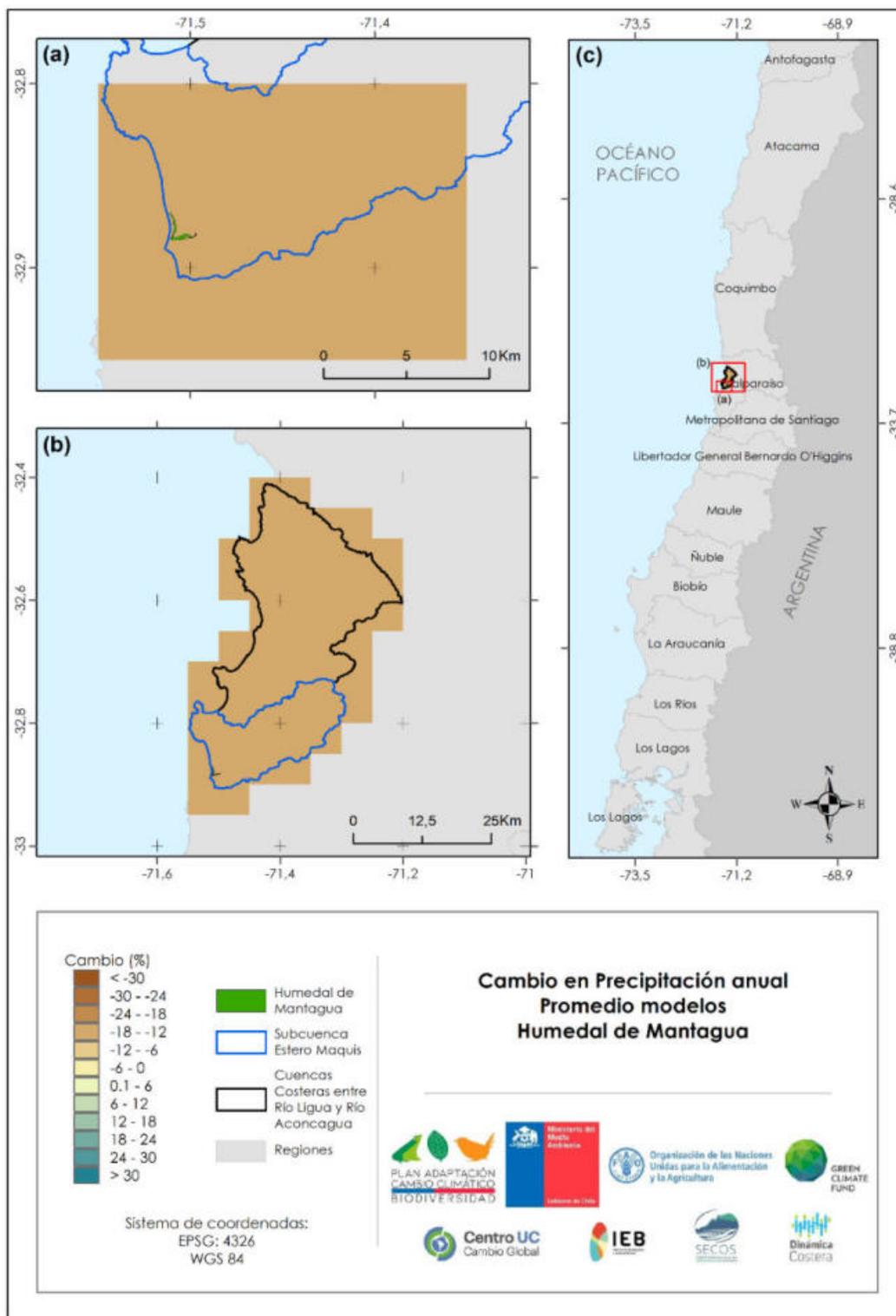


Figura A3- 70: Cambios en precipitación media anual para humedal Mantagua para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal desembocadura del Río Aconcagua ($32,9175^{\circ}\text{S}$, $71,5072^{\circ}\text{W}$). La playa inmediata a la desembocadura destaca por su alta erosión (Martínez *et al.* 2018, 2022).

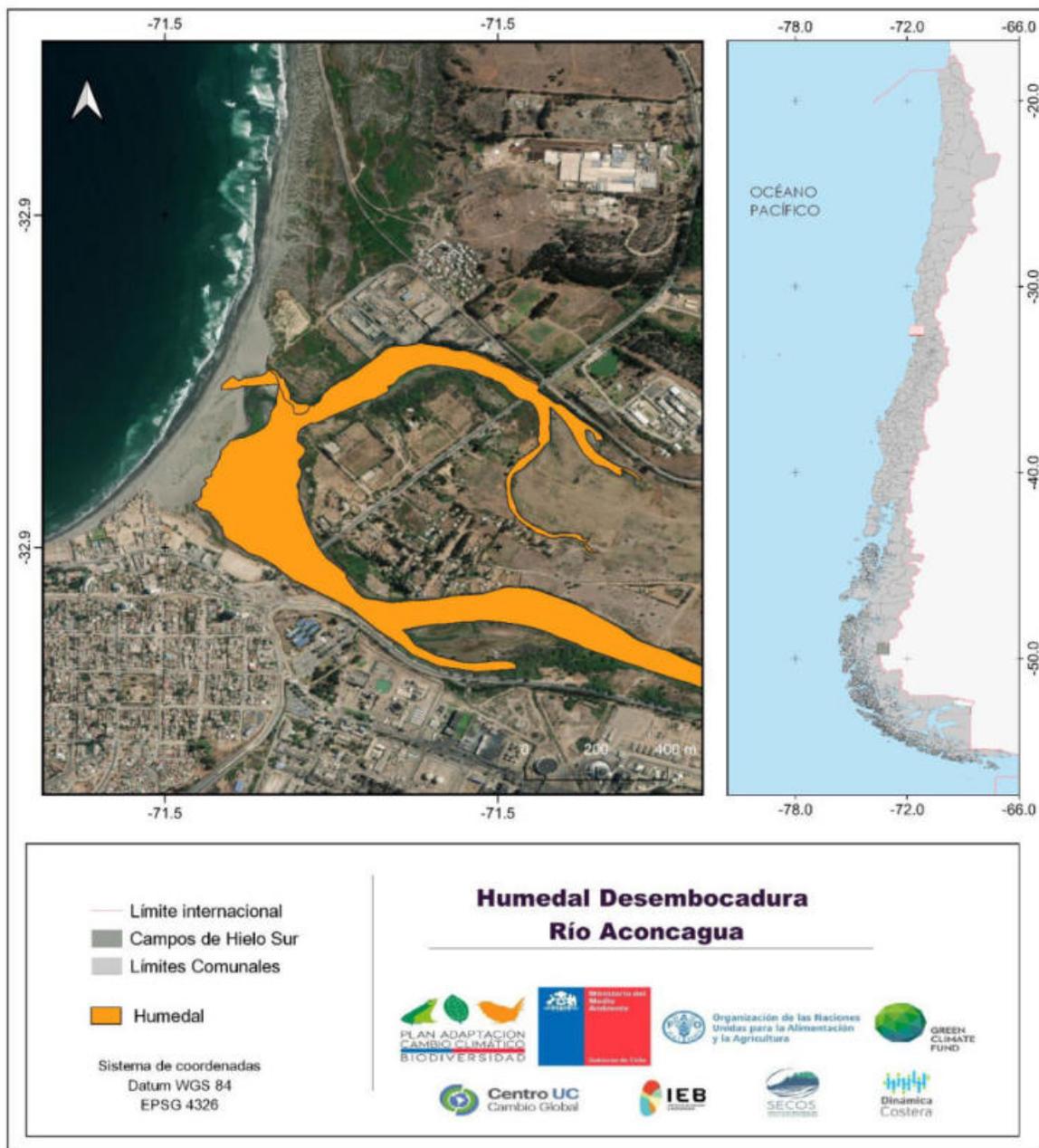


Figura A3- 71: Espejo de agua del humedal Desembocadura del Río Aconcagua. Fuente: Elaboración propia.

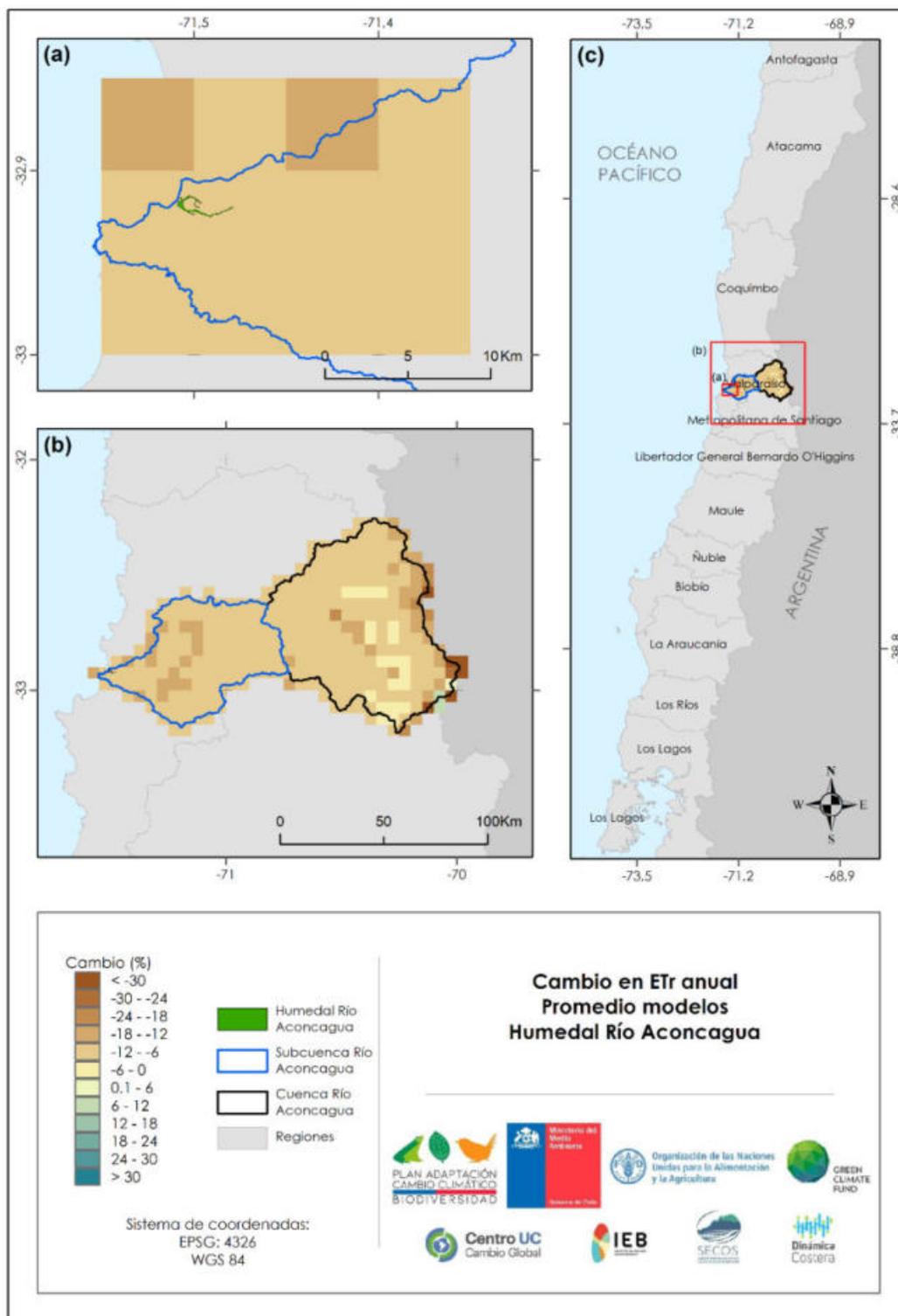


Figura A3- 72: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal Río Aconcagua para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

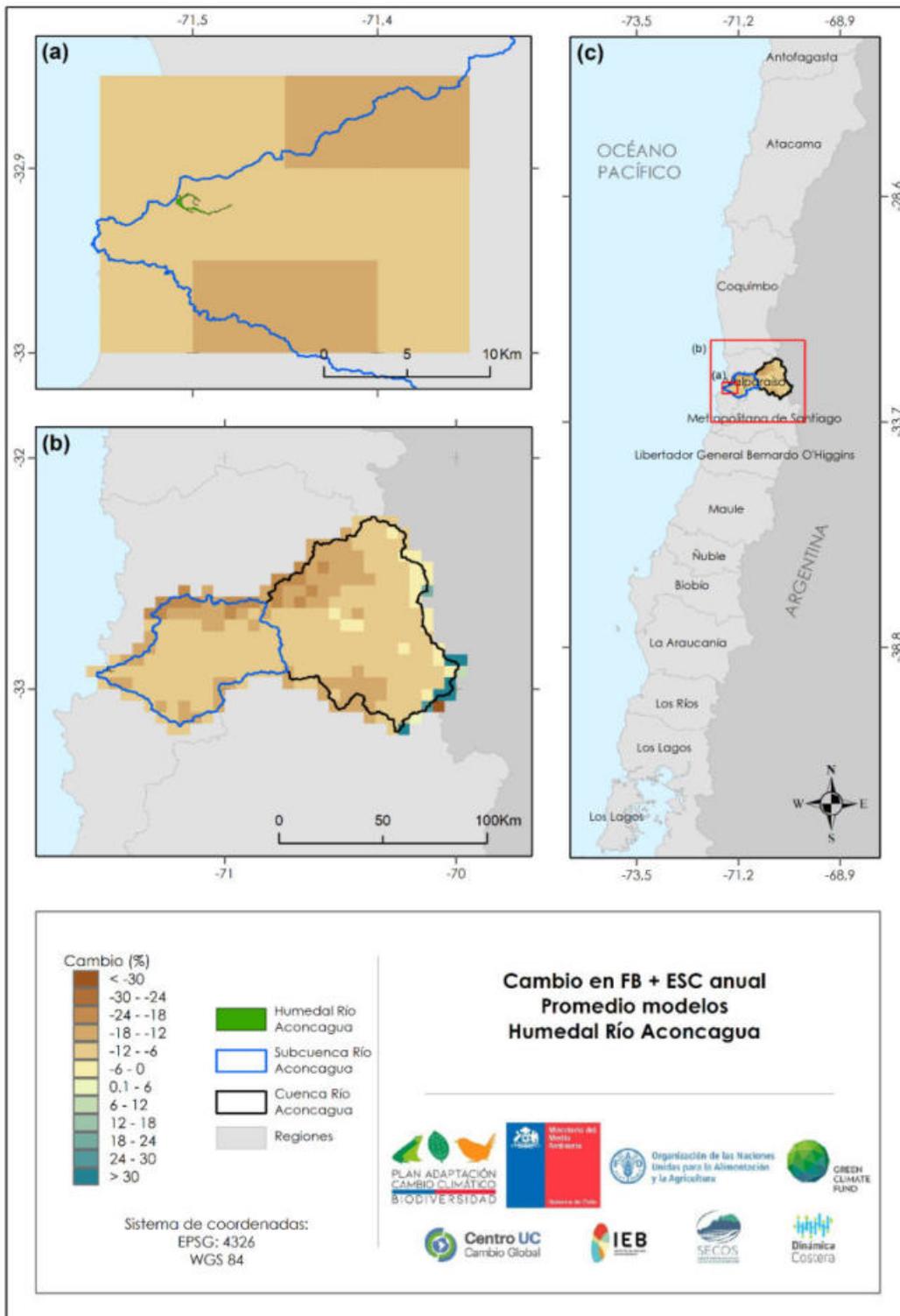


Figura A3- 73: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Río Aconcagua para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

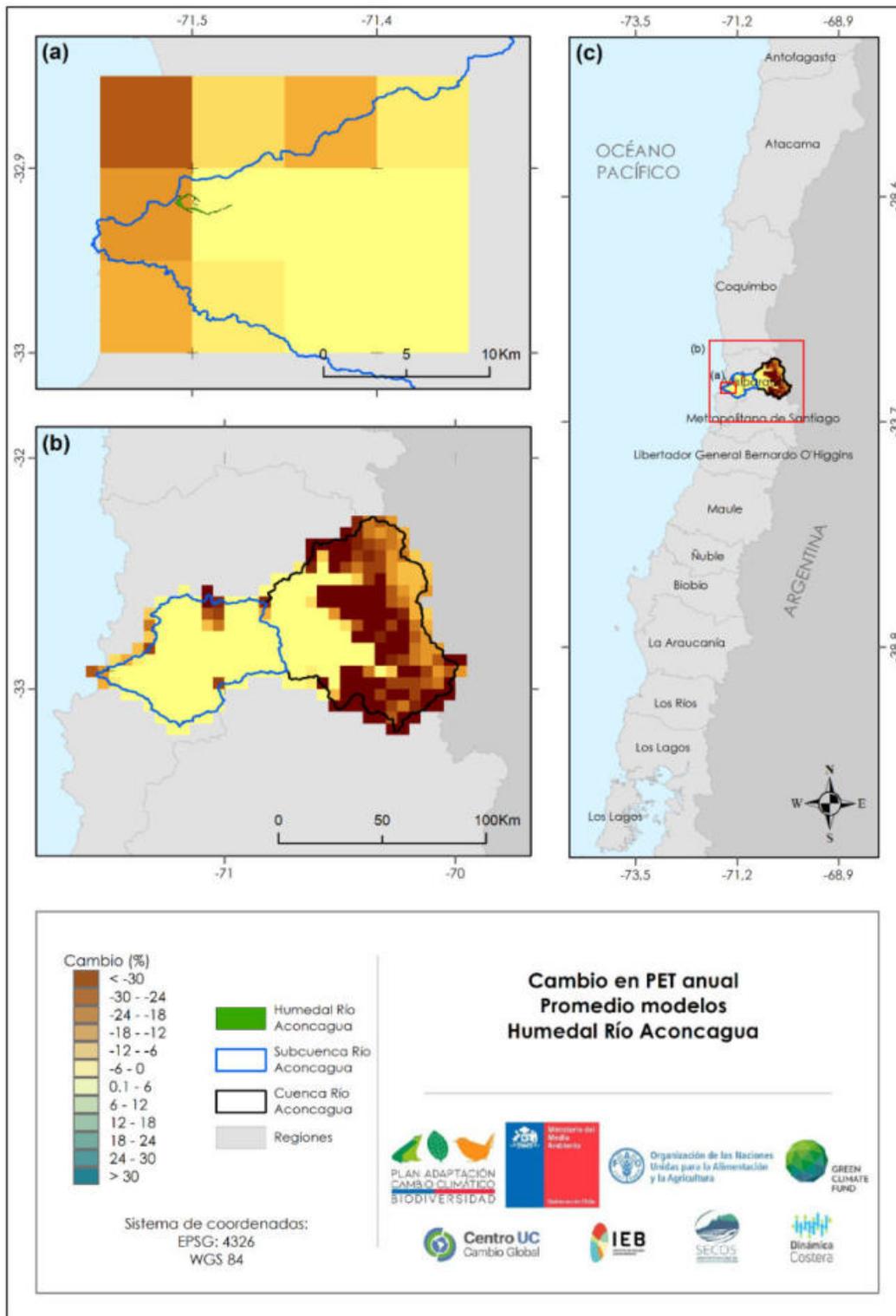


Figura A3- 74: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Río Aconcagua para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

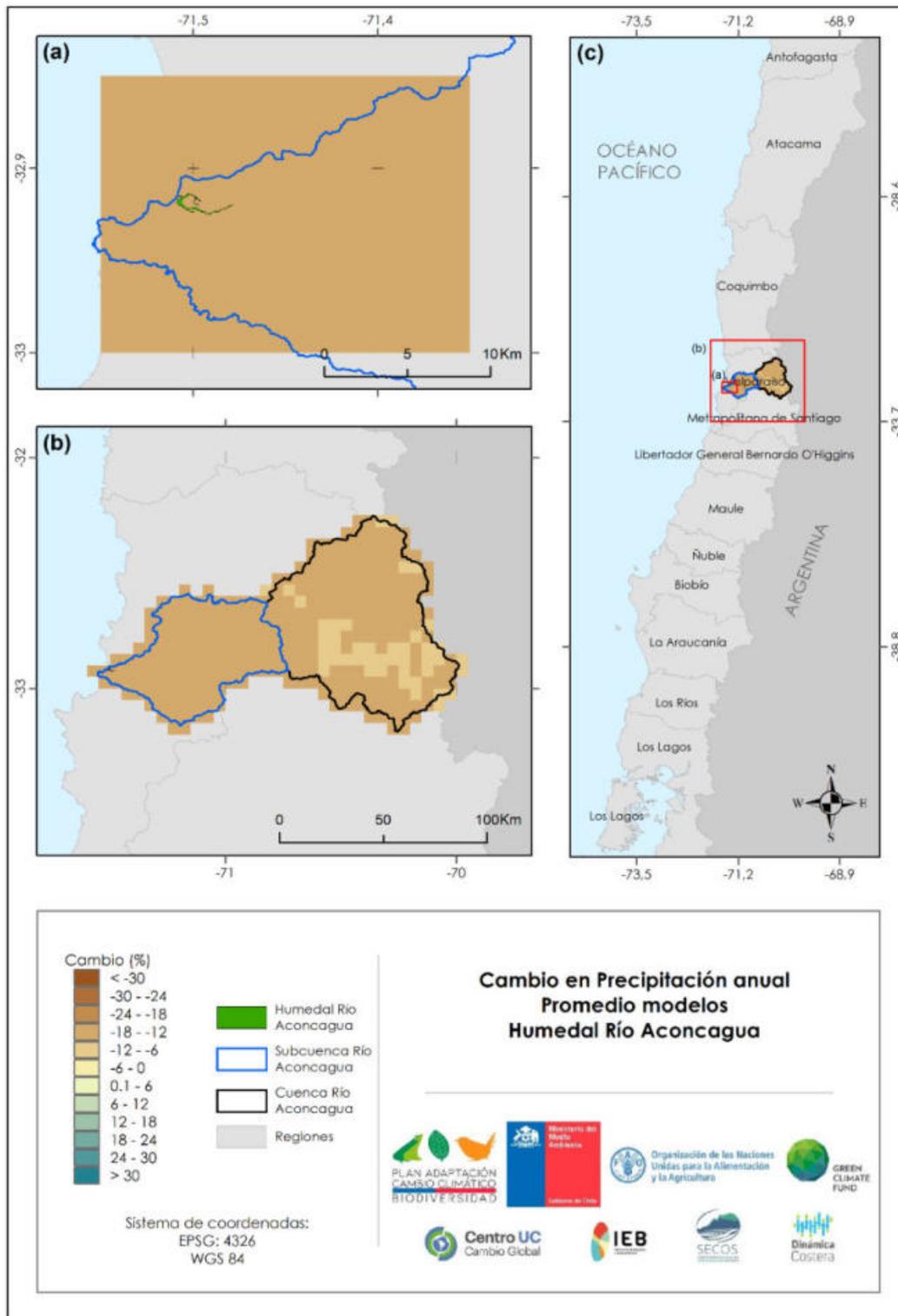


Figura A3- 75: Cambios en precipitación media anual para humedal Río Aconcagua para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal San Jerónimo ($33,3550^{\circ}\text{S}$, $71,6515^{\circ}\text{W}$) se encuentra localizado en la comuna de Algarrobo. Se encuentra bajo diversas presiones antrópicas. La playa inmediata a la desembocadura destaca por su alta erosión (Martínez *et al.* 2018, 2022).



Figura A3- 76: Espejo de agua del humedal San Jerónimo. Fuente: Elaboración propia.

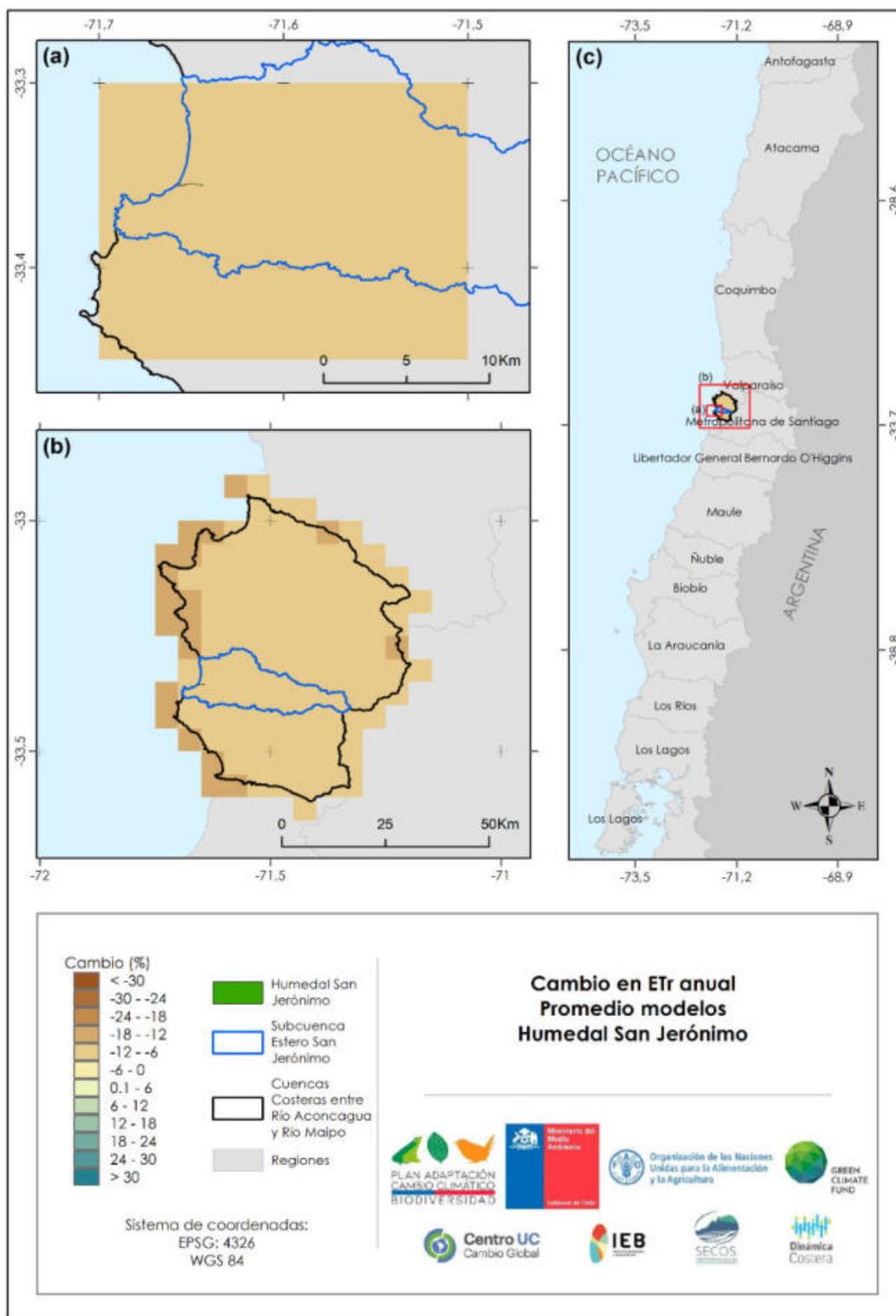


Figura A3- 77: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal San Jerónimo para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

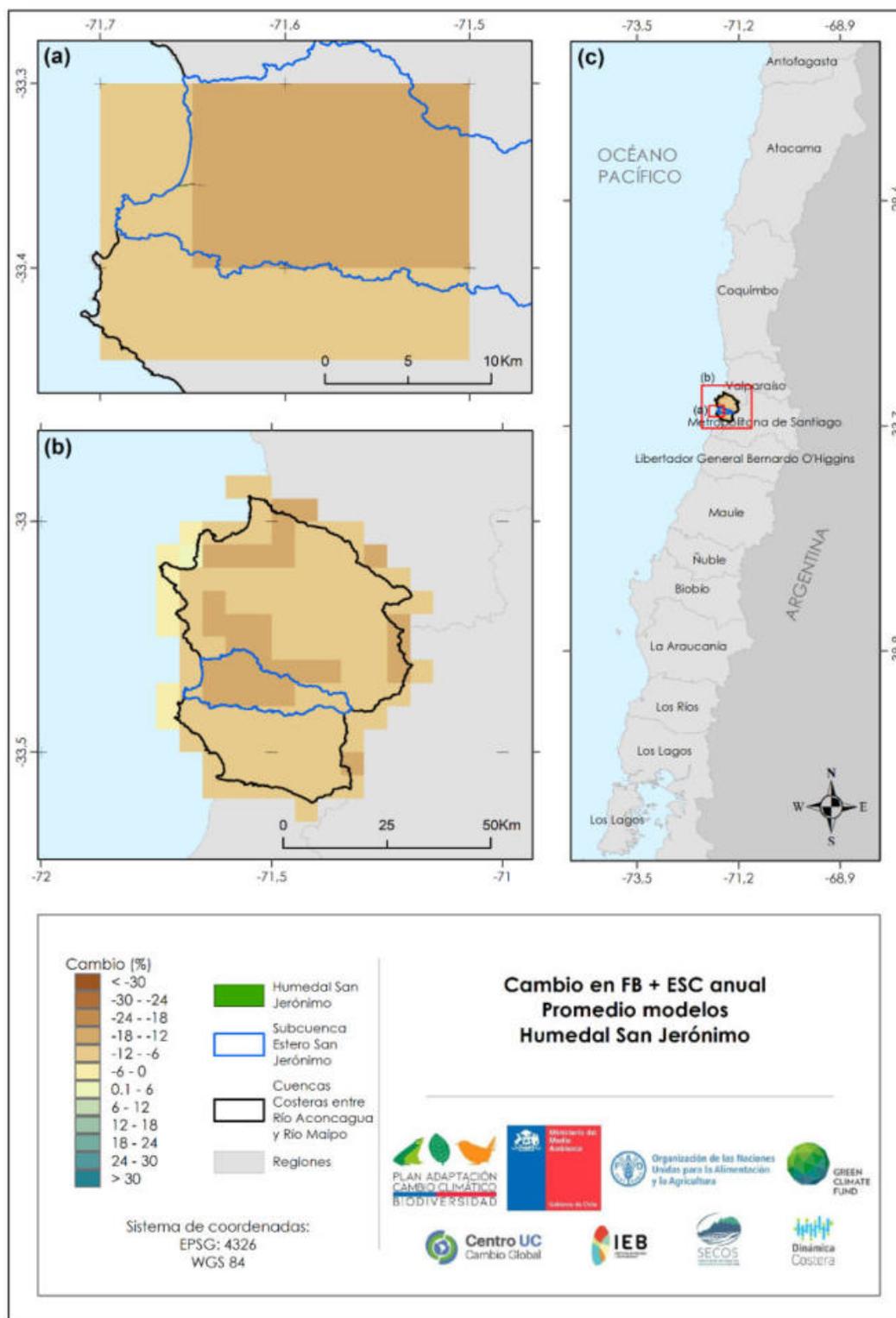


Figura A3- 78: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal San Jerónimo para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

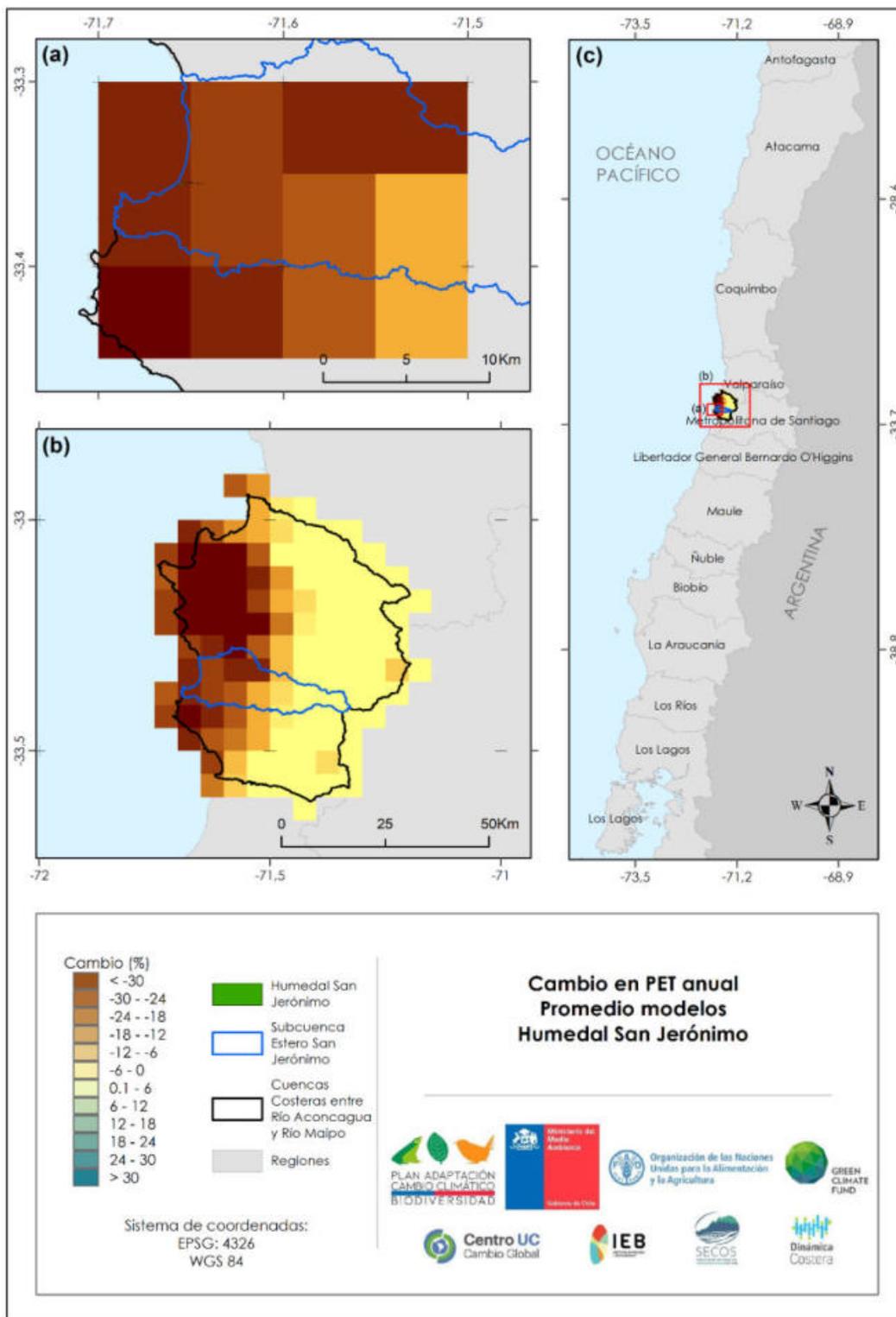


Figura A3- 79: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal San Jerónimo para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

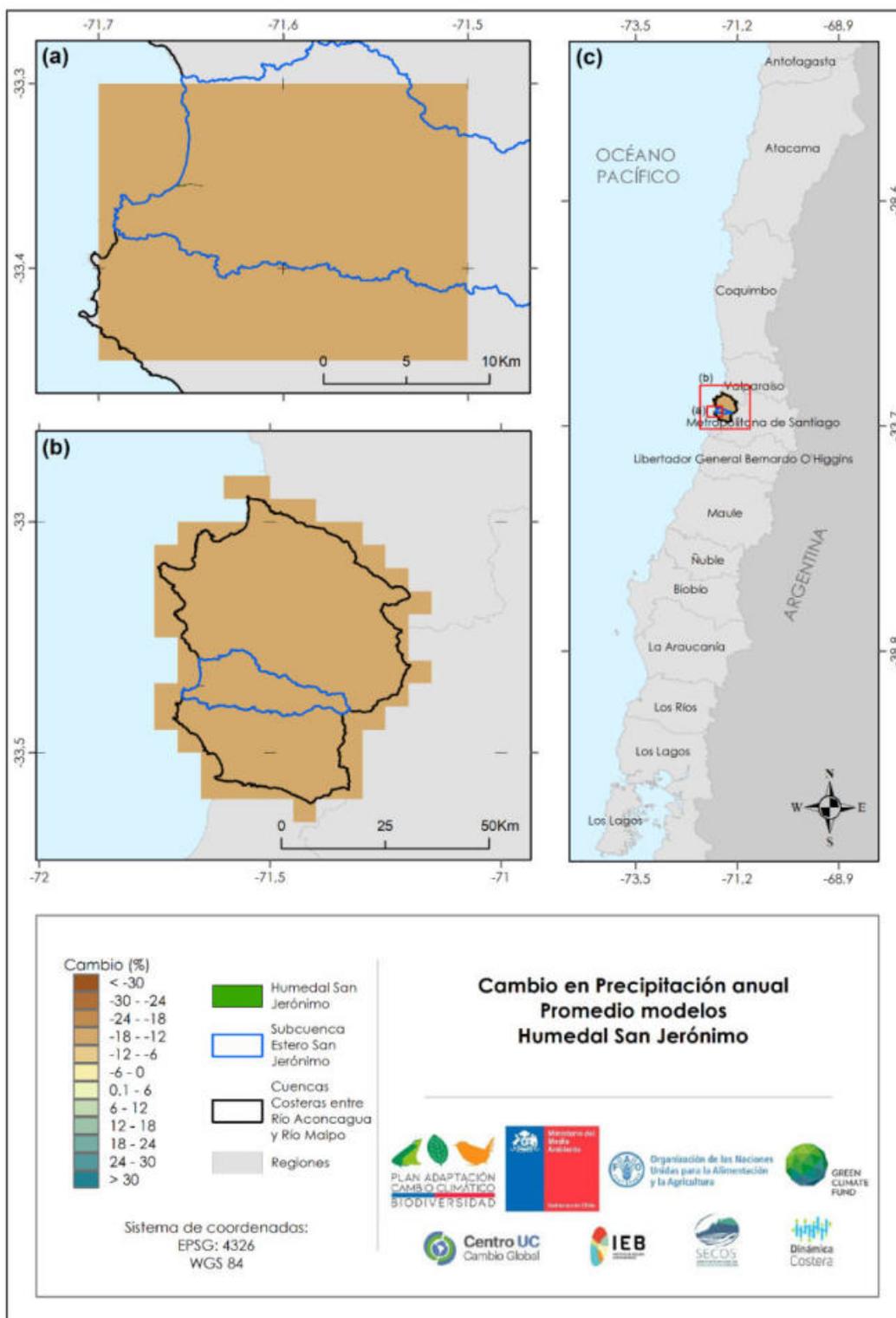


Figura A3- 80: Cambios en precipitación media anual para humedal San Jerónimo para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal San Sebastián ($33,3550^{\circ}\text{S}$, $71,6515^{\circ}\text{W}$) es la desembocadura de un estudio que se encuentra localizado en la comuna de Cartagena. Es contiguo a una laguna artificial. Tanto la laguna como el estuario cuentan con varias figuras de protección, entre las que destaca RENAMU. La playa inmediata a la desembocadura destaca por su alta erosión (Martínez *et al.* 2018, 2022).



Figura A3- 81: Espejo de agua del humedal San Sebastián. Fuente: Elaboración propia.

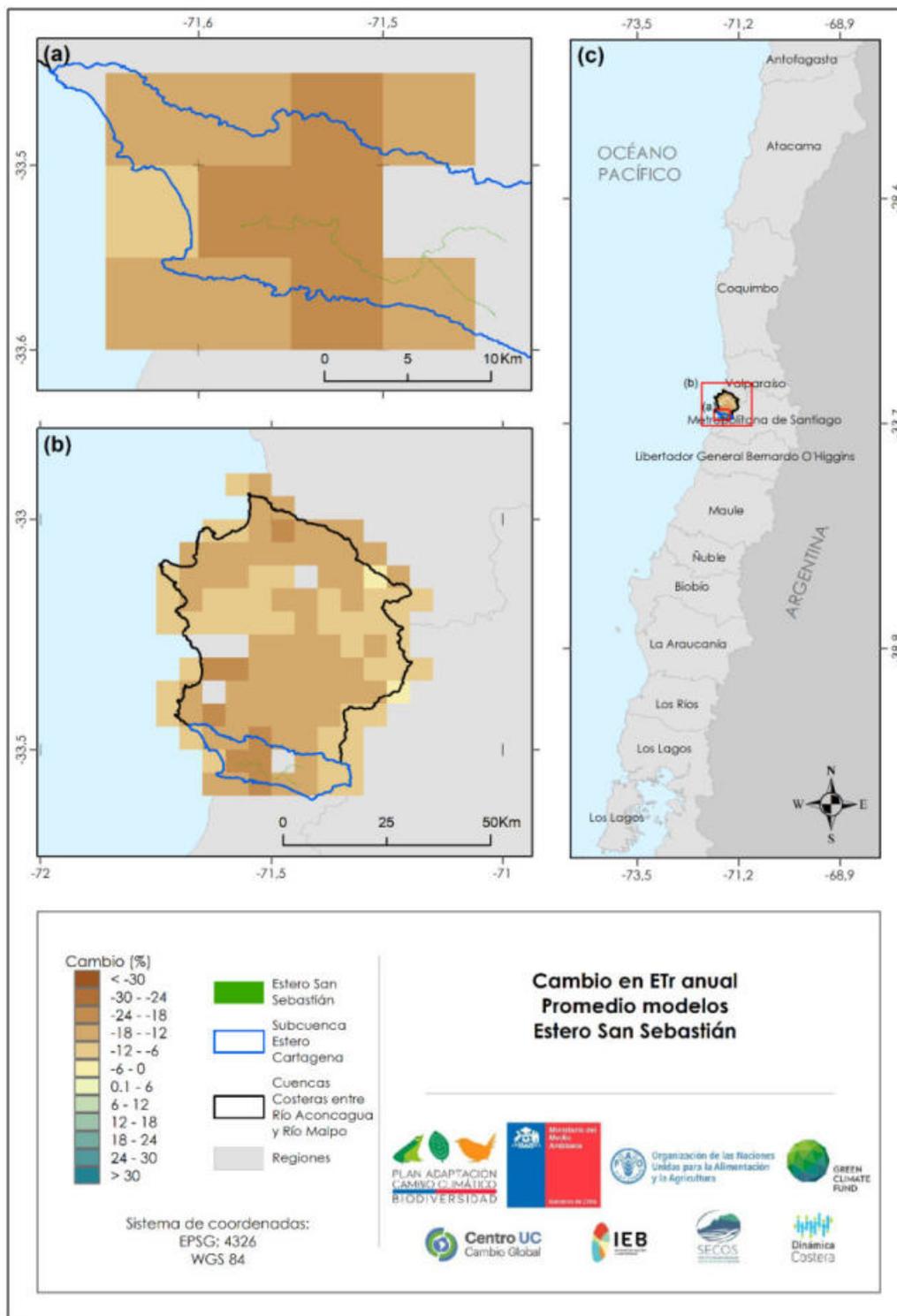


Figura A3- 82: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para Estero San Sebastián para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

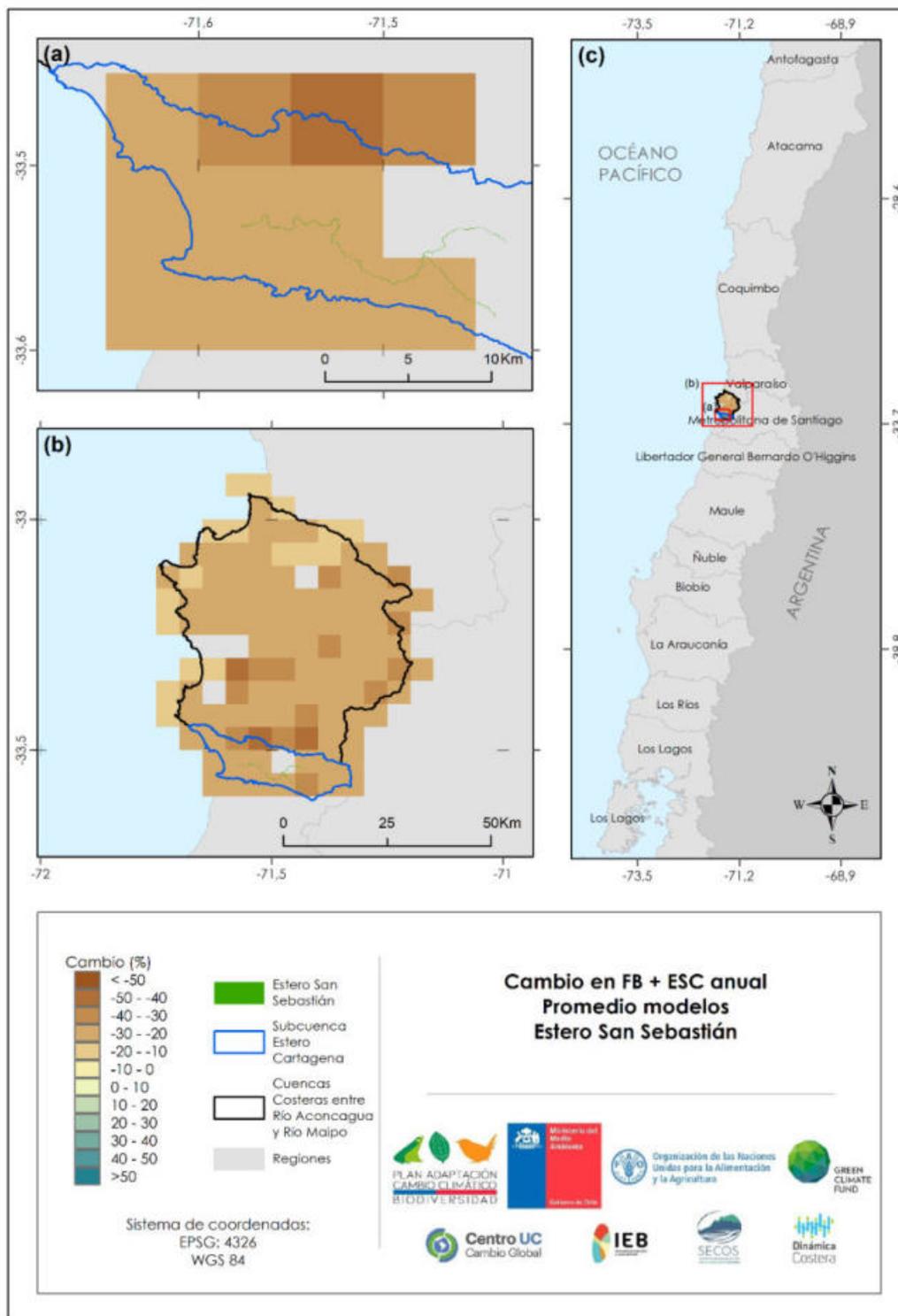


Figura A3- 83: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para Estero San Sebastián para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

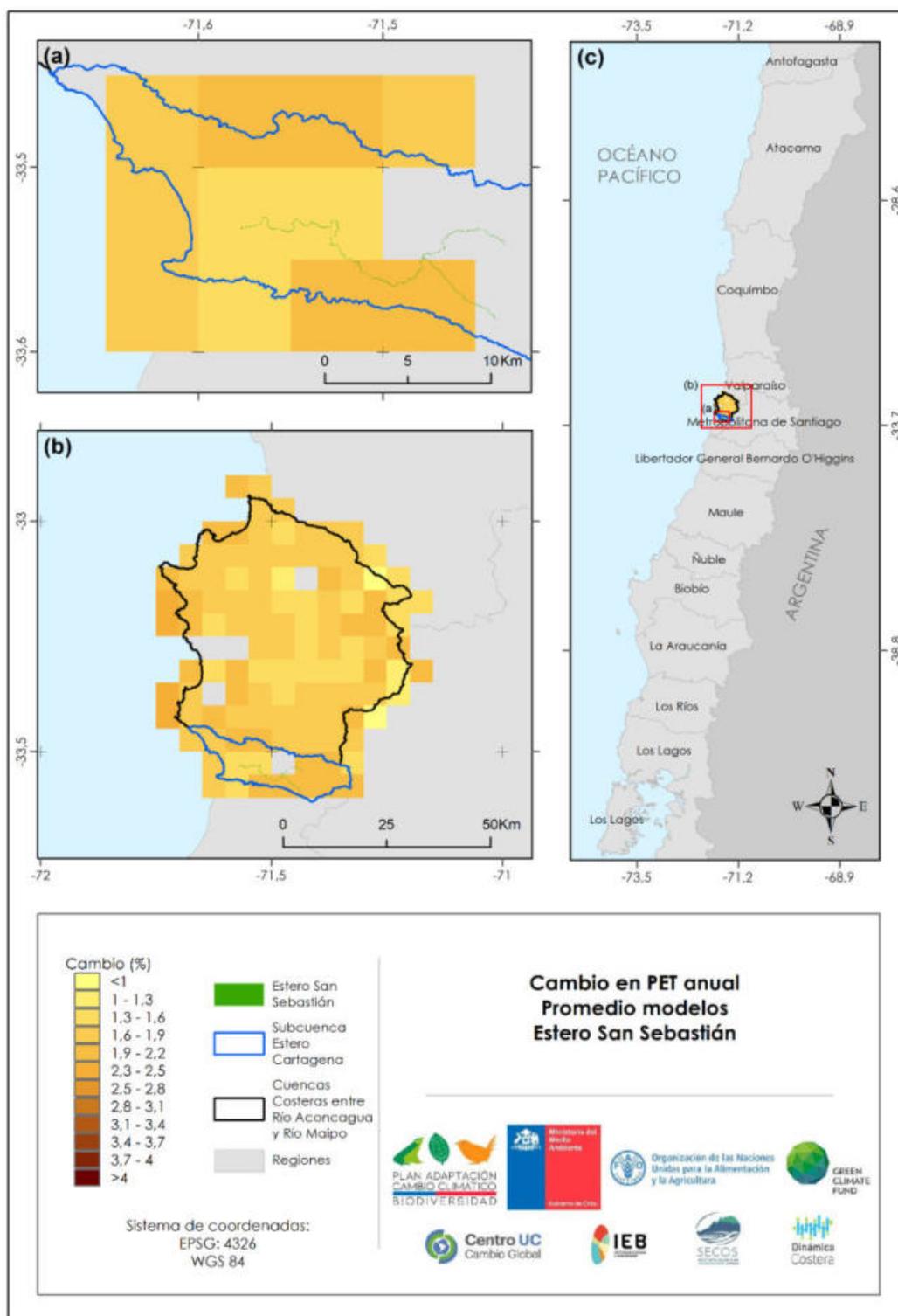


Figura A3- 84: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para Estero San Sebastián para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

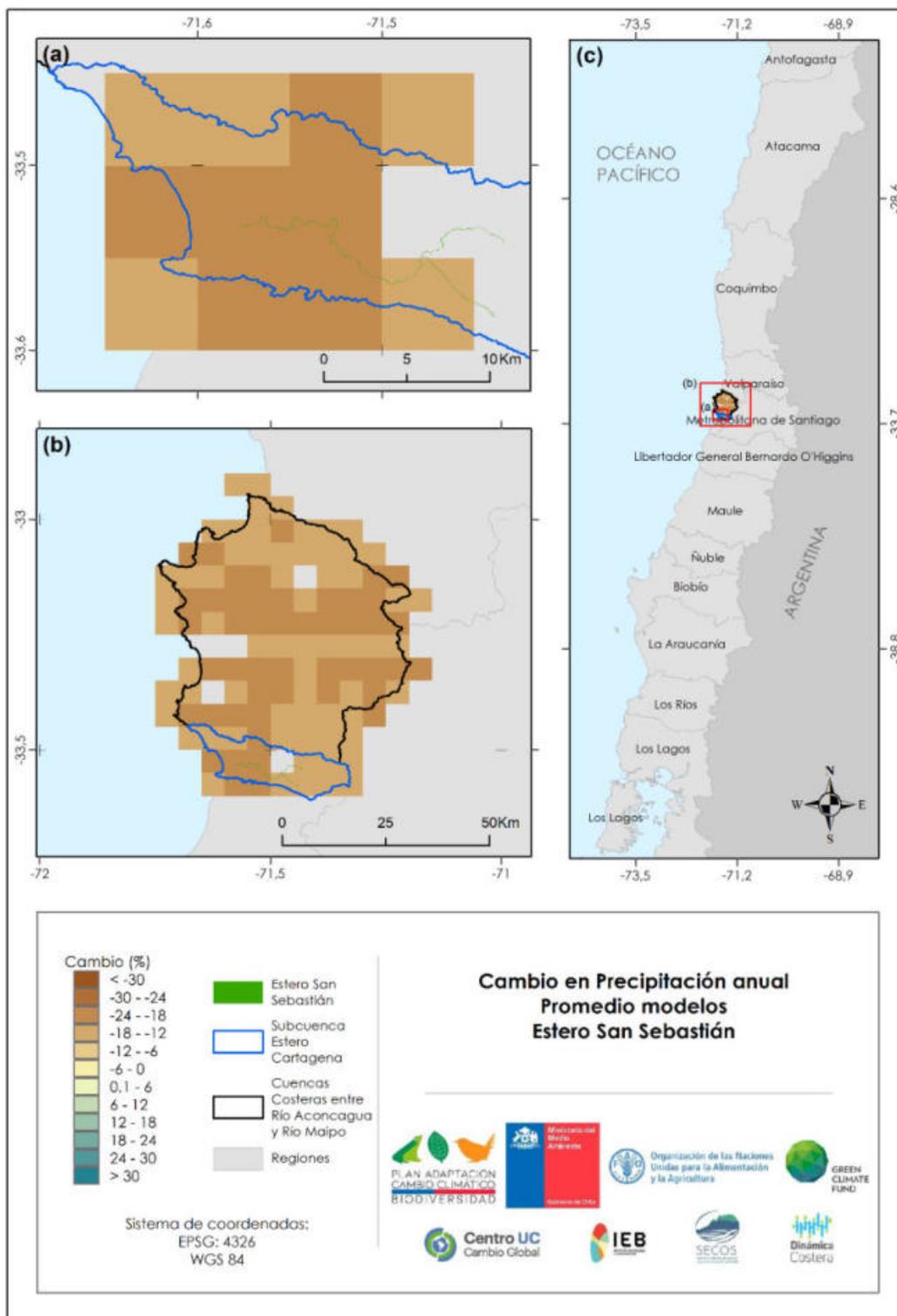


Figura A3- 85: Cambios en Precipitación media anual para Estero San Sebastián para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal estero El Yali (33,7808°S, 71,7394°W) es un sitio Ramsar localizado en la comuna de Santo Domingo, y uno de los más importantes humedales de Chile central (Contreras *et al.* 2017). Es contiguo a una laguna costera y ha sido severamente afectado por los tsunamis del año 2010 y 2015.

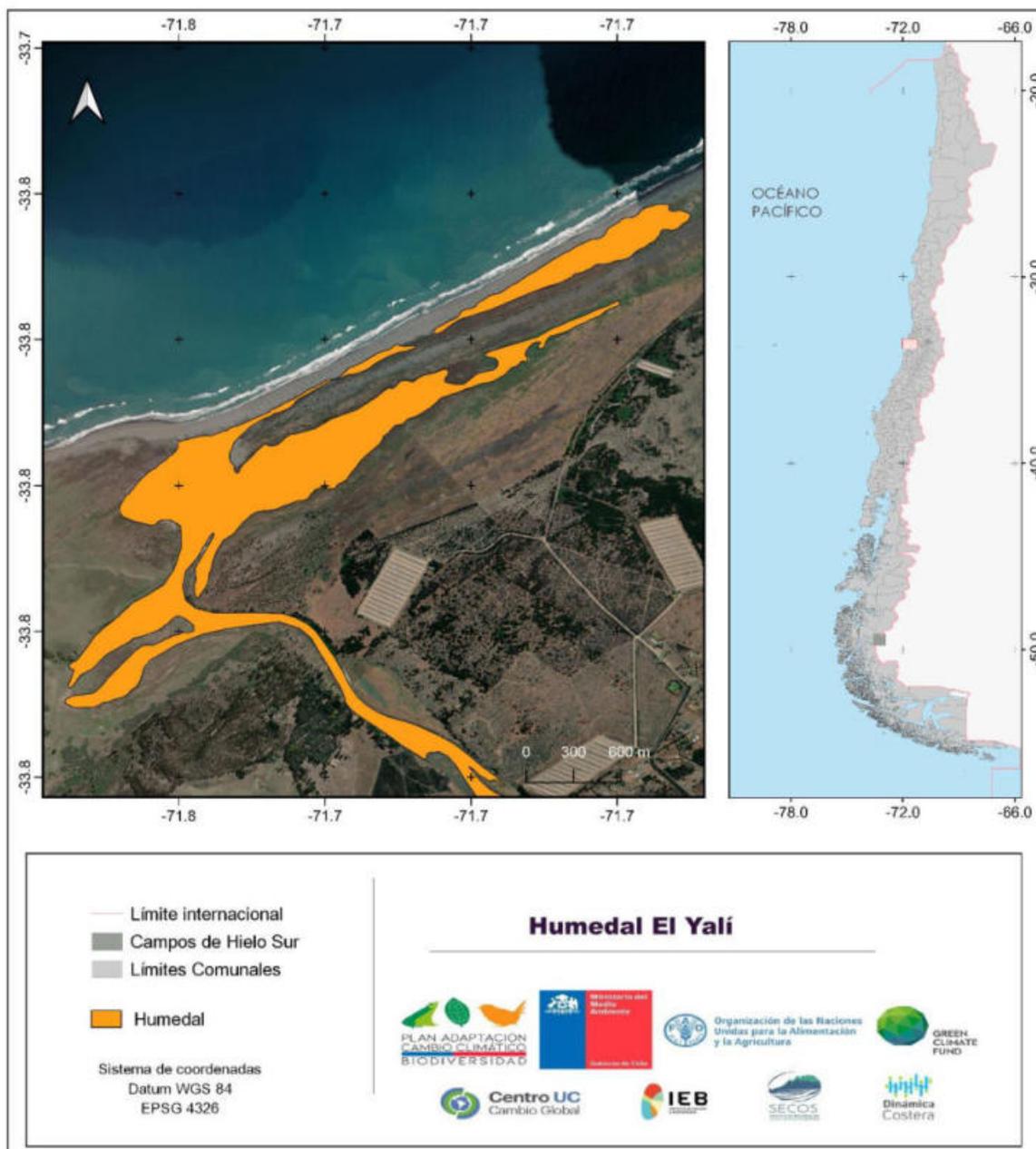


Figura A3- 86: Espejo de agua del humedal El Yali. Fuente: Elaboración propia.

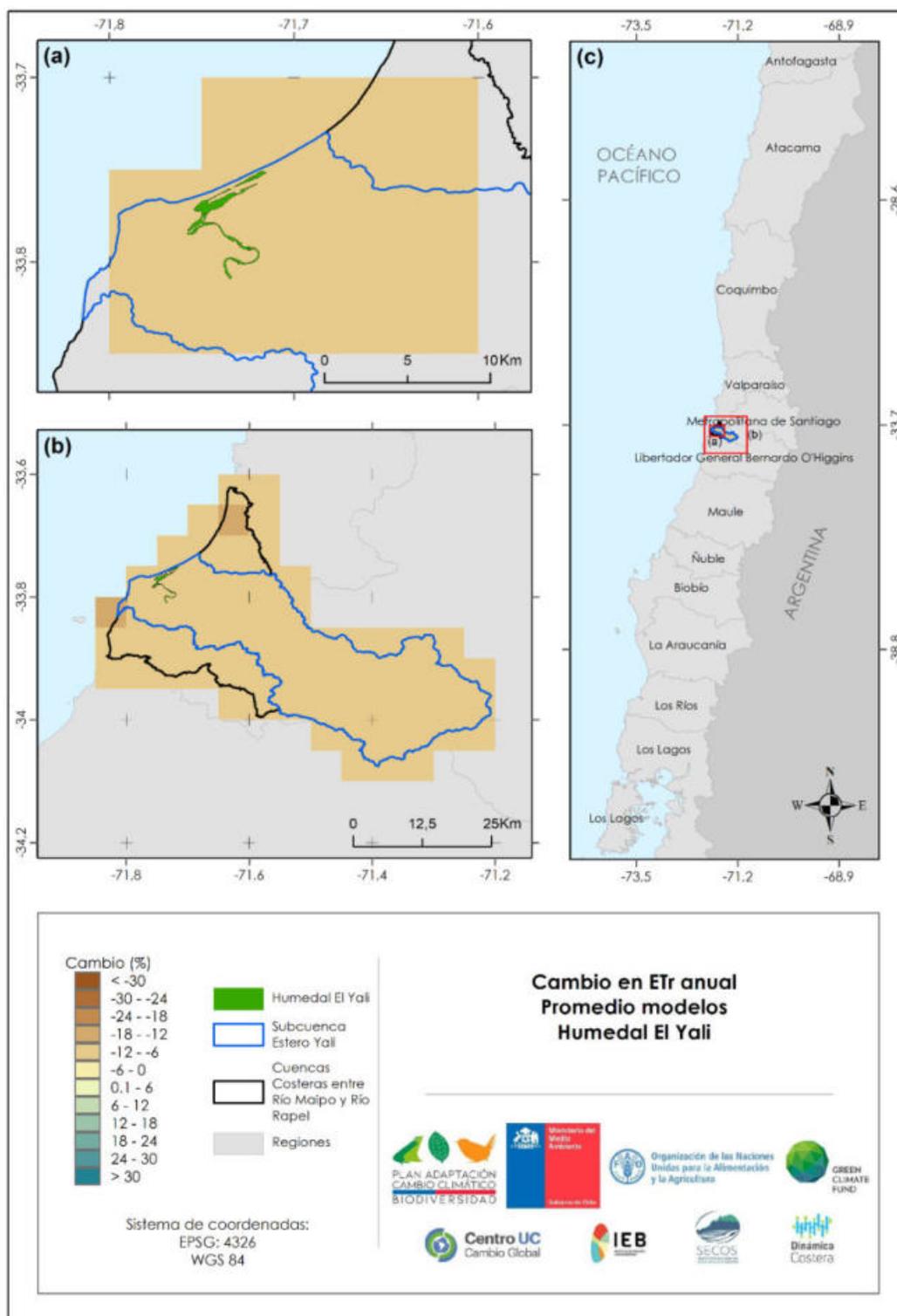


Figura A3- 87: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal El Yali para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

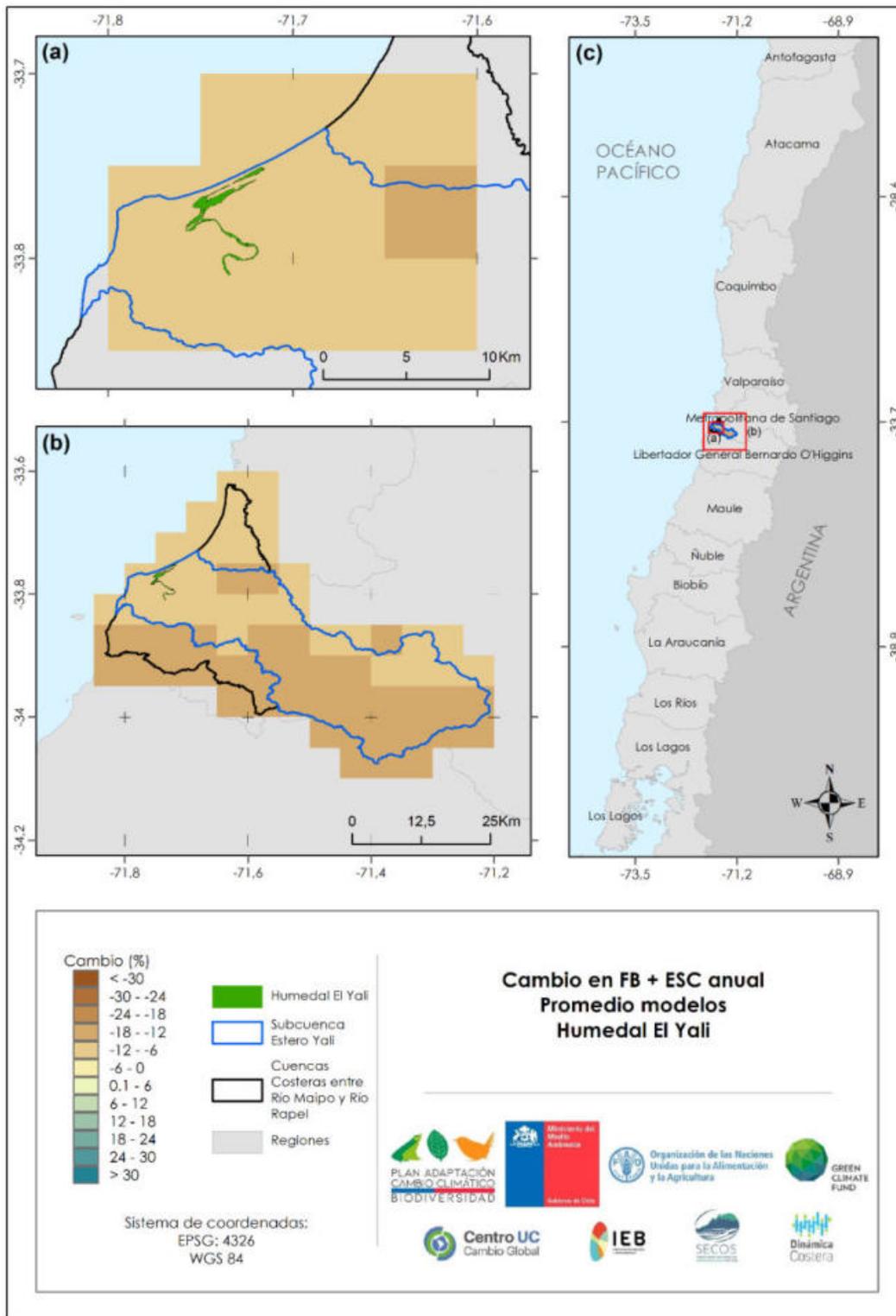


Figura A3- 88: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal El Yali para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

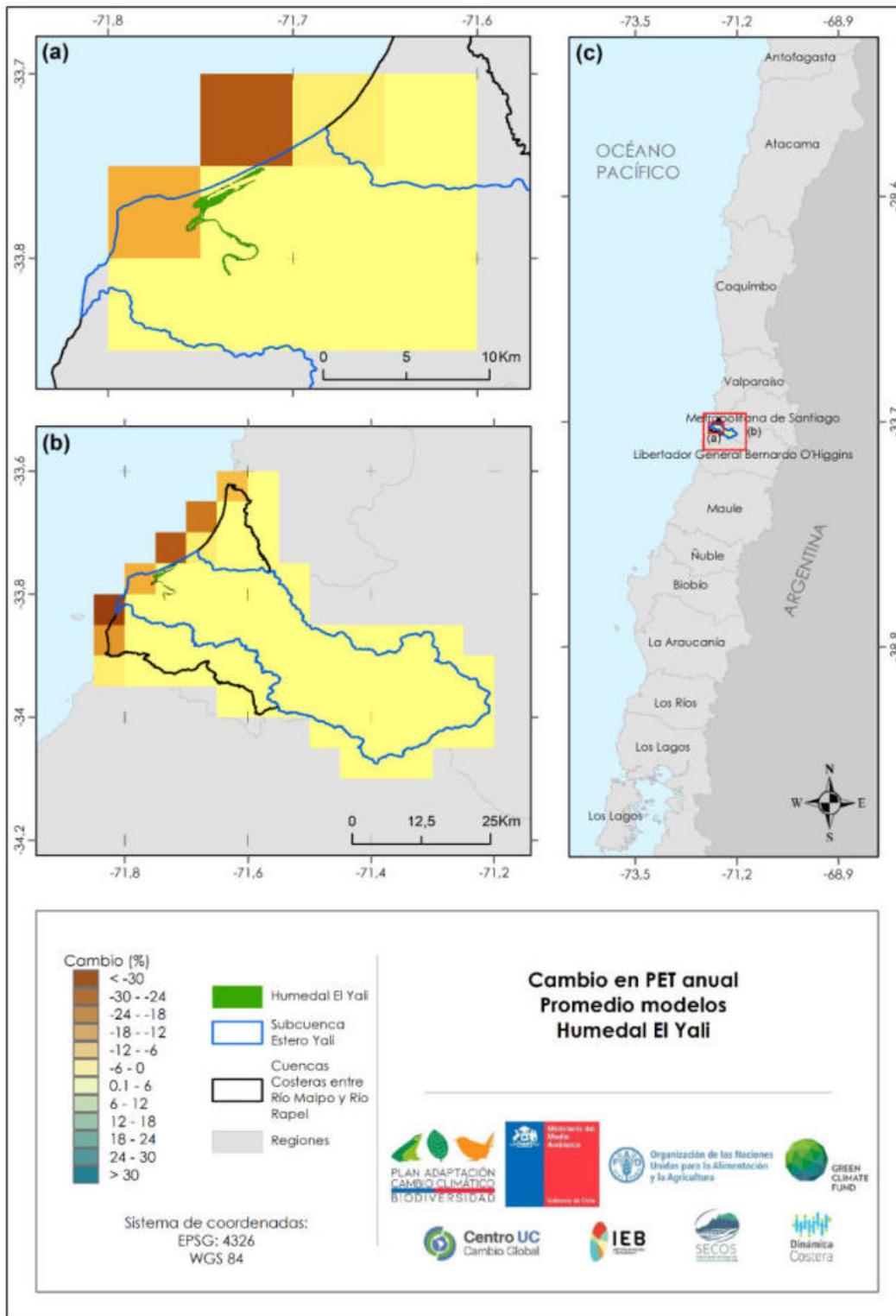


Figura A3- 89: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal El Yali para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

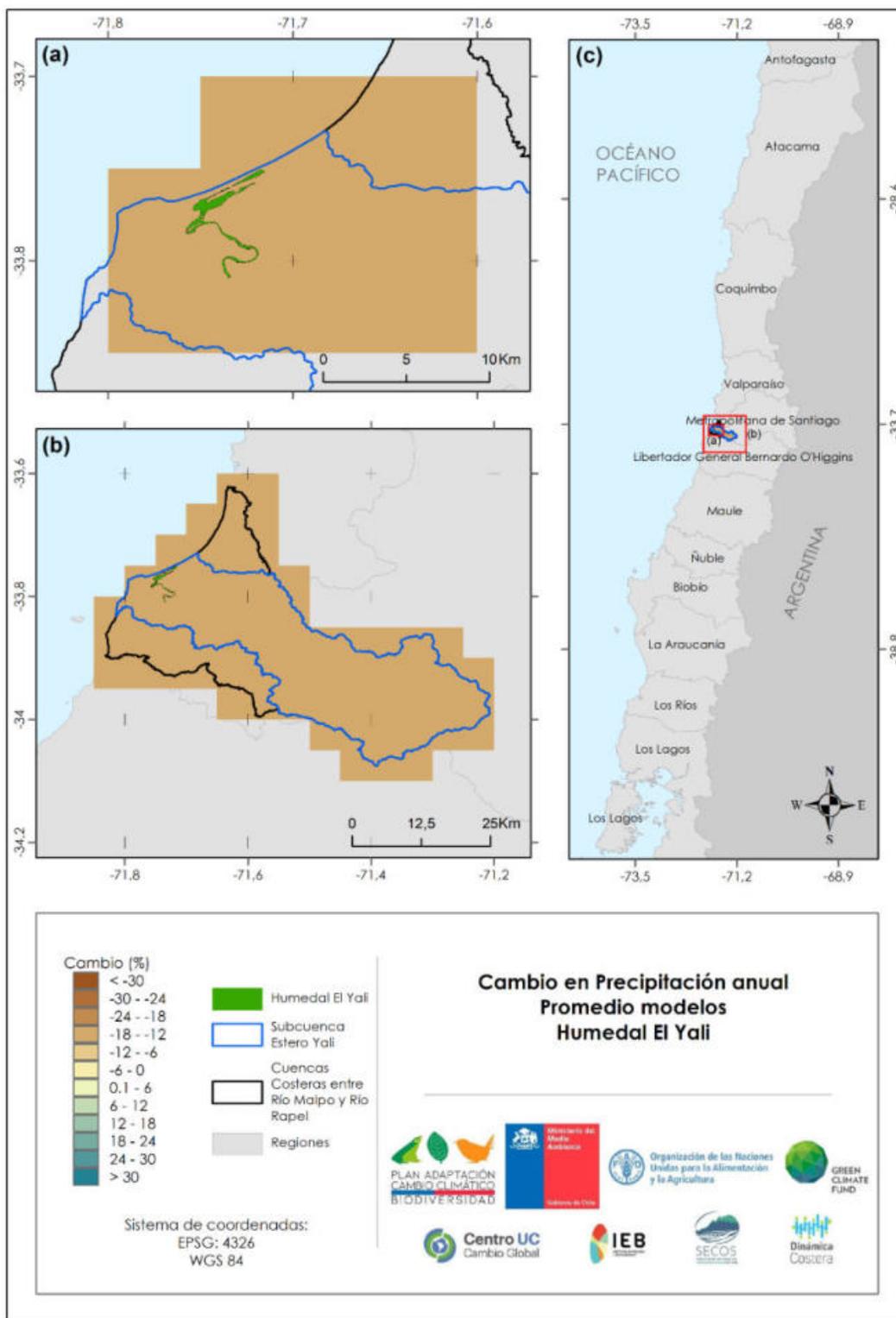


Figura A3- 90: Cambios en Precipitación media anual para humedal El Yali para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal Cahuil ($34,5117^{\circ}\text{S}$, $71,9418^{\circ}\text{W}$) es un ecosistema piloto del proyecto GEF-Humedales. Su barra se encuentra manejada artificialmente y su playa contigua es afectada por la erosión costera (Martínez *et al.* 2022).

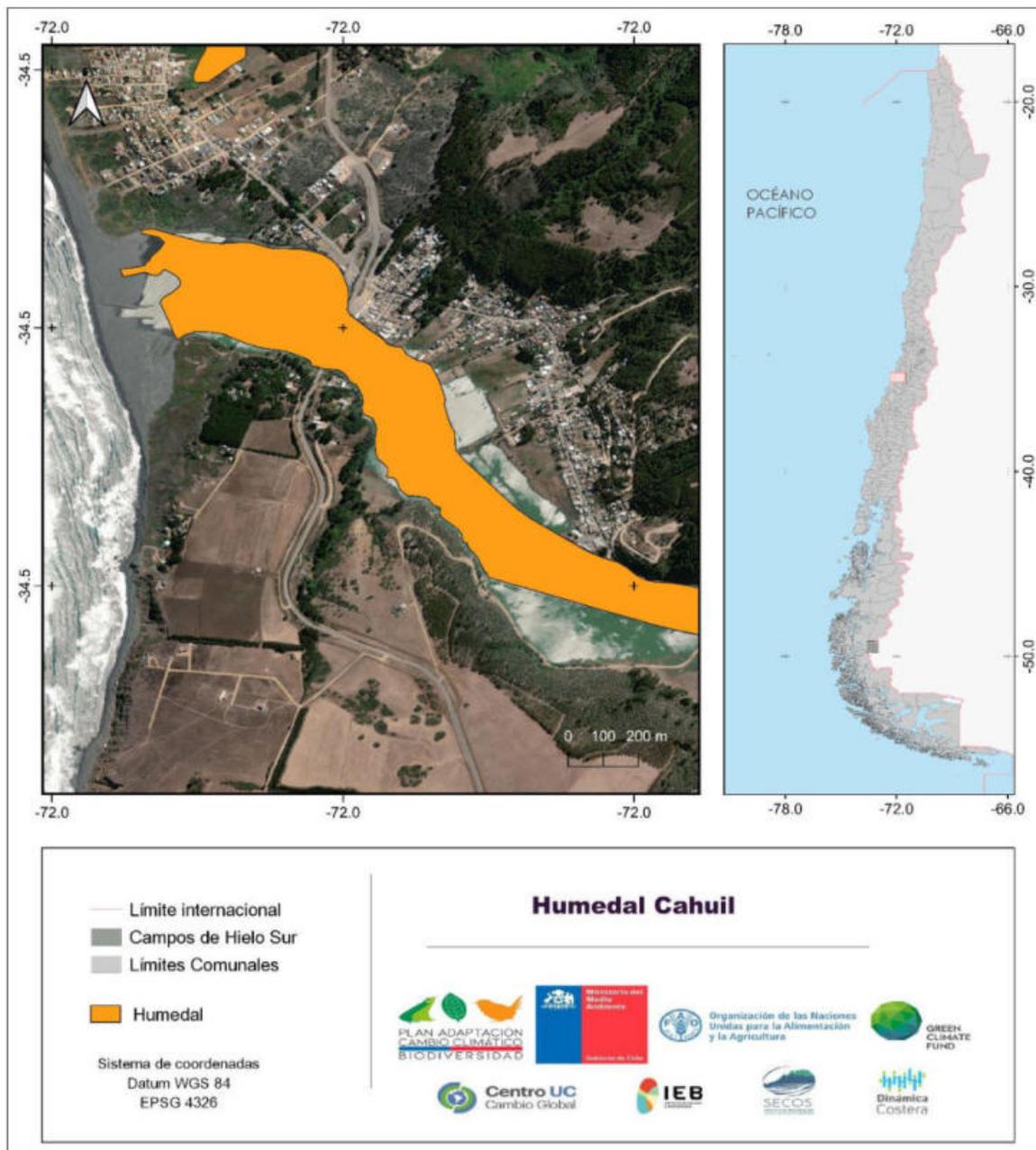


Figura A3- 91: Espejo de agua del humedal Cahuil. Fuente: Elaboración propia.

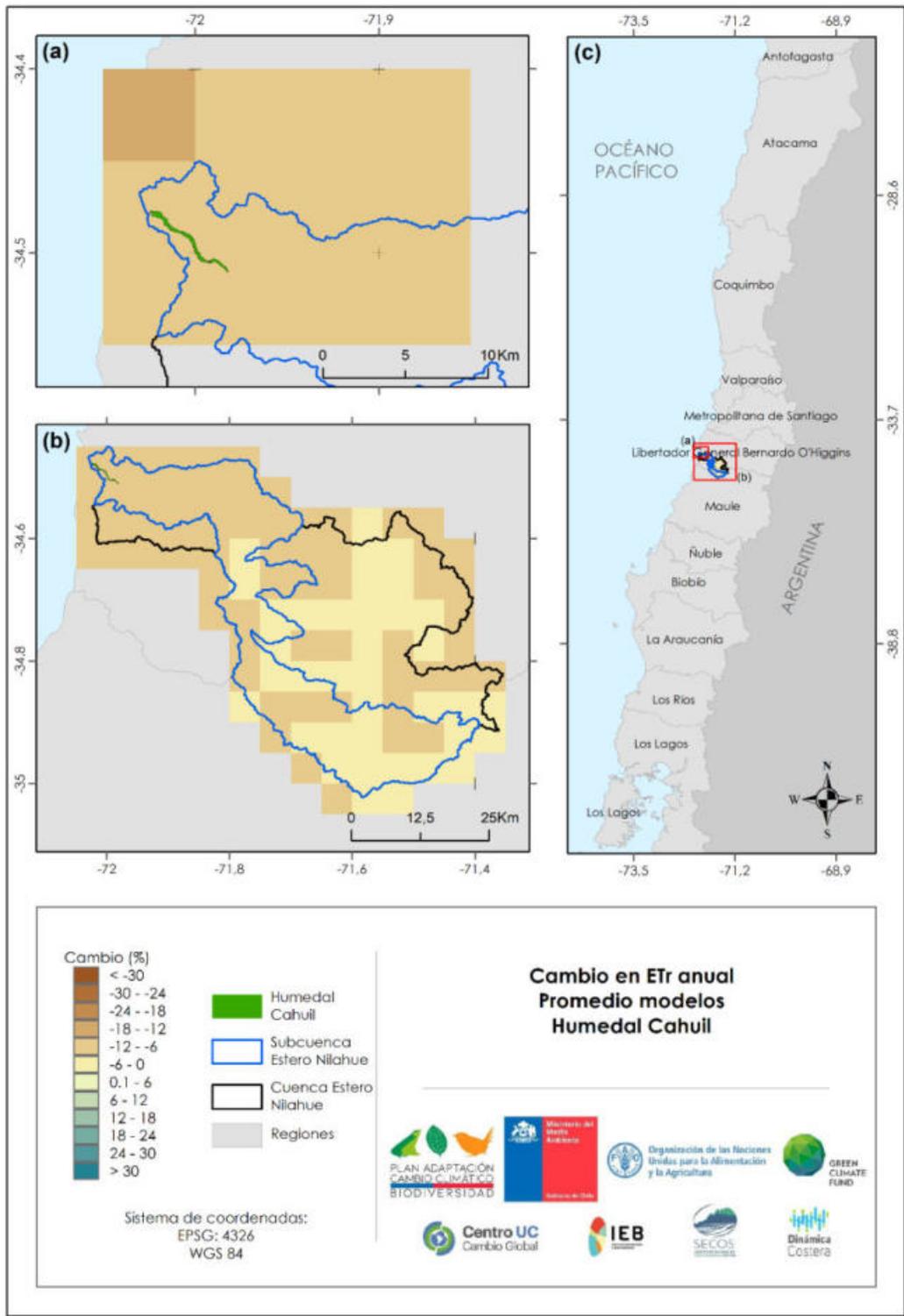


Figura A3- 92: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal Cahuil para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

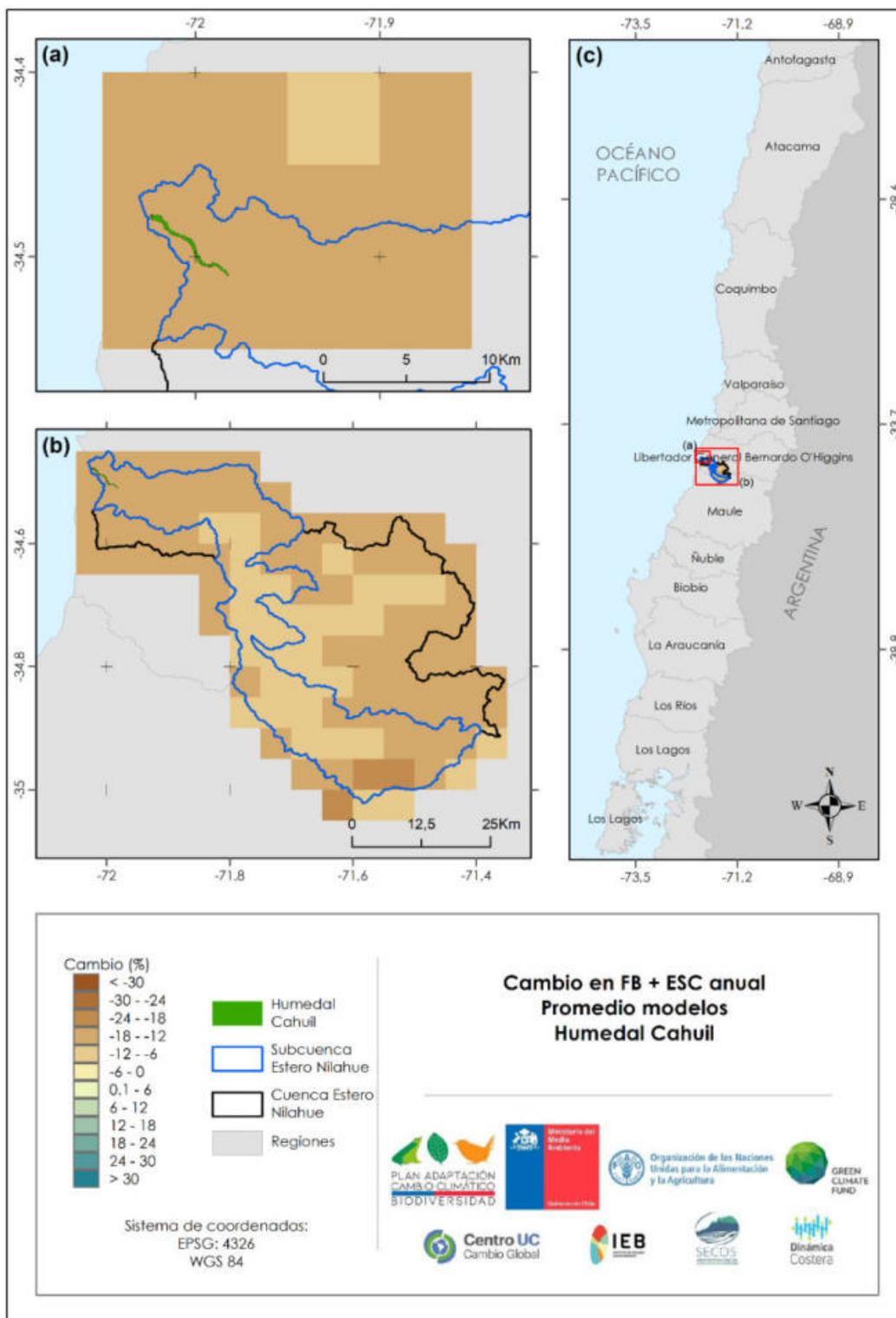


Figura A3- 93: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Cahuil para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

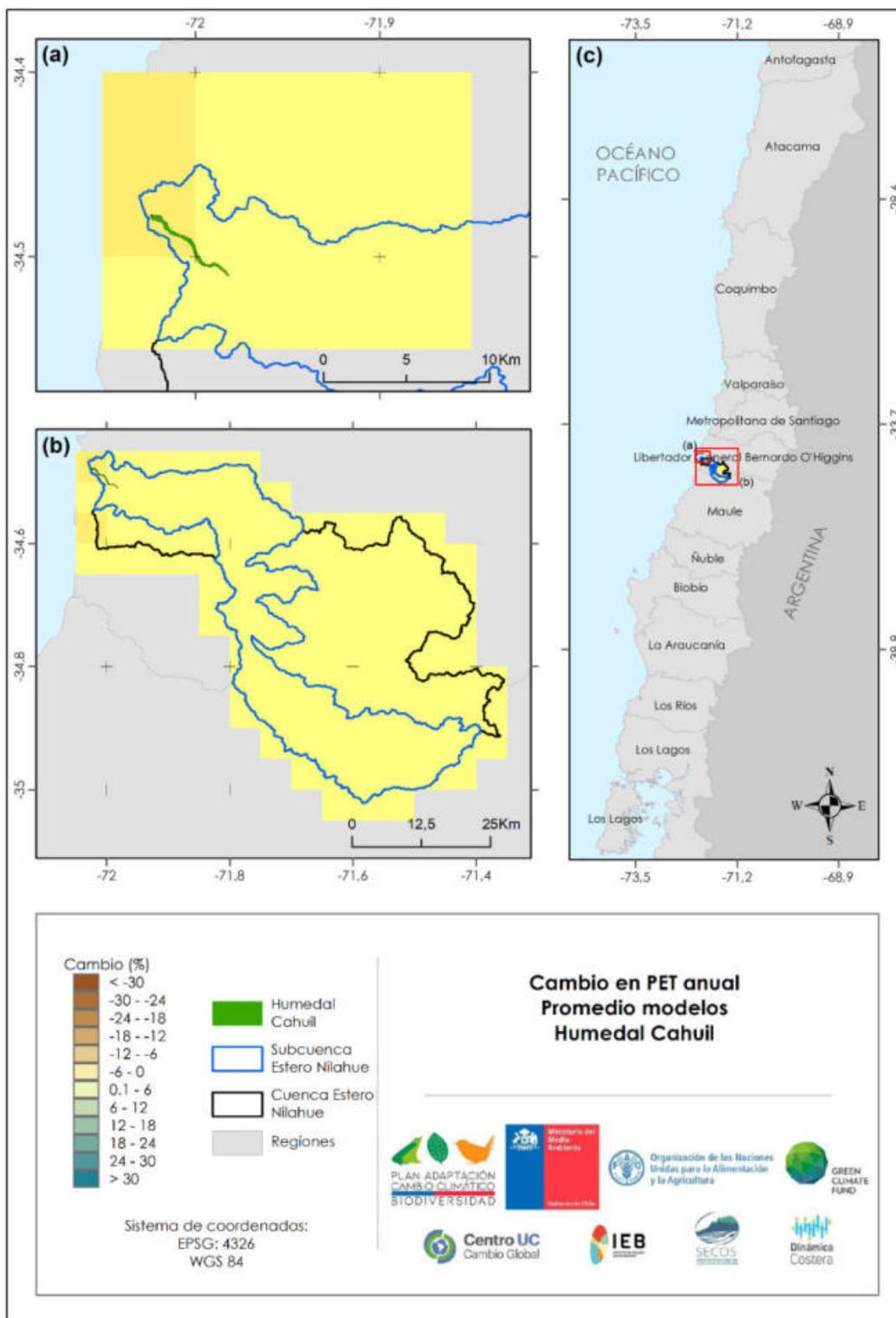


Figura A3- 94: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Cahuil para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

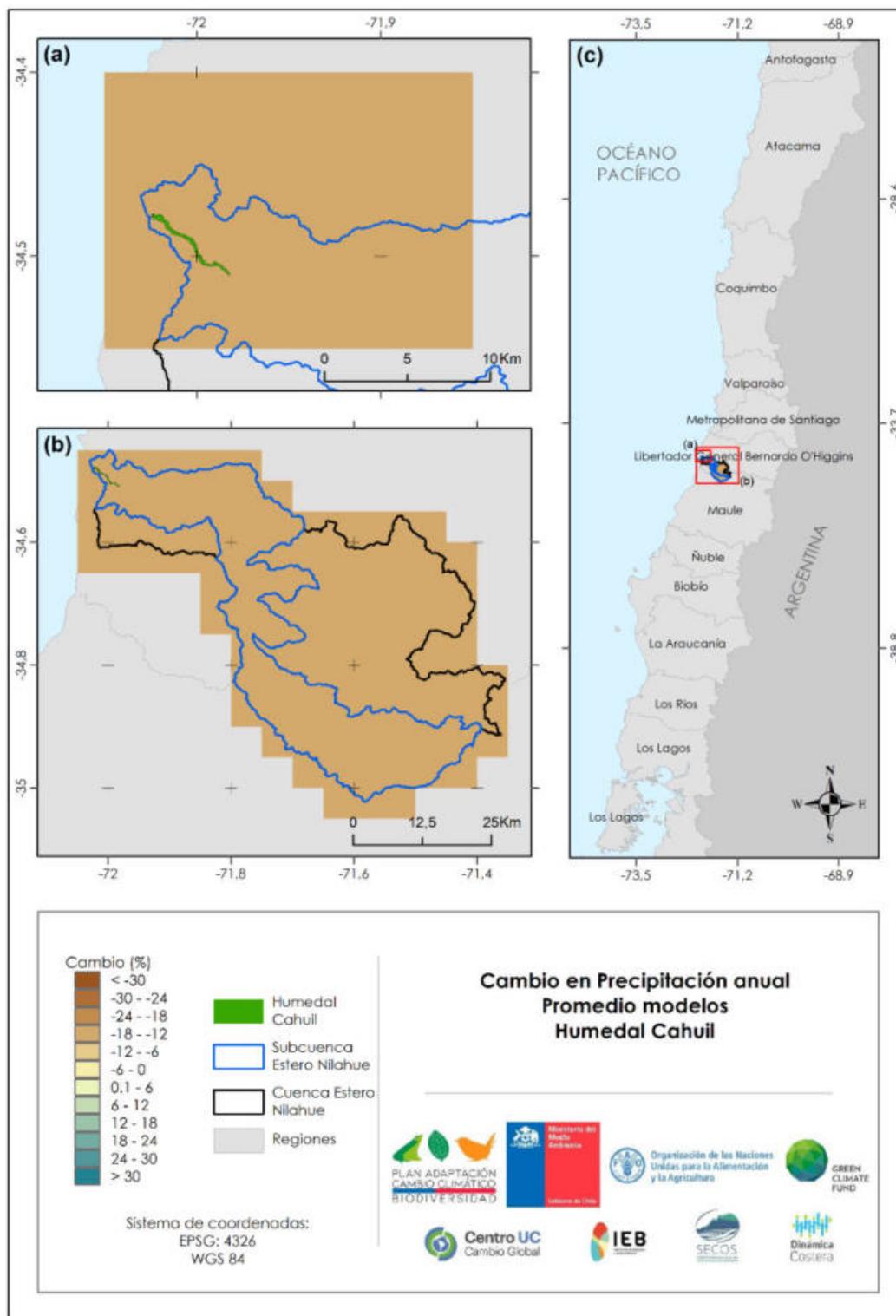


Figura A3- 95: Cambios en Precipitación media anual para humedal Cahuil para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal Desembocadura del Río Maule ($35,3266^{\circ}\text{S}$, $72,4021^{\circ}\text{W}$) es un estuario de barra abierta, que se encuentra al norte de la ciudad de Constitución. El año 2010 fue severamente afectado por un tsunami.

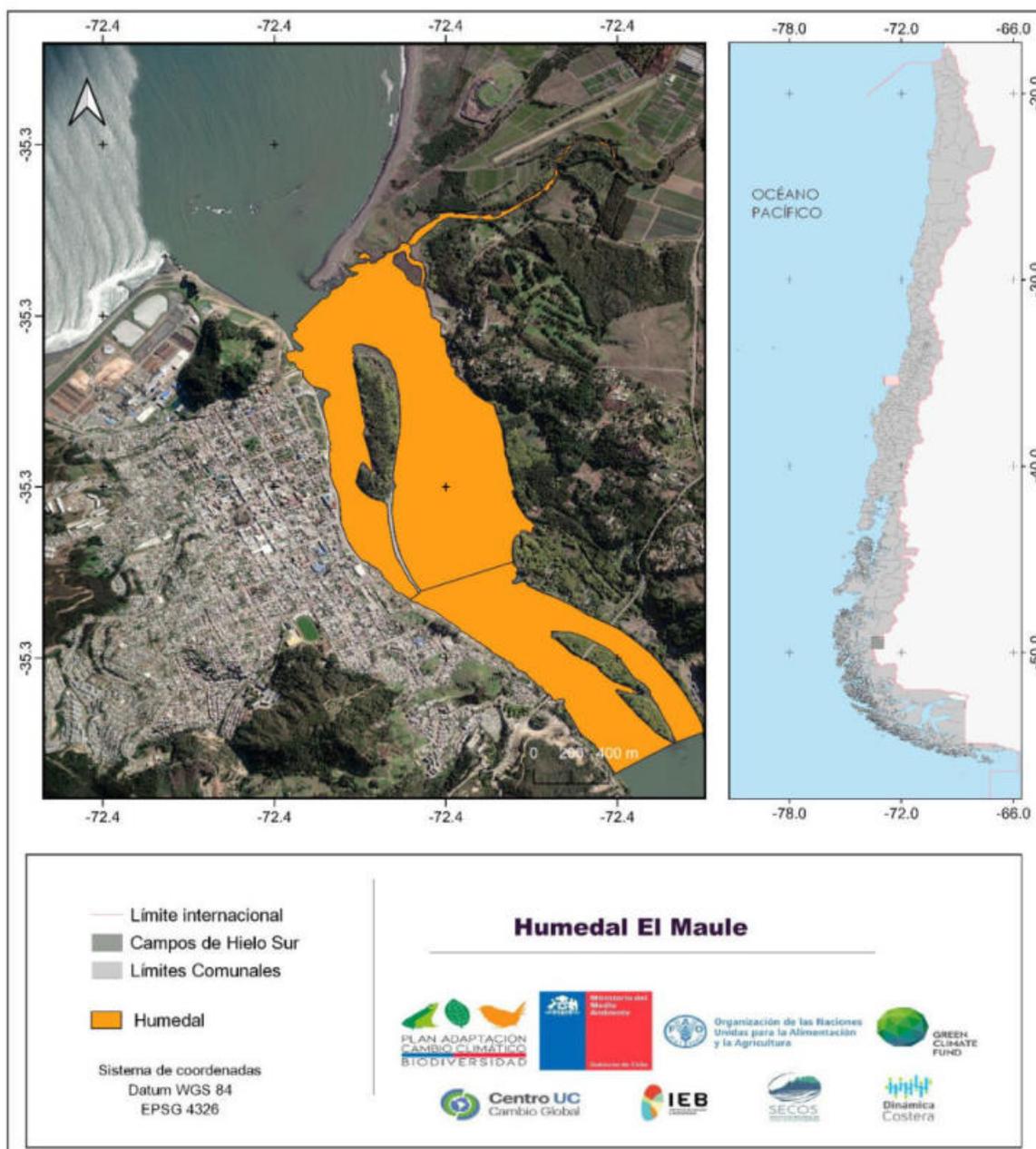


Figura A3- 96: Espejo de agua del humedal Desembocadura del Río Maule. Fuente: Elaboración propia.

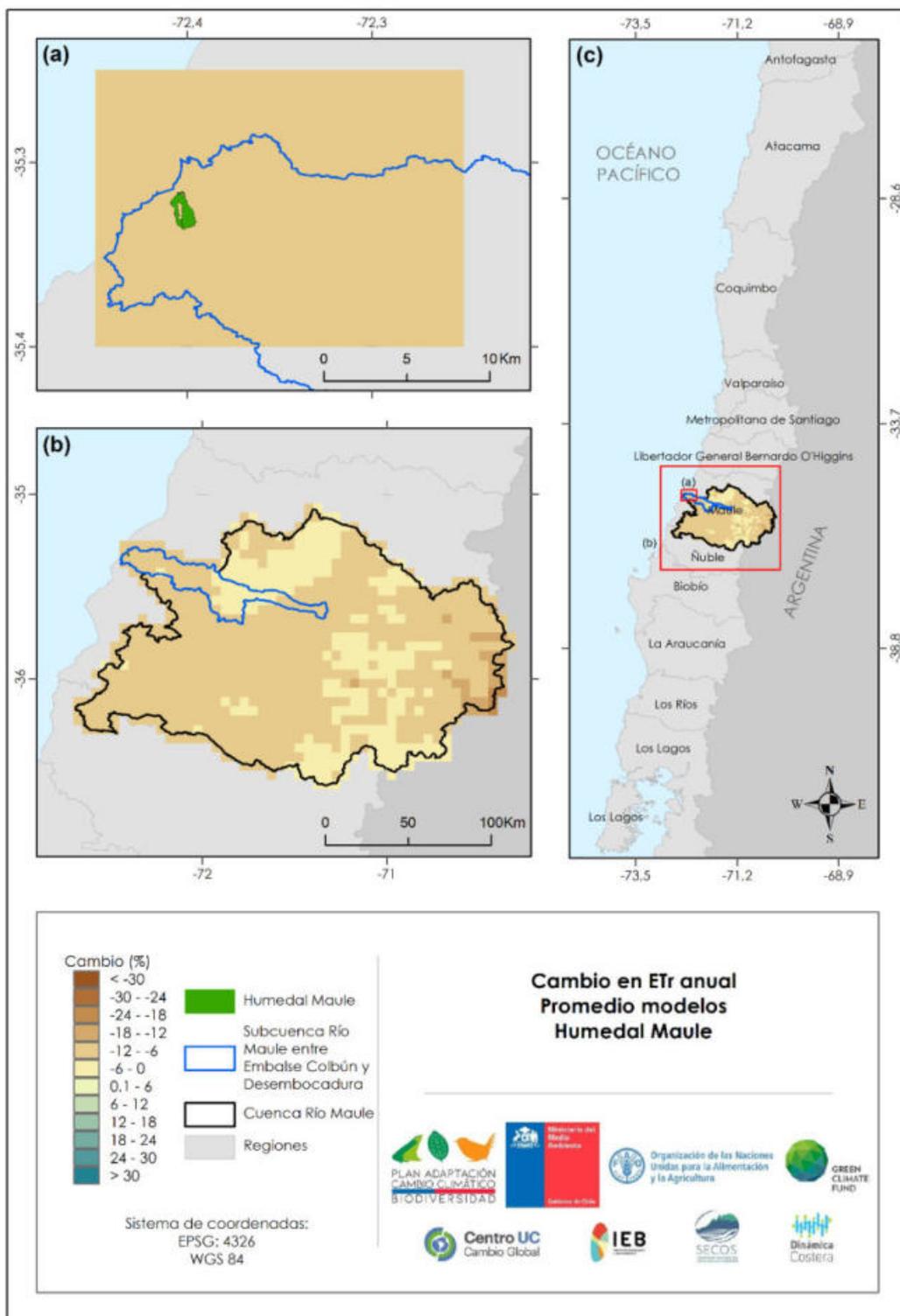


Figura A3- 97: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal Maule para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

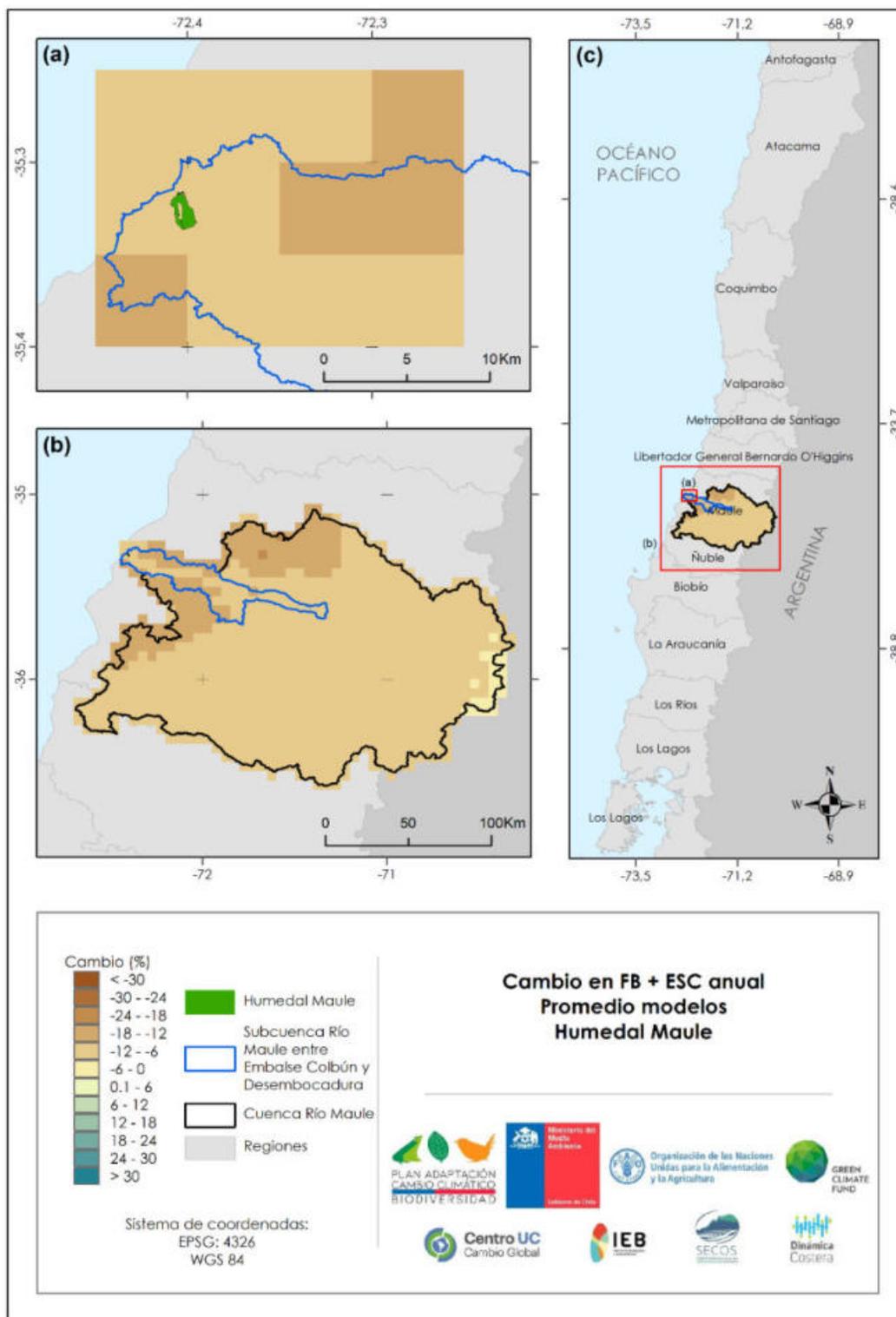


Figura A3- 98: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Maule para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

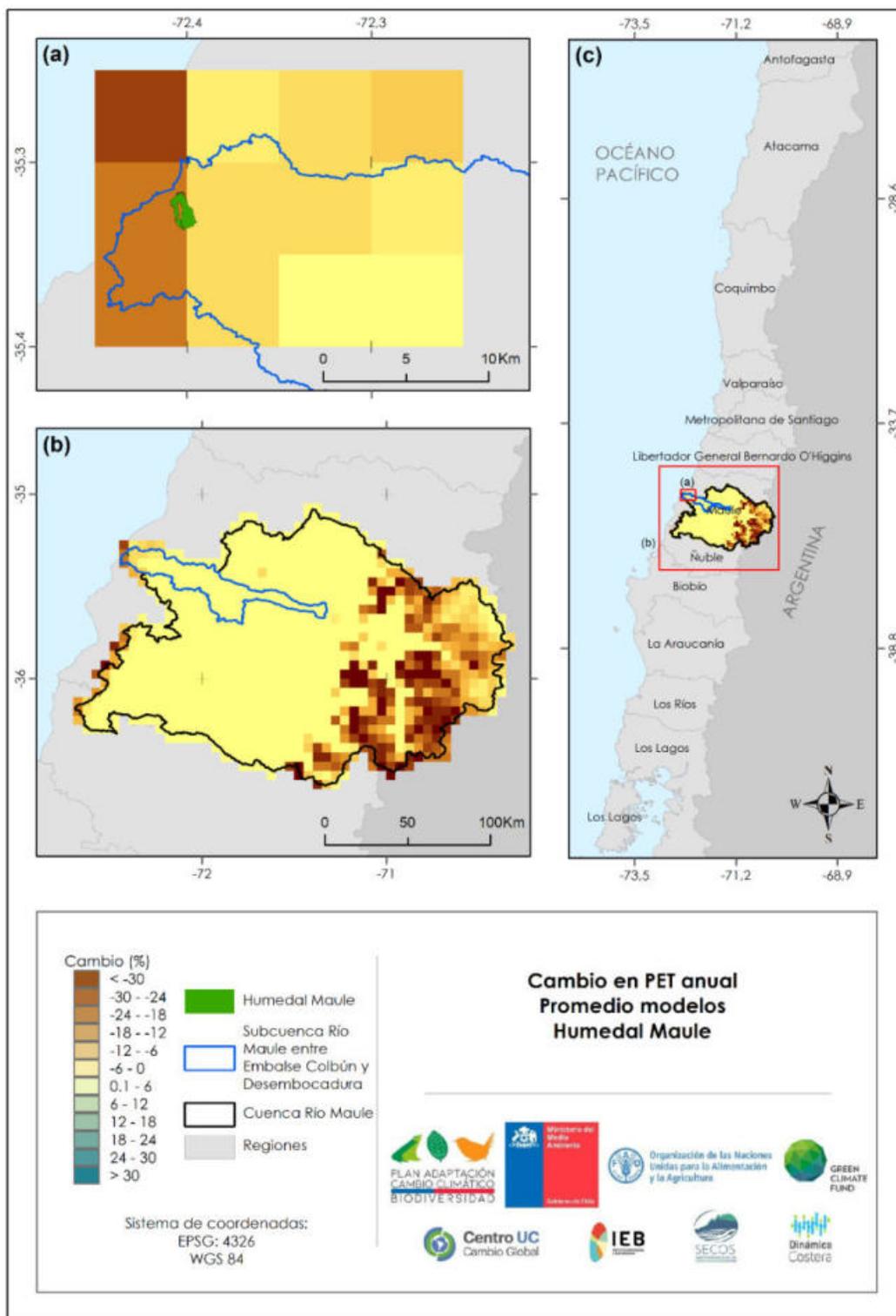


Figura A3- 99: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Maule para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

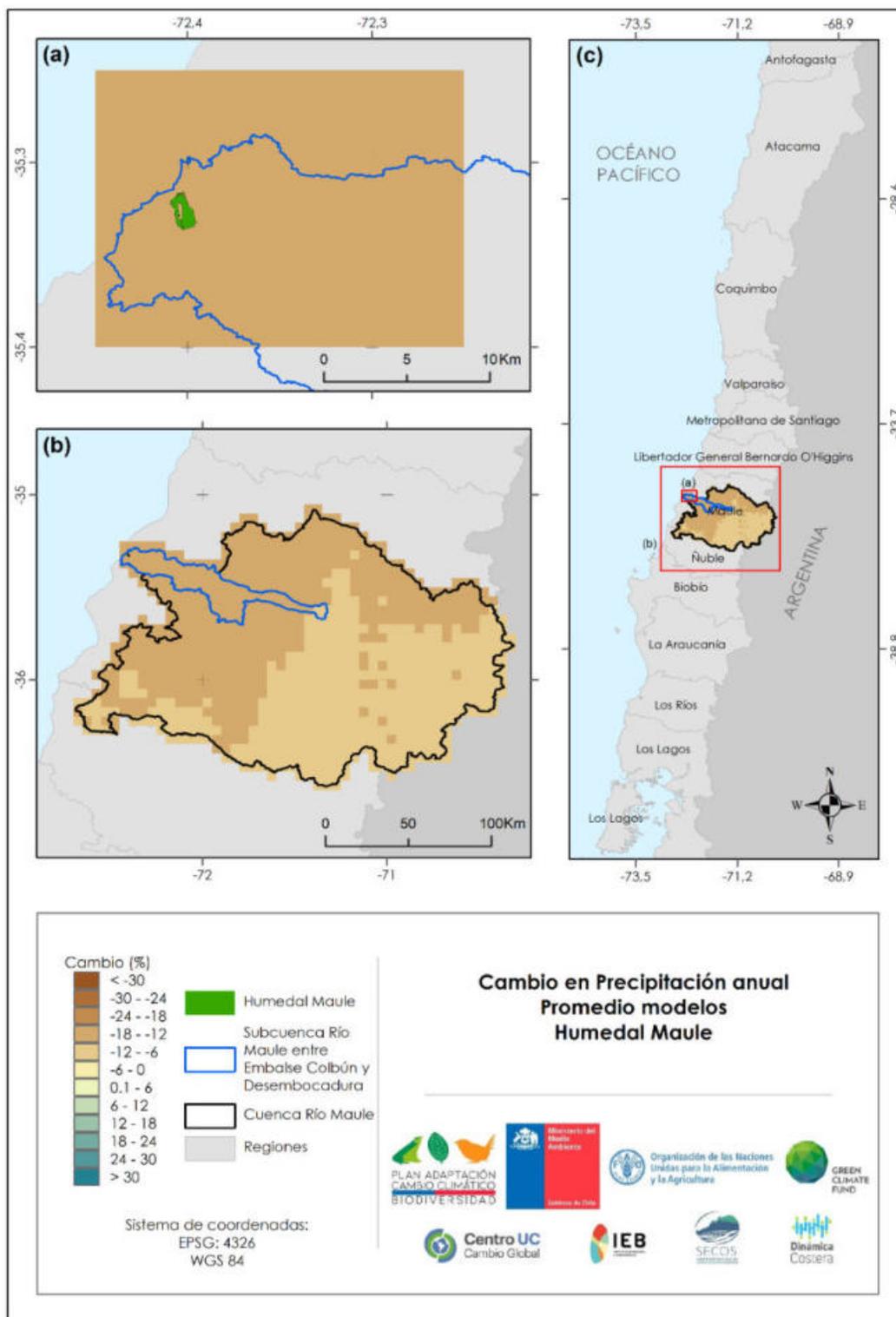


Figura A3- 100: Cambios en Precipitación media anual para humedal Maule para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

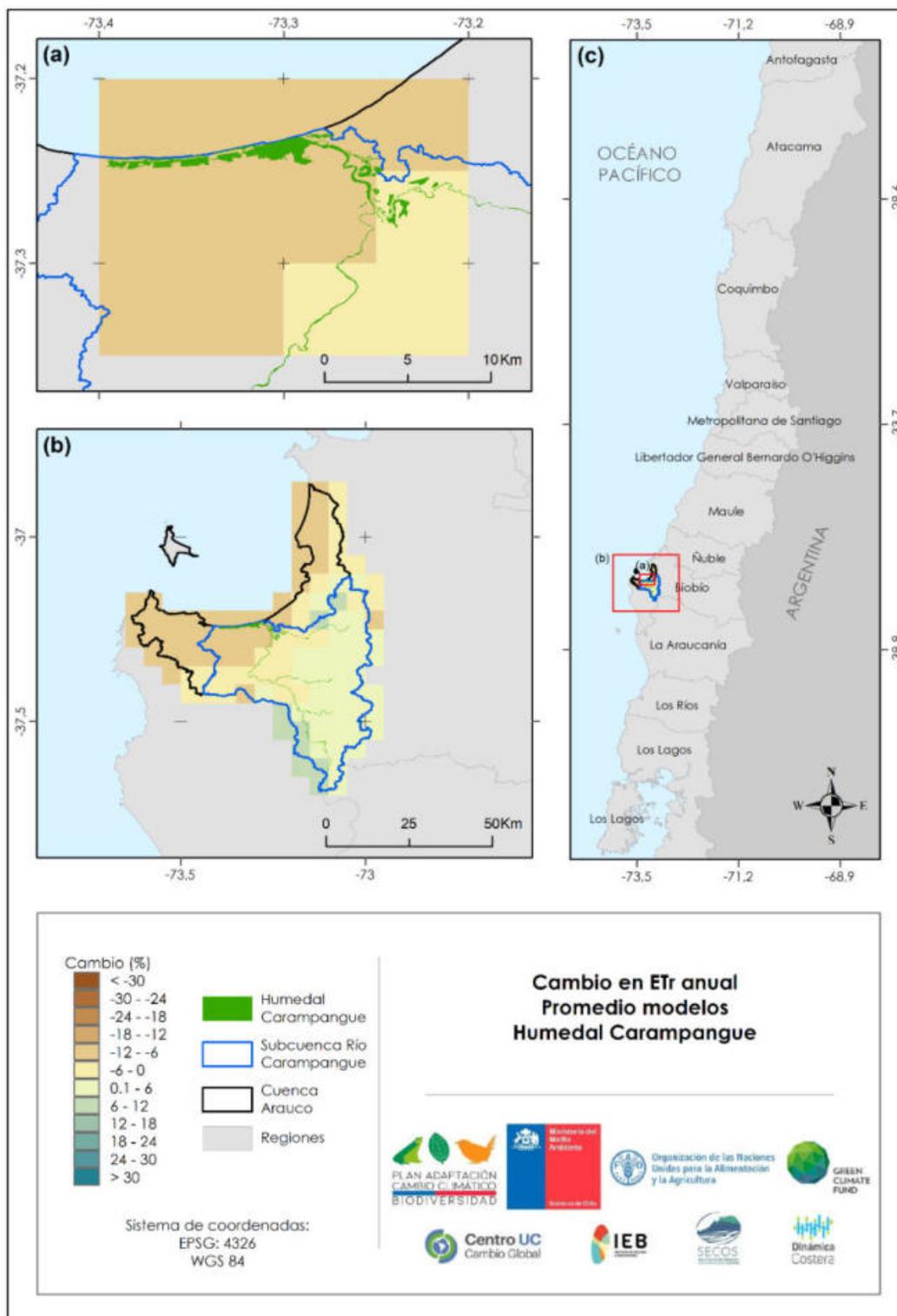


Figura A3- 102: Cambios en Evapotranspiración real (Etr) media anual para humedal Carampangue para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

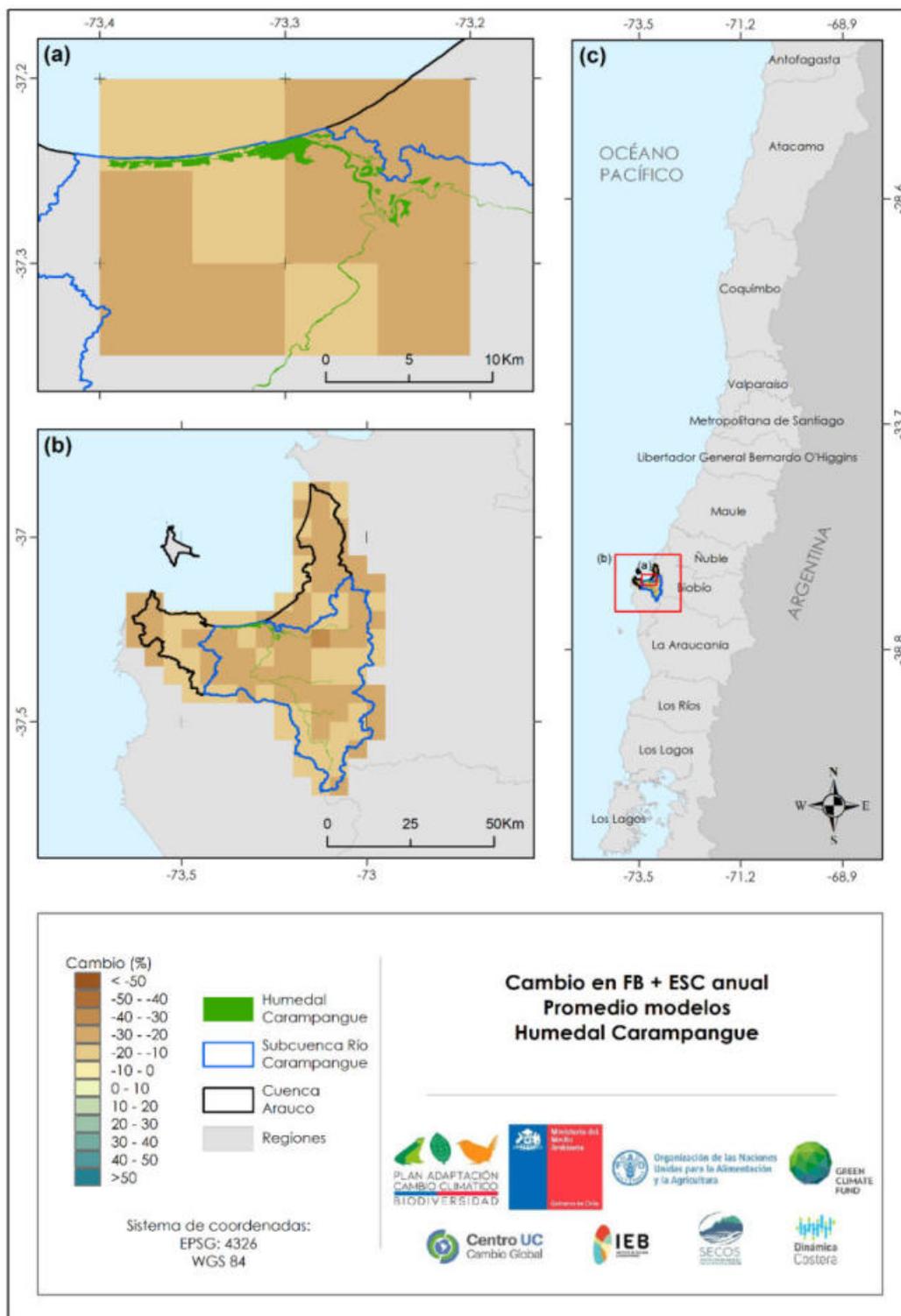


Figura A3- 103: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Carampangue para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

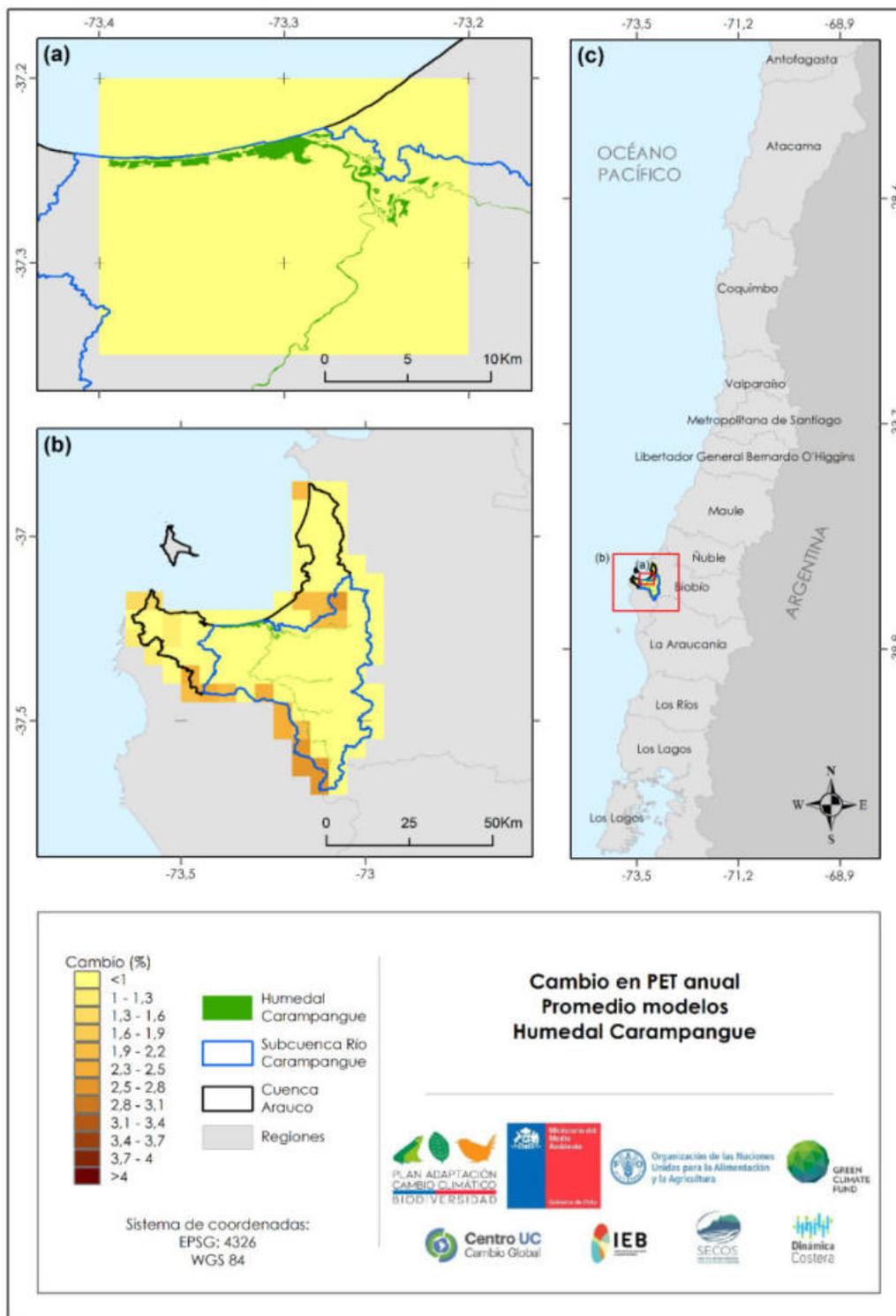


Figura A3- 104: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Carampangue para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

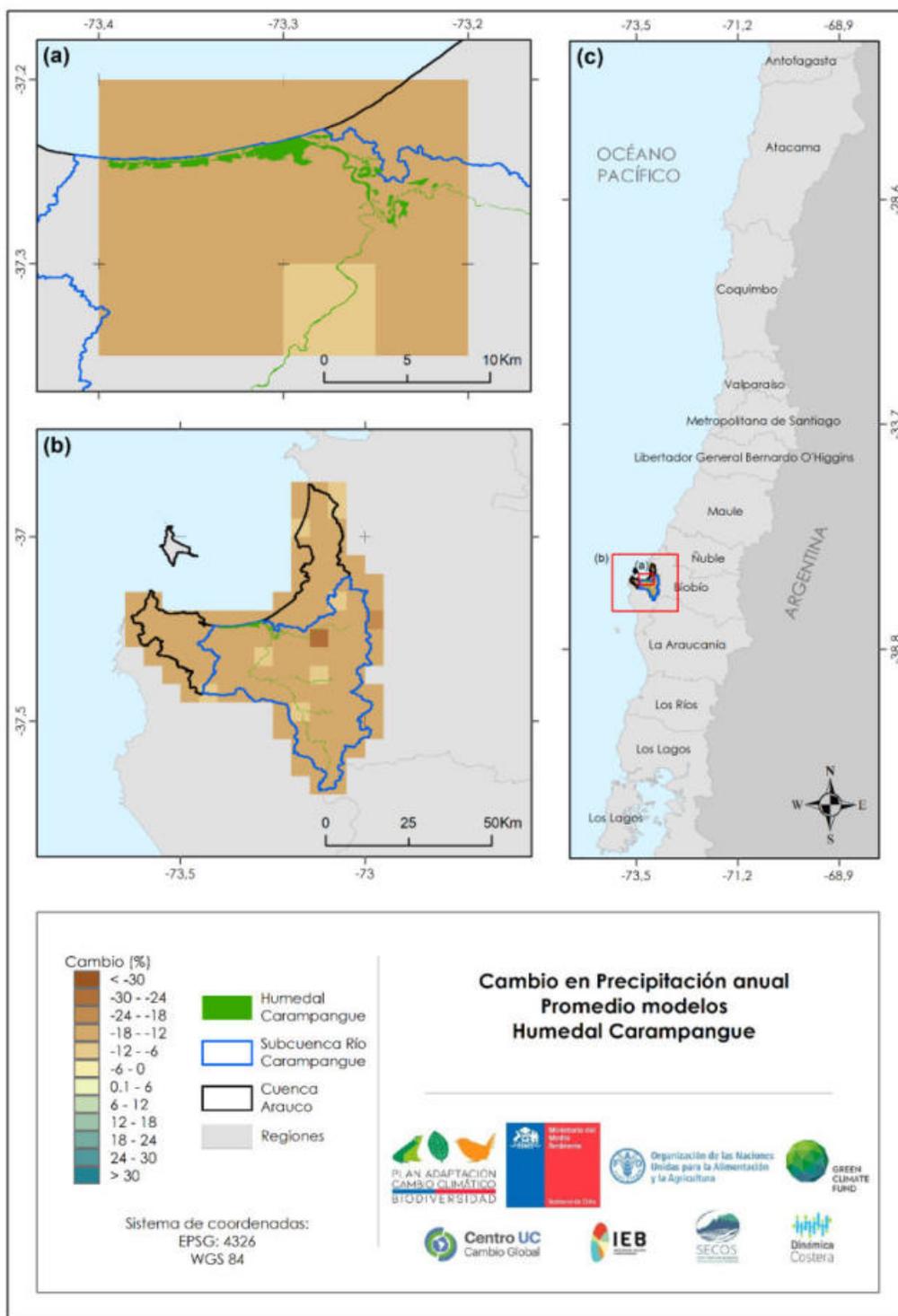


Figura A3- 105: Cambios en precipitación media anual para humedal Carampangue para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal desembocadura del río Tirúa ($38,3761^{\circ}\text{S}$, $73,4317^{\circ}\text{W}$) se encuentra localizado al sur de la región del Biobío El año 2010 fue severamente afectado por el terremoto y tsunami, y posteriormente su ribera fue amurallada.

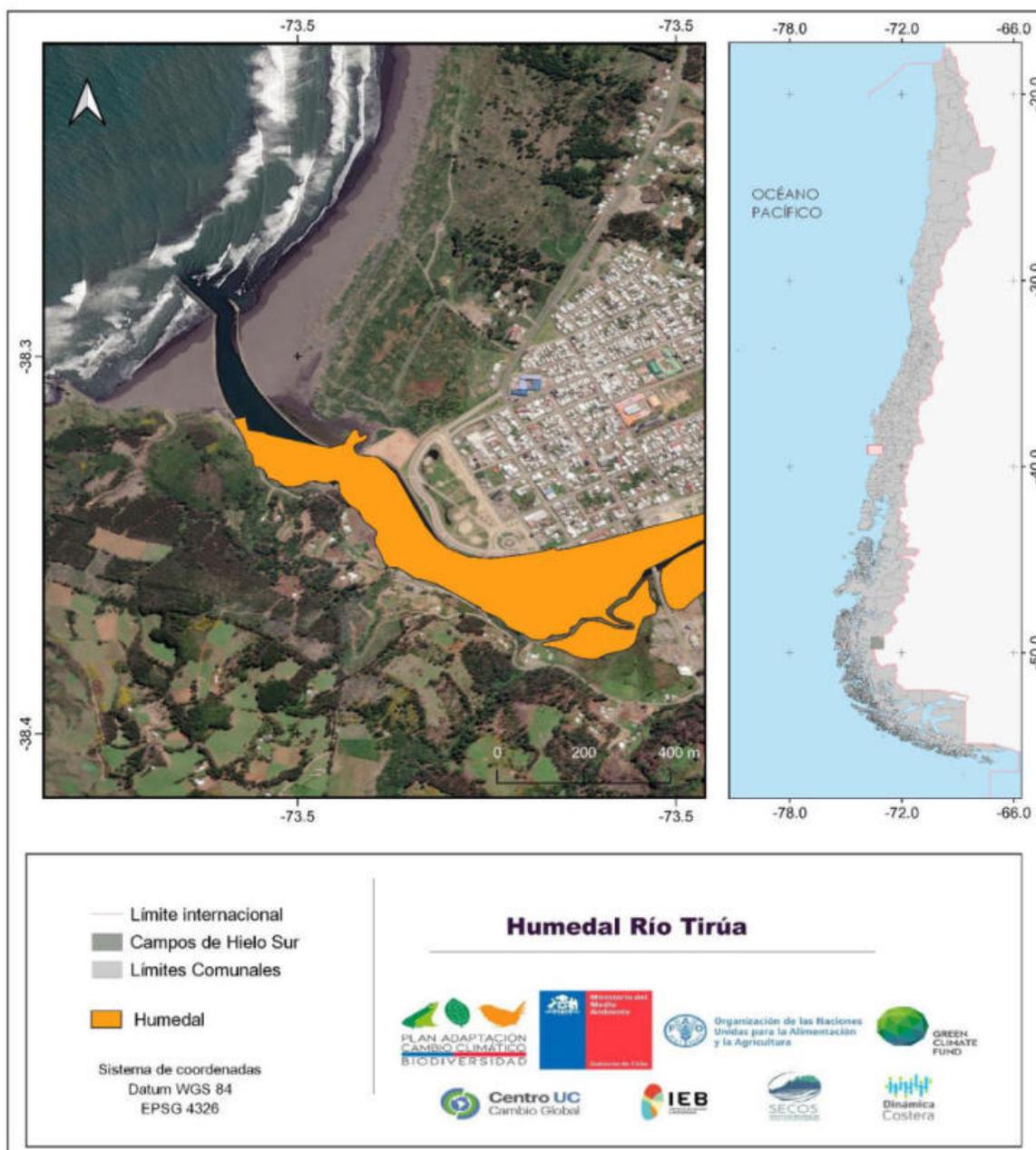


Figura A3- 106: Espejo de agua del humedal desembocadura Río Tirúa. Fuente: Elaboración propia.

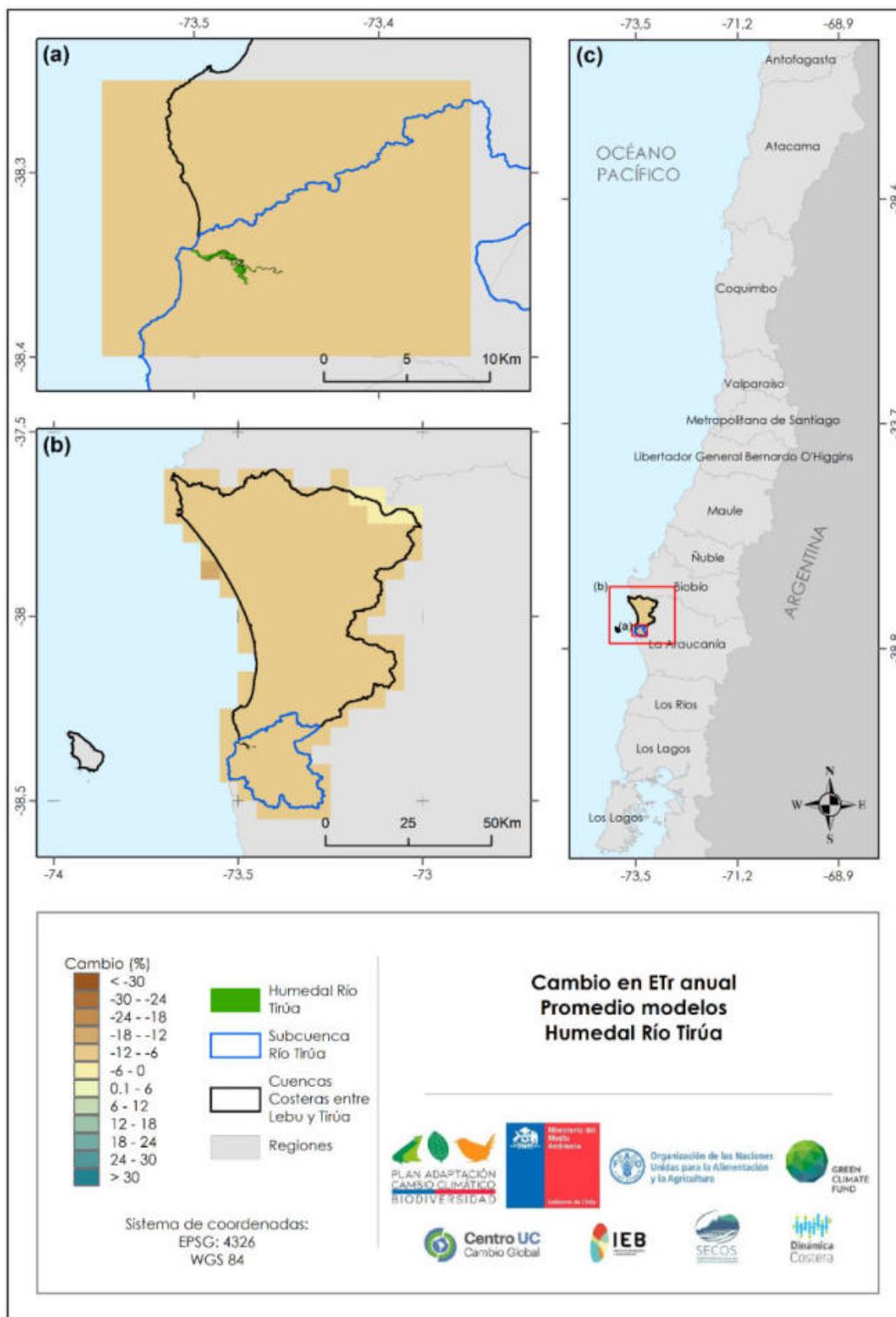


Figura A3- 107: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal Río Tirúa para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

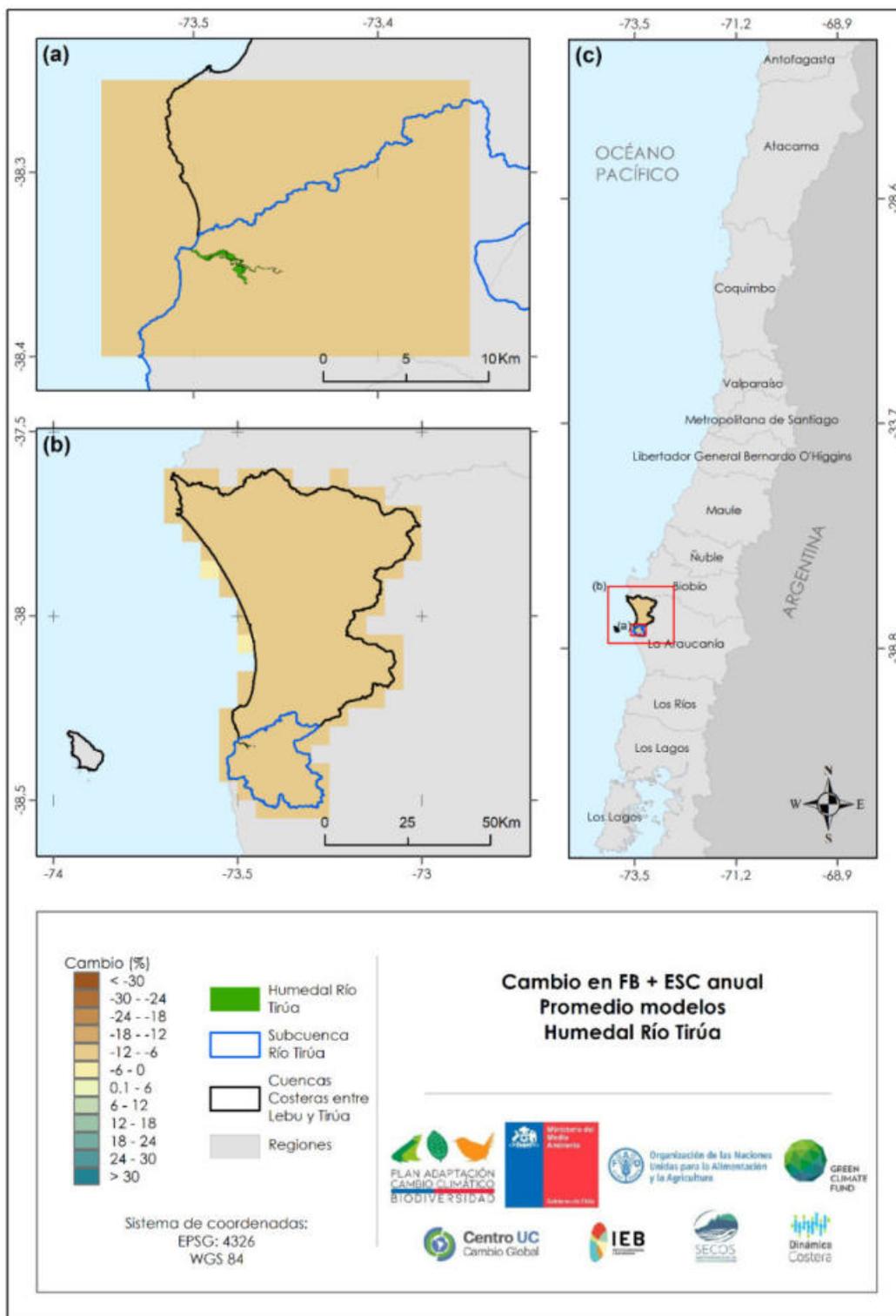


Figura A3- 108: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Río Tirúa para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

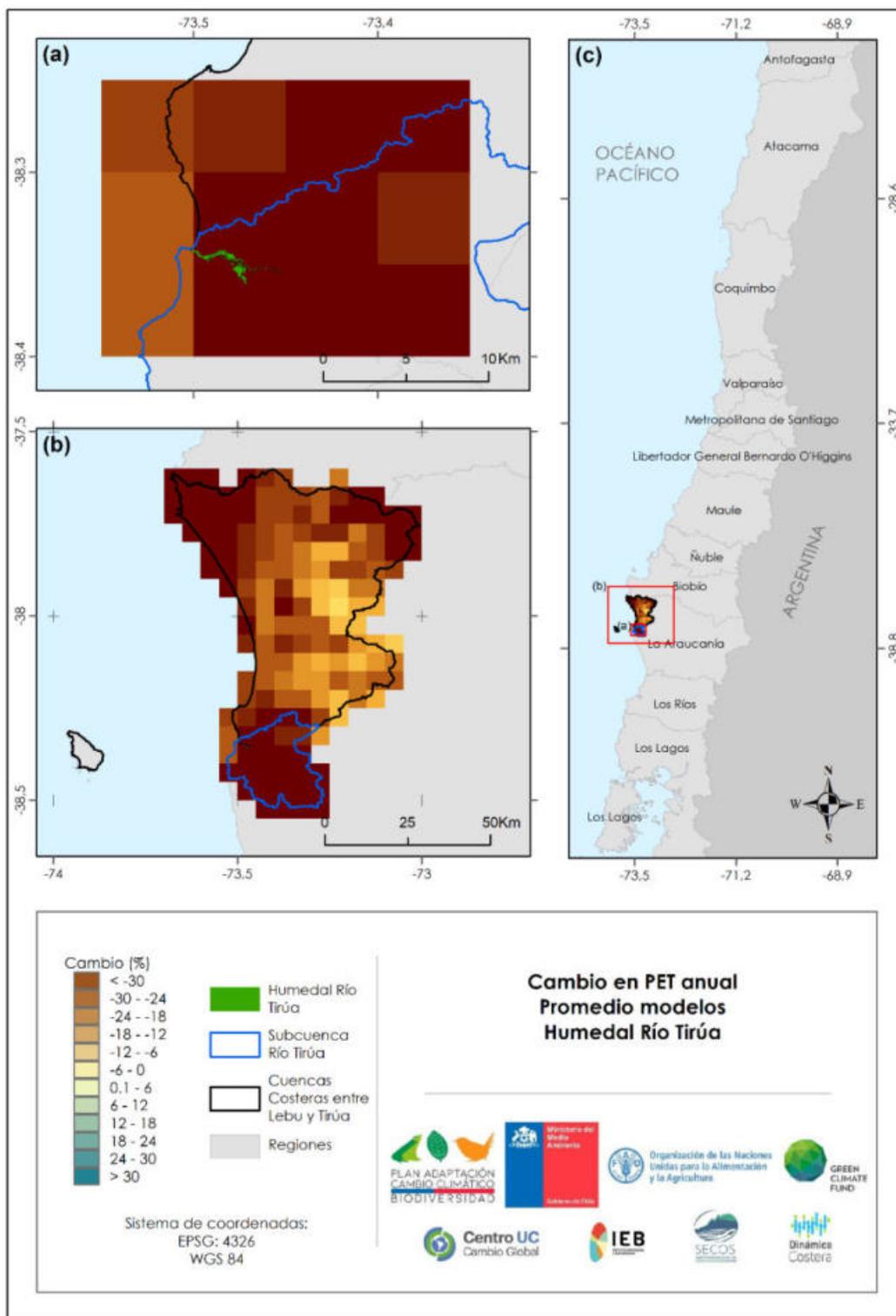


Figura A3- 109: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Río Tirúa para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

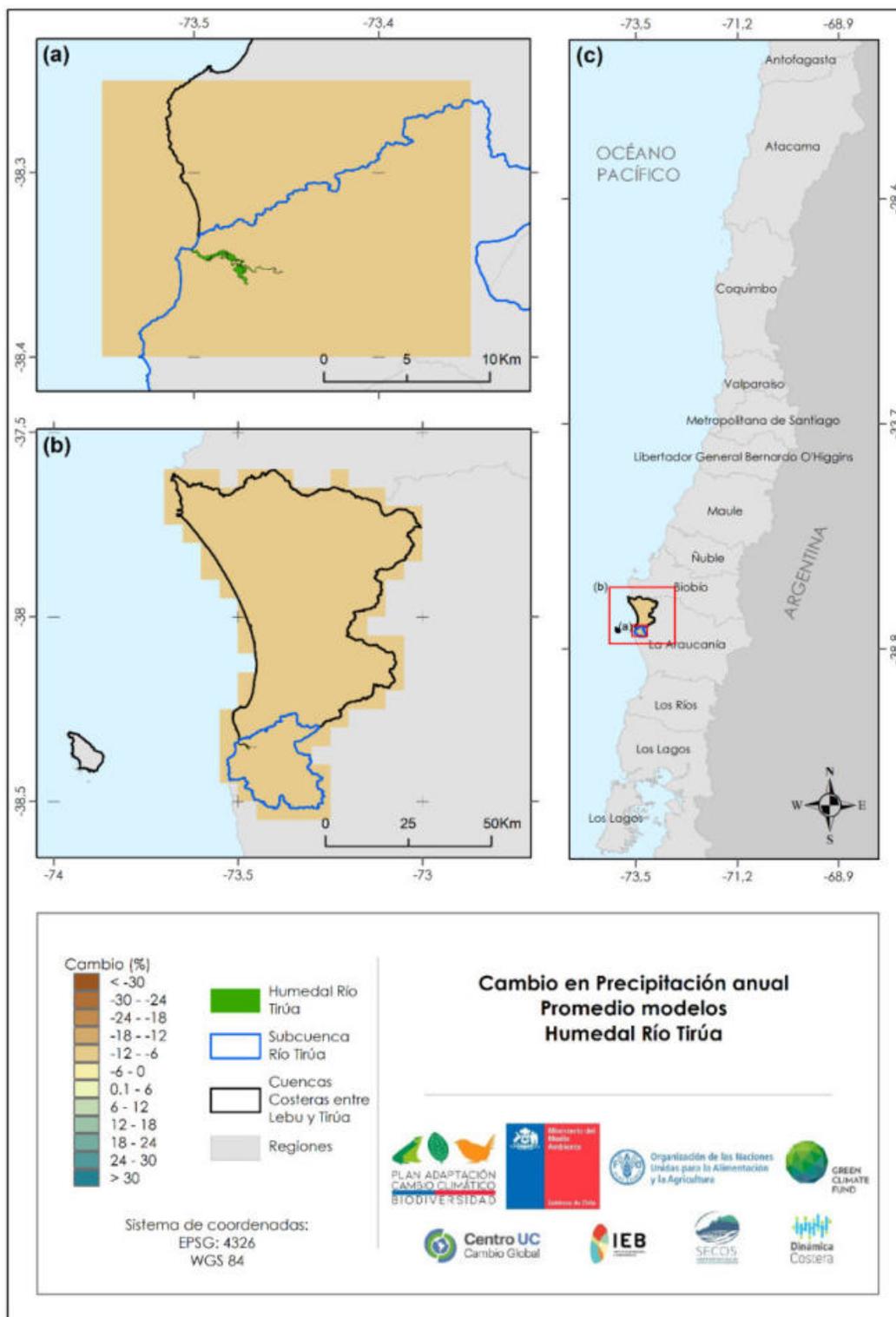


Figura A3- 110: Cambios en precipitación media anual para humedal Río Tirúa para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

El Humedal Chaihuín ($39,9673^{\circ}\text{S}$, $73,5463^{\circ}\text{W}$) se encuentra localizado en la comuna de Corral. El año 1960 fue severamente afectado por el terremoto y tsunami.

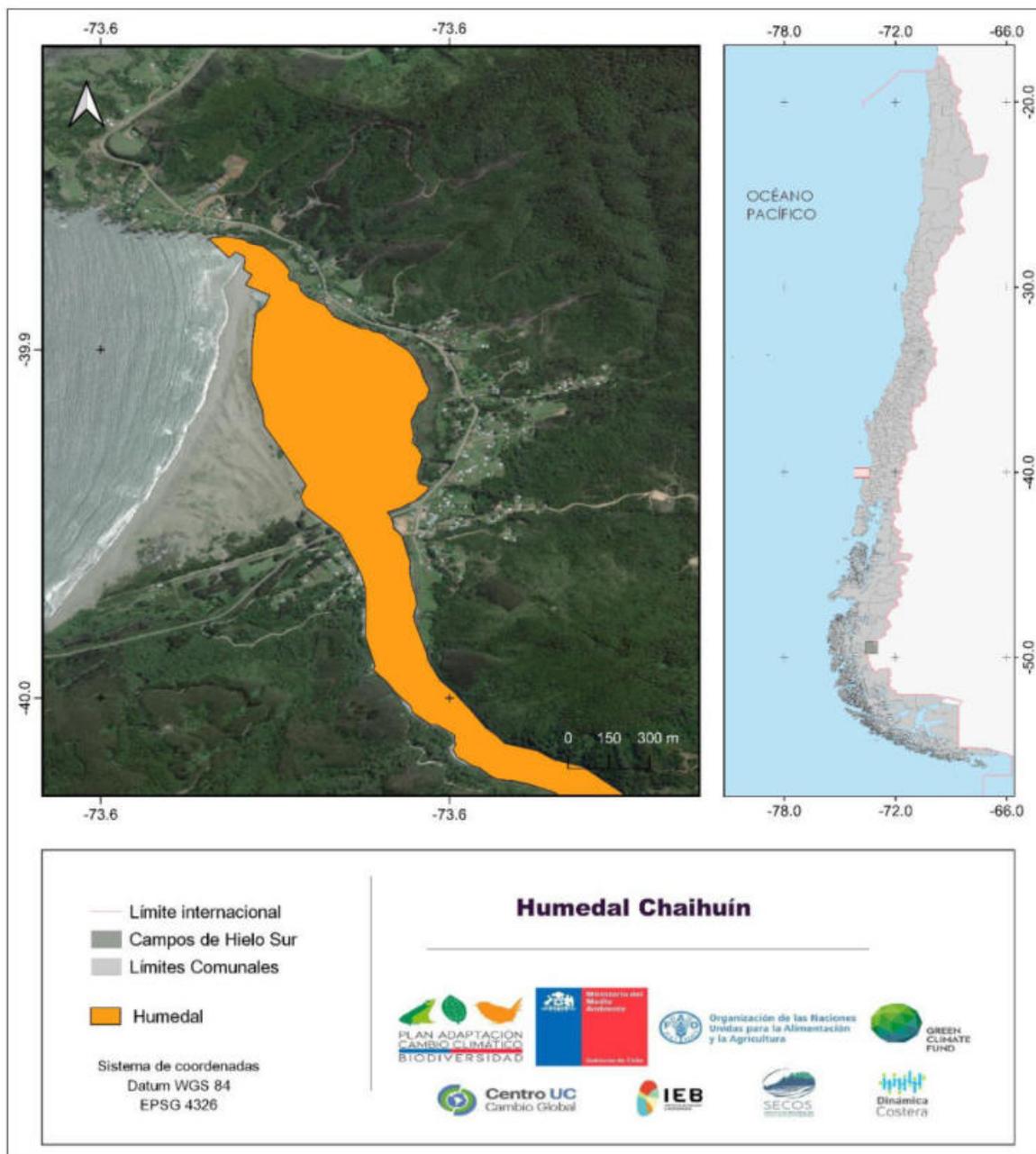


Figura A3- 111: Espejo de agua del humedal Chaihuín. Fuente: Elaboración propia.

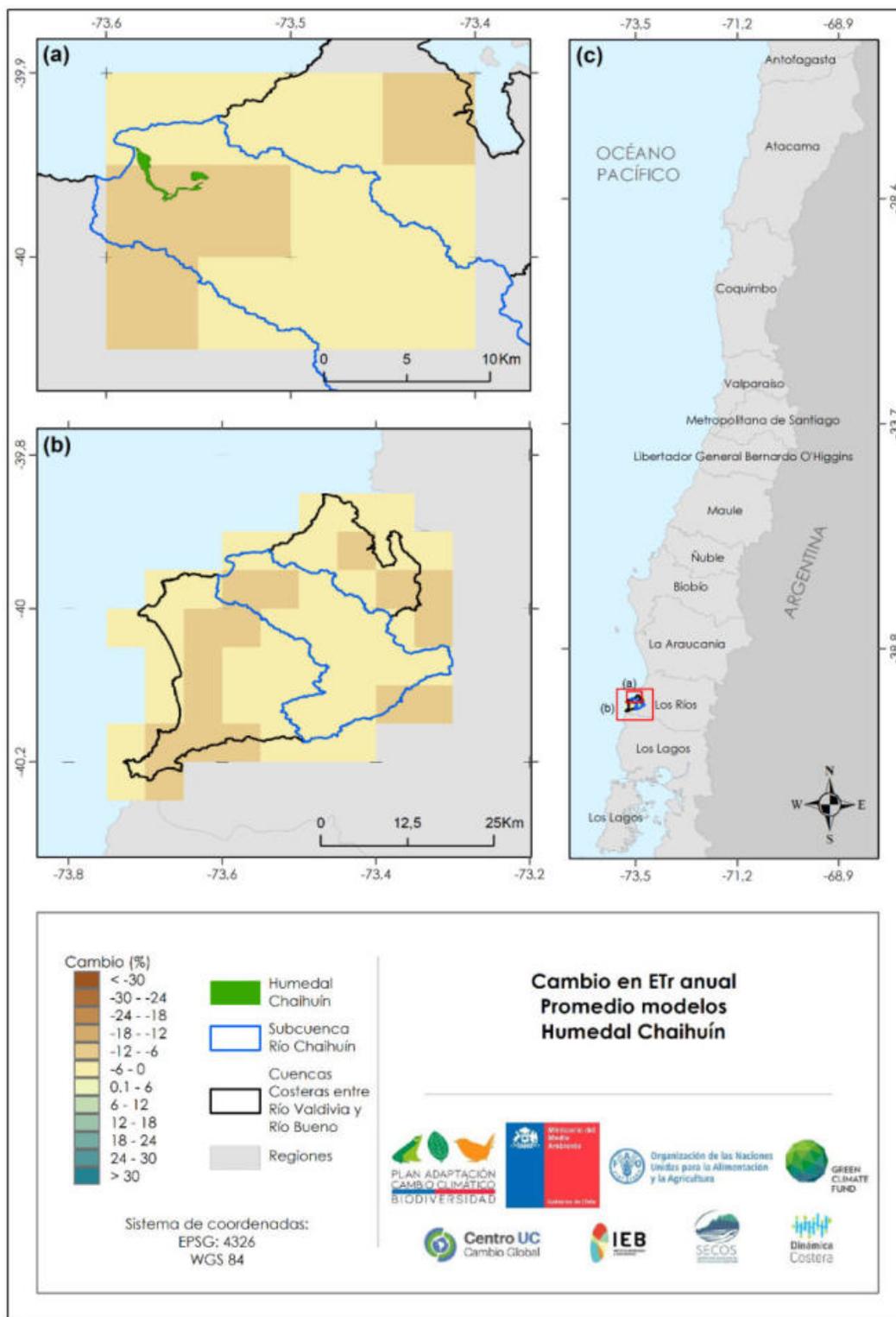


Figura A3- 112: Cambios en Evapotranspiración real (ETr) media anual para humedal Chaihuín para período 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

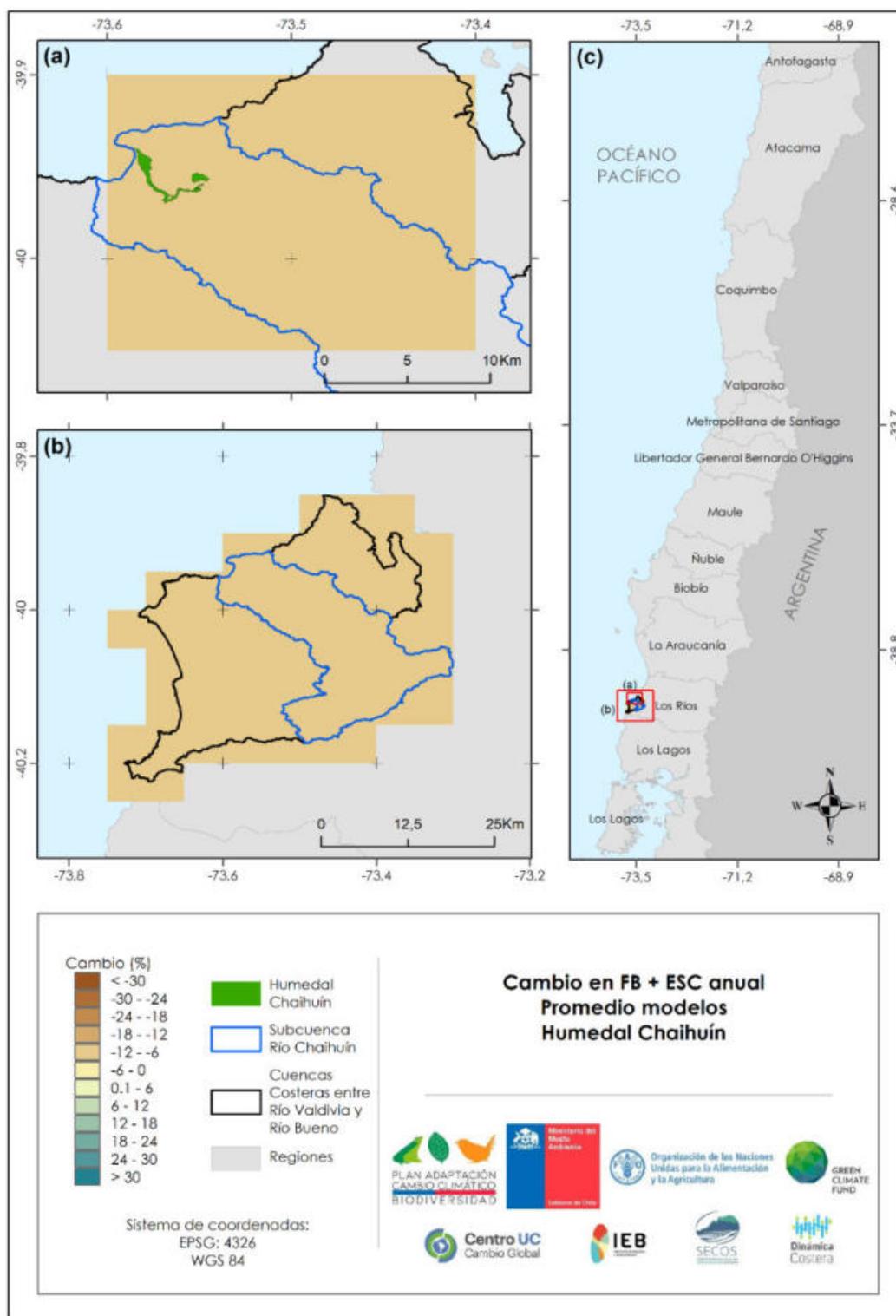


Figura A3- 113: Cambios en Flujo base + Escorrentía media anual para humedal Chaihuín para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

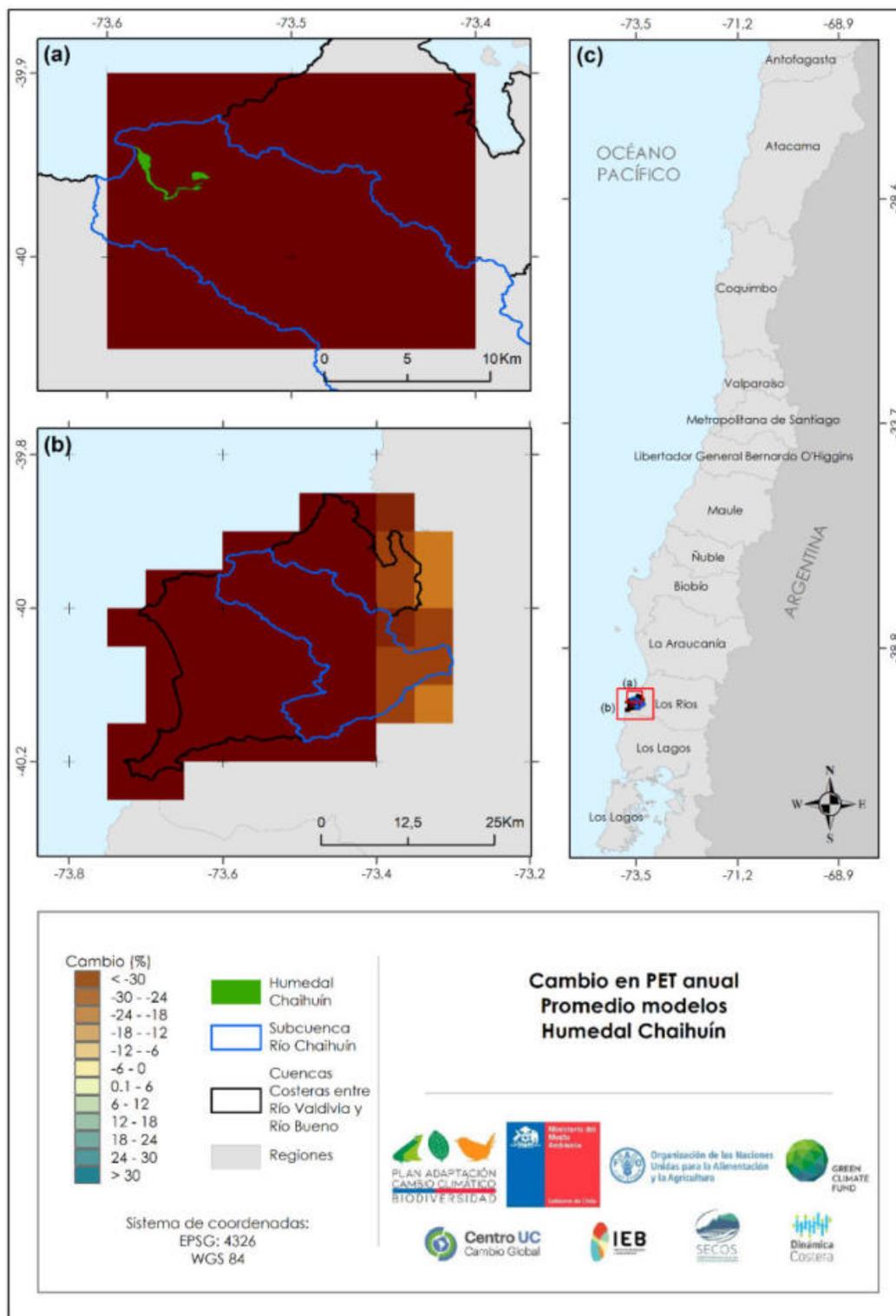


Figura A3- 114: Cambios en Evapotranspiración Potencial (PET) media anual para humedal Chaihuín para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.

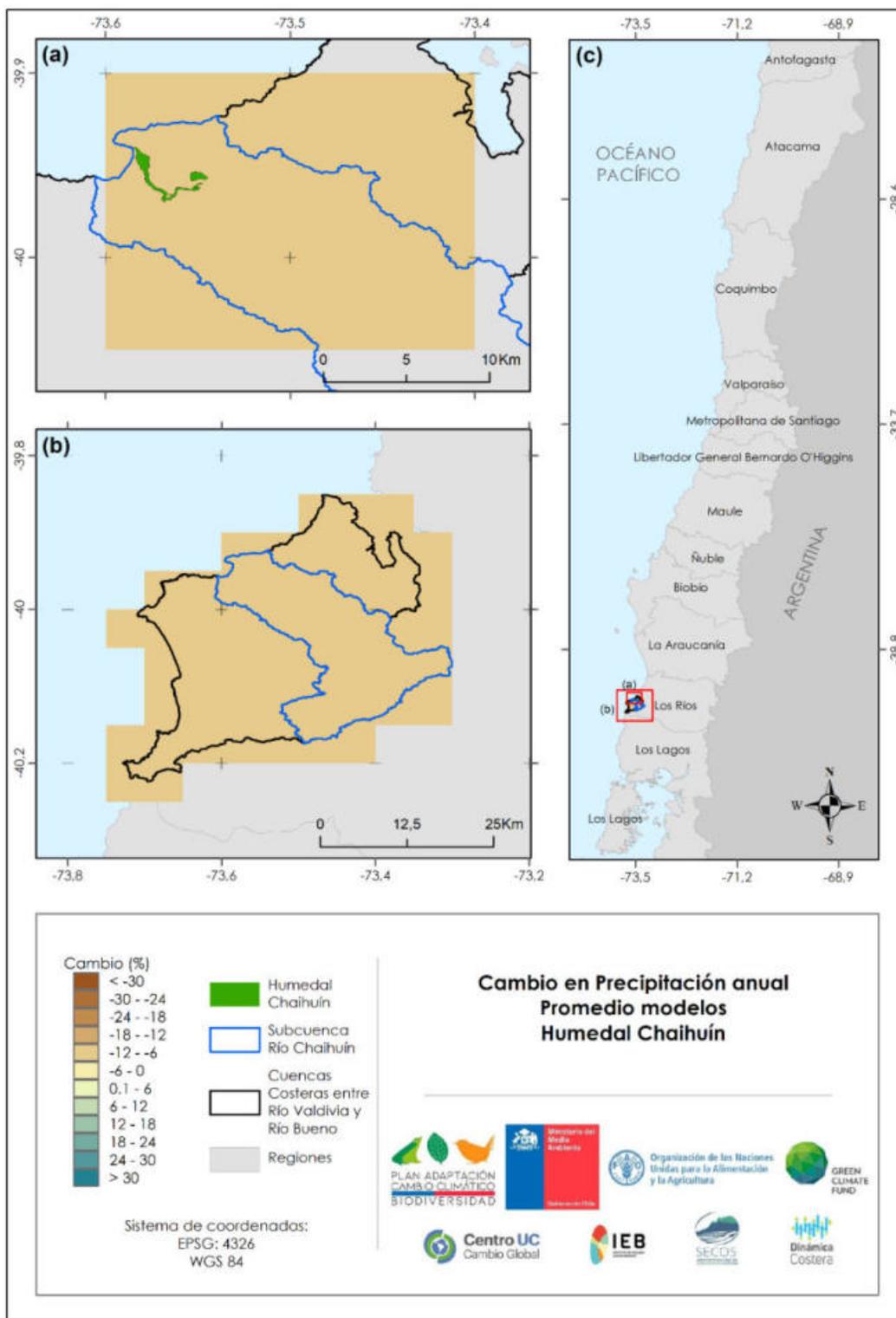


Figura A3- 115: Cambios en precipitación media anual para humedal Chaihuín para periodo 2030-2060 comparado con 1985-2015. Fuente: Elaboración propia.