

12

Vulnerabilidad de humedales y dunas litorales en Chile central

Manuel Contreras-López¹, Rodrigo Figueroa-Sterquel²,
Julio Salcedo-Castro¹, Hernán Vergara-Cortés³,
Carlos Zuleta^{4,5}, Víctor Bravo^{4,5}, César Piñones^{5,6}
y Fernanda Cortés-Molina¹

¹UNIVERSIDAD DE PLAYA ANCHA, VALPARAÍSO, CHILE

²PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO, CHILE

³UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO, CHILE

⁴UNIVERSIDAD DE LA SERENA, LA SERENA, CHILE

⁵CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES DEL NORTE DE CHILE, LA SERENA, CHILE

⁶OFICINA DE MEDIO AMBIENTE, MUNICIPALIDAD DE CANELA, CHILE

e-mail: manuel.contreras@upla.cl

RESUMEN

En el litoral de Chile central, entre los 33°55'S y 31°14'S, se cuentan cerca de 100 humedales costeros asociados a desembocaduras de esteros y ríos, salinas, lagunas, pantanos, tranques y charcas temporales de la época de lluvia. Esta zona del país se ha identificado como una de las que potencialmente tendrá más impactos debido al cambio climático contemporáneo. Algunos de estos efectos, reforzados por las presiones antrópicas, parecen estar ya manifestándose en los humedales costeros y las dunas que suelen acompañarlos. Debido a su fragilidad, estos ambientes pierden

Contreras-López, M., R. Figueroa-Sterquel, J. Salcedo-Castro, H. Vergara-Cortés, C. Zuleta, V. Bravo, C. Piñones, y F. Cortés-Molina, 2017. Vulnerabilidad de humedales y dunas litorales en Chile central. p. 227-246. En: Botello A.V., S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático. UJAT, UNAM, UAC. 476 p.

rápidamente los equilibrios ecológicos que los sustentan. A partir de una interpretación de imágenes satelitales, se realizó una estimación de la reducción de los espejos de agua de los humedales costeros de Chile central y posteriormente se discuten las amenazas y vulnerabilidades de tres sitios que tienen cierto grado de protección y se han identificado como importantes representantes de la biodiversidad endémica de Chile central.

Palabras clave: Ramsar, ENOS, El Yali, Mantagua, Huentelauquén.

ABSTRACT

Along the central Chilean shore, from 33°55'S to 31°14'S, there are close to 100 coastal wetlands associated to estuary and river mouths, salt marshes, lagoons, swamps, reservoirs and temporary pools formed during the rainy season. This part of the country has been identified as one of those most potentially affected by contemporary climate change. Several of these changes, reinforced by anthropic pressure, seem to already be happening in the coastal wetlands and typical dunes. Due to their fragile state, these environments quickly lose the unstable ecological that sustain them. The shrinkage of bodies of water in central Chilean coastal wetlands was estimated based on satellite imagery interpretation, for later discussion of the threats faced by and vulnerability of three sites under a certain degree of protection, sites that have been identified as important representatives of central Chilean endemic biodiversity.

Key words: Ramsar, ENOS, El Yali, Mantagua, Huentelauquén.

INTRODUCCIÓN

El litoral de Chile central es una de las zonas costeras más intervenidas y antropizadas del país. Al mismo tiempo, se prevé que es una de las áreas más vulnerables al cambio climático contemporáneo de Chile (MMA, 2016). Emplazada en el límite entre una región de clima estepárico costero o semiárido donde se encuentran ambientes de secano costero como el humedal y dunas de Huentelauquén, y un clima templado mediterráneo, donde se encuentran hume-

dales como El Yali. Como efecto temprano del cambio climático, este límite climático parece estar desplazándose hacia el sur, generando una transformación de todo el clima de esta zona: una disminución de las precipitaciones acumuladas en unos 200 milímetros en 100 años (figura 1) y un aumento de la temperatura ambiente de unos 0,5°C en 50 años de registro (figura 2), constatan este cambio.

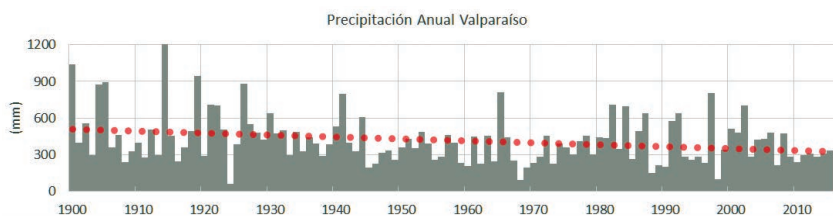


Figura 1. Registro de precipitaciones anuales acumuladas en el puerto de Valparaíso entre 1900 y 2010. Fuente: Armada de Chile.

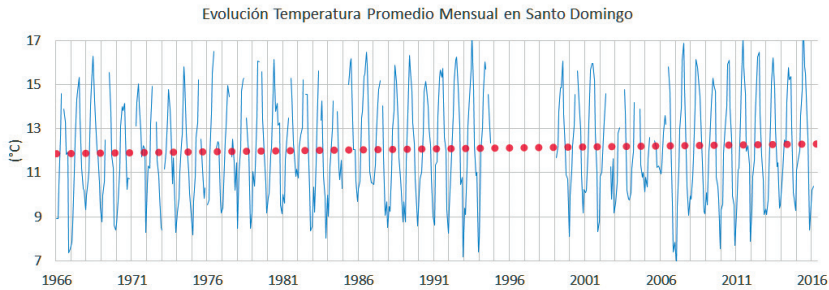


Figura 2. Promedios mensuales de la temperatura ambiente registrada en Santo Domingo entre 1966 y 2016. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

Debido a las condiciones geológicas, los procesos tectónicos y sísmicos, en el litoral de Chile central se encuentran condiciones favorables para la formación de humedales costeros y sistemas dunarios. Estos ambientes cumplen varias funciones ecológicas (Figueroa *et al.*, 2009) y son disipadores de energía, por lo que cumplen una función clave en la mitigación de eventos extremos de oleaje y anomalías del nivel del mar.

Los humedales costeros de Chile central y las dunas costeras que a veces los acompañan, son ambientes extremadamente dinámicos y frágiles, 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 sólo tiene referentes similares en algunos sectores de Sudáfrica, Australia (Cienfuegos *et al.*, 2012) y Nueva Zelanda (Nichol *et al.*, 2007).

El propósito de este capítulo es revisar cómo el cambio climático contemporáneo, acompañado de diversas presiones antrópicas, se encuentra amenazando estos ambientes frágiles en el litoral de Chile central. Para ello, a partir de una interpretación de imágenes satelitales, se realiza una estimación de la reducción de los espejos de agua de los humedales costeros distribuidos entre los 33°55' y 31°14' latitud sur. Posteriormente se discuten las amenazas y vulnerabilidades de tres sectores representativos: a) Sistema de humedales El Yali y duna El Convento en el sur del área de estudio, un lugar presionado por la disminución de las precipitaciones y el incremento de actividades agrícolas; b) Dunas de Ritoque y desembocadura del río Aconcagua y Mantagua en el centro, como un sitio con fuertes presiones antrópicas además de la disminución gradual de las precipitaciones; y c) Dunas y humedal de Huentelauquén en el límite norte, como un ejemplo de un sitio con presiones indirectas de la minería y que ya ha experimentado una notoria disminución de las precipitaciones y un aumento de la temperatura, constatando el avance de la desertificación.

CAMBIOS EN LOS ESPEJOS DE AGUA

Mediante interpretación de imágenes disponibles en GoogleEarth Pro, se identificaron 80 humedales costeros emplazados en el litoral de la región de Valparaíso, entre la latitud 33°55'S como extremo sur y los

32°11'S como extremo norte. Los cuerpos de agua se escogieron distantes a menos de 2 km de la costa (figura 3). Entre los cuerpos de agua identificados, ya sea naturales o artificiales, se cuenta: desembocaduras

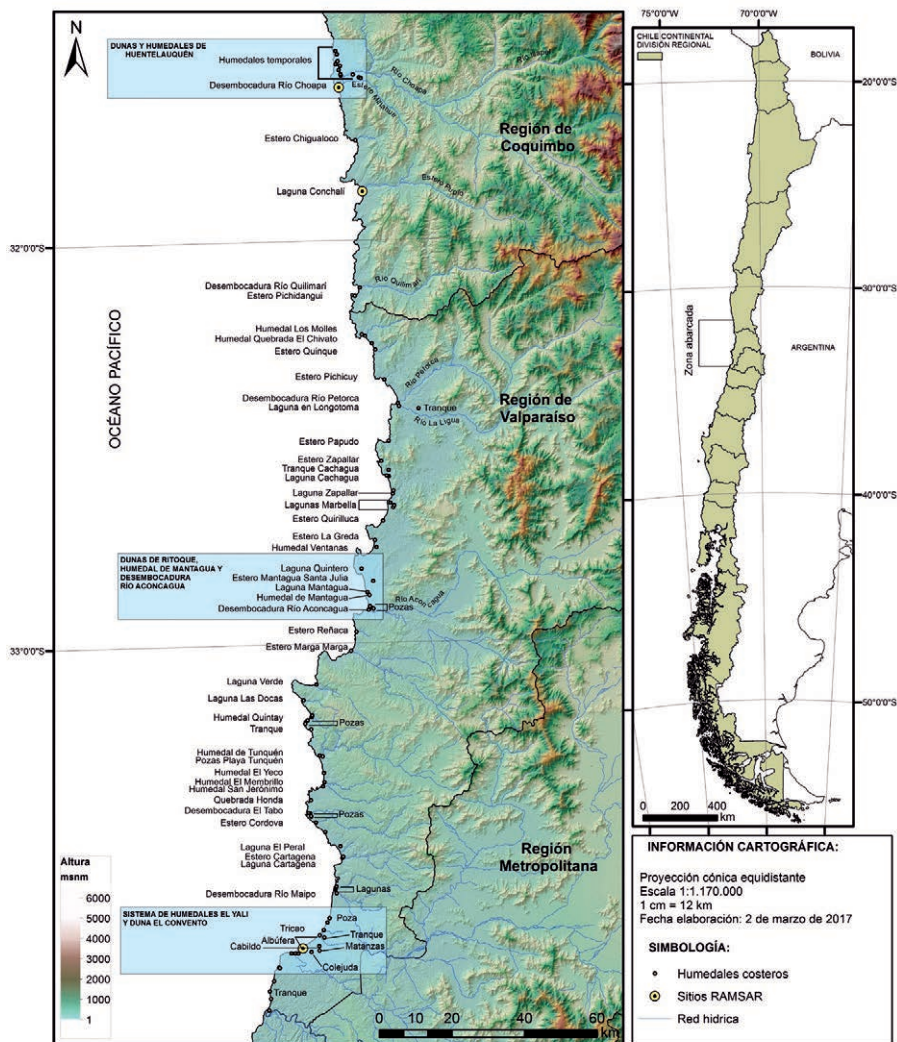


Figura 3. Localización de los humedales costeros emplazados en el litoral de la región de Valparaíso y el sur de la región de Coquimbo, Chile central. Se destacan en amarillo los sitios Ramsar y en recuadros azules los sitios que son analizados y discutidos en este trabajo.

de esteros y ríos, lagunas costeras, lagunas interiores, pantanos, tranques, pozas estacionales y piscinas. A ellos se agregaron 16 humedales emplazados en el sur de la región de Coquimbo (entre los 32°11'S y 31°53'S), varios de ellos correspondientes a charcas o humedales temporales.

De los 96 cuerpos de agua identificados, se pudieron encontrar imágenes de 57 humedales correspondientes al inicio de la estación lluviosa de los años 2007 y 2013.

Mediante interpretación de las imágenes se confeccionaron polígonos para determinar la extensión de los espejos de agua. En la tabla 1 se muestran los nombres de estos humedales, el tipo de cuerpo de agua, su condición rural o urbana, la existencia de alguna condición de protección, las extensiones en hectáreas (ha) de los cuerpos de agua para los años 2007 (mes de abril) y 2013 (mes de mayo) y el porcentaje de variación de los espejos de agua entre estos años.

Los resultados muestran una reducción general de los espejos de agua, que en promedio alcanza el 38.7%. Al desagregar por tipo de cuerpo de agua, se constata que sólo las desembocaduras de ríos y esteros han experimentado un aumento en su tamaño (52.9%), lo que puede ser explicado por la reducción de sus caudales que facilita la intrusión marina. En general, las pozas o charcas temporales han mostrado las mayores disminuciones (57.6% en promedio), seguido de los tranques artificiales (45.7%), las lagunas costeras y albuferas (31.4%), y por último, las lagunas interiores (12.8%). Los cuerpos de agua urbanos presentan una disminución menor (2.3%) frente a los rurales (8.6%). Por último, parece que las figuras de protección sobre los cuerpos de agua, también tiene efectos en la disminución: Los cuerpos de agua no protegidos han disminuido en promedio un 8.2%, mientras que los protegidos, apenas presentan una disminución del 0.7%.

SISTEMA DE HUMEDALES EL YALI Y DUNA EL CONVENTO (33°45's)

El Yali es un complejo sistema de humedales costeros emplazado al sur del río Maipo (figura 3). El sistema lo componen más de 14 cuerpos de agua, de los cuales tres se encuentran protegidos y conforman el sitio Ramsar N°878. Se caracteriza porque estos humedales presentan importantes diferencias de régimen y composición de sus columnas de agua, lo que aumenta la riqueza y probablemente explica la inusual biodiversidad presente en el sitio (Vilina, 1994; Brito, 1999 y 2009).

El humedal El Yali sustenta la representación del 28% de la avifauna de Chile

(unas 139 especies), cuya eco región mediterránea posee el 3% de endemismo en avifauna acuática (Victoriano *et al.*, 2006). A este lugar llegan 29 especies de aves entre migratorias y visitantes, 18 de las cuales provienen del hemisferio norte y 11 del hemisferio sur (Vilina, 1994; Fariña *et al.*, 2012; Vilina *et al.*, 2014).

Contreras-López *et al.* (2014), realizan una descripción de la configuración actual de la cuenca de El Yali, tomando en cuenta los grandes movimientos tectónicos que se produjeron en el período Terciario medio, y que provocaron fuertes dislocaciones por

Tabla 1. Nombre, clasificación, condición de protección y comparación de espejos de agua entre los años 2007 y 2013 de 57 humedales costeros en el área de estudio.

N	Nombre	Tipo	Condición	Protección	Área 2007	Área 2013	% Cambio
1	Albufera	Albufera	Rural	Si	40.3	14.8	-63.3
2	Colejuda	Laguna Interior	Rural	Si	25.6	8.13	-68.2
3	Matanzas	Laguna Interior	Rural	Si	188	127	-32.4
4	Cabildo	Laguna Interior	Rural	Si	43.3	35.7	-17.6
5	Tranque NN	Tranque Artificial	Rural	No	5.68	1.51	-73.4
6	Tricao	Desembocadura	Rural	Si	0.29	0.67	131.0
7	Desembocadura Río Maipo	Desembocadura	Urbano	Si	19.2	2.78	-85.5
8	Laguna pequeña de Llolleo	Laguna Interior	Urbano	No	1.35	0.99	-26.7
9	Laguna sur Llolleo	Laguna Interior	Urbano	No	5.46	4.71	-13.7
10	Laguna norte Llolleo	Laguna Interior	Urbano	No	7.2	6	-16.7
11	Laguna Cartagena	Albufera	Urbano	Si	6.52	6.32	-3.1
12	Estero Cartagena	Estero	Urbano	Si	0.77	3	289.6
13	Laguna El Peral	Laguna Interior	Urbano	Si	5.98	12.2	104.0
14	Desembocadura El Tabo	Desembocadura	Rural	No	0.36	1.12	211.1
15	Estero Cordova	Estero	Rural	No	0.51	0.96	88.2
16	Poza NN	Poza	Rural	No	0.14	0	-100.0
17	Quebrada Honda	Desembocadura	Urbano	No	0.3	0.33	10.0
18	Humedal San Jerónimo	Laguna Interior	Urbano	No	1.1	1.29	17.3
19	Humedal El Membrillo	Laguna costera	Urbano	No	1.2	0.92	-23.3
20	Humedal el Yeco	Laguna costera	Rural	No	0.21	0	-100.0
21	Pozas Playa Tunquén	Laguna costera	Rural	No	0.83	0.35	-57.8
22	Humedal del Tunquén	Laguna costera	Rural	Si	1.64	1.87	14.0
23	Tranque NN	Tranque Artificial	Rural	No	0.1	0	-100.0
24	Humedal Quintay	Laguna costera	Rural	Si	0.79	0.68	-13.9
25	Laguna Quintay	Laguna Interior	Rural	Si	0.39	0.41	5.1
26	Tranque NN	Tranque Artificial	Rural	No	0.12	0.14	16.7
27	Laguna Las Docas	Laguna costera	Rural	No	0.39	0.33	-15.4
28	Laguna Verde	Laguna costera	Urbano	Si	0.47	0	-100.0
29	Estero Marga Marga	Estero	Urbano	No	0.38	0.29	-23.7
30	Estero Reñaca	Estero	Urbano	No	0.64	0.4	-37.5
31	Desembocadura Río Aconcagua	Desembocadura	Urbano	Si	5.9	1.85	-68.6
32	Tranque NN	Tranque Artificial	Rural	No	0.41	0.46	12.2
33	Poza NN	Poza	Rural	No	0.11	0.14	27.3
34	Poza NN	Poza	Rural	No	0.2	0	-100.0
35	Humedal de Mantagua	Laguna Interior	Rural	No	2.3	2	-13.0
36	Laguna Mantagua	Laguna costera	Rural	No	5.81	7.36	26.7
37	Estero Mantagua en Santa Julia	Laguna Interior	Rural	No	2.1	2.48	18.1

Tabla 1(continuación). Nombre, clasificación, condición de protección y comparación de espejos de agua entre los años 2007 y 2013 de 57 humedales costeros en el área de estudio.

Nombre, clasificación, condición de protección y comparación de espejos de agua entre los años 2007 y 2013 de 57 humedales costeros en el área de estudio.							
N	Nombre	Tipo	Condición	Protección	Área 2007	Área 2013	% Cambio
38	Laguna Quintero	Laguna Interior	Rural	No	26.2	0	-100.0
39	Humedal Ventanas	Laguna Interior	Urbano	Si	5.4	3.77	-30.2
40	Estero La Greda	Estero	Urbano	No	1.11	1.21	9.0
41	Estero Quirilluca	Estero	Rural	No	0.51	0.36	-29.4
42	Lagunas Marbella (1)	Laguna Interior	Urbano	No	1.17	0.85	-27.4
43	Laguna Zapallar	Laguna Interior	Urbano	No	1.37	2.29	67.2
44	Laguna Costa Cachagua	Tranque Artificial	Urbano	No	0.55	0.51	-7.3
45	Laguna Cachagua (1)	Laguna Interior	Urbano	No	0.38	0.43	13.2
46	Poza Cachagua	Laguna Interior	Urbano	No	0.13	0.1	-23.1
47	Laguna Cachagua (2)	Laguna costera	Urbano	No	0.6	0.55	-8.3
48	Tranque Cachagua	Tranque Artificial	Urbano	No	6.77	2.15	-68.2
49	Estero Papudo	Estero	Rural	No	0.75	0.62	-17.3
50	Laguna en Longotoma	Laguna Interior	Rural	No	2.1	0.29	-86.2
51	Humedal Las Salinas de Pullally	Desembocadura	Rural	No	7.4	7.43	0.4
52	Río Petorca	Laguna costera	Rural	No	8.11	8.74	7.8
53	Tranque NN	Tranque Artificial	Rural	No	14.9	0	-100.0
54	Humedal Pichicuy	Laguna costera	Rural	Si	4.28	1.23	-71.3
55	Humedal Quebrada El Chivato	Desembocadura	Rural	No	0.73	2.81	284.9
56	Humedal Los Molles	Desembocadura	Rural	No	0.61	0.8	31.1
57	Las Salinas de Huentelauquén	Desembocadura	Rural	Si	24.3	26.2	7.3
Total					459.1	281.33	-38.7

fallas en las costas de Chile central, junto con el alzamiento de la cordillera de los Andes a su altura actual, el hundimiento del valle longitudinal y la formación de la cordillera de la costa. Los esteros que nacían en la cordillera de la costa escurrían hacia el mar con fuertes pendientes, depositando en su curso diversos sedimentos fluviales gruesos y arrastrando el material fino hacia el mar. Nuevos movimientos tectónicos violentos solevantaron el lecho marino adyacente y formaron los sucesivos sistemas de terrazas marinas que se distinguen a lo largo de la costa del sector. En particular, en la zona de El Yali se pueden

distinguir cinco movimientos principales: dos solevantamientos, un hundimiento y un solevantamiento posterior, seguido por un último solevantamiento asociado al terremoto de 1985.

Las transgresiones marinas ocurridas tras la última glaciación (14 000 años atrás) y durante el Holoceno medio (6 000 años atrás) permitieron la acumulación de sedimentos marino litorales y/o fluvio-marinos a través de la cuenca (Fariña *et al.*, 2012). La actividad tectónica se manifiesta en los movimientos cosísmicos verticales que caracteriza los últimos 3 000 años (Holoceno inferior) produce el alzamiento regional de

la costa que ocasionó la emersión de una terraza litoral sobre la cual se emplaza el humedal.

De acuerdo a Paskoff *et al.* (2000), los cordones dunares que se encuentran en la zona costera de este humedal sobre la extensa playa que se extiende desde Punta Toro por el sur hasta la desembocadura del río Maipo por el norte (ver figura 1) revelan las diferentes etapas en la progradación de la línea costera durante el Holoceno: durante la culminación de la transgresión postglacial, hace 5 000 o 6 000 años, el mar ocupaba todo lo que es hoy la terraza litoral baja y llegaba a unos 5 a 7 metros sobre su nivel actual, hasta el pie mismo del acantilado, hoy día parcialmente sepultado bajo las dunas parabólicas transgresivas. La regresión del mar, que intervino después y tuvo como consecuencia la emersión de la terraza baja, se explica primero por un solevantamiento del continente en relación con la zona de subducción que coincide con la costa. De esta forma, hoy día se aprecia un extenso sistema de cordones dunares de unas 1780 ha, conformado por dunas libres transversales constituido por barjanes coalescentes, dunas parabólicas retenidas por la vegetación, las que se intercalan con los humedales de El Yali (Castro-Avaria, 2015). Esta duna fue intervenida a comienzos del siglo xx, al intentar estabilizarla con plantaciones de pinos y eucaliptus (Albert, 1900), que están presentes hasta el día de hoy.

Con el objetivo de evaluar los cambios recientes del uso de suelo en este sistema de humedales, se elaboró cartografía para los años 2013, 2014 y 2015. Se utilizaron los programas Google Earth Pro®, QGis® y ArcView®. Se clasificó la cobertura del suelo en las siguientes categorías: a) cuerpos de agua (área de inundación, cuerpos

de agua), b) áreas urbanas e industriales (urbano, agrícola, salinas), c) terrenos agrícolas (cultivo, barbecho), d) plantaciones (Eucaliptus, eucaliptus dispersos, pinos, pinos dispersos), e) praderas y matorrales (praderas, matorrales), f) bosques (bosque nativo), g) vegetación de humedal (vegas, vegetación de riberas), y h) áreas desprovistas de vegetación (dunas móviles, dunas parcialmente estabilizadas). Para minimizar errores topológicos (como superposición de polígonos o existencia de espacios en blanco), se jerarquizó la vectorización de usos de suelo de mayor importancia. Se fusionaron los usos de suelo del mismo tipo en una sola unidad. Se trabajó con una resolución de 0,1 ha (figura 4).

Los cambios en las superficies de uso del suelo (tabla 2) asociadas a cultivos, vegetación de ribera, dunas parcialmente estabilizadas y praderas, así como el uso área de inundación son las de mayor variación positiva en el período. Las superficies de uso con mayor variación negativa son los usos de barbecho, cuerpos de agua, pinos y vega. En tanto que la proporción de superficie de eucaliptus dispersos, bosque nativo, avícolas y salinas varían en muy pequeña proporción. Las dunas experimentan una disminución menor.

El cruce entre los usos de suelo detectados con mayor variación (tabla 3) según su carácter cultural (cultivos, urbano) y natural (dunas, cuerpos de agua) y el signo de su variación (aumento, reducción), permitió identificar los humedales que más han cambiado, así como sus relaciones. En los usos culturales, el aumento de cultivos y la reducción de área de barbecho se relacionan directamente. Las áreas de barbecho se transforman mayoritariamente en áreas de cultivo y algunas otras áreas en cultivo se transforman en barbecho. En los usos

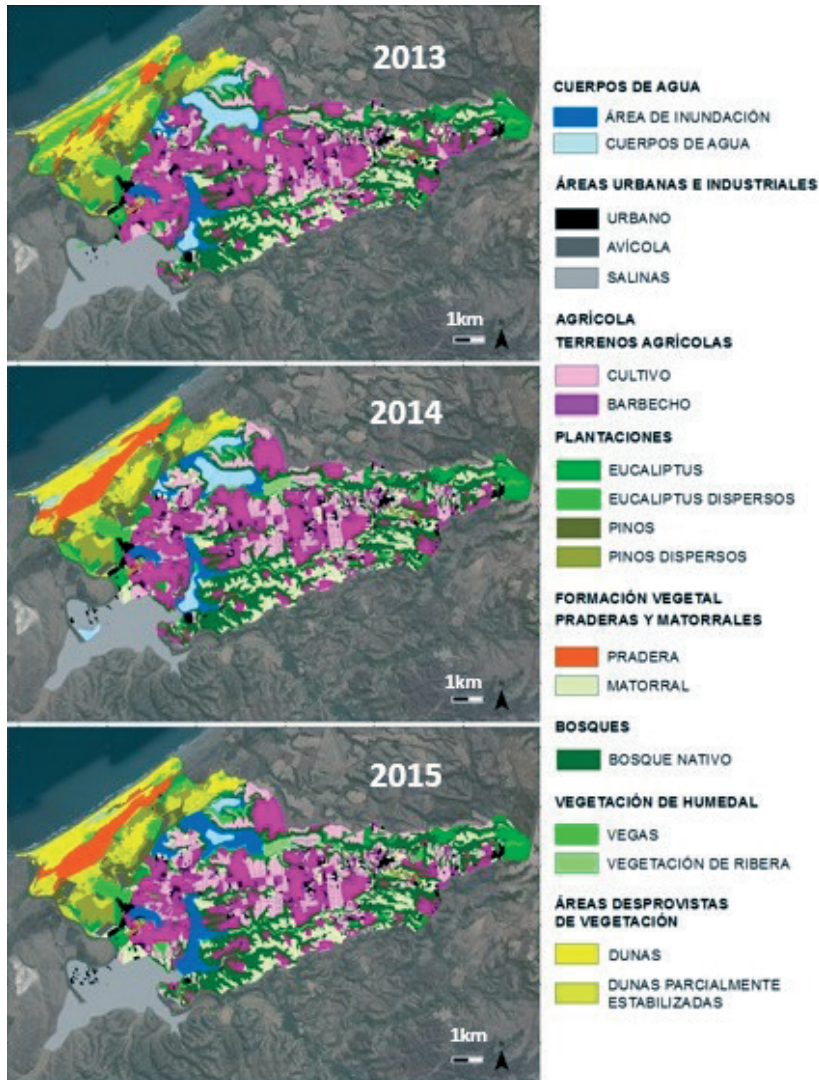


Figura 4. Coberturas uso de suelo en torno a la reserva nacional El Yali para los años 2013, 2014 y 2015.

naturales, el aumento de la vegetación de ribera se relaciona con la reducción de los cuerpos de agua, al colonizar la vegetación el área húmeda que queda luego de la reducción del espejo de agua.

El vínculo entre los usos culturales y los naturales, se evidencia entre el aumento de

la superficie de cultivos y áreas urbanas y la reducción de cuerpos de agua y vegas, una relación directa al requerir los primeros mayor demanda de agua de carácter consuntivo. Es decir, gran parte de ella se consume o transforma en cuerpo vegetal de los cultivos y no regresa a la cuenca.

Tabla 2. Porcentaje de variación de superficie de uso del suelo año 2013, 2014 y 2015 cuenca en torno a la reserva nacional El Yali.

Uso de suelo	2014-2013	2015-2014	Suma	Media
Area de inundacion	4.0%	103.6%	107.60%	53.80%
Avicola	0.2%	-1.3%	-1.10%	-0.55%
Barbecho	-17.2%	-6.8%	-24.00%	-12.00%
Bosque nativo	-1.3%	0.3%	-1.00%	-0.50%
Cuerpos de agua	-1.2%	-68.9%	-70.10%	-35.05%
Cultivos	26.7%	10.0%	36.70%	18.35%
Dunas	-10.4%	5.0%	-5.40%	-2.70%
Dunas parcialmente estabilizadas	29.3%	5.6%	34.90%	17.45%
Eucaliptos	6.5%	-7.9%	-1.40%	-0.70%
Eucaliptos dispersos	-30.7%	36.9%	6.20%	3.10%
Matorral	10.0%	-0.3%	9.70%	4.85%
Pinos	-25.0%	-4.8%	-29.80%	-14.90%
Pinos dispersos	-8.5%	5.4%	-3.10%	-1.55%
Pradera	249.0%	-5.0%	244.00%	122.00%
Salinas	0.2%	-1.5%	-1.30%	-0.65%
Urbano	6.7%	0.8%	7.50%	3.75%
Vegas	-74.8%	-43.8%	-118.60%	-59.30%
Vegetacion de ribera	50.1%	-0.8%	49.30%	24.65%

Tabla 3. Matriz de cruce de usos de suelo que varían según uso natural y cultural en cuencas en torno a reserva nacional El Yali 2013-2015.

	Cultural		
	Aumento	Cultivos	
Urbano		Barbecho	
Dunas estabilizadas			
Matorral		Dunas	
Pradera		Vegas	
Vegetación de ribera		Cuerpos de Agua	
	Natural		

DUNAS DE RITOQUE, DESEMBOCADURA RÍO ACONCAGUA Y MANTAGUA (32°43'S)

El campo de dunas de Ritoque (32°50'S; 71°30'W) se encuentra entre la desembocadura del río Aconcagua y la laguna de

Quintero (figura 3). El campo de dunas está conformado por arenas de tamaño fino, siendo el cuarzo uno de sus principales

componentes. Según mediciones efectuadas por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN) en 1966 el campo de dunas poseía una superficie aproximada de 1 923.5 hectáreas. En 2003 tal superficie se había extendido a 2 280 hectáreas (Rojas, 2008). Actualmente su ancho mayor se encuentra al norte del campo dunar con 4.6 km, proyectándose hacia el noreste (ver figura 5A). Cogollor (1975) describe cuatro sectores bien definidos en un perfil transversal del campo dunar, lo que permite caracterizar su morfología, dinámica y vegetación y que, ordenadas de oeste a este, se visualiza lo siguiente: a) Berma arenosa: situada en la zona de playa; b) Cordón litoral: barrera continua de montículos de sedimentos de diferentes tamaños y formas y vegetación (figura 5B); c) Depresión: tiene la presencia de una napa freática superficial, lo que permite sustentar el humedal de Mantagua y la sobrevivencia de especies vegetales, principalmente en el extremo sur de ésta; y d) Campo de dunas propiamente tal que delimita con las dunas antiguas estabilizadas. En este sector presenta una prominente lengua de arena que penetra en el continente con una superficie actual aproximada a las 200 hectáreas (figura 5C).

Respecto a las condiciones climáticas, la temperatura media es de 14.8°C y las precipitaciones medias de 300 mm. Su tipo climático se clasifica como templado cálido con lluvias invernales, estación seca prolongada y gran nubosidad (DMC, 2001). La evaporación máxima absoluta es de 14 000 ml/m², mientras que la mínima absoluta es de 100 ml/m² (Salas y Toral, 1974). El viento predominante es del suroeste y sur, con una velocidad media de 26 km/h (figura 6).

El origen de los sedimentos provienen principalmente de la desembocadura del río Aconcagua, y son transportados por la corriente litoral cuya dirección es predominantemente del suroeste, que arrastra un promedio de 24.58 kg/s de sedimentos, estimándose su transporte mensual en 453 000 toneladas (Quezada, 2007). Una vez depositados en el sector costero quedan a expensas de la acción eólica que es muy activa. Hay evidencias desde 1945 que los sedimentos del campo dunar cubrían las vías de circulación del sector consistente en la ruta principal F-210, caminos secundarios y la vía férrea usada por el tren que transporta metales (Castro, 1987). En segundo lugar, y minoritario en términos volumétri-

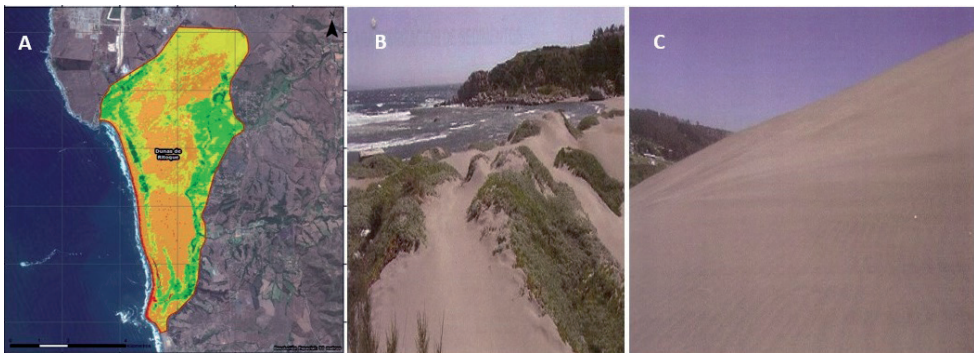


Figura 5. A) Campo dunar de Ritoque, B) Cordón litoral y C) Campo de dunas en el sector sur.

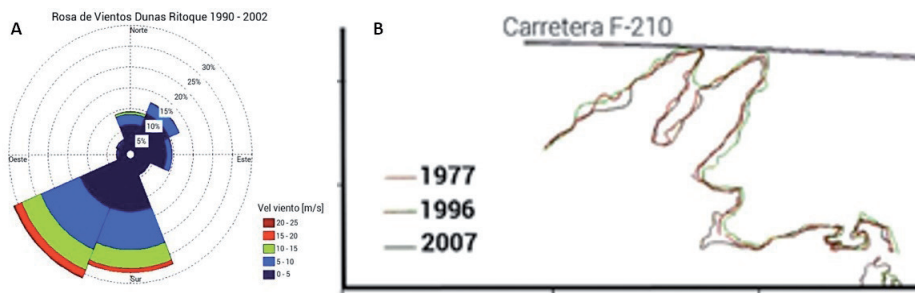


Figura 6. A) Rosa de los vientos para Ritoque. B) Sector norte del campo dunar. Años 1977, 1996 y 2007. Fuente: Santander (2014).

cos, está la meteorización del gneis granítico, principal componente del basamento costero que limita por el oeste el campo dunar.

De acuerdo a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC, 2001), entre 1966 y 2000 fue un periodo crítico para la vegetación de las dunas (asociado a la mayor o menor retención de las arenas), lo que se debió a los factores climáticos-oceánicos de El Niño y La Niña. En tal período se registraron hechos históricos de aumento de la temperatura superficial del mar producto de El Niño, lo que originó un incremento en la frecuencia y cantidad de sistemas frontales en Chile central (especialmente El Niño 1982-1983). Por el contrario, en 1998 hizo su presencia La Niña, que explica una disminución considerable de las precipitaciones. En el área del campo dunar la precipitación anual de ese año fue de 32.6 mm, lo que implicó la disminución considerable de la vegetación con la consiguiente intensificación del transporte sedimentario hacia la zona interior del sector.

Con relación a la evolución histórica de las dunas, Santander (2014) comparó las líneas de los límites históricos obtenidos del análisis de fotografías aéreas de los años 1970, 1975, 1977, 1996 y 2007, detectan-

do que hay zonas donde se han manifestado avances y retrocesos de las dunas. Es así como en los tres últimos sets fotográficos se observa que en el sector norte los sedimentos pueden sobrepasar la carretera (figura 6). En el sector norte la superficie obtenida debido al avance del campo dunar entre 1977 y 2007 es de 43 306.53 km² siendo medido en forma perpendicular a la dirección del transporte eólico (noreste); a partir de esto es posible inferir un avance hacia el noreste aproximado de 30 m entre 1977 y 2007. Como valor medio de avance entre 1977 y 1996 el avance dunar es de 20 m, lo que corresponde a una tasa de 1.05 m/año, mientras que entre 1977 y 2007 hubo un avance promedio de 40 m en ese período, lo cual significa un avance de 1.30 /año.

En cuanto a las proyecciones del campo dunar de Ritoque para un período entre 50 a 100 años, el sector norte estaría invadiendo un segmento de la carretera F-210 que comunica las ciudades de Concón y Quintero, lo que puede estar motivando la formulación una serie de proyectos para estabilizar y urbanizar la duna, afectando su funcionalidad ecológica.

En el sur de esta duna, se encuentra la desembocadura del río Aconcagua y en la depresión sur, el humedal de Mantagua. A

pesar de su cercanía, estos dos humedales tienen un funcionamiento muy distinto. El humedal de la desembocadura del río Aconcagua tiene un régimen hídrico asociado a la cuenca del río Aconcagua, que nace a 1 430 m de altitud y recorre 142 km hasta llegar a la desembocadura, en el océano Pacífico. El régimen del río Aconcagua es pluvio-nival, registrándose dos crecidas importantes durante el año, una en invierno por las precipitaciones en los meses de junio, julio y agosto, principalmente, y otra en primavera, producto de los deshielos. En términos climáticos, la temperatura promedio en la desembocadura es en torno a 14°C. En esta zona, los procesos del humedal están determinados principalmente por el caudal del río, la marea y el viento local. En contraste, el humedal de Mantagua es parte de los numerosos humedales formados en las cuencas costeras a lo largo de la región semi-árida del centro/norte de Chile, localizado entre las ciudades de Concón y Quintero, constituye un hu-

medal costero periurbano, con una orientación noreste-suroeste (ver figura 7A). El humedal es parte de una unidad geomorfológica caracterizada por el campo dunar descrito, la playa, la laguna y un estuario de barra que recibe los aportes de los esteros Quintero y Mantagua. Este cuerpo de agua es somero (~ 2 m profundidad máxima) y está desconectado del océano Pacífico por una barra de arena, que se abre esporádicamente a causa de tsunamis, marejadas y luego de lluvias intensas en la costa. El aporte de agua dulce al humedal se produce principalmente durante los meses de invierno, disminuyendo drásticamente durante primavera, verano y otoño, cuando el humedal depende principalmente de los aportes menores de los esteros y los acuíferos que se reabastecen durante invierno. Durante, primavera y verano, este sistema tiene una alta productividad y hay una alta concentración de materia orgánica, especialmente, en la zona de totorales. Por otra parte, las condiciones físicas y químicas

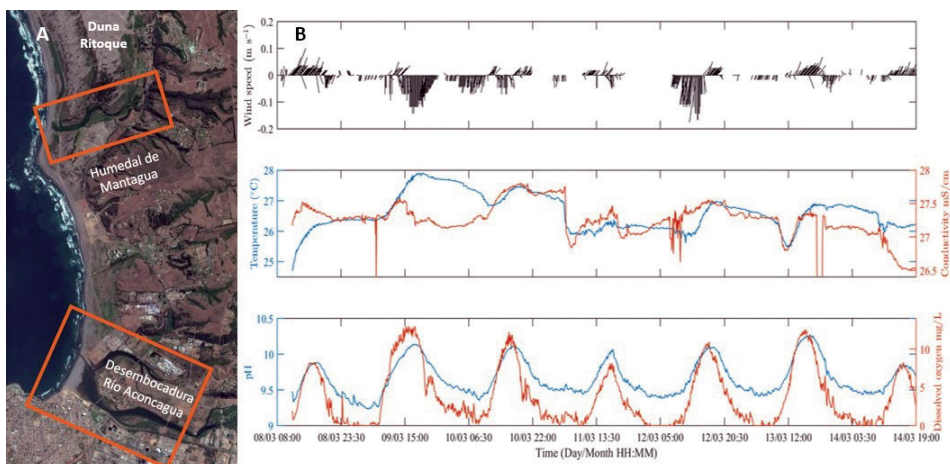


Figura 7. A) Ubicación humedales desembocadura estero Mantagua (a) y río Aconcagua (b) (Fuente: Google Earth). B) Serie de tiempo de velocidad y dirección del viento en Mantagua (panel superior), junto con el registro de temperatura y conductividad (panel central) y oxígeno disuelto y pH (panel inferior).

de este ecosistema están determinadas por un régimen dominado por el viento local, como se observa un estudio de alta frecuencia realizado en marzo de 2016 (figura 7B). Además, las condiciones de pH y concentración de oxígeno disuelto cerca del fondo exhiben una amplia variación intradiurna, presentando un rango de condiciones desde subóxicas a óxicas cercanas a saturación. Por lo tanto, mientras un humedal recibe aportes permanentes de un río que exhibe variación estacional de su caudal y, por otra parte, está sujeto a la influencia de la marea, el otro humedal presenta aportes significativos de agua superficial solo durante invierno, dependiendo de un flujo muy reducido durante el resto del año y no tiene influencia de la marea.

Tanto el humedal del río Aconcagua como el humedal de Mantagua están expuestos a la disminución gradual de las precipitaciones en la zona centro-norte de Chile, debido al desplazamiento de las condiciones más áridas hacia el sur, causado por el cambio climático. Por otra parte, ambos sistemas están expuestos a amenazas naturales, como tsunamis y marejadas. Sin embargo, la mayor amenaza a la integridad y funcionalidad de estos sistemas está asociada a la presión inmobiliaria, extracción ilegal de agua y actividades que perturban su rol ecológico, como el turismo informal, uso de vehículos motorizados terrestres y aéreos, extracción de áridos para la construcción y alteración de la flora ribereña.

DUNAS Y HUMEDAL DE HUENTELAUQUÉN (31°35's)

El Sitio Ramsar N° 2237 Las Salinas de Huentelauquén (SRLSH) se localiza en el sur de la región de Coquimbo (figura 3). Se inserta en un sector de carácter transicional entre la formación vegetal del matorral estepario boscoso y del matorral estepario arborescente, perteneciente a la eco-región del Matorral y Bosque Esclerófilo (Gajardo, 1993; Cepeda *et al.*, 2000), razón por la cual contiene elementos de flora y fauna típicos de dichos sistemas naturales (Torres-Mura *et al.*, 2011). Destaca en este territorio una gran diversidad de especies de flora y fauna, caracterizada por su alto endemismo (Cepeda *et al.*, 2000; Squeo *et al.*, 2001; Torres-Mura *et al.*, 2011).

En Las Salinas de Huentelauquén, varios de los más de 300 comuneros desarrollan la agricultura familiar de subsistencia (promedio 1.4 ha) y mantienen ganado menor

(*i.e.* cabras y ovejas). También se extrae agua para regar los caminos costeros y para abastecer los asentamientos locales en épocas de escasez hídrica (Norero y Bonilla, 1999). En el SRLSH se encuentran distintos ecosistemas entre los que destacan: a) la caja fluvial, b) sistema de dunas y c) charcas invernales; configurando un paisaje heterogéneo, frágil y vulnerable a los efectos del cambio climático global (MMA, 2014; Zuleta y Piñones, 2015).

La caja fluvial está situada a nivel del mar y delimitada por un sistema de dunas costeras en el sector oeste (Paskoff y Manríquez, 2004). En el SRLSH, el humedal principal lo constituye la laguna estuarina, que es alimentado por el cauce del río Choapa, precipitaciones invernales y eventos de mareas o marejadas intensas, las cuales hacen ingresar agua salada al estuario, que nor-

malmente se encuentra separado por unos 20 metros del límite superior de la marea alta (Zuleta y Piñones, 2015). La desembocadura de río Choapa es de tipo micromareal, configurando un estuario con barrera sedimentaria de arena supramareal, teniendo dominancia la escorrentía del mismo río (Cienfuegos *et al.*, 2012). Puesto que la evapotranspiración en la mayor parte de la cuenca excede a la precipitación anual, no existen remanentes de aguas superficiales, lo que transforma a la desembocadura en una fuente importante de recurso hídrico en la zona.

En el SRLSH, al norte de la desembocadura del río Choapa, es posible ubicar un extenso campo de dunas (594 ha). Sobresalen las paleodunas litorales, las dunas transversales móviles y las dunas que bordean la laguna estuarina, las que han sido estabilizadas por la vegetación nativa y orientadas por la plataforma de abrasión en la base del acantilado muerto, por donde se canaliza y desvía el viento (Castro-Avaria, 2015). Una proporción de ellas sustenta comunidades vegetales en donde es posible encontrar

una rica y variada fauna de reptiles y artrópodos (Cea *et al.*, 2013; Zuleta y Piñones, 2015). Los campos de dunas móviles o semiestabilizadas, se extienden por la planicie costera hasta alcanzar los límites del pueblo de Huentelauquén.

Las dunas de las salinas de Huentelauquén proveen valiosos servicios ecosistémicos a las comunidades humanas aledañas, como: una efectiva barrera física para contener eventos de inundaciones (*i.e.* tsunamis, grandes marejadas), protege la actividad agrícola de la desembocadura del río Choapa, posibilita la formación y desarrollo de la laguna estuarina, purifica el agua que se forma en las quebradas del sector y permite la formación de pequeños humedales estacionales sobre ella (Molina, 2003; Martínez, 2008). Dado que en la costa semiárida las dunas contienen un alto contenido de hierro y otros minerales (Castro-Avaria, 2015), una de las mayores amenazas a su integridad lo constituye la minería de dunas, que se suma al creciente desarrollo inmobiliario y el tránsito desregulado de vehículos todo terreno. Esto está



Figura 8. Charcas temporales en dunas litorales y llanos costeros del sitio Ramsar Las Salinas de Huentelauquén (Canela, Choapa).

ocasionando un deterioro del componente paisajístico, cultural y arqueológico, además de la biodiversidad de las dunas litorales del SRLSH (Zuleta y Piñones, 2015).

El llano costero, es el ecosistema más extenso (2 322 ha) del SRLSH. En ella se observa un alto grado de perturbación y destrucción de hábitat por la extracción de leña y sobrepastoreo. Sin embargo, contiene una alta riqueza de flora y fauna en remanentes del ecosistema original como los fondos de quebradas (Zuleta y Piñones, 2014). Los llanos presentan una serie de pequeños humedales temporales (charcas), que se forman en depresiones naturales del suelo tras las lluvias otoñales e invernales, con un breve hidropériodo y sustentan una variada avifauna migratoria provenientes de zonas cordilleranas, australes y boreales, como también anfibios y reptiles propios de las zonas desérticas (figura 8). En estas

charcas se encuentran al menos 23 especies de aves (Zuleta y Piñones, 2015). Dichos humedales albergan también una flora endémica con problemas de conservación (Cea y Zuleta, 2017) y una variada fauna de invertebrados (Pizarro-Araya y Alfaro, 2016) adaptada a las fluctuantes condiciones hídricas de estos sistemas naturales.

Los humedales temporales del SRLSH constituyen focos naturales de biodiversidad para plantas y animales adaptadas a condiciones méxicas, dado su mayor productividad en relación al entorno árido en que están insertas (Mitsch y Gosselink, 2000; Carl y Blumenshine, 2005; Williams, 2006). En el pasado estos humedales fueron aprovechados para la agricultura y ganadería, situación que en la actualidad ha desaparecido dado la creciente disminución de las precipitaciones anuales.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la zona semiárida de Chile existen patrones definidos con respecto a los cambios en las variables climáticas. Los datos históricos indican que las temperaturas máximas están aumentando en valles interiores y zonas precordilleranas, mientras que en la costa ha habido una disminución de estas. Sin embargo, las temperaturas mínimas han registrado aumentos en todas las zonas (MMA, 2016). Las precipitaciones exhiben un patrón similar. En zonas costeras existe una significativa disminución en los montos pluviométricos, lo cual podría generar consecuencias significativas en la agricultura y la biodiversidad, siendo el área de estudio de este capítulo, el lugar en Chile donde se espera que el estrés bioclimático

será más severo (MMA, 2016). Es esperable que las modificaciones en la temperatura ambiente, generen cambios en el balance hídrico y las características ecoclimáticas de los humedales costeros en Chile central.

Un análisis de los datos diarios de la temperatura promedio del aire obtenidos entre julio de 2013 y marzo de 2017 de la estación meteorológica más cercana al SRLSH (CEAZA, Mincha Sur), reveló una tendencia de incremento de las temperaturas en 0.0017 grados por día. A pesar de que el período analizado es corto, y probablemente se encuentra perturbado por sucesos de variabilidad climática, esta tendencia es coherente con el registro de 50 años que se tiene para el sur de la región de Valpa-

raíso (figura 2). Se puede conjeturar una tendencia de aumento de la temperatura en el SRLSH, lo que también se constata en Mantagua y El Yali.

Este incremento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones ha modificado la fenología y cobertura vegetal. Especies cuya distribución llegaba al límite norte del área de estudio, se encuentran hoy en día en el límite sur (Flores-Toro y Contreras-López, 2015).

Por otra parte, los cuerpos de agua parecen estar experimentando severos cambios en su régimen. Las charcas temporales, típicas de Huentelauquén, disminuyen su prolongación temporal por la disminución de las precipitaciones, generando un efecto cascada donde la economía de subsistencia de la población rural aledaña se ve amenazada. En la actualidad, el paisaje de Huentelauquén en los meses cálidos está desprovisto de vegetación y dominado por suelos polvorientos, lo que ha determinado un cambio en las actividades económicas de la población local, un éxodo de jóvenes en búsqueda de mejores oportunidades de vida y un envejecimiento de la población residente, configurado una crisis en relación a sus medios de vida, prácticas productivas y relaciones sociales (Salas *et al.*, 2011). En la región de Valparaíso, cada vez es más frecuente que humedales costeros permanentes, se sequen completamente en la época estival, convirtiéndose así en humedales estacionales.

Al igual que en El Yali y Mantagua, los humedales de Huentelauquén, presentan variaciones estacionales, anuales y multianuales en su espejo de agua, observándose una relación directa entre los volúmenes de escorrentía superficial y las precipitaciones anuales, cuyas variaciones son notorias durante la ocurrencia del fenómeno ENOS.

Así la extensión del espejo de agua del estuario del río Choapa medida entre el 2007 y 2013, sufrió una variación del 7,3% (tabla 1.) Durante los períodos ENOS, no sólo la extensión y profundidad del espejo de agua del estuario varía considerablemente (1-2 m), sino también la abundancia y diversidad de la avifauna local (Zuleta y Piñones, 2015). El cambio climático podría ocasionar la reducción o desaparición de las charcas temporales del SRLSH, lo cual ocasionaría modificaciones en la biodiversidad de aves migratorias que la utilizan como áreas de descanso y alimentación. Conjuntamente, también ayudaría a la extinción de conocimientos y tradiciones asociados a estos ecosistemas (Piñones *et al.*, 2016), incrementando los procesos de erosión cultural que afectan a los actores sociales de Huentelauquén y a las comunidades educativas presentes en la zona. Lo anterior disminuiría la sensibilidad a este fenómeno y debilitaría las capacidades de dichas comunidades para adaptarse al cambio climático.

El cambio del suelo a sistemas productivos agrícolas y ganaderos en las cuencas de captación, afecta la sustentabilidad de los humedales costeros promoviendo la “eutrofización cultural” (Reed-Andersen *et al.*, 2000), que genera una condición eutrófica que interactúa con las variables físicas asociadas al cambio climático contemporáneo. Así, el cambio climático en la zona costera de Chile central, estaría generando interacciones funcionales y recíprocas entre el sistema social y ecológico. Las comunidades rurales asociadas a estos ecosistemas, enfrentan una crisis socioambiental que ha establecido y evidencia quiebres con las prácticas tradicionales, tensionando las expectativas de continuidad histórica de la ruralidad (Salas *et al.*, 2011); vinculando

directamente las variables sociales y culturales de las comunidades con la vulnerabilidad al fenómeno climático de los humedales mediterráneos y semiáridos de Chile central.

Se puede concluir que las lagunas costeras, lagunas interiores, tranques artificiales y charcas temporales de Chile central, están evidenciando un cambio de régimen, que puede tener implicancias en la sostenibilidad de estos ambientes. Del mismo modo,

las dunas costeras son vulnerables especialmente por la acción antrópica, que refuerza las alteraciones que explica el cambio climático. En este escenario, se espera que las comunidades rurales asociadas a los humedales costeros de Chile central, manifiesten mayores dificultades en su adaptación al cambio climático, generándose además un deterioro del patrimonio biocultural relacionado con estos ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Johannes Burmeister (Manfred-Hermsen-Stiftung für Natur und Umwelt) y a Elier Tabilo Valdivieso (Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales), por promover la coordinación de los equipos de investigación (Valparaíso y La Serena). Carlos Zuleta y Víctor Bravo

agradecen el financiamiento del proyecto FPA-NAC-I-032-2014 del Ministerio del Medio Ambiente y al Programa de Socialización de la Investigación del Laboratorio de Ecología de Vertebrados (DIDULS 2017) de la Universidad de la Serena.

LITERATURA CITADA

- Albert, F., 1900. Las dunas, o sean las arenas volantes, voladeros, arenas muertas, invasión de arenas, playas y médanos del centro de Chile: comprendiendo el litoral desde el límite norte de la provincia de Aconcagua hasta el límite sur de la de Arauco. *Anales de la Universidad de Chile*, imprenta Cervantes, Santiago, <http://www.memoriachilena.cl/archivos2/pdfs/mc0027318.pdf>. Accessed 8 Oct 2016
- Brito, J.L., 1999. Vertebrados del humedal La Reserva Nacional El Yali y su costa, Santo Domingo, Chile central. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso*, 24: 121-126.
- Brito, J.L., 2009. San Antonio: Nuevas crónicas para su historia y geografía. Salesianos Impresores S.A., San Antonio, Chile.
- Carl, T., y S. Blumenshine, 2005. Relationships among vernal pool invertebrate assemblages with habitat morphology and distribution. *BIOS*, 76: 145-152.
- Castro-Avaria, C., 2015. Geografía de las dunas costeras de Chile: Instrumentos y pautas para su manejo integrado, Ediciones UC, Santiago, Chile.
- Castro, C., 1987. Transformaciones geomorfológicas recientes y degradación de las dunas de Ritoque. *Revista Geográfica Norte Grande*, 14: 1-13.
- Cea, A., y C. Zuleta, 2017. Caracterización florísticas de pozas temporales en Huentlauquén (Canela-Choapa, Región de Coquimbo). Informe Técnico, Universidad de La Serena & Ministerio de Medio Ambiente, La Serena, Chile.

- Cea, A., L. Sánchez-Fernández, y C. Zuleta, 2013. Vegetación y flora del humedal Huentelaunquán y ecotopos adyacentes. Informe Técnico, Universidad de La Serena & Ministerio de Medio Ambiente, La Serena, Chile.
- Cepeda, J., C. Zuleta, y R. Osorio, 2000. Región de Coquimbo: Biodiversidad y Ecosistemas Terrestres. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.
- Cienfuegos, R., J.R. Campino, J. Gironás, R. Almar, y M. Villagrán, 2012. Desembocaduras y lagunas costeras en la zona central de Chile. p. 21 – 66. En: Fariña, M.J. y A. Camaño (eds.), Humedales costeros de Chile. Ediciones UC, Santiago, Chile.
- Cogollor, G., 1975. Estudio del control de dunas de Ritoque y proposiciones para su manejo. Tesis para optar al Título de Ingeniero Forestal, Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 77 p.
- Contreras-López, M., H. Vergara Cortés, y R. Figueroa, 2014. Elementos de la Historia Natural del sistema de humedales El Yali. Anales Museo Historia Natural de Valparaíso, N°27: 51-67.
- DMC, 2001. Climatología de Chile. Subdirección de Climatología y Meteorología Aplicada. Dirección Meteorológica de Chile, Santiago de Chile, 198 p.
- Fariña, J.M., M.D. Bertness, B. Silliman, N. Aragonese, y E. Gayo, 2012. Historia natural y patrones ecológicos del humedal costero El Yali, Chile Central. p. 215-250. En: Fariña, M.J. y A. Camaño (eds.), Humedales costeros de Chile. Ediciones UC, Santiago, Chile.
- Figueroa, R., M. Suarez, A. Andreu, V. Ruiz, y M. Vidal-Abarca, 2009. Caracterización Ecológica de Humedales de la Zona Semiárida en Chile Central. *Gayana (Concepc.)*, 73(1): 76-94, doi:10.4067/S0717-65382009000100011.
- Flores-Toro, L., y M. Contreras-López, 2015. *Suaeda foliosa* Moq. (Caryophyllales: Chenopodiaceae) first record of the genus and species for Valparaíso region, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(2), doi: 10.1186/s40693-015-0035-5.
- Gajardo, R., 1993. La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 165 p.
- Martínez, M.L., 2008. Dunas costeras. *Investigación & Ciencia*, 383: 26-35.
- MMA, 2014. Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de Chile ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD). Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 140 pp.
- MMA, 2016. Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, 504 p.
- Mitsch, W.J., y J.G. Gosselink, 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 35: 25-33.
- Molina, J.A., 2003. Las charcas de primavera: Una joya geobotánica mediterránea. *Investigación & Ciencia*, 324: 35-36.
- Nichol, S.L., J.R. Goff, R.J.N. Devoy, C. Chagué-Goff, B. Hayward, y I. James, 2007. Lagoon subsidence and tsunami on the West Coast of New Zealand. *Sedimentary Geology*, 200: 248-262.
- Norero, A., y C. Bonilla (eds.), 1999. Las Sequías en Chile: Causas, consecuencias y mitigación. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 128 p.
- Paskoff, R., y H. Manríquez, 2004. Las dunas de las costas de Chile. Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile, 112 p.
- Paskoff, R., H. Manríquez, L. Cuitiño, y R. Petiot, 2000. Características, origen y cronología de los cordones dunares de la playa Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 27: 121-131.

- Piñones, C., C. Zuleta, L. Alfaro, y V. Bravo, 2016. Diálogo intergeneracional en torno a las aves: análisis de su potencial para la educación ambiental y conservación del sitio Ramsar las Salinas de Huentelauquén (Coquimbo, Chile). *Revista Chilena de Ornitología*, 22(1): 107-119.
- Pizarro-Araya, J., y F.M. Alfaro, 2016. Caracterización de la artropodofauna de pozas temporales de Huentelauquén (Región de Coquimbo, Chile). Informe Técnico Final, FPA-NAC-I-032-2014. Universidad de La Serena & Ministerio de Medio Ambiente, La Serena, Chile.
- Quezada, M., 2007. Estudio de erosión costera y regeneración de espacios litorales: Una aplicación a playa El Papagayo, Quintero. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil Oceánico, Universidad de Valparaíso.
- Reed-Andersen, T., S.R. Carpenter, y R.C. Lathrop, 2000. Phosphorus flow in a watershed-lake ecosystem. *Ecosystems*, 3(6): 561-573.
- Rojas, G., 2008. Caracterización espacial y temporal de las dunas de Ritoque, Quinta Región de Chile. Escuela de Ciencias Forestales, Departamento de Manejo de Recursos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 87 p.
- Salas, S., Jiménez, E. y L. Bugeño, 2011. Esperando los Años Buenos: Experiencias Rurales en Contextos de Escasez Hídrica. Proyecto Conservación del Agua en Comunidades Rurales de la Región de Coquimbo. Universidad de La Serena – University of Regina. Editorial del Norte. La Serena, Chile. 202 p.
- Salas, J., y M. Toral, 1974. Estudio del ambiente físico de las dunas de Ritoque. Tesis para optar al Título de Ingeniero Forestal, Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 133 p.
- Santander, C., 2014. Análisis del comportamiento morfo dinámico histórico del campo dunar de Ritoque, Quintero, Chile. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil Oceánico, Universidad de Valparaíso, 99 p.
- Squeo, F., G. Arancio, y J.R. Gutiérrez (eds.), 2001. Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.
- Torres-Mura, J.C., G.E. González, y D.E. Martínez, 2011. Fauna de Chile: Vertebrados de la Zona Mediterránea. Ediciones del Naturalista, Santiago, Chile.
- Victoriano, P.F., A.L. González, y R. Schlatter, 2006. Estado de conocimiento de las aves de aguas continentales de Chile. *Gayana*, 70(1): 140-162.
- Vilina, Y.A., 1994. Apuntes para la conservación del humedal “El Yali”. *Boletín Chileno de Ornitología*, 1: 15-20.
- Vilina, Y.A., C. Tala, y J. Meza, 2014. Nuevas especies de aves registradas en el humedal El Yali, Chile central. *Anales Museo Historia Natural de Valparaíso*, 27: 28-34.
- Williams, D.D., 2006. The Biology of Temporary Waters. Oxford University Press Inc., New York, USA, 338 p.
- Zuleta, C., y C. Piñones, 2014. Diagnóstico de Conservación y Valoración de Macrohábitats del Secano Costero de Huentelauquén (Canela, Región de Coquimbo, Chile). Informe Técnico Final, Universidad de La Serena-Ministerio del Medio Ambiente. La Serena, Chile.
- Zuleta, C., y C. Piñones (eds.), 2015. Secano Costero de Huentelauquén: Paisajes & Presencia Humana. Ediciones Universidad de La Serena – Ministerio del Medio Ambiente, La Serena, Chile, 175 p.