

## **Equilibrio ambiental precario en humedales áridos de altura en Chile**

**Jorge Machuca-Sepúlveda**  
[j.machuca03@ufromail.cl](mailto:j.machuca03@ufromail.cl)  
Universidad de la Frontera

**Matilde López M.**  
[mlopezm@uchile.cl](mailto:mlopezm@uchile.cl)  
Universidad de Chile

**Emiliano Vargas L.**  
[emiliano.vargas@gmail.com](mailto:emiliano.vargas@gmail.com)  
Universidad Alberto Hurtado

### **RESUMEN**

La información obtenida en más de 3 décadas de trabajo en tres Humedales áridos de altura (HAA) (salar de Surire, salar de Atacama y laguna Santa Rosa) se utiliza para realizar una relación de ecología y economía. La primera entrega evidencia sobre aspectos físicos químicos, hídricos y de ciertas comunidades biológicas tales como flamencos y fitobentos, mientras que, en la segunda se explica como la explotación de los recursos naturales no renovables en el mismo territorio, determinan riesgo ambiental para estos humedales. Exploramos el funcionamiento de este sistema socio-ecológico del altiplano, con procesos de distinta índole como problemáticas, acciones socioeconómicas que impactan en el paisaje fluvial y al conjunto de hábitats integrados en los HAA son integrantes. Conocer este funcionamiento tiene por objetivo evidenciar el riesgo (por la variabilidad del territorio) en sus seres vivos, típicos de sistemas abiertos, incluyendo en ellos a los humanos. Afirmamos que los HAA son ecológicamente sistemas frágiles y abiertos a los intercambios de energía de origen antrópico, normalmente tratados como sistemas cerrados. Relacionamos la disminución del recurso hídrico como fuente de impacto cuantitativo en el sistema, utilizando bioindicadores para ello: géneros de microflora y poblaciones de flamencos (tres especies). Proponemos un modelo para los HAA, donde el biomonitoreo y la vigilancia ambiental pueden contribuir a su conservación.

**Palabras clave:** humedales áridos de altura; flamencos; organismos fitobentónicos; sistema socioecológico; biomonitoreo.

## **Precarious environmental balance of high-altitude arid wetlands in Chile**

### **ABSTRACT**

Information obtained in more than 3 decades of work in three arid high-altitude wetlands (HAA) (Salar de Surire, Salar de Atacama and Laguna Santa Rosa) is used to make a relationship of ecology and economy. First provides evidence on physical, chemical, water and certain biological communities such as flamingos and phytobenthos, second explains how exploitation of non-renewable natural resources in same territory determines environmental risk for these wetlands. We explore the functioning of this socio-ecological system of the highlands, with processes of different kinds such as problems, socio-economic actions that impact the river landscape and the set of habitats integrated in the HAA are integral. Through this, we propose a way to considerate environmental risk (due to the variability of the territory) in their living beings, typical of open systems, including humans, since HAA are ecologically fragile systems, open to energy exchanges normally treated as closed systems. Water decrease is our key issue on resources as a source of quantitative impact on the system, using bioindicators for this: microflora genera and flamingo populations (three species). We propose a model for HAA, where biomonitoring and environmental surveillance can contribute to their conservation.

**Keywords:** high-altitude arid wetlands; flamingos; phytobenthic organisms; socio-ecological system; biomonitoring.

Artículo recibido: 10. Junio. 2021  
Aceptado para publicación: 16. Julio. 2021  
Correspondencia: [j.machuca03@ufromail.cl](mailto:j.machuca03@ufromail.cl)  
Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

## 1. INTRODUCCIÓN

Los humedales áridos de altura (HAA) en el norte de Chile son sistemas acuáticos heterogéneos como lagos, turberas, aguas termales y salares, principalmente (Molina et al., 2018), estos componen el paisaje de Los Andes centrales que corresponde a una altiplanicie (>3.000 m.s.n.m.), la cual se denomina altiplano. Proviene del derretimiento de hielos y glaciares que moldearon este paisaje en tiempos pleistocénicos y post-pleistocénicos. Muy reciente (en tiempo geológico) es la aparición de comunidades de seres vivos y más aún del ser humano (Núñez, 1999). Existen características particulares que diferencian el territorio donde se asientan las HAA en comparación con otras zonas del Norte de Chile. La presencia de humedales permite la existencia de un ecosistema con diversidad de especies, que entorno a cuerpos de agua se relacionan integrando cadenas tróficas, cuya fragilidad en el sector altoandino es relevante dado el grado de aislamiento del sistema como por la herencia de lagos y lagunas proclives a la intervención humana (CONAF, 2002). La totalidad del *plateau* central de la cordillera de los Andes posee una serie de cuencas con similares características geológicas, hidrológicas y ecológicas (Chong, 1988), y por la similitud del material mineralógico existente, da pie a una intensa actividad extractiva (Munk et al., 2016).

Dada la alta frecuencia de cuencas cerradas (endorreicas) en el altiplano, los procesos de salinización, alta radiación solar, clima árido radiación y presencia de cuencas con altos niveles de evaporación y erosión, suscitan el origen de ciertos tipos de HAA, como los salares (Scheihing et al., 2010). Los salares son cuerpos de agua que tienen superficies variables, desde unos pocos a miles de hectáreas, en las partes más bajas, salares y lagunas poseen una compleja historia geoquímica debido a sucesivos eventos de precipitación de sales en períodos geológicos secos y su redisolución en períodos húmedos, entre los cuales se intercalan episodios volcánicos que se reflejan en las columnas estratigráficas, que se hallan en estratos salinos a diferentes profundidades y que constituyen fuentes de solutos, en especial para aguas subterráneas (Alonso, 1997). Para distinguir aguas dulces de salinas, Beadle (1974), sugirió un criterio con un límite de 5.000 ppm de sólidos disueltos para aguas dulces, basándose principalmente en la tolerancia biológica. El límite superior estaría dado por la solubilidad del mineral más

soluble en equilibrio con las salmueras residuales, las que alcanzan, a veces, concentraciones cercanas a 400.000 ppm de sólidos totales disueltos (Beadle, 1974).

Entre otras comunidades biológicas dependientes de los HAA se encuentra la avifauna, y en particular, los flamencos, puesto que su condición de migratorias las hace especialmente dependientes de los salares, ya que los usan para reproducción y alimento; se han descrito tres especies de flamencos en el Altiplano, el flamenco chileno (*Phoenicopterus chilensis*), flamenco de James (*Phoenicoparrus jamesi*) y flamenco andino (*Phoenicoparrus andinus*) alimento (Figuroa et al., 2016). El flamenco andino posee una particularidad en su forma de alimentación, este se alimenta en lagos de poca profundidad (López, 1990), la especie retiene materia particulada como microalgas o diatomeas y expulsa el agua evitando con ello el consumo de aguas alcalinas o salinas. Son considerados “planctófagos”, pues filtran con su pico y lengua el lodo y las sustancias que las aguas llevan en suspensión, aprovechando así micro crustáceos y otros microorganismos integrantes del plancton (Rodríguez, 2006). El rol que los flamencos tienen en el funcionamiento de los ecosistemas de HAA es de interés general, además, es muy importante desde el punto de vista de la herbivoría. *P. Andinus* ejerce una gran influencia en el microbentos lacustre, siendo la especie *Surirella sella* (Bacillariophyta) su alimentación principal, y a su vez es un componente biótico dominante del fitobentos de sedimentos (Krstulovic y Roa, 1985).

Planteamos que el ser humano es el principal factor de cambio que afecta significativamente a los ecosistemas de HAA, desde iniciada la agricultura doméstica hasta la actual explotación del litio. Existen dos grandes tipos de intervenciones antrópicas, la agricultura de subsistencia y la minería, es decir, primero la actividad agrícola y luego la minería extractivista, han interrumpido drásticamente los delicados equilibrios ecológicos de estos paisajes elementales heredados de épocas pretéritas (Babidge y Bolados, 2018). De manera tal que un complejo sistema socio-ecológico se ha desarrollado, cuya aproximación a través de un paisaje de humedales, permite esclarecer medidas de gestión entre diferentes áreas degradación y modificación extensas de humedales, así como entre áreas y tipos de humedales que necesitan conservación (Bertassello et al., 2018). No obstante, no es fácil de determinar las acciones históricas del ser humano que han perturbado los equilibrios, pero es solo

desde el siglo pasado cuando el extractivismo mecanizado ha puesto en riesgo la existencia de las comunidades humanas ancestrales y al resto de comunidades bióticas. Hoy, se suma la industria de explotación mecánica del litio (mineral no metálico) a gran escala, a la histórica competencia por el agua entre la agricultura de subsistencia y la minería metálica, y como es sabido, su explotación no se limita a las fronteras administrativas, sino que es un stock de riqueza natural común en el Altiplano. Con el litio, que es materia prima para la creciente industria de la electromovilidad y sus baterías de litio-cobalto, se busca reemplazar en el mundo, al motor a combustión, pero ese cambio debe ser competitivo para los consumidores (López y Vargas, 2021), lo que incentiva procesos tendiente a minimizar los costos totales, donde creemos que se omiten las externalidades de la explotación. El régimen natural del balance hídrico de la cuenca del salar de Atacama, por ejemplo, se estableció en  $14,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , que era aproximadamente igual para la recarga y evaporación, sin embargo, esto se ha visto perturbado por el bombeo de salmuera proveniente de la explotación del litio y otras materias primas en los sedimentos, la cual se efectúa mediante bombes a lo largo de una red de pozos muy densa (Marazuela et al., 2020). Dadas estas condiciones, se precisa evaluar la calidad de sedimento, la que se basa principalmente en la biota que se encuentra presente en el estrato subsuperficial y que se relaciona con la coexistencia de una trama de interacciones entre unidades de flora y fauna con un alto endemismo, principalmente en la avifauna (González y Wattling, 2001).

En consecuencia, la erosión de sedimentos en los HAA, como en el caso específico de los salares, es precedente de una actividad temporal a escala tanto geológica como antropológica (Márquez-García et al., 2009). Es posible así hipotetizar que el nivel de la columna de agua de las lagunas y la temperatura no son determinantes del tamaño de las microalgas (fitobentos) y su correspondiente contenido de carbono; y que si no fuese así (al existir elementos para rechazar esa hipótesis) permitiría predecir que producto de una menor disponibilidad de agua, la productividad primaria algal afectaría negativamente a la cadena trófica. Otra hipótesis plausible es a través de la evidencia en la dieta de los flamencos, lo que permitiría apoyar la aseveración respecto al delicado equilibrio precario de las comunidades biológicas. Ese equilibrio puede ser afectado por eventos naturales o por otras variables exógenas, como la ya mencionada actividad antropogénica, las que se caracterizan por perturbaciones energéticas que cambian las

relaciones de las variables, determinando un sistema abierto (Kelly et al., 2017). En este sistema abierto, el mencionado equilibrio ambiental se afecta en calidad ecológica (organismos vivos), entendida también como calidad ambiental (condiciones de la relación), estas representan las características cualitativas y/o cuantitativas inherentes al ambiente en general o particular, su relación con la capacidad relativa de éste para satisfacer las necesidades del hombre y/o de los ecosistemas (Prando, 1996).

Las relaciones biológicas, sus cadenas tróficas y la interrelación fisicoquímica son resumidas en el presente trabajo, con énfasis en los antecedentes recopilados por los autores a través de años de recorrer y estudiar la ecología de HAA, evidenciar el cambio del territorio, de sus seres vivos y sus habitantes. Dichos antecedentes de ecología, en cuanto a la revisión de la interacción diatomeas-flamencos evidenciarían el riesgo ambiental, generado por la operación de la economía. La distancia temporal y espacial de los HAA entrega información para predecir la existencia o no de las poblaciones de flamencos andinos (especies damnificadas a causa de los intereses económicos intra e internacionales). Proponemos que el estudio de microflora o fitobentos de sedimento en el borde de las lagunas, es factible de ser establecido en prácticas de biomonitoreos como parte de acciones de vigilancia ambiental con el fin de conocer y valorar las relaciones de un sistema abierto, en el que en la ecología de HAA anida los intercambios y efectos de la actividad antrópica. El artículo sigue con las secciones de material y métodos, continua con resultados y discusión y finaliza con conclusiones.

## **2. MATERIAL Y METODOS**

### **2.1. Área de estudio**

La recopilación de información se ha especificado a partir de tres HAA: salar de Surire, salar de Atacama y laguna Santa Rosa, pertenecientes al Sistema Nacional Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) administrado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), los que corresponden cada uno al Monumento Natural Salar de Surire, Reserva Nacional Los Flamencos y Parque Nacional Nevado Tres Cruces, respectivamente. El trabajo resume expediciones realizadas en el período de 1980-1985 cuyo principal objetivo fue buscar la relación que existe entre la presencia de microalgas silíceas (diatomeas) y la alimentación de los flamencos endémicos del altiplano sudamericano con énfasis en el flamenco andino *P. andinus*. Esta es sólo una de las cadenas tróficas existentes que permiten describir parte del delicado equilibrio en

el ecosistema. Por último, se efectuó un análisis satelital a través de imágenes Landsat 5 (Multispectral Scanner/MSS) a Landsat 8 (Operational Land Imager/OLI y Thermal Infrared Sensor/TIRS) para así evidenciar el índice hídrico de diferencia normalizada (en inglés NDWI, Normalized Difference Water Index) (McFeeters, 1996) en los dos extremos históricos 1985 y 2018, respectivamente, y así discriminar niveles de aumento o reducción de la masa de agua en los HAA estudiados, cambios determinados a través de histogramas. El índice hídrico de diferencia normalizada fluctúa de 1 a -1, siendo estos los valores de pixel de la imagen satelital analizada, significa que pixeles con valores cercanos a 1 indican presencia de espejo de agua en el terreno, mientras que -1 indica ausencia.

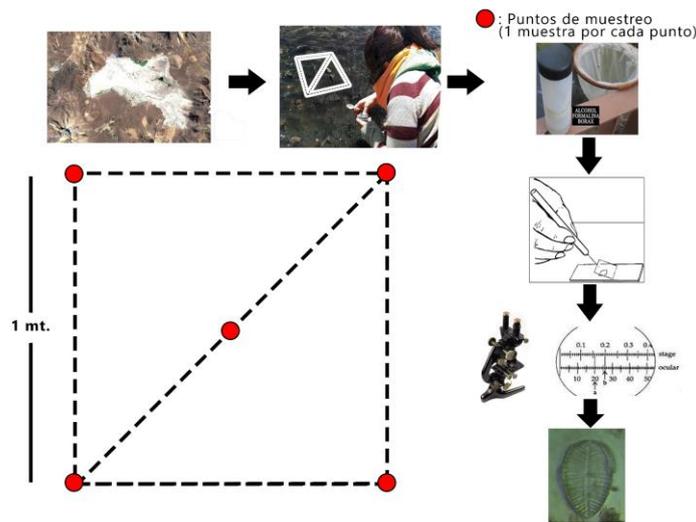
## **2.2. Revisión de enfoque ecológico**

En las muestras biológicas colectadas en los diferentes sitios definidos se aplicó la metodología estándar para eliminar el alto contenido de carbonatos, tratando aquellas con ácido clorhídrico (López, 1997) y las muestras químicas se determinaron con los métodos señalados por el Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water (APHA, 2005), a excepción de la determinación de sílice en agua mediante un método colorimétrico en muestras que contengan de 0,1 a 100 mg/l. Aquellas que contenían más de 100 mg/l fueron analizadas por procedimientos gravimétricos. Dos especies de *Surirella* (*S. sella* y *S. wetzeli*), su abundancia por mm<sup>2</sup> y su equivalente en mgC/mm<sup>2</sup>, fueron comparadas. La técnica de muestreo se inició con un trazado sobre los sedimentos del fondo según indica la técnica sugerida por Krstulovic y Roa, (1985), con una figura de 1 m<sup>2</sup> (Figura 1), tanto en los vértices como en el centro del cuadrado, se tomaron muestras de sedimentos (lodo pastoso) con un sacacorte de área 2,5 mm<sup>2</sup> y con una profundidad de 1 mm; se realizó sólo una parcela siguiendo lo recomendado por Hulbert y Chang (1983).

## **2.3. Análisis de enfoque económico**

En 2010 participamos en un trabajo bajo auspicio y financiamiento de la Dirección Regional de Aguas de Antofagasta-Ministerio de Obras Públicas (MOP), con el objetivo de elaborar una norma secundaria de agua, en los recursos hídricos periféricos del salar de Atacama. Después de 8 años y con financiamiento de la GTZ de Alemania, se recorrieron los mismos lugares, tales como Aguas Blancas, la vertiente de Tilomonte y el río San Pedro (salar de Atacama), así como también el salar de Surire y laguna Santa

Rosa. Este contraste temporal evidenciado reforzó el cuestionamiento de cuán importante es la posible reducción de la biodiversidad, lo que se respondió a través de un análisis de riesgo ambiental bajo un enfoque económico.



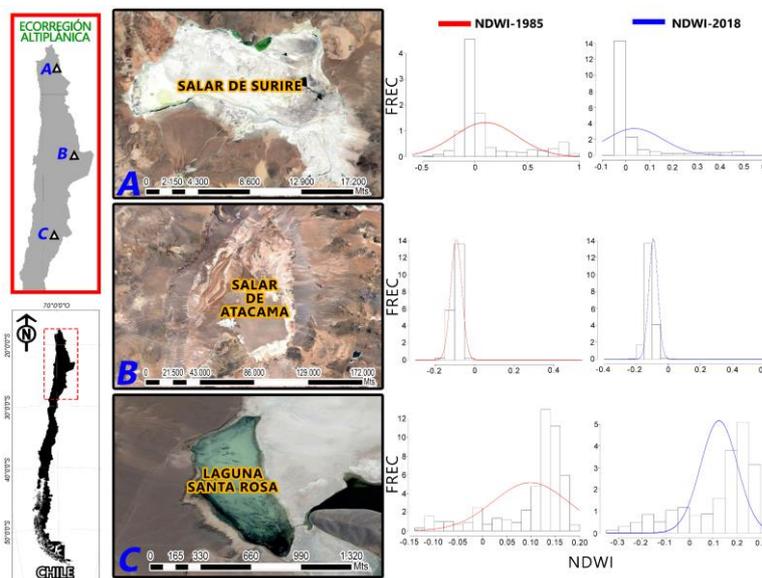
**Figura 1.** Procedimiento de técnica de muestreo de fitobentos de sedimentos de los HAA pertenecientes al área de estudio. Las muestras de sedimento se tomaron en los vértices y centro del cuadrado, una muestra en cada punto se guardó en un frasco plástico, fijada con formalina al 10%, neutralizado con bórax, siguiendo a Hurlbert y Chang (1983). Luego de limpiar y fijar las muestras en placas de vidrio se prepararon 10 placas por cada punto de muestreo, las que posteriormente se recontaron en las preparaciones con un microscopio Watson Microsystem 70, bajo aumento de 400 X. Se observaron campos ópticos distribuidos al azar en cada preparación. Se recontaron todos los ejemplares de *Surirella sella* y *S. wetzeli* de cada campo, midiéndose además los ejes apicales y transapicales, con el fin de obtener una aproximación al N° de individuos por  $\text{mm}^2$ .

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Reseña ecológica de HAA

En las imágenes satelitales del mapa sinóptico del área de estudio (Figura 2), aunque no se puede apreciar en toda su magnitud, existen islas de hielo correspondiente a hielo fósil de agua dulce, recubierto con arcilla, en la cual se apreció (verano 1986) una estratificación claramente definida. Desde el punto de vista empírico, el cálculo del índice hídrico de diferencia normalizada revela un notorio declive del componente hídrico en las imágenes satelitales Landsat 5 (1985) y 8 (2018) para los tres HAA

analizados, dado por una tendencia de las frecuencias hacia valores negativos del NDWI. En los tres casos es notoria esta tendencia, tanto en el salar de Surire como de Atacama, donde las curvas de los histogramas revelan una distribución hacia la izquierda con una mayor curtosis en los histogramas del salar de Atacama (mayor homogeneidad en torno al valor NDWI $\approx$ -0.1); en la laguna Santa Rosa esta tendencia esta presente también pero mas atenuada, es decir, el histograma de 1985 muestra mayor heterogeneidad de valores NDWI no así el de 2018 (mayor curtosis), donde las frecuencias de agolpan en el valor NDWI $\approx$  0.1, aunque no se presenta un cambio evidente de la distribución hacia la izquierda hacia 2018.



**Figura 2.** Mapa sinóptico de los tres HAA que componen el área de estudio (izquierda), junto con sus respectivos cambios del índice NDWI de 1985 (curva roja) y 2018 (curva azul) a través de histogramas de frecuencias (derecha). El índice NDWI de los histogramas fluctúa entre 1y -1, valores positivos indican presencia proporcional de agua mientras que valores negativos representan ausencia proporcional de agua.

En vista y considerando los cambios del índice NDWI a través del tiempo, las dinámicas hídricas, vital para la existencia de los flamencos han fluctuado hacia una disminución del agua lo cual se relaciona con la disminución de diatomeas, en especial *Surirella wetzeli*. Muchos de los HAA son lugares de alimentación o sitios de importancia poblacional para las tres especies de flamencos sudamericanos que

coexisten allí. Existe una estrecha relación entre altas salinidades (9.990 mg/l), microalgas silíceas (diatomeas) y presencia del flamenco andino (*P. andinus*) y el flamenco de James (*P. jamesi*).

La especie *P. chilensis* prefiere los fondos endurecidos y arenosos y se ubica a la llegada de aguas con salinidades medias (1093 mg/l) a bajas (503 mg/l), incorporando en su dieta plancton e invertebrados bentónicos, tales como copépodos, anfípodos (Malacostraca), quironómidos (Diptera) y la más abundante de todos el braquiópodo *Artemia salina*. Por otra parte, estudios de contenidos estomacales de flamencos, provenientes de la laguna Colorada de Bolivia y de otras lagunas saladas chilenas, mostraron una gran similitud en los contenidos de las diatomeas debido a la parecida composición química de los fondos y también a la selección mecánica de las lamelas del pico del flamenco *P. jamesi* (Patrick, 1968). Entre las amenazas naturales de los flamencos, se encuentran los depredadores naturales; en Chile los principales depredadores naturales son los terrestres, entre los que se encuentran los zorros (*Pseudalopex* sp.) y gatos monteses (Felidae) cuya principal presa es el *P. andinus*, tienen acceso a las aves cuando el nivel de las aguas disminuye (Pincheira y Durand, 2005).

El ser humano es considerado una de las mayores amenazas para los flamencos, ya que genera contaminación de los lagos y lagunas por la actividad minera (mayor detalle descrito en el ítem 3.2). La construcción de caminos y carreteras facilita la llegada de depredadores terrestres, la utilización del agua para el riego, la actividad turística informal y descontrolada, lo que altera el comportamiento de los flamencos (González, 2007). En el caso del salar de Surire, este reúne permanentemente numerosas poblaciones de flamencos (en 1992 se censaron 71.474 individuos) que pertenecen a 3 especies. En el caso del *P. chilensis*, se han reconocido colonias de nidificación dentro del salar. Cabe destacar que las 3 especies de flamencos están declaradas vulnerables (IUCN) y que *P. jamesi* es la especie más escasa.

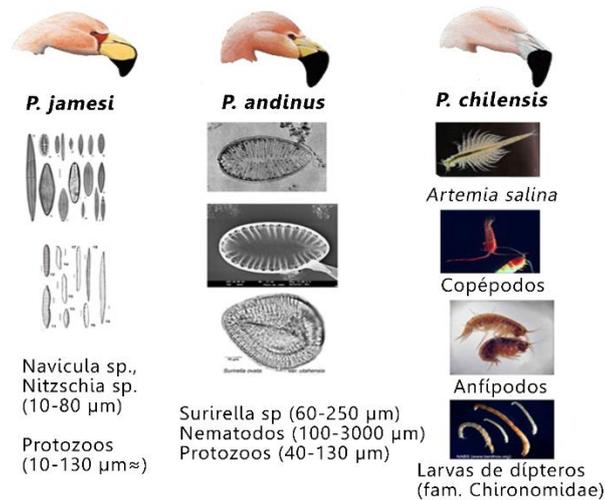
La abundancia de flamencos está siendo amenazada presumiblemente por la presencia de las faenas mineras de Quibórax que pueden perjudicar directamente el desarrollo normal de estas poblaciones, si no se cumplen de manera rigurosa las normas de conservación y de mitigación elaborada por la CONAF. Además, el paisaje está fuertemente alterado por la presencia del campamento minero y de sus faenas

extractivas (CONAF, 2000). Sin embargo, la presencia de estos medios de vida en una cuenca cerrada no autoriza la exportación del recurso hídrico; esta acción incidiría sobre los niveles de agua. De esta forma, cualquier acción que incida sobre estos niveles es contraria a la permanencia de las condiciones esenciales descritas. Hay que señalar que, para su consumo de agua potable, el campamento minero usa 5 l/s y que está en proyecto la instalación cerca del campamento de una planta de lavado de la ulexita que necesitaría 30 l/s.

*P. andinus* posee una distribución latitudinal que en Chile llega hasta el Parque Nevado Tres Cruces, siendo por tanto el área estudiada el último hábitat de esta especie en nuestro territorio. Según Censos de la Corporación Nacional Forestal se considera que la abundancia de la especie a finales de los noventa presentaba fuertes fluctuaciones entre un año y el siguiente, siendo esto contrastado con lo ocurrido en los últimos años donde se ha producido una estabilización, pero a su vez una disminución en su abundancia. De acuerdo con la bibliografía revisada, dentro de las variables que permiten la presencia de flamenco andino se encuentra la calidad bentónica de su alimento y la actividad antrópica.

En la zona de estudio se encontró principalmente especies de microalgas. Se analizó 838  $\mu^2$  de superficie total, considerado de un nivel aceptable para la metodología utilizada (Krstulovic y Roa, 1985); junto con un riguroso barrido de cada muestra que indica un promedio de banda de 6,33 por placa analizada. La distribución de abundancia de diatomeas muestra la heterogeneidad reducida de “alimento” disponible para la dieta del *P. andinus*, en donde destaca la presencia de *Surirella sella*, especie requerida por este en proporciones aceptables para la cantidad de individuos que se alimentan en el lugar.

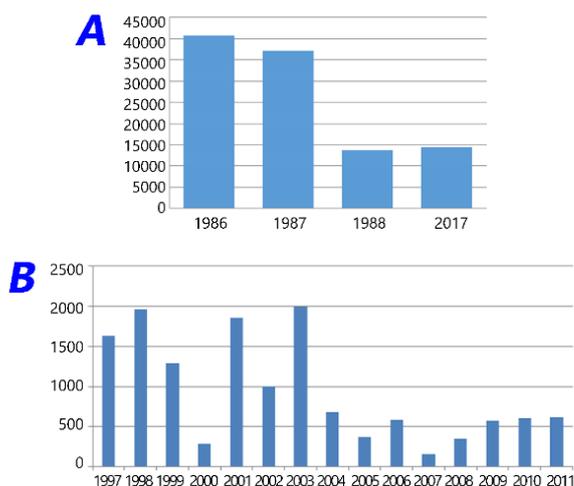
Los géneros más abundantes en laguna Santa Rosa fueron *Lyngbia* y *Oscillatoria*, con más del 50% de los individuos encontrados en el área. La consistencia pastosa del sedimento corresponde a las vainas gelatinosas de estas especies, siendo importantes en la nutrición del flamenco andino junto al alga diatomea *Surirella sella*. Esta última es la especie de mayor valor nutritivo, por lo tanto, desde el punto de vista de la actividad fotosintética, representa el mayor aporte con relación a Oscillatoriales y a otras diatomeas más pequeñas. Siendo las Oscillatoriales 3,43 picogramos de carbono y *S. sella* alrededor de 226,72 picogramos de carbono (López, 1997).



**Figura 3.** Dieta de las tres especies de flamencos (*Phoenicoparrus jamesi*, *Phoenicoparrus andinus* y *Phoenicopterus chilensis*), que habitan los HAA analizados (modificado de Del Hoyo et al., 1992 y Hurlbert, 2014).

*S. sella* también fue hallada en el salar de Surire. Fundamentalmente el alimento de *P. andinus* está compuesto de grandes diatomeas (300 µm), tales como *S. sella* y *S. wetzelli*, siendo esta última no encontrada en los muestreos recientes en Surire, pero si abundante en las primeras expediciones (1985). En un minucioso trabajo de varios años, de la cual ya se han dado atisbos puntuales en los párrafos anteriores, se aportó finalmente el material a la Academy of Natural Sciences de Filadelfia, EE.UU., de la cual pudimos identificar el “pastoreo” en las dietas en tres especies de flamencos sudamericanos endémicos, tal como se muestra en la Figura 3.

La Figura 4 muestra información sobre la abundancia de la especie *P. chilensis* en el salar de Atacama. En ella se ratifica la clara tendencia negativa en abundancia, como los eventos esporádicos de crecimiento positivo. La disminución de la población aviar puede ser relacionada con la reducción de disponibilidad de agua en el salar, dada la hipótesis planteada en este trabajo.



**Figura 4.** Distribución de individuos de flamenco en (A) salar de Surire y (B) salar de Atacama, entre los años 1986-2017 para Surire y 1997-2011 para Atacama.

En el estudio DGA del año 2014 “Análisis de los Mecanismos de Evaporación y Evaluación de los Recursos Hídricos del Salar de Atacama”, se obtiene una clara evidencia de la reducción del acuífero, en presencia de un aumento de las actividades extractivas de la empresa que es la fuente de información. Para reforzar toda esta información enunciada, se presenta en la Tabla 1 los resultados de parámetros fisicoquímicos como sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, pH y temperatura, valido para el salar de Atacama. En el 2018 se recorrieron los mismos lugares de las expediciones de la década de 1980, encontrándose que Aguas Blancas ya no existe, la vertiente de Tilomonte está en extremo disminuida y en el río San Pedro, la conductividad eléctrica muestra un orden de magnitud mayor pasando de 2.620 (mS/cm) en el 2010 a 3.380 (mS/cm) en el 2018, (se desprende que a menor agua mayor conductividad).

En temporada de verano (enero), en el salar de Atacama el contenido de carbono fue mayor que en invierno (agosto), siendo 39.48 mg/mm<sup>2</sup> y 37.81 mg/mm<sup>2</sup> respectivamente y en el salar de Surire en temporada de inicio de verano un poco menor 34.35 mg/mm<sup>2</sup>. La temperatura es una variable física que influye de forma importante en la calidad del agua, junto con ello, afecta a otros parámetros, como la conductividad eléctrica. En el caso del borde de la laguna Santa Rosa no presenta gran profundidad por ende la temperatura medida en la muestra resulta concordante con la altura de la

columna de agua. Posee un pH levemente alcalino, lo cual se relaciona con aguas de tipo salado, además el resto de los parámetros fisicoquímicos son adecuados para zonas que presentan estas características.

Continuando con el análisis de la laguna Santa Rosa, se encontraron entre los parámetros fisicoquímicos características similares a otras zonas como el salar de Surire (Krtulovic y Roa, 1985) por lo que la hipótesis de que es posible extrapolar la información obtenida a otros sitios que presenten similares condiciones, se cumple. En general la homogeneidad química de sus hábitats, la baja diversidad biológica y la fácil disgregación de elementos, hacen de las lagunas y lagos salinos altioplánicos, (mencionados en general acá como HAA) una excelente fuente de datos para estudios de microecosistemas.

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos medidos en 2010 y 2018 en sitios del salar de Atacama y laguna Santa Rosa.

HAA	Sitio	Altitud (m.s.n.m.)	Año	Temperatura del agua (°c)	pH	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Sólidos disueltos totales (mg/L)
Salar de Atacama	Vilama	2.517	2010	15,2	7,5	2.904	1.423
	San Pedro	2.488	2010	13,6	8,2	2.620	1.284
			2018	18,2	8,9	3.380	1.647
	Chaxa	2.517	2018	12,0	8,5	9.710	9.999
	Aguas Blancas	2.507	2010	10,5	8,1	2.212	1.084
			2018	10,2	10,2	6.310	3.093
	Tilomonte	2.433	2010	10,2	10,2	6.310	3.093
			2018	19,8	8,9	6.430	3.710
	Socaire	3.609	2010	12,7	8,2	1.186	581
	Laguna Santa Rosa	Orilla sur	3.715	2018	16,5	8,2	17.695

Según López y Vargas (2021) al estudiar una laguna de similares características se observó que la flora de los sedimentos superficiales encontrados era similar a la revisada aproximadamente 20 años atrás. Así, los flamencos podrían tener un efecto doble al mantener estas asociaciones sin grandes variaciones en el año, debido a I) remoción que efectúan cuando comen en los sedimentos, evitando que las vainas

gelatinosas de las algas microalgas azul-verdes (Cyanophyta), conformen densas masas semejantes a jaleas, desplazando a las diatomeas colonizadoras de sustratos más duros, II) fertilización con sus defecaciones de la superficie que frecuentan y en épocas que experimentan baja presencia, sus nutrientes favorecen así el crecimiento de las asociaciones diatomológicas.

Como se mencionó anteriormente, al ser una cadena alimentaria tan breve, las relaciones que se producen entre los integrantes de ésta son significativas, la correlación de todos los elementos que participan en la cadena trófica es dependiente, ya que para que funcione deben estar todos los elementos que en ella participan.

### **3.2. Análisis ambiental y tipos de riesgos**

Existen antecedentes preincaicos de cultivos agrícolas (Núñez et al., 2010) que constatan el cambio de la especie humana desde cazadora-recolectora a agricultora, ganadera y de pequeña minería. Estos cambios, producidos en cientos o miles de años, se mantuvieron hasta el siglo pasado, cuando comenzaron a ser explotados con tecnología y maquinarias, tanto los antiguos salares de media altura geográfica (800 – 1500 m.s.n.m.), como los del altiplano.

Ello, con la finalidad de proveer insumos industriales y materia prima a la gran agricultura. Desde entonces el aumento sostenido de la población humana, luego la minería no metálica del caliche (salitres), la minería metálica del cobre y recientemente el litio, compiten por el uso del recurso hídrico, afectando los delicados equilibrios ecosistémicos. Durante largos períodos, los integrantes de las primeras agrupaciones humanas periféricas a estos cuerpos de agua vivieron organizados en torno a principios de cooperación y apoyo mutuo que eran la base de la supervivencia de la prole (familia genética o social). Los atacameños (así designados en forma general) recibieron una notoria influencia inca, adoptando el culto solar -o Inti- y por lo cual construyeron altares en las montañas de mayor altura, tales como el volcán Licancabur (montaña sagrada) a la que se le rendía culto con bailes y trajes ceremoniales tejidos con fibra de fina lana, como la de vicuña y plumas coloreadas provenientes, tal vez, de los flamencos.

La economía indígena de la Puna ha sido tradicionalmente ganadera (pastoril) y agrícola a pequeña escala (Castro, 1982). También hay trashumancia dependiente de la existencia de los pastos de altura y el tamaño de los rebaños. Según Domic et al.,

(2018), a través de registros paleoecológicos de carbón vegetal y polen, no hay evidencia de una intensificación del uso de la tierra o una transformación del paisaje a gran escala durante la época colonial, patrón que indica que presumiblemente la forma predominante de uso de la tierra siguió siendo el pastoreo extensivo, en el cual el ganado (tanto camélidos como animales introducidos) se alimentaba con forrajes de pastizales y humedales naturales.

Desde un punto de vista antropogénico, el uso de los recursos es de carácter utilitarista, en el cual se justifica su consumo para satisfacción de las necesidades humanas. De esta forma tanto agua, como vertebrados, aves y agua podrían ser usados por el derecho humano a su explotación. Si fuese válida la sentencia anterior, es posible preguntar ¿es aceptable también, explotar otras riquezas naturales de los HAA que dan utilidad al humano? La pregunta es compleja de resolver, porque las externalidades de este tipo de consumo no son claras y tampoco han sido adecuadamente desarrolladas por las instituciones (públicas y privadas), como por los agentes económicos, que son en ocasiones, los tomadores de decisiones sobre estos territorios y generan tipos de riesgo que deben ser aclarados. El riesgo entendido como dispersión de los valores medidos de los indicadores relevantes para el o los ecosistemas y aquel que afecta a la biodiversidad en la evidencia del colapso irreversible de las condiciones para la vida de poblaciones.

En relación con la avifauna, la noción de que la agricultura de la puna tradicional tiene efectos positivos sobre la diversidad de aves debe tratarse con cautela. Según Araneda et al., (2018), quienes realizaron observaciones a lo largo de una cuenca hidrográfica con un conjunto particular de características sociopolíticas y ecológicas, en la que se encuentran parches agrícolas de pequeña escala y manejo comunal de arroyos, afirman que se deben intensificar los estudios de enfoques experimentales o pseudo-experimentales para definir si los hábitats agrícolas indígenas han impuesto una ventaja adaptativa para las aves.

Definitivamente, la mayor parte de la población humana del área de estudio no es partícipe de la cadena trófica de este medioambiente, por lo que en forma latente está la posibilidad permanente de los intercambios monetarios de mercado. Por otro lado, el valor de existencia (Krutilla, 1967) surge de las preferencias del individuo por mantener un bien como parte de una cartera de activos para esparcimiento o investigación, sin embargo, ello no logra capturar completamente su disponibilidad de pago, surgiendo el

no uso como valor social. Finalmente, la posibilidad de valoración intrínseca es posible fuera del subsistema económico, basado en el derecho de cada especie a su existencia absoluta, no antropogenizada y valorada en términos de biodiversidad.

Cualquiera de los criterios mencionados debería proyectar, de manera fundada, los riesgos que surgen de la presión por el uso de los recursos y la afectación ecológica. Todas las estimaciones de extracción de agua, tanto de la Dirección General de Aguas (DGA) y las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), asociadas a la explotación de HAA, ratifican el dramático aumento del consumo proyectado.

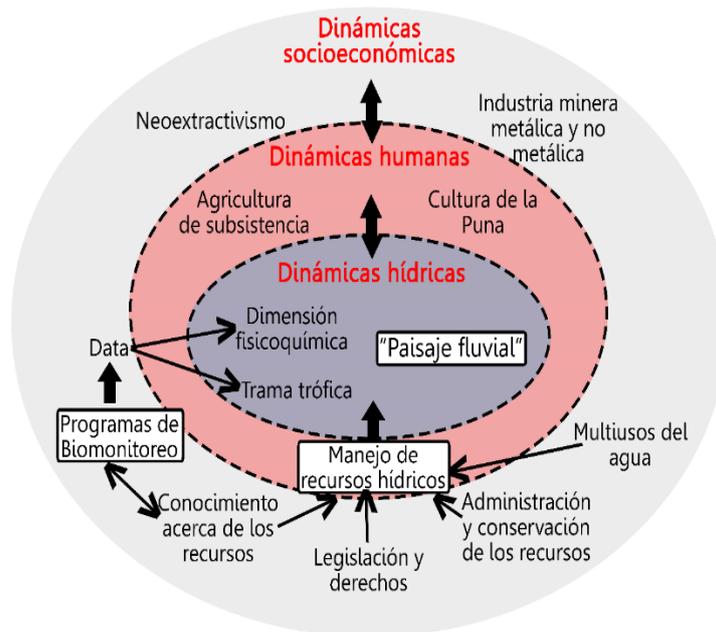
¿Puede ser la reducción de agua observada en el salar de Surire, por ejemplo, atribuible a los procesos extractivos del litio? ¿Es el cambio climático global? ¿Ambos? En ciencias biológicas y económicas las respuestas no son fácil de entregar. Normalmente hay algunas respuestas de mitigación o justificación, como definir zonas de sacrificios, criterios compensatorios o de reducción de la pobreza no paretianas (algunos estarán peores que otros con la asignación de mercado). Sin embargo, nuestra motivación es comparar a las empresas extractivas con las comunidades biológicas observadas, como la del flamenco.

El precio de las acciones es variable en el tiempo, lo cual se puede asimilar a la abundancia de una población, si el valor de la empresa cae en el límite 0, la empresa desaparece, tal como lo haría una comunidad biológica, al reducir su población. Sin embargo, ellas no tienen diversificación de la cartera bajo estrategias de riesgo bursátil, ni existe un Estado que pueda actuar en su rescate, simplemente, dejan de existir irreversiblemente. De todas maneras, en Chile, Argentina y Bolivia, existen políticas públicas e instrumentos ambientales que debieran ajustarse para cautelar la preservación de estos ecosistemas, que constaten riesgo ambiental.

Si el modelo económico de explotación exhaustiva imperante permite que la minería extraiga aguas superficiales y subterráneas para el desarrollo de sus procesos, entonces el Estado debería tomar los resguardos necesarios para la conservación de áreas silvestres y las compensaciones justas que correspondan al menos a las poblaciones humanas aledañas a los “sitios de sacrificio”, sin ignorar, la existencia de las relaciones visibilizadas en este artículo. La dimensión económica afecta al estado actual, pero lo más relevante es el profundización de la explotación sin control del riesgo ambiental en el futuro, al no considerar parte de las relaciones fundamentales de los humedales y por

sobre todo la proyección pesimista debido a la aplicación de la política económica neoextractivista de Chile (Gudynas, 2012), es decir, la explotación implacable de los recursos naturales de los territorios en aras de adquirir beneficios económicos (Babidge y Bolados, 2018), pero que tienen beneficios limitados a las tenedores de la propiedad de las empresas explotadoras.

Si se dirige el análisis de toda la problemática expuesta por medio del enfoque de los sistemas socio-ecológicos (en inglés, SES) (Hand et al., 2018), es básico considerar lo que ellos llaman “paisaje fluvial”, la cual es la base física de los sistemas ecológicos (y por cierto socioeconómicos y culturales), siendo dicha base precisamente los hábitats de agua dulce interconectados que se asocian comúnmente con los sistemas mencionados. La Figura 5 ilustra a modo de esquema los subsistemas que comprenden el sistema socio-ecológico altiplánico cuyas denominaciones corresponden a dinámicas (hídricas, humanas y socioeconómicas).



**Figura 5.** Propuesta esquemática del sistema socio-ecológico altiplánico, del cual el eje central son los HAA que constituyen el paisaje fluvial. Las dinámicas humanas (baja escala de influencia) y socioeconómicas (alta escala de influencia) son subsistemas que permean a las dinámicas hídricas y viceversa, es decir, las dinámicas hídricas permean a las otras por medio de la presencia o ausencia de agua y subsecuente desarrollo de sus

procesos. Existen procesos en cada dinámica o subsistema, de los cuales, pueden producir impactos positivos o negativos (relativos) a las dinámicas hídricas.

Primeramente, la base del sistema socio-ecológico altiplánico son las dinámicas hídricas o “paisaje fluvial” (riverscape, en inglés), de las cuales su extensión física son los HAA. Puesto que todo tipo de acción o proceso que sucede en las dinámicas humanas y socioeconómicas (nótese que estos son aspectos temporales) influye en las dinámicas hídricas, el paisaje fluvial sufre una modificación sutil o severa, lo cual impacta positiva o negativamente los HAA.

Las dinámicas humanas son procesos de baja escala espaciotemporal, compuestas por la agricultura de subsistencia y a cultura de la Puna desarrollada desde hace miles de años; mientras que las dinámicas socioeconómicas son procesos de alta escala espaciotemporal de una envergadura que puede desarrollarse en países completos (neoextractivismo) o grandes áreas de influencia (industria minera metálica y no metálica).

Además de estos procesos, otra dimensión de procesos compone a los tres tipos de dinámicas, las que tienden a desarrollar impactos positivos de manera relativa en el paisaje fluvial y los HAA, y que se centran en el manejo de recursos hídricos. Procesos tales como multiusos de agua, administración y conservación de los recursos, legislación y derechos y el conocimiento acerca de los recursos posibilitan acciones de manejo, el cual posee un aspecto de dinámica humana debido a que actualmente solo se desarrolla a pequeña escala. Los multiusos de agua, administración y conservación de los recursos, legislación y derechos y el conocimiento acerca de los recursos corresponden a dinámicas socioeconómicas debido a su envergadura temporal a largo plazo y producidas por políticas país o institucionales.

No obstante, las dinámicas hídricas afectan a su vez a las dinámicas humanas y socioeconómicas a través de la presencia y ausencia de agua y sus atributos ecológicos subyacentes, los cuales se traducen en una dimensión fisicoquímica y de trama trófica o red trófica. Si estos atributos ecológicos resultan ser alterados, es porque existe una anomalía en las dinámicas hídricas, ante esto, es imprescindible contar con programas o prácticas de biomonitoreo o vigilancia ambiental que permitan indagar o predecir tales anomalías y al mismo tiempo aportar con conocimiento o información acerca del

recurso hídrico, tanto para establecer parámetros de calidad y cantidad que sean fácilmente obtenidos (a través de bioindicadores) (Markert et al., 2012).

En definitiva, se aprecia que acciones conducidas al manejo de los recursos actualmente están muy deprimidas, tanto en la dinámica socioeconómica como humana, siendo una de estas el biomonitoreo (monitoreo a través de organismos acuáticos), por ejemplo. El presente trabajo ha evidenciado aspectos relativos a sentenciar que tales acciones son por tanto deprimidas o muy reducidas, ante las condiciones hídricas y humanas que persisten en torno a los HAA.

#### **4. CONCLUSIONES**

La evidencia del cambio en los indicadores de ecológicos (bioindicadores) en los HAA muestra que, basados en información recopilada por más de 30 años, hay un sistema abierto perturbado por la acción del hombre (economía extractiva). Al analizar, en particular las causas de la disminución de las poblaciones de flamencos estas son múltiples y están asociadas a la actividad minera, extracción de agua superficial y subsuperficial, alteración del hábitat y su consiguiente disminución de las tasas reproductivas de casi todas las tres especies de flamencos altoandinos, respaldada por la disminución de las microalgas que forman parte fundamental de su dieta, principalmente diatomeas del género *Surirella*.

Al definir un sistema cerrado como un ecosistema que el hombre no afecta, se omite la relación causa-efecto del cambio climático originado por el antropoceno<sup>1</sup>. Resaltamos que los humedales son sistemas ecológicos sumamente complejos regulados por las cuencas hidrográficas donde se asientan, en la cual residen especies que poseen una historia evolutiva propia y en conjunto, en adaptación con sus hábitats conforman un paisaje dinámico (como hemos nombrado en este trabajo como paisaje fluvial). Tal complejidad ecológica de un paisaje fluvial también sufre impactos que se cuantifican a través de múltiples maneras y escalas (riesgo ambiental), las cuales significan desviaciones en los procesos y patrones de orden biofísico, y que constituyen anomalías de un equilibrio dinámico como conceptualización científica. Esto es importante destacar, puesto que los esfuerzos de biomonitoreo o restauración de ecosistema como los HAA, probablemente representen cambios de las condiciones de referencia, creando así “ecosistemas nuevos” distintos a los originales.

---

<sup>1</sup> El concepto ha tomado notoriedad desde que se introdujo por Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000). «The 'Anthropocene'». *Global Change Newsletter* 41: 17-18

La laguna de Santa Rosa es una zona de gran fragilidad ecológica, pocas precipitaciones y altos niveles de evaporación, el contenido hídrico de la laguna no ha sufrido anomalías tan remarcadas como los salares de Surire y Atacama entre los años 1985 a 2018 (ver Figura 1). Es conocido que empresas mineras de gran escala consideran entre sus recursos de funcionamiento la presencia de agua, lo cual en fuertes extracciones pueden causar daños profundos e irreversibles para el área. La energía introducida al sistema es una variable que considerar porque se evidencia la extracción de agua para el funcionamiento de estas empresas mineras, las que han provocado una estabilización en la curva de abundancia de flamencos, así como también a las comunidades de microalgas que residen en los hábitats acuáticos.

A medida que aumenta la escasez de agua dulce, el conflicto sobre la asignación de los escasos recursos hídricos en el altiplano seguirá creciendo, la economía afecta a la ecología y al medioambiente. Dado que las fronteras nacionales generalmente atraviesan paisajes fluviales de distinta índole, además de cuencas hidrográficas, es probable que gran parte de este conflicto, así como los intentos de resolverlo o prevenirlo, sean de alcance internacional. Es por ello fundamental establecer una base para desarrollar acciones que permitan una conservación de las dinámicas hídricas, siendo una de estas los programas de biomonitoreo o vigilancia ambiental a largo plazo, aplicadas por instituciones relacionadas al manejo de los HAA.

En definitiva, el presente trabajo recoge datos de ecología que presumen un cambio en la estabilidad de las comunidades biológicas, representado por bioindicadores específicos como flamencos y fitobentos. El riesgo ambiental entendido como el cambio demostrado por dichos bioindicadores, proyectan el colapso de las especies del sistema frágil, ya que la energía exógena que entra a este sistema abierto proveniente de dinámicas socioeconómicas, genera perturbaciones en el sistema concebido como de tipo socioecológico. Lo queda es poder determinar la mayor cantidad posible de HAA, si es que sufren las mismas alteraciones que presentan los humedales estudiados. Considerando este contexto, como proyección queda establecer programas de vigilancia ambiental permanente de estos bioindicadores, para así ser fundamentados como biomedidores de riesgo ambiental, lo cual al mismo tiempo puede contribuir a zonas de conservación internacional que integre a Argentina, Bolivia y Chile para la protección de los HAA.

## **5. LISTA DE REFERENCIAS**

- Alonso, H. (1997). Geoquímica de aguas en el altiplano. Una aproximación. Actas II simposio internacional de estudios altiplánicos. Universidad de Chile. p 105-107.
- APH Association. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.
- Araneda, P., Sielfeld, W., Bonacic, C., & Ibarra, J. T. (2018). Bird diversity along elevational gradients in the Dry Tropical Andes of northern Chile: The potential role of Aymara indigenous traditional agriculture. *PloS one*, 13(12), e0207544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207544>.
- Babidge, S. & Bolados, P. (2018). Neoextractivism and indigenous water ritual in Salar de Atacama, Chile. *Latin American Perspectives*, 45(5), 170-185. <https://doi.org/10.1177/0094582X18782673>.
- Beadle, L. (1974) *The inland waters of tropical Africa*. Longman, London.
- Bertassello, L. E., Rao, P. S. C., Jawitz, J. W., Botter, G., Le, P. V., Kumar, P., & Aubeneau, A. F. (2018). Wetlandscape fractal topography. *Geophysical Research Letters*, 45(14), 6983-6991. <https://doi.org/10.1029/2018GL079094>.
- Castro, M., Bahamondes, M., Salas, H., Azócar, P., & Faúndez, L. (1993). Identificación y ubicación de áreas de vegas y bofedales de la I y II región. Depto. Antropología U. de Chile/DGA-MOP, Chile.
- Chong G. (1988). The Cenozoic saline deposits of the Chilean Andes between 18°00' and 27°00' south latitude. In: Bahlburg H, Breitzkreuz C, Geise P, editors. *The Southern Andes. Lect. Notes Earth Sci.* 17:137–151
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2002). Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de Humedales Altoandinos. Tarapacá, Antofagasta y Atacama, Chile. 22 p.
- Del Hoyo, J.; Elliot, A.; Sargatal, J. 1992. *Handbook of the birds of the world*. Lynx edicions. Barcelona, España. pp 83-91.
- Domic, A. I., Capriles, J. M., Escobar-Torrez, K., Santoro, C. M., & Maldonado, A. (2018). Two thousand years of land-use and vegetation evolution in the Andean

- highlands of northern Chile inferred from pollen and charcoal analyses. *Quaternary*, 1(3), 32. <https://doi.org/10.3390/quat1030032>.
- Figuroa, A., Contreras Leiva, M., Saavedra, B., & Espoz, C. (2016). Chilean wetlands: biodiversity, endemism, and conservation challenges. Springer.
- González, F. (2007). Variabilidad poblacional de los flamencos en el altiplano chileno relacionada con las precipitaciones y la temperatura. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile.
- González E. & Wattleing L. (2001). Three new species of *Hyalella* from Chile (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae). *Hydrobiologia*. 464:175–199. <https://doi.org/10.1023/A:1013961904370>.
- Gudynas, E. (2012). Estado compensador y nuevos extractivismos: las ambivalencias del progresismo sudamericano. *Nueva Sociedad* 237: 128–146.
- Hand, B. K., Flint, C. G., Frissell, C. A., Muhlfield, C. C., Devlin, S. P., Kennedy, B. P., Robert L Crabtree, W Arthur McKee, Gordon Luikart & Stanford, J. A. (2018). A social–ecological perspective for riverscape management in the Columbia River Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(S1), S23-S33. <https://doi.org/10.1002/fee.1752>.
- Hurlbert, S. & Chang, C. (1983). Ornitholimnology effect of grazing by the Andean Flamingo (*Phoenicoparrus andinus*). *Procc. Natl. Acad. Sci USA* v 80: 4766-4769. <https://doi.org/10.1073/pnas.80.15.4766>.
- Hurlbert, S. (2014). Southamerican flamingoes, behaviour, diets and sensuses (inedit manuscript). San Diego State University, San Diego California. 119 pp.
- Kelly, J. M., Scarpino, P., Berry, H., Syvitski, J., & Meybeck, M. (2017). Rivers of the Anthropocene. University of California Press.
- Krstulovic, J. & Roa, C. (1985). Determinación de sílice, biomasa y distribución areal de dos especies del género *Surirella* Turpin 1827 en Lagunas de Salares. Tesis Universidad de Antofagasta. Antofagasta, Chile. 65 p.
- Krutilla V. (1967). Conservation Reconsidered, *The American Economic Review*, Volume 57, Issue 4 (Sep., 1967), pp. 777-786.
- López, M. & Vargas E. (2021). Ecología y economía en proyecciones ambientales espurias para salares altoandinos, en Salares andinos ecología de saberes por la protección de nuestros salares y humedales, pp. 153-161.

- López, M. (1990). Alimentación de flamencos altiplánicos, con énfasis en *Phoenicoparrus andinus* (Phillipi) en el Salar de Carcote, Chile. Actas Primer Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos, San Pedro de Atacama, Chile, 84-89.
- López, M. (1997). Comunidades bentónicas de lagunas altiplánicas y su relación con la actividad trófica. Stgo. Chile 8p. Actas II simposio internacional de estudios altiplánicos Univ. De Chile.
- Marazuela, M. A., Vázquez-Suñé, E., Ayora, C., & García-Gil, A. (2020). Towards more sustainable brine extraction in salt flats: learning from the Salar de Atacama. *Science of the Total Environment*, 703, 135605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135605>.
- Márquez-García M., Vila I., Hinojosa L., Mendez M., Carvajal J. & Sabando M. (2009). Distribution and seasonal fluctuations in the aquatic biodiversity of the southern Altiplano. *Limnologica*. 39, 314–318. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.06.007>.
- Markert, B., Wünschmann, S., & Baltrėnaitė, E. (2012). Innovative observation of the environment. Bioindicators and biomonitors: definitions, strategies and applications. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 20(3), 221-239. <https://doi.org/10.3846/16486897.2011.633338>.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- Molina, V., Eissler, Y., Cornejo, M., Galand, P. E., Dorador, C., Hengst, M., Fernandez, C. & Francois, J. P. (2018). Distribution of greenhouse gases in hyper-arid and arid areas of northern Chile and the contribution of the high-altitude wetland microbiome (Salar de Huasco, Chile). *Antonie van Leeuwenhoek*, 111(8), 1421-1432. <https://doi.org/10.1007/s10482-018-1078-9>.
- Munk, L. A., Hynek, S. A., Bradley, D., & Jochens, H. 2016. Lithium brines: A global perspective. *Reviews in Economic Geology*, 18, 339-365.
- Núñez, P. (1999). Doce Milenios. Una visión Social de Género de la Historia del Norte Grande de Chile. Universidad de Antofagasta, Antofagasta.

- Núñez L, Grosjean M. & Cartajena, I. (2010). Análisis secuencial de los patrones de ocupación humana y explotación de recursos en el desierto de Atacama. Volumen 42, N° 2, 2010. Páginas 363-391 Chungara, Revista de Antropología Chilena.
- Patrick, R. (1968). Diatoms (Bacillariophyceae) from the alimentary tract of *Phoenicoparrus Jamesi* (Sclater). Portilla. Yale Peabody Mus. Of. Nat. History, 49: 3-42.
- Pincheira, B.; Durand D. 2005. Flamencos: Antecedentes generales y su manejo en cautiverio. En: Cría en cautividad de fauna chilena. Ed. Iriarte A.; Tala C.; González B.; Zapata B.; González G.; Maino M. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile. Santiago, Chile. Pp. 215-226.
- Prando, R. (1996). Manual Gestión de la Calidad Ambiental. Editorial Piedra Santa. Guatemala. 184 p.
- Rodríguez, E. (2006). Flamencos Altoandinos en el Norte de Chile: Estado Actual y Plan de Conservación. Corporación Nacional Forestal, CONAF. Antofagasta, Chile.
- Scheihing, R., Labarca, P., Santibañez, P., Asencio, G., Clasing, E., & Nespolo, R. F. (2010). A quantitative survey of the aquatic invertebrate community in the “Monumento natural Salar de Surire” on the Chilean Altiplano. *Journal of Natural History*, 44(47-48), 2917-2928. <https://doi.org/10.1080/00222933.2010.507884>.