



Elaborada y presentada por  
Centro de Estudios del Desarrollo (CED)



en el marco de las líneas de trabajo del



Licitación ID: 609102-4-LE12

31 de Mayo de 2013

## INDICE DE CONTENIDOS

TEMAS	PAGINA
<b>PRESENTACION</b>	<b>4</b>
<b>1. OBJETIVOS DE LA CONSULTORIA</b>	<b>5</b>
1.1 Objetivo general	5
1.2. Objetivos específicos	5
1.3. Productos	
<b>2. CLASIFICACIÓN, DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS HUMEDALES SELECCIONADOS</b>	<b>10</b>
2.1. Clasificación de los humedales en estudio según criterios estructural-funcionales	10
2.2. Clasificación de los sistemas de vegetación azonal hídrica terrestre en los humedales seleccionados	10
<b>3. COMPOSICIÓN BIÓTICA DE LOS HUMEDALES SALAR DE HUASCO Y LAGUNILLAS</b>	<b>17</b>
3.1. Composición de avifauna en los humedales Huasco y Lagunillas	17
3.2. Composición de micromamíferos entre los humedales Huasco y Lagunillas	20
3.3. Composición invertebrados planctónicos entre los humedales Huasco y Lagunillas	22
3.4. Composición florística y estructura de la vegetación en los humedales Huasco y Lagunillas	24
<b>4. ANÁLISIS TENDENCIALES EN LOS HUMEDALES SELECCIONADOS</b>	<b>29</b>
4.1. Análisis de variabilidad en la estructura de los humedales mediante percepción remota	29
4.1.1. Salar del Huasco	32
4.1.2. Lagunillas	35
4.1.3. Proyecciones de cambio	38
4.2. Tendencias climáticas recientes a escala local	38
4.2.1. Pluviosidad y temperatura	38
4.2.2. Tamaño de las lagunas de evaporación	40
4.3. Variabilidad temporal de la composición biótica y su asociación a variables climáticas	42
4.3.1. Aves	43
4.3.2. Microalgas de la columna de agua	46
4.3.3. Invertebrados planctónicos	47
4.3.4. Flora vascular	47
<b>5. ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD PERILACUSTRE Y SU ADAPTACIÓN AL ALTIPLANO ANDINO</b>	<b>51</b>
5.1. Consideraciones previas	52
5.2. Implicancias de los objetivos	53
5.3. Método de adaptación	53
5.3.1. Selección de parámetros	53

5.3.2. Protocolo de evaluación en terreno del IFPCAA	59
5.3.3. Estructura del IFPCAA: Estimación de la funcionalidad de la zona perihumedal	60
5.4. Resultados	61
5.4.1. Parámetros evaluados y analizados	61
5.4.2. Árbol de decisiones y construcción del IFPCAA	67
5.4.3. Resultados del IFPCAA y evaluación de su estimación	69
5.4.4. Aplicación del IFPCAA para comparar el estado funcional de los humedales seleccionados	71
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS</b>	
Anexo 1: Registro de Asistentes y Fotográfico Taller de Lanzamiento	
Anexo 2: Sistematización de Información de los Humedales Seleccionados	
Anexo 3: Fichas Ambientales Humedales Seleccionados	
Anexo 4: Cartografía de la vegetación	
Anexo 5: SIG con la información recabada para la construcción y aplicación del IFPCAA, y los sitios de evaluación de composición biótica.	
Anexo 6: Tablas de las correlaciones entre composición biótica y variables climáticas	
Anexo 7: Registro fotográfico campaña terreno a humedales seleccionados	
Anexo 8: Registro de Asistentes y Fotográfico Taller de Cierre	
Anexo 9: Boletín InfoHumedales	

## PRESENTACIÓN

La complejidad de las relaciones entre el medio natural y el medio humano se expresa en el territorio en función de la oferta de recursos naturales y en las condiciones para su conservación y uso sustentable. Dichas relaciones no son lineales y, por lo tanto, todo esfuerzo por representarlas tiene limitaciones para señalar a cabalidad la realidad. No obstante esta dificultad, es innegable la necesidad de abordar la gestión y seguimiento de los humedales con un enfoque territorial integrado; de lo contrario los esfuerzos de conservación de la biodiversidad en esos ambientes, por ejemplo, no tendrán los resultados esperados en la medida que no se considere la dinámica socioambiental a nivel local y de cuencas.

Asimismo, la disponibilidad, acceso y uso de los recursos hídricos presentarán modificaciones hacia el futuro en el marco del cambio climático, las que se asocian directamente con el patrón de precipitaciones y del régimen de aporte hídrico que sustentan a los humedales. El balance hídrico de las cuencas podría presentar cambios importantes en el futuro, lo que también puede tener implicancias en la distribución espacial y temporal de la biodiversidad, la disponibilidad de agua para usos humanos, y la capacidad de los ecosistemas de sustentar bienes y servicios ambientales. Estas modificaciones aumentan la importancia de prever acciones de gestión estratégica y de seguimiento a diferentes escalas para asegurar el abastecimiento de las poblaciones humanas, la mantención de los ecosistemas de humedales, y la sustentabilidad ambiental de actividades demandantes del recurso hídrico.

En este marco el Centro de Estudios del Desarrollo (CED), en el marco de las líneas de trabajo del Centro de Estudios de Humedales de Pica, pone a disposición de la Subsecretaría del Medio Ambiente y de la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Tarapacá, el Informe Final correspondiente al estudio “Humedales y Cambio Climático en la Región de Tarapacá”. Este estudio precisamente apunta a generar conocimiento respecto de los vínculos entre cambio climático, funcionamiento de los humedales e influencia de las presiones humanas, en sectores de lagunas altoandinas, bajo el contexto de la solicitud instalada en los términos de referencia del trabajo encargado.

El equipo de trabajo estuvo conformado por los profesionales Guillermo Espinoza González (Geógrafo), Carolina Vera Burgos (Bióloga en Recursos Naturales), Pamela Smith Guerra (Geógrafo), Luis Faúndez Yancas (Ingeniero Agrónomo) y David Uribe Rivera (Biólogo). La contraparte técnica del estudio estuvo a cargo de la profesional Roxana Galleguillo Cordero, Encargada Recursos Renovables y Biodiversidad Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Tarapacá.

## 1. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

### 1.1. Objetivo general

Conocer el estado de dos humedales altoandinos a través del análisis del cambio climático en la Región, así como de los antecedentes de estructura y funcionamiento del mismo.

### 1.2. Objetivos específicos

- Proporcionar información que permita el análisis del comportamiento de dos humedales de la Región de Tarapacá en términos de las modificaciones que estos sufren periódicamente, basada en el comportamiento climático de la zona.
- Evaluar la magnitud y velocidad de la pérdida o degradación de un humedal no intervenido por extracciones de agua en la Región de Tarapacá, que permita la comparación con humedales intervenidos.
- Elaborar una propuesta de ficha de índice de funcionalidad aplicable a humedales altoandinos, que permita la obtención de un indicador que establezca el funcionamiento de estos *in situ*.

### 1.3. Productos y principales conclusiones

El trabajo se hizo en base a dos humedales seleccionados, pero su aplicación puede ser ampliada a otros ecosistemas lagunares similares del altiplano. Se elaboró un índice modificado a partir del originalmente considerado por el Ministerio, pero ajustado a las condiciones locales. Con esta propuesta se podrá realizar un programa de seguimiento de los efectos del cambio climático que combina un diseño conceptual, la información disponible y los parámetros que deben ser medidos en el campo. El informe considera la influencia de la variabilidad natural de los ecosistemas y las presiones humanas como variables importantes para despejar potenciales efectos e implicancias del cambio climático.

Las actividades planteadas para la presente asesoría permitieron obtener los siguientes resultados:

- Un documento con los antecedentes del proyecto en términos de las comparaciones de estado entre los humedales y los resultados del estudio.
- Una ficha que permita obtener *in situ* el índice de funcionalidad en Humedales Altoandinos.
- Una base de datos de los humedales estudiados en formato shapefile.
- Utilización del Infohumedales del CEH como documento de difusión masiva con los antecedentes y resultados del estudio.

Para el cumplimiento de los objetivos de la consultoría, se seleccionaron de común acuerdo con la contraparte técnica del estudio los humedales Salar del Huasco y Lagunillas. Se siguieron los siguientes criterios:

- a) Correspondan al mismo tipo de humedales altoandinos (sensu Ahumada & Faúndez, 2009).
- b) Compartan similitudes en su naturaleza, pero que contrasten en su grado de perturbación, dándole causalidad a los cambios observados.
- c) Dispongan de datos meteorológicos o estimaciones para las últimas tres décadas, preferentemente en ambos sitios, o al menos en ambas cuencas estudiadas.
- d) Existan presiones antropogénicas similares en ambos humedales, excepto por la extracción de agua llevada a cabo sólo en el caso seleccionado como intervenido.
- e) Dispongan de antecedentes que faciliten el análisis de la biota.

Las principales conclusiones derivadas del estudio son:

1. De los dos humedales analizados el salar del Huasco cumple con condiciones propicias para el estudio de los efectos de la variabilidad climática sobre la biodiversidad (composición, estructura y función), ya que las presiones antropogénicas, que podrían alterar la respuesta de la biota, son en general bajas, quedando el desafío de separar los efectos de cambio climático de la variabilidad natural. En Lagunillas será más complejo individualizar los efectos del cambio climático dado que a la variabilidad natural dado las presiones antropogénicas existentes.
2. No existe disponibilidad de monitoreos estandarizados y periódicos enfocados en los efectos del cambio climático para ninguno de los humedales seleccionados. Lo que limita el análisis de la composición biótica, al establecer correlatos sin poder atribuir causas directas para la mayoría de los taxones, por lo que la Ficha 3 podría constituir una guía a monitoreos enfocados al estudio de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad (ver Capítulo 4).
3. En adelante sería de utilidad analizar variaciones derivadas de monitoreos estandarizados y periódicos, se recomienda además distinguir entre ecosistemas con distintos grados de dependencia de fuentes hídricas, diferenciando aquellas que dependen de fuentes hídricas (vertientes y afloramientos difusos) de aquellos que dependen de aportes estacionales relacionados a precipitaciones.
4. El IFPCAA presenta un alto valor predictivo, por lo tanto es útil en la estimación de la funcionalidad de unidades homogéneas de humedales asociados a cuerpos de agua del altiplano andino.
5. Finalmente se recomienda la evaluación de la congruencia entre la opinión experta de la funcionalidad aparente (variable respuesta) y el valor estimado a través del IFPCAA para humedales que no sean los seleccionados.

Los contenidos del informe se desagregan en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1. Contenidos del informe**

<b>CONTENIDOS</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>JUSTIFICACION</b>
<p><b>1. Clasificación, delimitación y caracterización de los humedales seleccionados</b></p>	<p>1.1. Uso de criterios estructural-funcionales</p>	<p>Para la selección de los humedales a estudiar, se presento una lista de humedales plausibles a comparar para el cumplimiento de los objetivos del estudio a actores claves y a la contraparte técnica (ver <b>Anexo 1</b>).</p> <p>Se recopiló y sistematizó información de los dos humedales obteniéndose una base de datos actualizada y sistematizada en función del análisis de información relevante (ver <b>Anexo 2</b>).</p> <p>Con la información recopilada se elaboraron Fichas Ambientales de cada humedal (ver <b>Anexo 3</b>).</p> <p>Con el propósito de realizar un análisis comparativo del estado actual y la susceptibilidad de variaciones en la funcionalidad de estos ante posibles alteraciones de las condiciones climáticas, se realizó una caracterización de los sistemas de vegetación azonal hídrica.</p>
<p><b>2. Composición biótica de los humedales Salar de Huasco y Lagunillas</b></p>	<p>2.1. Composición de avifauna, micromamíferos e invertebrados planctónicos                      2.2. Composición florística y estructura de la vegetación</p>	<p>Los análisis realizados para fauna y flora se llevaron a cabo en base a la información disponible y sistematizada, complementados con datos de una campaña de terreno.</p>
<p><b>3. Análisis tendencias en los humedales seleccionados</b></p>	<p>3.1. Análisis de variabilidad en la estructura de los humedales mediante percepción remota                      3.2. Tendencias climáticas recientes a escala local con base en registros                      3.3. Variabilidad temporal de la composición biótica y su asociación a variables climáticas</p>	<p>Con la finalidad de estudiar el comportamiento y estado de los humedales seleccionados en un periodo de tiempo definido y proyectar cambios a futuro. Se realizó un análisis de la información sistematizada y de imágenes</p>

CONTENIDOS	CARACTERISTICAS	JUSTIFICACION
		satélites Landsat en los años 1989-1999-2011. Además, se analizaron las tendencias climáticas recientes y su posible influencia en el tamaño del espejo de agua y de la biota de los humedales.
<b>4. Índice de funcionalidad perilacustre y su adaptación al altiplano andino</b>	4.1. Descripción del método de adaptación del índice 4.2. Selección de parámetros específicos 4.3. Protocolo de evaluación en terreno del IFPCAA 4.4. Estructura del IFPCAA: Estimación de la funcionalidad de la zona perihumedal 4.5. Aplicación del IFPCAA para comparar el estado funcional de los humedales seleccionados	Se propone una adaptación del IFL de relativamente fácil aplicación e interpretación, que optimice la información cuantitativa o cualitativa disponible para llevar a cabo una evaluación rápida y efectiva del estado ecológico de los humedales del altiplano andino. Además, se agrega un nuevo set de parámetros, con el objeto de diseñar un plan de seguimiento que ponga foco en los potenciales efectos del cambio climático en los humedales del altiplano andino. Se determinaron unidades homogéneas en cada humedal y se aplicaron parámetros de caracterización, funcionalidad aparente y para monitorear efectos ecológicos del cambio climático. El ajuste del método original se debió a la necesidad de adaptarlo a las condiciones de los humedales altoandinos
<b>5. SIG con la información recabada para la construcción y aplicación del IFPCAA, y los sitios de evaluación de composición biótica.</b>	5.1. Construcción de base de datos SIG	Se generó una base de datos de respaldo digital de toda la información y del SIG para ser visualizada en formatos shapefile (ArcGis o Idrisi) y Kmz (Google earth). La información entregada corresponde a información vegetal, unidades homogéneas, funcionalidad, y análisis multitemporal para cada humedal ver <b>Anexo 5</b> .

<b>CONTENIDOS</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>JUSTIFICACION</b>
<b>6. Ejecución de plan de difusión</b>	6.1. Difusión de los resultados del estudio al Comité Regional de Humedales por medio de la ejecución de un taller. Difusión de los resultados del estudio por medio del diseño y distribución de un Boletín resumen.	Difusión de los principales antecedentes y resultados del estudio, mediante el uso del boletín InfoHumedales del CEH.

## 2. CLASIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE HUMEDALES SELECCIONADOS

### 2.1. Clasificación de los humedales en estudio según criterios estructural-funcionales

Con el propósito de realizar un análisis comparativo del estado actual y la susceptibilidad de variaciones en la funcionalidad de estos ambientes de humedal ante posibles alteraciones de las condiciones climáticas, a continuación se presenta la caracterización de los sistemas de vegetación azonal hídrica del Salar del Huasco y de Lagunillas (laguna Huantija). Estos antecedentes se basan en la información disponible de ambos humedales, la que fue complementada con una campaña de terreno “ad hoc” en el período de máxima expresión biológica en la ecorregión altiplánica.

De acuerdo al esquema clasificatorio de humedales chilenos según ecotipos y clases derivadas (CEA, 2006), principalmente según criterios estructurales y funcionales, ambos humedales escogidos se incluyen dentro del **ecotipo** humedales continentales, en la **clase** que reúne a aquellos denominados de “evaporación”. En los dos casos se presenta el **tipo** “cubeta” en las lagunas de evaporación de ambos sistemas, el tipo “canal” en los cursos de escorrentía que van desde las vertientes hasta las lagunas de evaporación, especialmente cuando las surgencias son individuales y de mayor caudal, y el tipo “plano” en aquellos sectores depresionales sin microrelieve, especialmente laterales y/o frontales a conos de deyección o bien en sectores laterales a sistemas de vertientes o afloramientos hídricos difusos o de bajo caudal.

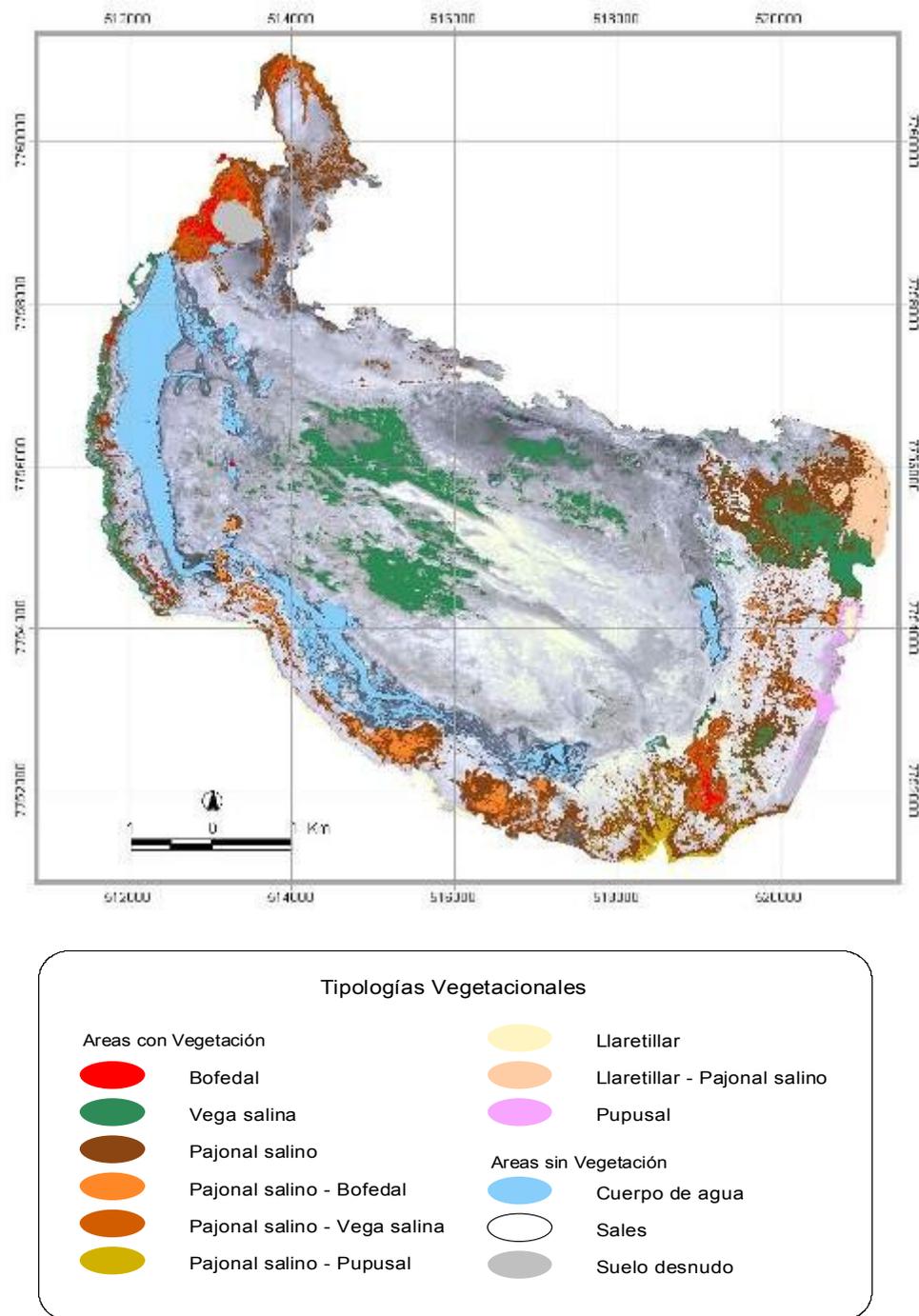
Los humedales fueron seleccionados de común acuerdo con la contraparte técnica de la SEREMIA de Medio Ambiente y el Comité Regional de Humedales de Tarapacá.

### 2.2. Clasificación de los sistemas de vegetación azonal hídrica terrestre en los humedales seleccionados

#### 2.2.1. Salar del Huasco

Este humedal cuenta con una detallada delimitación de las formaciones de vegetación azonal hídrica terrestre que se desarrollan en sus riberas además de una descripción de cada una de ellas y su caracterización según la fisonomía del ensamble florístico y la morfología de las especies dominantes (Faúndez y Escobar, 2005) (ver Figura 2.1). Este estudio se realizó mediante análisis radiométrico de una imagen de alta resolución con apoyo de descripciones de terreno y la posterior clasificación en categorías correspondientes a diferentes formaciones.

El resumen de superficies asignadas a cada categoría, presentada en la Figura 2.1, se entrega en la Tabla 2.1.



**Figura 2.1.** Formaciones de vegetación azonal hídrica terrestre (SVATH) en el Salar del Huasco (validación en terreno: diciembre 2005, sistema de referencia UTM, WGS84, H-19).

**Tabla 2.1.** Superficies de cada formación de vegetación azonal hídrica terrestre, según detección y delimitación en imagen *Quick Bird*, en el humedal de Salar del Huasco, Tarapacá. Diciembre 2005.

Tipo de Formación	Superficie (ha)
Bofedal	27,60
Llaretillar	19,20
Llaretillar - Pajonal salino	52,77
Pajonal salino	463,07
Pajonal salino –Bofedal	53,14
Pajonal salino – Pupusal	27,68
Pajonal salino - Vega salina	64,11
Pupusal	21,31
Vega salina	373,19
<b>Total Vegetación Azonal Salar</b>	<b>1102,08</b>
Sales	3453,05
Cuerpo de agua	318,39
Suelo desnudo	23,54
<b>Superficie Total evaluada</b>	<b>4897,06</b>

Fuente: Faúndez y Escobar, 2007.

Se aprecia que la mayor proporción de vegetación asociada a este humedal corresponde a formaciones en donde la componente salina es determinante en la estructura y composición de estos ensambles.

Las formaciones vegetacionales que se presentan en el salar corresponden básicamente a cinco tipos, además de las combinaciones entre ellos. Se encuentran los siguientes tipos, según Faúndez y Escobar, 2007:

- a. **Bofedal:** corresponde a aquellas formaciones vegetacionales que presentan un cubrimiento vegetal superior al 75% y sus especies dominantes corresponden a *Oxychloe andina* o *Zameioscirpus atacamesis* – *Deyeuxia curvula*. Se encuentran preferentemente en los márgenes o bordes de cuerpos o cursos de agua superficial, ocupando la porción central de los elementos de mayor vegetación activa en el salar.
- b. **Vega salina:** son todas aquellas formaciones vegetacionales que presentan como especie dominante a *Carexmisera*, en donde la estratificación vertical muestra una altura que no supera los 10 centímetros, con un cubrimiento entre el 10 y 90 por ciento de la superficie.
- c. **Pajonal salino:** lo constituyen aquellas formaciones vegetacionales compuestas principalmente por especies de gramíneas cespitosas perennes entre las que destacan *Festuca deserticola*, *Festuca nardifolia* y *Deyeuxia curvula*, entre las especies que marcan la fisonomía de las distintas formaciones. Los valores de cubrimiento fluctúan entre un 1 al 25 por ciento en la mayoría de ellas encontrándose excepcionalmente algunos sectores en los cuales el cubrimiento

de la vegetación puede alcanzar por sobre el 75% en aquellas formaciones de *Festuca nardifolia* y *Puccinellia frigida*.

- d. **Pupusal:** se agrupan en esta tipología todas aquellas formaciones que presentan como especie dominante *Werneria incisa*, con un cubrimiento que varía entre un 5 a un 50 por ciento. Estas formaciones se ubican preferentemente en los márgenes del salar.
- e. **Llaretillar:** corresponde a la una tipología de especies arbustivas detectadas en el salar, marcada fisionómicamente por la especie *Frankenia triandra*, la cual se presenta un aspecto de placa o cojín aplanado que se dispersan sobre la superficie del suelo llegando a cubrir un entre un 5 a 50 por ciento del mismo.

El resto de las formaciones de vegetación, corresponden a combinaciones de estos tipos, conformando cuadros más complejos que, debido a su homogeneidad espacial, no es posible separarlos en tipologías distintas. De esta manera se pueden encontrar las siguientes combinaciones: Pajonal salino – Bofedal; Pajonal salino – Pupusal; Pajonal Salino – Vega salina; y Llaretillar – Pajonal salino. El detalle de la formación vegetal y especies dominantes correspondientes a cada una de estas tipologías se presenta en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Formación vegetal y especies dominantes correspondientes a cada una de las tipologías vegetacionales presentes en el Salar del Huasco, Tarapacá.

Tipo de Formación Vegetal	Formación Vegetal*	Especies Dominantes*
Bofedal	H <sub>6</sub>	oa
	H <sub>7</sub>	za dc
Vega salina	H <sub>3</sub>	cm wi
	H <sub>5</sub>	cm pf fn
	H <sub>6</sub>	cm pr pf
Pajonal salino	H <sub>1</sub> H <sub>2</sub>	fd dc / cm
		fn / dc
	H <sub>2</sub>	dc wi
	H <sub>3</sub>	dc
		fd
	H <sub>6</sub>	fn pf
Pajonal salino - Bofedal	H <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	fn / cm za
Pajonal salino - Pupusal	H <sub>4</sub>	dc wi
Pajonal salino - Vega salina	H <sub>4</sub> H <sub>3</sub>	fn / cm
	H <sub>4</sub> H <sub>1</sub>	dc / cm
Llaretillar - Pajonal salino	LB <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	Ft / dc cm wi
Llaretillar	LB <sub>2</sub>	Ft
	LB <sub>4</sub>	Ft
Pupusal	H <sub>2</sub>	wi

Para interpretar los códigos de Formación vegetal y Especies dominantes, ver Tabla 2.3.

**Tabla 2.3.** Códigos para interpretación de tipos de formación vegetal y especies dominantes.

Tipo	Código	Especie	Leñoso Bajo (LB)		Herbáceo (H)		Índice de Cubrimiento (n)		
			Símbolo	Altura (cm)	Símbolo	Altura (cm)	Índice (n)	Cubrimiento (%)	Densidad
Leñoso Bajo	Pt	Frankenia triandra	□	< 5	H	< 5	1	1 – 5	Muy escaso
Herbáceo	cm	Carex misera	▬	5 – 25	H	5 – 25	2	5 – 10	Escaso
	dc	Deyeuxia curvula	▬	25 – 50	H	25 – 50	3	10 – 25	Muy Claro
	fd	Festuca deserticola	▬	50 – 100	H	50 – 100	4	25 – 30	Claro
	fn	Festuca nardifolia	▬	100 – 200	H	100 – 200	5	50 – 75	Poco denso
	oa	Oxychloe andina	▬	> 200	H	> 200	6	75 – 90	Denso
	pf	Puccinellia frigida					7	90 – 100	Muy denso
	wi	Werneria incisa							
	za	Zameio scirpus atacamensis							

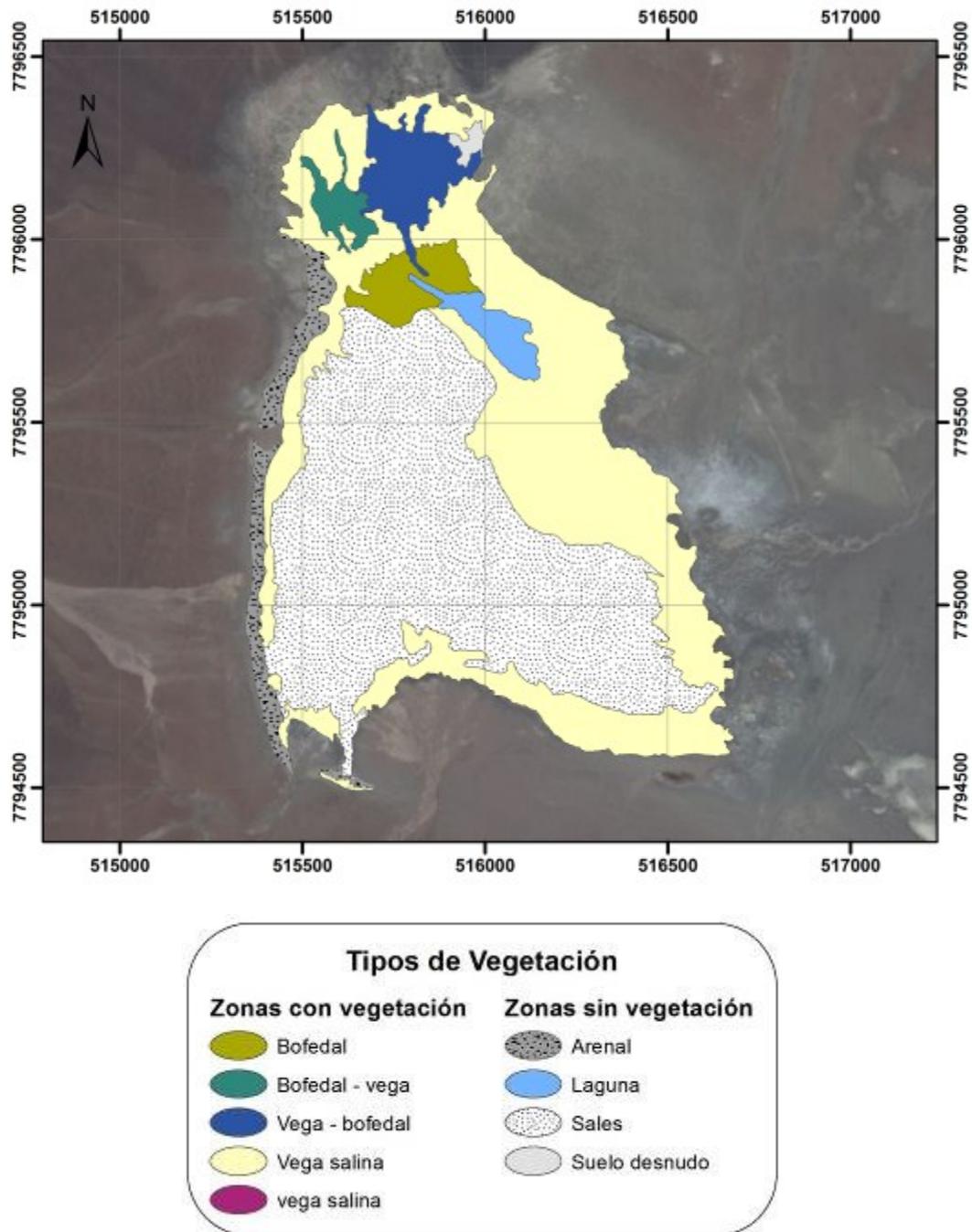
De este modo, se aprecia una alta diversidad de ensamblajes florísticos, los cuales dan cuenta de una diversidad de factores determinantes de ellos: balance hídrico y su dinámica, salinidad y tipo de sustrato.

### 2.2.2. Lagunillas

Para este humedal, hasta la fecha no se cuenta con un estudio sobre la vegetación azonal hídrica terrestre que se desarrolla en sus riberas, existiendo solo puntos con presencia y participación relativa de especies vegetales vasculares, los cuales están asociados a los seguimientos establecidos por la autoridad ambiental para evaluar cambios en este componente producto de la actividad industrial a la cual está afecto este sistema (BHP Billiton, 2012).

Para suplir esta deficiencia, se procedió a efectuar una interpretación en pantalla de la imagen de alta resolución (2006), disponible en la plataforma *Google Earth*, discriminando según los patrones de textura y color que, en gran medida, responden a gradientes de hidromorfismo. Así se clasificaron los polígonos resultantes en función de los antecedentes de composición florística disponibles. Se hace notar que la (*Datum*) georreferencia de esta información no aparece citada en los informes respectivos (BHP Billiton, 2012) y debió ser probada, determinando que corresponden al sistema PSAD 56. Luego se transformó a WGS84 para que resultara concordante con el resto de la información utilizada.

El resultado de esta clasificación preliminar, base para efectuar el levantamiento de terreno, imprescindible para este humedal, se presenta en la Figura 2.3. El resumen de superficies asociadas a cada uno de los tipos de formación de vegetación establecidos se presenta en la Tabla 2.4.



**Figura 2.3** Formaciones de vegetación azonal hídrica terrestre (SVATH) en el humedal de Lagunillas (sistema de referencia UTM, WGS84, H-19). Fuente: elaboración propia a partir de interpretación en pantalla de imagen disponible en *Google Earth*.

**Tabla 2.4.** Formación vegetal y especies dominantes correspondientes a cada una de las tipologías vegetacionales presentes en el humedal de Lagunillas, Tarapacá.

<b>Tipo de Formación</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Bofedal	4,432
Bofedal - vega	2,329
Vega salina	62,141
Vega - bofedal	6,579
<b>Total vegetación azonal</b>	<b>75,481</b>
Sales	73,667
Laguna	3,020
Arenal	6,531
Suelo desnudo	0,626
<b>Total superficie evaluada</b>	<b>159,324</b>

La principal diferencia con el sistema de vegetación azonal hídrica del Salar del Huasco, corresponde a la dimensión total involucrada, la cual en Lagunillas es varias veces menor, junto con una mayor homogeneidad de la estructura de la vegetación azonal hídrica. Además esta vegetación está, supuestamente, en recuperación luego de un proceso de senescencia catastrófico, ya sea por efecto de una inundación por un largo período o bien por el abatimiento del acuífero producto de las captaciones hídricas a que está sometido este sistema desde 1994.

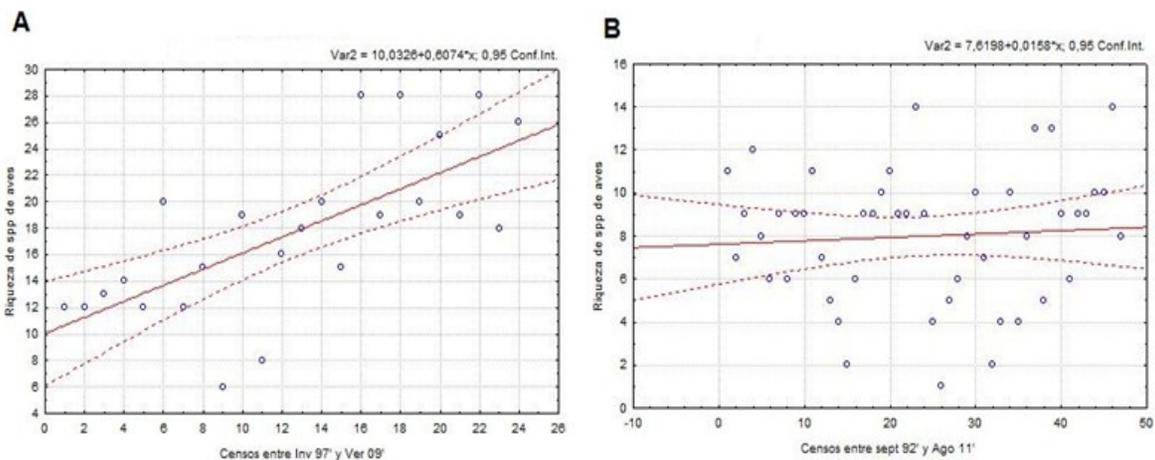
### 3. COMPOSICIÓN BIÓTICA DE LOS HUMEDALES SALAR DE HUASCO Y LAGUNILLAS

Los análisis del presente capítulo se llevaron a cabo utilizando datos colectados en las campañas de monitoreo del medio biótico en los Humedales de Laguna de Huasco y Lagunillas, levantados entre 1997 y 2009 por el Centro de Ecología Aplicada, encargado por Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi SCM para el caso del Salar de Huasco (CEA 2009); y entre 1992 y la actualidad por el Centro de Investigación del Medio Ambiente (CENIMA), Universidad Arturo Prat, encargado por la minera Cerro Colorado (BHP Billington), para el caso del sector Lagunillas (BHP Billington, 2012). En el primer estudio mencionado sólo se utilizaron datos del monitoreo de la avifauna, mientras que en el segundo se utilizaron tanto la avifauna como los invertebrados planctónicos y las microalgas de la columna de agua. Estos antecedentes fueron complementados con datos de terreno levantados entre el 8 y 12 de mayo de 2013, por parte del Centro de Estudios de Humedales (CEH) en el marco de la consultoría.

#### 3.1. Composición de avifauna en los humedales Salar de Huasco y Lagunillas

##### 3.1.1. Riqueza de especies de aves

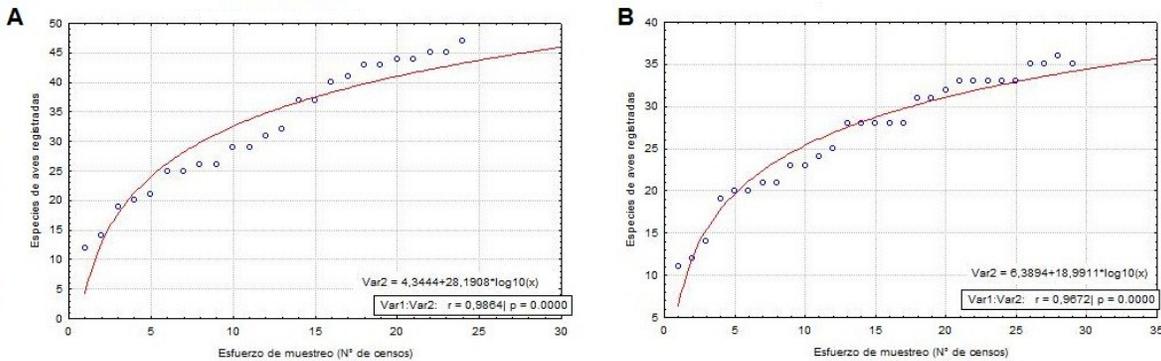
La caracterización de una comunidad biótica es función del esfuerzo de muestreo y del nivel de conocimiento de la biota presente. El número de especies registradas en cada muestra usualmente aumenta debido a que el observador mejora su capacidad de detectar especies poco detectables. El número de especies de aves registradas en cada censo en el humedal Huasco aumenta paulatinamente, probablemente debido al nivel de entrenamiento del observador (Figura 3.1); sin embargo, para el sector de Lagunillas esta tendencia no se repite, mostrando por el contrario una variabilidad mucho mayor en la riqueza de especies registradas, lo cual debe interpretarse con cautela (Figura 3.1.1.1). Carpenter & Brock (2006) argumentan que aumentos en la variabilidad de la función o estructura de una comunidad pueden ser indicadores de cambios en la comunidad, debiéndose interpretar como señales de alerta incluso en sistemas con dinámicas poco conocidas.



**Figura 3.1.** Riqueza de especies de aves encontrada en cada uno de los censos realizados en A: Salar de Huasco, y B: Lagunillas.

El número de especies registradas para cada comunidad aumenta a medida que se llevan a cabo los censos, lo cual da cuenta de la relación riqueza de especies y esfuerzo de muestreo. Esto se aprecia en

las curvas de acumulación de especies, las cuales se ajustan a la función logarítmica ( $p < 0,01$ ) tanto para las comunidades de aves del sector Huasco como para Lagunillas (Figura 3.2).



**Figura 3.2.** Curvas de acumulación de especies de aves en los censos de A: Salar de Huasco, y B: Lagunillas.

Los monitoreos llevados a cabo fueron realizados en censos periódicos de aves, con esfuerzos de muestreo comparables, lo cual permite contrastar la riqueza de especies de ambas comunidades. Para esto, se estimó el intervalo de confianza (95%) de la riqueza real de especies de aves de cada comunidad extrapolándola mediante el estimador Jackknife1 (Colwell & Coddington, 1994). La riqueza de especies observada en Huasco (47 entre 24 censos) fue mayor que en Lagunillas (36 en 28 censos), lo cual se refleja en una diferencia significativa en la riqueza real estimada de ambas comunidades ( $\text{Huasco}_{IC95} = 53,45-55,88 > \text{Lagunillas}_{IC95} = 43,63-45,73$ ).

### 3.1.2. Diversidad de aves ( $H'$ )

La diversidad de aves registrada en cada censo se calculó mediante el índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ) (Pielou, 1969). Para contrastar la diversidad de ambas comunidades se llevó a cabo un ANDEVA de una vía, el cual indica que, en promedio, la diversidad de aves de la comunidad del Salar de Huasco es significativamente menor que la del humedal de Lagunillas ( $H'$  promedio Huasco = 1,18,  $\sigma^2 = 0,14$ ;  $H'$  promedio Lagunillas = 1,46,  $\sigma^2 = 0,43$ ; ANOVA de una vía:  $F = 10,63$ ;  $df = 52$ ;  $P < 0,03$ ). Esta diferencia es explicada por la enorme abundancia de flamencos y otras aves acuáticas, lo cual será discutido en el siguiente punto.

### 3.1.3. Índice de Equitatividad de la comunidad de aves ( $J'$ )

Una falencia del índice de diversidad de Shannon es que supone que las comunidades presentan abundancias relativas similares entre las especies que la componen (Hill, 1973). Como este no es el caso, se llevó a cabo un análisis de equitatividad que contrasta la composición de ambas comunidades. Se calculó el índice de equitatividad de Shannon ( $J'$ ) para cada censo, promediando los valores de cada comunidad y contrastándolos mediante un ANDEVA de una vía. Los resultados indican que la equitatividad de la comunidad de aves del Salar de Huasco es menor que la de la Lagunillas ( $J'$  promedio Huasco = 0,42,  $\sigma^2 = 0,01$ ;  $J'$  promedio Lagunillas = 0,71,  $\sigma^2 = 0,03$ ; ANDEVA de una vía:  $F = 47,78$ ;  $df = 52$ ;  $P < 0,001$ ). Esto indica que la comunidad de Huasco presenta una mayor dominancia de las especies abundantes (i.e., flamencos y otras aves acuáticas), y a la vez una mayor proporción de las especies que la componen son raras, lo cual supone una mayor vulnerabilidad de esta comunidad, ya que las especies poco abundantes o raras, son las que tienen mayor probabilidad de extinción frente a perturbaciones.

### 3.1.4. Recambio temporal de especies de aves

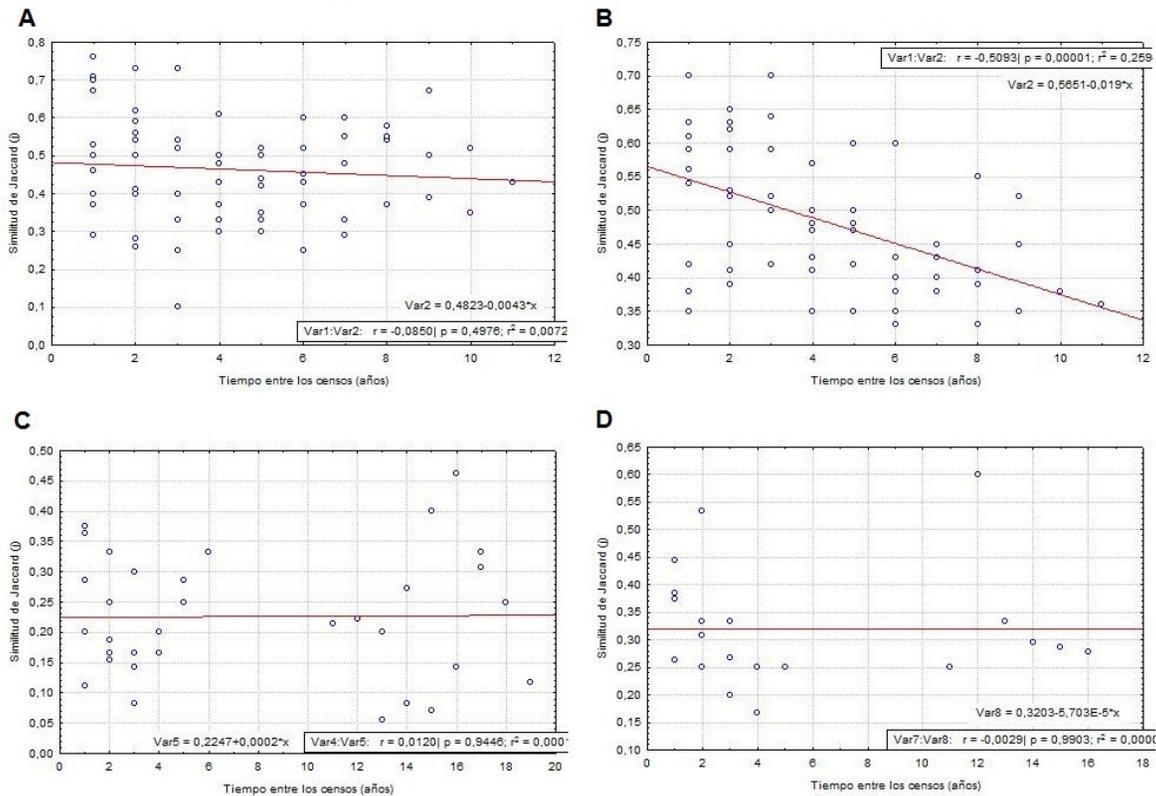
Las comunidades biológicas son por naturaleza dinámicas. Los cambios en la composición biótica pueden ser evaluados a través de un análisis de recambio temporal de especies. Éste se basa en índices de similitud de especies, comparando las comunidades de un mismo sitio de estudio a distintos tiempos, suponiendo que si existe recambio de especies en el tiempo, entonces a mayores intervalos de tiempo entre los muestreos menor similitud presentarán las comunidades. Al graficarlo, un recambio significativo de especies presentará una correlación lineal negativa entre el índice de similitud y el periodo de tiempo entre ambos muestreos.

Se utilizaron las aves como grupo de estudio debido a que son el único taxón en que se han registrado y están disponibles los datos periódicos de abundancias por especie. Se calculó el índice de similitud de Jaccard para cada par de censos, tanto para Lagunillas como para el Salar de Huasco, graficándolos en función del tiempo para evaluar el recambio temporal dentro de ambas comunidades. Se separaron los muestreos entre los de verano y de invierno, debido a la alta variabilidad intra-anual de estas comunidades de aves.

**Tabla 3.1.** Matriz de similitud a través del tiempo para la comunidad de aves del Salar de Huasco. Sobre la diagonal se muestran los índices de similitud de Jaccard (j) entre censos realizados en verano, mientras que bajo la diagonal corresponden a censos de invierno.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1997		0,63	0,45	0,59	0,35	0,47	0,33	0,38	0,33	0,35	0,38	0,36
1998	0,37		0,7	0,53	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,39	0,45	0,38
1999	0,4	0,53		0,59	0,62	0,5	0,48	0,6	0,6	0,45	0,55	0,52
2000	0,4	0,56	0,71		0,42	0,63	0,52	0,48	0,48	0,43	0,43	0,41
2001	0,61	0,25	0,5	0,29		0,42	0,39	0,42	0,47	0,42	0,38	0,45
2002	0,44	0,37	0,54	0,54	0,4		0,38	0,52	0,52	0,41	0,42	0,35
2003	0,43	0,33	0,43	0,4	0,26	0,37		0,35	0,41	0,5	0,43	0,35
2004	0,29	0,45	0,42	0,5	0,1	0,28	0,5		0,7	0,62	0,7	0,57
2005	0,37	0,48	0,6	0,52	0,3	0,33	0,41	0,46		0,56	0,65	0,64
2006	0,39	0,54	0,6	0,52	0,3	0,33	0,52	0,59	0,67		0,61	0,59
2007	0,35	0,5	0,55	0,55	0,25	0,35	0,48	0,54	0,62	0,7		0,54
2008	0,43	0,52	0,67	0,58	0,33	0,37	0,5	0,5	0,73	0,73	0,76	

El análisis de recambio temporal de especies muestra que sólo la comunidad de aves registrada en los censos de verano en el Salar de Huasco presenta un recambio significativo en las especies registradas (Figura 3.3). Este fuerte recambio podría deberse a la llegada de nuevas especies, lo cual es congruente con el aumento paulatino de especies registradas en cada censo (ver Figura 3.1 A).



**Figura 3.3.** Gráficos de recambio temporal de especies de Aves para las comunidades de Lagunillas y Huasco. A: Recambio temporal en la comunidad de aves de Huasco utilizando los censos de invierno; B: Recambio temporal en la comunidad de aves de Huasco utilizando los censos de verano; C: Recambio temporal en la comunidad de aves de Lagunillas utilizando los censos de invierno; D: Recambio temporal en la comunidad de aves de Lagunillas utilizando los censos de verano. La única comunidad que presenta un recambio temporal significativo es la de aves de verano del Salar de Huasco, en que se observa una clara disminución de la similitud a medida que el tiempo entre los censos aumenta (Correlación lineal de Pearson:  $p < 0,01$ ;  $R^2 = 0,259$ ).

### 3.2. Composición de micromamíferos entre los humedales Huasco y Lagunillas

Entre el 8 y el 12 de mayo de 2013 y como parte de la presente consultoría, se llevó a cabo un muestreo de micromamíferos, consistente en tres grillas de 40X90 m (50 trampas Sherman en cada una), dispuestas en diferentes ambientes representativos de cada humedal. El esfuerzo de muestreo fue de 45 horas continuas por sitio de estudio (incluyendo dos noches), lo cual totaliza 300 trampas-día por sitio de estudio. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.2. El éxito de captura fue de 4% para el Salar de Huasco (12 capturas en un esfuerzo de 300 trampas-día) y 3% para Lagunillas (9 capturas en un esfuerzo de 300 trampas-día). Cabe destacar que en Huasco una de las grillas no obtuvo capturas. Se instaló en una zona de pastoreo intensivo contiguo a la vertiente norte, dominada por tola con escasa cobertura, suelos arenosos y pendiente suave. A pesar de no registrar capturas, se registraron madrigueras activas y heces en sus proximidades, por lo que probablemente el esfuerzo de muestreo fue insuficiente para registrar densidades poblacionales. Este problema se extiende a todos los sitios de muestreo, por lo que como primera recomendación se propone aumentar el esfuerzo para estudios posteriores a por lo menos 4 días continuos por sitio de muestreo.

**Tabla 3.2.** Micromamíferos presentes en los humedales seleccionados.

Micromamíferos	Lagunillas			Salar de Huasco		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
Riqueza de especies (S)	1	2	3	1	2	0
Abundancia total (N)	1	3	3	4	5	0
capturas totales	2	4	3	6	6	0
<b>individuos capturados</b>						
<i>Phyllotis sp*</i>	1	0	1	0	2	0
<i>Akodon albiventer</i>	0	2	1	0	0	0
<i>Abrothrix andinus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Eligmodontia puerulus</i>	0	0	1	4	3	0
<b>abundancias relativas</b>						
<i>Phyllotis sp*</i>	1	0	0.33	0	0.4	0
<i>Akodon albiventer</i>	0	0.67	0.33	0	0	0
<i>Abrothrix andinus</i>	0	0.33	0	0	0	0
<i>Eligmodontia puerulus</i>	0	0	0.33	1	0.6	0
Densidad total (ind/ha)	2	6	6	8	10	0
<b>Promedios</b>	$\bar{X}$	DE	N	$\bar{X}$	DE	N
Densidad promedio (ind/ha)	4.7	2.3	3	6.0	5.3	3
S promedio	2.0	1.0	3	0.7	1.2	3
N promedio	2.3	1.2	3	0.0	0.0	3

\* Las especies del orden *Phyllotis* no pudieron identificarse debido a que caracteres diagnósticos corresponden a anatomía craneal y de molares, para lo cual se requiere colectar al individuo. Las especies más probables corresponden a *Phyllotis magister* para el Salar de Huasco y *Phyllotis osgoodii* para Lagunillas (basados en registros anteriores). Otras especies probablemente distribuidas en los sitios de estudio son *Phyllotis xanthopygus* y *Phyllotis limatus*.

No obstante las bajas capturas, se desprenden dos observaciones: la primera es una mayor riqueza de especies en Lagunillas respecto del Salar del Huasco; sin embargo, las diferencias no son estadísticamente significativas (ANDEVA de una vía, g.l.=5; F = 1,5; p = 0,28). La segunda observación es que la abundancia es mayor en el Salar de Huasco que en Lagunillas, pero al igual que con la riqueza, las diferencias observadas no son estadísticamente significativas (ANDEVA de una vía, g.l.=5; F = 0,16; p = 0,71). El poder estadístico es insuficiente para demostrar diferencias significativas en estas tendencias, por lo que deberían ponerse a prueba a través de un estudio detallado de las comunidades de micromamíferos del Salar de Huasco y Lagunillas.

### 3.3. Composición de invertebrados planctónicos entre los humedales Huasco y Lagunillas

Se seleccionaron 3 sitios de muestreo dentro de las lagunas de evaporación y 3 en aguas semiestancadas de las vertientes asociadas a ambos humedales, seleccionando zonas representativas de los distintos hábitats. En cada sitio se tomaron 3 muestras de 1 litro de agua (excepto en la laguna de evaporación Lagunillas, en que se tomaron 6 muestras para el sitio L3) y se filtraron, mediante un tamiz de 300 y otro de 75  $\mu\text{m}$ , totalizando 39 muestras. El material filtrado fue fijado y almacenado en etanol al 75% y analizado en laboratorio en Santiago (Facultad de Ciencias, Universidad de Chile). Cada muestra fue vaciada en una placa petri, se separaron los macroinvertebrados visibles a simple vista del sustrato y fueron traspasados a otra placa junto con una alícuota de 5 ml, extraída después de homogeneizar la muestra para ser observada bajo un estereomicroscopio. Se realizó la identificación hasta el mayor nivel taxonómico posible con ayuda de las siguientes guías y claves dicotómicas: Fernández & Dominguez (2001); Confederación hidrográfica del Ebro (2011); Prat, Acosta, Villamarín & Rieradevall (2011).

Los resultados muestran 15 taxa, repartidos en 9 grupos (nivel de Orden o Phylum, ver Tabla 3.3) en ambos humedales. Los hábitats laguna de evaporación en el Salar del Huasco presentó una riqueza de 5 taxa, mientras que la laguna de evaporación de Lagunillas presentó 9 de los 15 taxa registrados en todo el estudio. Los hábitats de vertiente en el Salar de Huasco registraron en total 12 de los 15 taxones, mientras que las vertientes de Lagunillas registraron los 15 taxa. Con esta información se puede concluir que tanto la laguna como las vertientes del humedal Lagunillas presentan una mayor diversidad de invertebrados planctónicos respecto del humedal Salar de Huasco. Estas diferencias se reflejan en que el promedio de riqueza de taxa en la laguna Lagunillas es significativamente mayor que el promedio de taxa registrados en la laguna del Salar de Huasco (ANDEVA,  $gl = 5$ ;  $F = 15,12$ ;  $p < 0,02$ ), lo cual podría explicarse por variables no exploradas en el presente estudio, como las condiciones fisicoquímicas del agua (por ejemplo, salinidad), o por la hipótesis de perturbación intermedia (Connell 1978). Si bien la abundancia total de invertebrados planctónicos también es mayor en la laguna Lagunillas, las diferencias no son significativas (ANDEVA,  $gl = 5$ ;  $F = 1,24$ ;  $p = 0,32$ ). Las diferencias en riqueza de taxa registradas en vertientes de Lagunillas y Huasco no son estadísticamente significativas (ANDEVA,  $gl = 5$ ;  $F = 1,29$ ;  $p = 0,32$ ). Lo mismo se observa para la abundancia total de invertebrados planctónicos al comparar vertientes del Salar del Huasco y de Lagunillas (ANDEVA,  $gl = 5$ ;  $F = 2,04$ ;  $p = 0,22$ ).

**Tabla 3.3.** Abundancia (promedio  $\pm$  error estándar) de macroinvertebrados acuáticos de las lagunas y vertientes de los humedales “Lagunillas” y “Salar del Huasco” (individuos/1000 ml). En negritas los cinco grupos taxonómicos principales de agrupamiento. Abreviaciones de los niveles taxonómicos: Ph. = Phylum; Sph. = Subphylum; Cl. = Clase; Scl. = Subclase; O. = Orden; So. = Suborden; F. = Familia.

Taxa	Huasco						Lagunilla					
	L1	L2	L3	V1	V2	V3	L1	L2	L3	V1	V2	V3
<b>Cl. Arachnida</b>												
Scl. Acari				400 $\pm$ 115.4	50 $\pm$ 50						5 $\pm$ 5	66.7 $\pm$ 66.7
<b>Sph. Crustacea</b>												
So. Cladocera	466.6 $\pm$ 571.5			1133.3 $\pm$ 635.9	250 $\pm$ 189.3	533.3 $\pm$ 230.9	743.3 $\pm$ 653.6	293.3 $\pm$ 118.5	236.7 $\pm$ 107.1	400 $\pm$ 400	140 $\pm$ 86.8	600 $\pm$ 416.3
O. Amphipoda		133.3 $\pm$ 133.3		266.7 $\pm$ 266.7	100 $\pm$ 57.7		13.3 $\pm$ 13.3			100 $\pm$ 100	201.2 $\pm$ 81.7	
Scl. Copepoda		600 $\pm$ 503.3		1600 $\pm$ 1137.2	650 $\pm$ 525.2		73.3 $\pm$ 63.6	220 $\pm$ 120.6	3.3 $\pm$ 3.3	400 $\pm$ 200	5 $\pm$ 5	
Cl. Ostracoda		66.6 $\pm$ 66.7			1400 $\pm$ 1148.9			493.3 $\pm$ 444.3		1500 $\pm$ 1300	7145 $\pm$ 7018.3	1133.3 $\pm$ 835.3
<b>Cl. Insecta</b>												
O. Coleoptera				833.3 $\pm$ 783.8					33.3 $\pm$ 33.3		5 $\pm$ 5	
O. Collembola							6.7 $\pm$ 6.7		33.3 $\pm$ 33.3			466.7 $\pm$ 290.6
O. Diptera												
F. Chironomidae				266.6 $\pm$ 266.7	50 $\pm$ 50			6.7 $\pm$ 6.7			5 $\pm$ 5	
F. Dixidae					100 $\pm$ 100					100 $\pm$ 100	5 $\pm$ 5	
F. Ephidridae				466.6 $\pm$ 371.2		6.7 $\pm$ 57.7						133.3 $\pm$ 66.7
F. Indeterminada						6.7 $\pm$ 57.7						133.3 $\pm$ 66.7
O. Hemiptera												
F. Corixidae					408.2 $\pm$ 223.7					195 $\pm$ 35	179.2 $\pm$ 57.7	
O. Trichoptera											60 $\pm$ 46.9	
<b>Ph. Mollusca</b>									33.3 $\pm$ 33.3	100 $\pm$ 100		
<b>Ph. Rotífera</b>	200 $\pm$ 141.4			466.6 $\pm$ 466.7			13.3 $\pm$ 13.3	20 $\pm$ 20	200 $\pm$ 200	200 $\pm$ 200	5 $\pm$ 5	15000 $\pm$ 14600
<b>Total individuos</b>	666.6	799.9	0	5433.1	3008.2	546.7	849.9	1033.3	539.9	2995	7755.4	17533.3
<b>Total Taxa</b>	2	3	0	8	8	3	5	5	6	8	11	7

### 3.4. Composición florística y estructura de la vegetación en los humedales Huasco y Lagunillas

La información que a continuación se emplea para la caracterización de los sistemas de vegetación de los humedales corresponde, para el caso del Salar del Huasco, a una actualización de aquella que se presenta en el capítulo 2, con base en un estudio efectuado en el año 2005 (Faúndez y Escobar, 2005), además de la incorporación de las riberas arbustivas, complementado con datos a partir de una visita efectuada para efectos del presente estudio; para el caso de Lagunillas, la información se levantó durante este estudio complementándose parcialmente con la información del monitoreo de BHP Billiton en el área.

La superficie del Salar de Huasco considerada en el presente análisis de los sistemas de vegetación comprende un área de poco más de 5000 hectáreas, en las cuales se discriminó un total de 49 unidades espaciales homogéneas (polígonos), a las que se les asignó una formación de vegetación o una combinación de ellas (mosaico de vegetación). El resumen esas unidades ambientales homogéneas, caracterizadas por el tipo o combinación de tipos de vegetación presente cuando corresponda, se presentan en la tabla 3.4 las cuales se representan en la Carta de Vegetación (Anexo 4).

**Tabla 3.4.** Resumen de polígonos de vegetación Salar del Huasco, 2013.

Tipo de Polígono/vegetación	Superficie (ha)	%	N° polígonos	%
<b>Con vegetación</b>	<b>4387,6</b>	87,6	<b>44</b>	89,8
Bofedal	0,5	0,01	1	2,0
Vega salina	2366,5	47,23	2	4,1
Vega salina -Pajonal salino	174,5	3,48	1	2,0
Pajonal salino	515,7	10,29	1	2,0
Pajonal salino - bofedal y sales	408	8,14	4	8,2
Pajonal salino - Llaretillar	86,6	1,73	1	2,0
Pajonal salino - Pupusal	18,3	0,37	3	6,1
Pajonal salino - Pupusal // sales	220,1	4,39	2	4,1
Pajonal salino - Vega salina	188,5	3,76	2	4,1
Pajonal salino - Vega salina y Bofedal	86,1	1,72	3	6,1
Pajonal salino - Vega y sales	35,6	0,71	1	2,0
Llaretillar	25,1	0,50	1	2,0
Llaretillar - Pupusal	11,5	0,23	1	2,0
Pupusal	9,4	0,19	1	2,0
Pupusal - sales	16,6	0,33	1	2,0
Tolar hídrico	74,5	1,49	11	22,4
Tolar hídrico - Pajonal salino - vega salina	20,3	0,41	4	8,2
Sales con vegetación escasa y muy escasa	130	2,59	4	8,2
<b>Sin vegetación</b>	<b>623,1</b>	12,4	<b>5</b>	10,2
Cuerpo de agua - sales	586,3	11,7	3	6,1
Sales	16,7	0,3	1	2,0
Suelo desnudo	20	0,4	1	2,0
<b>Total general</b>	<b>5010,7</b>	100,0	<b>49</b>	100,0

Uno de los hechos destacables es la existencia de prácticamente todos los tipos de vegetación de humedales en la estructura de las diferentes unidades homogéneas, aun cuando, dada la condición de salar, dominan los subtipos salinos. Así, el tipo vega salina ocupa casi el 50% de la superficie evaluada, la cual corresponde a la porción central de este sistema, en donde se desarrolla una unidad con una cubierta herbácea rizomatosa de *Carex maritima*, con un cubrimiento muy escaso. Los restantes polígonos se ubican en la periferia del sistema, con una elevada heterogeneidad, producto principalmente de diferencias en los sustratos, el contenido de sales y la dependencia del suministro hídrico.

La flora vascular de este sistema se caracteriza por ser poco diversa, alcanzando a 35 especies en 18 familias, donde la más diversa resulta la familia *Poaceae* con 7 entidades y luego las familias *Cyperaceae* y *Asteraceae* con cuatro especies cada una (Geotécnica Consultores, 2003-2004).

Las especies dominantes más frecuentes corresponden a *Zameioscirpus atacamensis* en los bofedales, *Phylloscirpus acaulis* y *Carex maritima* en las vegas salinas, *Festuca deserticola*, *Deyeuxia curvula* y *Puccinellia frigida* en los pajonales salinos, mientras que los pupusales están dominados casi exclusivamente por *Werneria weddellii*, mientras que *Frankenia triandra* domina los llaretilares.

Con el propósito de establecer la dinámica de estos tipos de vegetación, en la tabla 3.5 se presenta la composición florística evaluada en la temporada de crecimiento 2003-2004 en parcelas permanentes dispuestas en cuatro tipos diferentes de vegetación en este sistema azonal hídrico, las cuales para estos efectos fueron reevaluadas durante la presente temporada, al fin del periodo de crecimiento (abril 2013). Estas parcelas permanentes fueron excluidas al pastoreo de ganado doméstico local y permanecieron bajo esta condición, sin que se tenga información del manejo a que fueron sometidas durante el periodo transcurrido, asumiéndose que la vegetación en ellas puede haber sido solo consumida por herbívoros menores silvestres.

Aquí se aprecia que salvo el bofedal, los otros tres tipos de vegetación aumentaron su cubrimiento en 12 % (vega salina), 3,66 % (pajonal salino-vega salina) y 4,66 % (pajonal salino), lo cual se puede explicar por el efecto de exclusión, no obstante al no contar con observaciones equivalentes en el exterior de estas parcelas, esto no es concluyente. Resulta destacable el cambio que se registra en la parcela de bofedal, en donde disminuyó el cubrimiento de la vegetación, sin embargo se verifica un leve aumento de *Oxychloe andina*, especie asociada a mejores calidades de agua con la consecuente disminución de la participación de *Zameioscirpus atacamensis*, especie que habitualmente se asocia a condiciones de mayor salinidad. Esto puede deberse a un efecto retardado de las elevadas precipitaciones de las temporadas 2010-2011 y 2011-2012; sin embargo al no contarse con evaluaciones intermedias esto tampoco es concluyente.

**Tabla 3.5.** Composición florística en diferentes tipos de vegetación en el Salar del Huasco. Periodo 2003-2004 a 2013.

ESPECIE	TIPO DE VEGETACIÓN											
	Bofedal			Vega salina			Vega salina-Pajonal salino			Pajonal salino		
	Promedio 2003-2004*	Evaluación 2013**	Promedio general	Promedio 2003-2004*	Evaluación 2013	Promedio general	Promedio 2003-2004*	Evaluación 2013	Promedio general	Promedio 2003-2004*	Evaluación 2013	Promedio general
<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	79,47	75,00	78,35	19,75	2,00	15,31	-	-	-	-	-	-
<i>Oxychloe andina</i>	6,95	15,00	8,96	1,39	1,00	1,29	-	-	-	-	-	-
<i>Festuca desarticola</i>	1,76	0,10	1,35	4,97	15,00	7,47	8,17	3,00	6,88	62,83	65,00	63,38
<i>Phylloscirpus acaulis</i>	1,57	0,10	1,20	9,52	30,00	14,64	-	-	-	-	-	-
<i>Deyeuxia curvula</i>	9,02	5,00	8,02	1,24	-	1,24	8,58	10,00	8,94	-	-	-
<i>Lobelia oligophylla</i>	1,23	0,10	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lilaeopsis macloviana</i>	-	0,10	0,03	0,14	-	0,14	-	-	-	-	-	-
<i>Plantago tubulosa</i>	-	-	-	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
<i>Lobelia oligophylla</i>	-	-	-	-	1,00	0,25	-	-	-	-	-	-
<i>Carex misera</i>	-	-	-	-	-	-	0,25	7,00	1,94	-	-	-
<i>Werneria weddellii</i>	-	-	-	-	-	-	0,33	1,00	0,50	-	-	-
<i>Arenaria rivularis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,48	2,00	1,61
<i>Puccinellia frigida</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,02	10,00	8,52
<b>TOTAL CUBRIMIENTO</b>	<b>100,00</b>	<b>95,00</b>	<b>98,75</b>	<b>38,00</b>	<b>50,00</b>	<b>41,00</b>	<b>17,33</b>	<b>21,00</b>	<b>18,25</b>	<b>72,33</b>	<b>77,00</b>	<b>73,50</b>
<b>Riqueza</b>	<b>6</b>	<b>7</b>		<b>7</b>	<b>6</b>		<b>4</b>	<b>4</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	
<b>Equidad (Shannon &amp; Weaver)</b>	<b>0,78</b>	<b>0,66</b>		<b>1,30</b>	<b>1,03</b>		<b>0,84</b>	<b>1,14</b>		<b>0,45</b>	<b>0,50</b>	
<b>Sector</b>	<b>Huasco Norte</b>			<b>Huasco Norte</b>			<b>Huasco Norte</b>			<b>Huasco Lipez</b>		

\*Promedio 2003-2004 corresponde al promedio de tres evaluaciones en una temporada de crecimiento (Noviembre 2003, Enero 2004 y Mayo 2004).

\*\* Evaluación 2013 corresponde a una evaluación efectuada en Abril de este año.

NOTA: Estas evaluaciones fueron efectuadas en líneas permanentes de 5 m, efectuando 100 observaciones mediante una huincha graduada cada 5 cm con una varilla metálica, registrándose las especies presentes en cada bajada de la varilla y el número de contactos de cada una de ellas, en exclusiones de 6 x 3 m, con cerco para herbívoros mayores.

En la tabla se aprecia que la mayor diversidad, expresada como riqueza específica, se registra en los tipos Bofedal y Vega salina, disminuyendo en el Pajonal salino y en el mosaico Vega salina-Pajonal salino, lo cual se explica en el grado de rigurosidad ambiental que implica el mayor contenido salino que se presenta en estos últimos sistemas, determinando una mayor especialización ambiental de las especies participantes de estos ensamblajes. Esto último no se aplica a *Festuca deserticola*, entidad que se registra en los cuatro tipos de vegetación evaluados, con mayores participaciones en aquellos que corresponden a mayores tenores salinos observados.

Respecto a la equidad de estas formaciones, se calculó el índice de Shannon tanto para el promedio de las evaluaciones efectuadas en la temporada 2003-2004 como para la evaluación del 2013, el cual se presenta en la tabla 3.4.2 con la finalidad de establecer el efecto de la variación en la estructura de estos ensamblajes. Se aprecia que los tipos de vegetación con mayor diversidad específica (Bofedal y Vega salina) presentan una disminución en este índice, lo cual indicaría una tendencia a una dominancia más marcada por parte de las especies más frecuentes y abundantes, mientras que el Pajonal salino y Pajonal Salino-Vega salina, con menor riqueza específica, aumentan este índice señalando una tendencia a homogeneizar las dominancias. No obstante esto último está fuertemente influido por los bajos valores de algunas de las especies acompañantes, para las cuales una variación ligera en su participación relativa resulta notoria en los cálculos.

Por su parte el sector de Lagunillas, incluida la laguna Huantija, presenta información desde los inicios del proyecto Cerro Colorado, actualmente en desarrollo, como parte de las circunstancias del Sistema Ambiental chileno, sin embargo, como la mayoría de las evaluaciones ambientales que dieron inicio a este proceso en el país, los diferentes estudios realizados adolecen de serias deficiencias tanto en los objetivos como en su implementación metodológica y logística.

Estos antecedentes, en su aspecto más general fueron empleados para elaborar una segregación de ambientes que permitiera estratificar su evaluación mediante una campaña "ad hoc". Esta se realizó en abril del presente y consistió en la verificación, corrección, cuando fue necesario, de los polígonos representativos de los ambientes y descripción de los diferentes tipos de vegetación presentes en el área. Como resultado de esto, en el anexo 4 se presenta la carta de vegetación respectiva. En la tabla 3.6 se presenta el resumen de los tipos de vegetación y combinaciones de ellos, así como las áreas que no presentan vegetación y que son parte de este sistema.

Aquí se aprecia que la diversidad de tipos de vegetación es bastante baja con una clara predominancia del tipo Tolar hídrico, con algunas variantes y en mosaico con vega salina y Pajonal zonal, con más de 60 % del área considerada. El segundo tipo presente corresponde a Vega salina, con una pequeña participación areal. Las restantes unidades homogéneas con vegetación corresponden a mosaicos de Vega salina-Bofedal y Bofedal-Vega salina, en los cuales, producto de la recarga artificial de agua por parte del BHP Billiton, las dominantes se alternan determinando el tipo dominante en estas mezclas, probablemente dependiendo de los caudales y la salinidad subsecuente.

**Tabla 3.6.** Resumen polígonos de vegetación Lagunillas, 2013

Tipo de Polígono/vegetación	Superficie (ha)	%	N° polígonos	%
<b>Con vegetación</b>	<b>443,35</b>	<b>67,65</b>	<b>15</b>	<b>62,50</b>
Bofedal-vega salina	2,33	0,36	1	4,17
Tolar hídrico	119,87	18,29	2	8,33
Tolar hídrico en lecho de río temporal	15,90	2,43	1	4,17
Tolar hídrico escaso muerto	6,65	1,01	2	8,33
Tolar hídrico salino	272,92	41,65	3	12,50
Tolar hídrico salino-vega salina	4,11	0,63	1	4,17
Tolar hídrico-Pajonal	5,39	0,82	1	4,17
Vega salina	9,61	1,47	3	12,50
Vega salina-Bofedal	6,58	1,00	1	4,17
<b>Sin vegetación</b>	<b>211,99</b>	<b>32,35</b>	<b>9</b>	<b>37,50</b>
arenal	77,46	11,82	1	4,17
Bofedal muerto	4,43	0,68	1	4,17
Borde salar humedo	54,07	8,25	5	20,83
Laguna de evaporación	3,02	0,46	1	4,17
Salar	73,00	11,14	1	4,17
<b>Total</b>	<b>655,33</b>	<b>100,00</b>	<b>24</b>	<b>100,00</b>

Respecto a la flora vascular en este sistema, esta aparece bastante simplificada, probablemente por algún proceso de tipo catastrófico lo cual se aprecia en la tabla 3.7, en donde se simplifica gráficamente con fines comparativos los datos de composición florística del tipo de vegetación que normalmente es el que presenta mayor diversidad específica en la ecorregión altiplánica, en donde se registra en un periodo de siete años a solo cuatro especies (*O. andina*, *D. curvula*, *D. sp* que incluye a *D. breviaristata*, la cual no puede estar en una formación azonal hídrica, y *S. atacamensis* (*Zameioscirpus atacamensis*) en dos estados sanitarios). Esto además indica que el sistema está decrepito o bien que las condiciones ambientales son extremadamente rigurosas, principalmente en términos térmicos.

**Tabla 3.7.** Composición florística en una parcela del tipo de vegetación bofedal en el sector Lagunillas, Pampa Lagunillas. Periodo 2005 a 2011.

Parcela Bofedal 25 m2	mar-05	jul-05	nov-05	mar-06	mar-08	mar-07	mar-10	mar-11
<i>Oxychloe andina</i>	5	5	5	5	15	10	15	15
<i>Deyeuxia curvula</i>	20	20	20	20	20	20	20	15
<i>Deyeuxia breviarista</i>	15	15	15	10		15		
<i>Scirpus atacamensis</i>	20	20	20	15		10		
<i>Scirpus atacamensis semiseco</i>		p						
<i>Deyeuxia sp.</i>					15		10	10
Cubrimiento	60	60	60	50	50	55	45	40

## 4. ANÁLISIS TENDENCIALES EN HUMEDALES SELECCIONADOS

### 4.1. Análisis mediante percepción remota

El área para el análisis de cambios de los humedales se definió en base al límite identificado por CONADI-CED/CEH, 2012, más un buffer de 500 metros alrededor de ellos.

Para la identificación de coberturas de los humedales Salar de Huasco y Lagunillas se utilizaron imágenes satélites Landsat, debido a su disponibilidad para el área estudiada a partir del año 1989. Las imágenes fueron obtenidas del sitio web del Instituto de Pesquisas Espaciales de Brasil – INPE (Tabla 4.1). A las imágenes de satélite se les realizó un pre procesamiento que incluyó correcciones atmosféricas, topográficas y geométricas, lo que mejoró su calidad, aumentó la confianza de los resultados obtenidos de manera automática, y permitió su comparación y análisis temporal.

**Tabla 4.1.** Imágenes de Satélite consideradas.

Satélite	Sensor	Fecha	Fuente	Resolución espacial
LANDSAT 5	TM	19 / 05 / 1989	INPE	30 metros
LANDSAT 5	TM		INPE	30 metros
LANDSAT 5	TM	13 / 04 / 1999	INPE	30 metros
LANDSAT 5	TM		INPE	30 metros
LANDSAT 5	TM	30 / 04 / 2011	INPE	30 metros
LANDSAT 5	TM		INPE	30 metros

Fuente: elaboración propia.

Las imágenes poseen una resolución espacial de 30 metros, lo que permite identificar las coberturas que a continuación se señalan y que son descritas en la Tabla 4.2.

- Vegetación azonal hídrica
- Costra salina
- Costra salina con vegetación
- Espejo de agua
- Vegetación andina dispersa
- Espacios sin vegetación

**Tabla 4.2.** Coberturas de uso y vegetación.

Categoría	Imagen	Descripción
Vegetación azonal Hídrica		Corresponde a la vegetación que forma parte del ecosistema de humedal, caracterizada por un alto contenido de humedad superficial.
Costra Salina		Corresponde a una capa mineral superficial que queda depositada luego de un proceso de evaporación.
Costra Salina con vegetación		Secciones del humedal que poseen fragmentos de costra salina que se encuentra mezclada por vegetación azonal hídrica.

Espejo de agua		Cuerpo de agua.
Vegetación andina Dispersa		Presente fuera de los límites del ecosistema, de baja densidad y baja altura.
Espacios sin vegetación		Suelo desnudo.

Fuente: elaboración propia.

Además de corresponder a un resultado cartográfico, la clasificación de usos y coberturas fue analizada cuantitativamente, presentando gráficamente el comportamiento de la superficie en hectáreas para cada una de ellas durante el período analizado.

#### 4.1.1. Salar de Huasco

La cobertura principal en el período estudiado corresponde a la costra salina, cubierta mineral que se mantiene alrededor de las 5.000 hectáreas, con una sección norte mayormente fragmentada por otras coberturas. En términos generales, la superficie de la costra es mayor en primavera, ya que en los meses de septiembre y octubre, que coinciden con las fechas de las imágenes, el humedal enfrenta el período del año de mayor sequedad considerando que en esta zona las lluvias se concentran en verano.

Lo anterior explica entonces, que contrario a lo que sucede con la costra salina, las coberturas asociadas a la vegetación, salvo costra salina con vegetación, presentan mayores superficies en otoño (meses de abril y mayo).

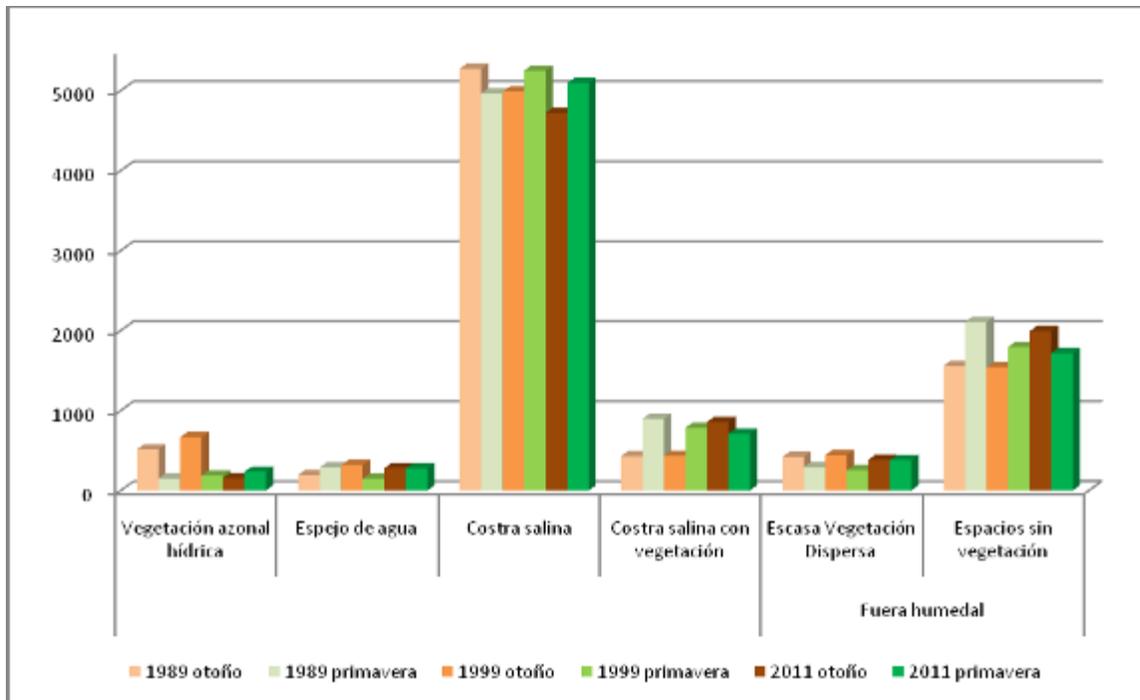
El año 2011, sin embargo, no muestra el comportamiento descrito para las coberturas vegetales en los párrafos anteriores, lamentablemente no se cuenta con registros meteorológicos para esa zona, solamente algunos datos para los años 1981, 1982 y a partir de 2012.

Se podría esperar que el espejo de agua aumentara en otoño y disminuyera en primavera, pero esto se observa solo el año 1999, que muestra altos montos de precipitación, según los registros de la estación Collacahua, que concentra más de 200 milímetros entre los meses de enero a marzo. A pesar de la oscilación de la superficie del espejo de agua, este mantiene su forma durante todo el período estudiado.

Al analizar el comportamiento de la superficie de las coberturas entre 1989 y 2011 es difícil describir un patrón claro que permita asumir una disminución o aumento sostenido de alguna cobertura. La irregularidad es una característica que domina y es importante contar con estaciones de monitoreo que permitan dar cuenta de la relación entre este comportamiento y la variabilidad del clima en el área (ver Tabla 4.3, Figuras 4.1 y 4.2).

**Tabla 4.3.** Superficie (has.) coberturas Salar del Huasco.

	1989		1999		2011	
	otoño	primavera	otoño	primavera	otoño	primavera
Vegetación azonal hídrica	513.8	149.36	663.7	187.67	154.1	234.76
Espejo de agua	195.3	288.63	317.9	147.31	278.8	276.36
Costra salina	5273	4966.04	4987	5248.87	4722	5094.2
Costra salina con vegetación	428.1	897.44	434.7	784.74	857.4	710.1
Vegetación andina Dispersa	418.4	291.77	442.5	254.18	382.1	378.79
Espacios sin vegetación	1558	2107.25	1541	1793.98	1992	1716.01



**Figura 4.1.** Variación inter e intra anual de la superficie (has.) coberturas Salar del Huasco.

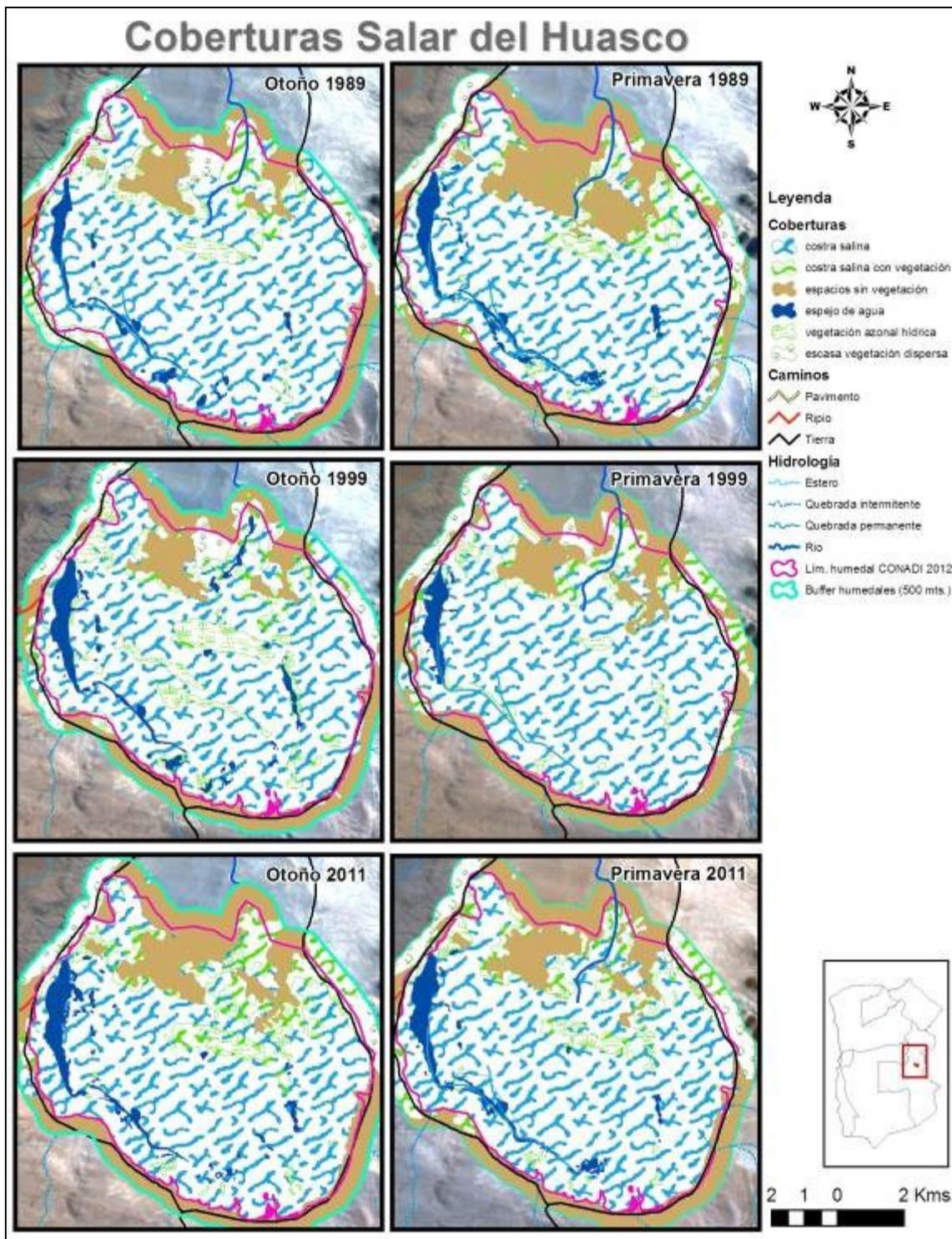
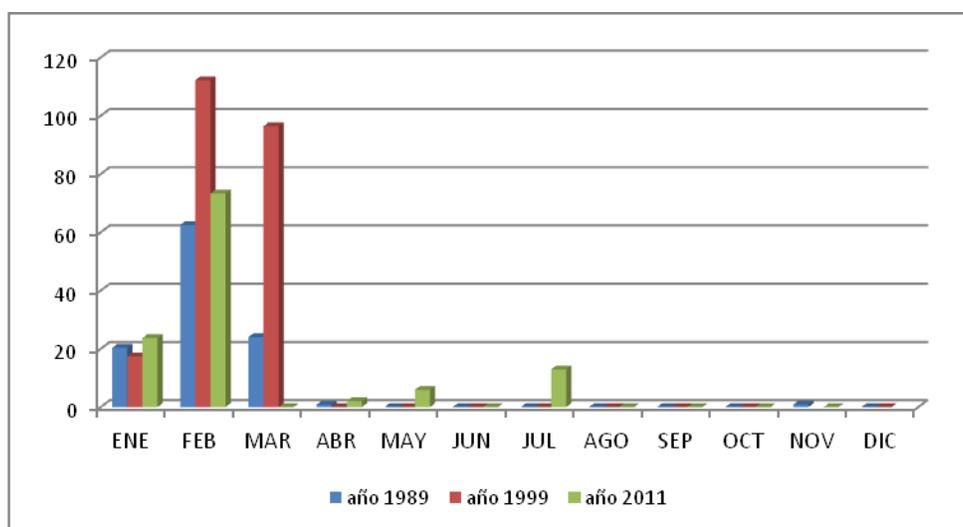


Figura 4.2. Coberturas Salar del Huasco.

#### 4.1.2. Lagunillas

Aun cuando la superficie de Lagunillas es aproximadamente ocho veces menor que la que presenta el Salar Huasco, su dinámica interanual es más alta, presentando sus coberturas una mayor oscilación de superficie. La situación que llama más la atención es lo que sucede con el espejo de agua el año 1999, en que la sección sur del humedal se transforma casi por completo en una laguna, con una superficie que en otoño es casi cuatro veces la que posee luego en primavera. El año 1999 es el que concentra una mayor cantidad de precipitaciones de la serie de datos que corresponde a las imágenes de satélite disponibles (a partir de 1987) y las concentra en los meses de enero, febrero y marzo, con montos que llegan a triplicar los registrados en los otros dos años estudiados (para la misma estación del año) (ver Figura 4.3). La diferencia en los montos de precipitación de los tres años ocurre a pesar de que en los tres años estudiados, el fenómeno ENZO se encuentra en la fase niña, caracterizada por provocar mayores precipitaciones en el altiplano chileno.



**Figura 4.3.** Precipitación mensual (mm) Estación Lagunillas, DGA.

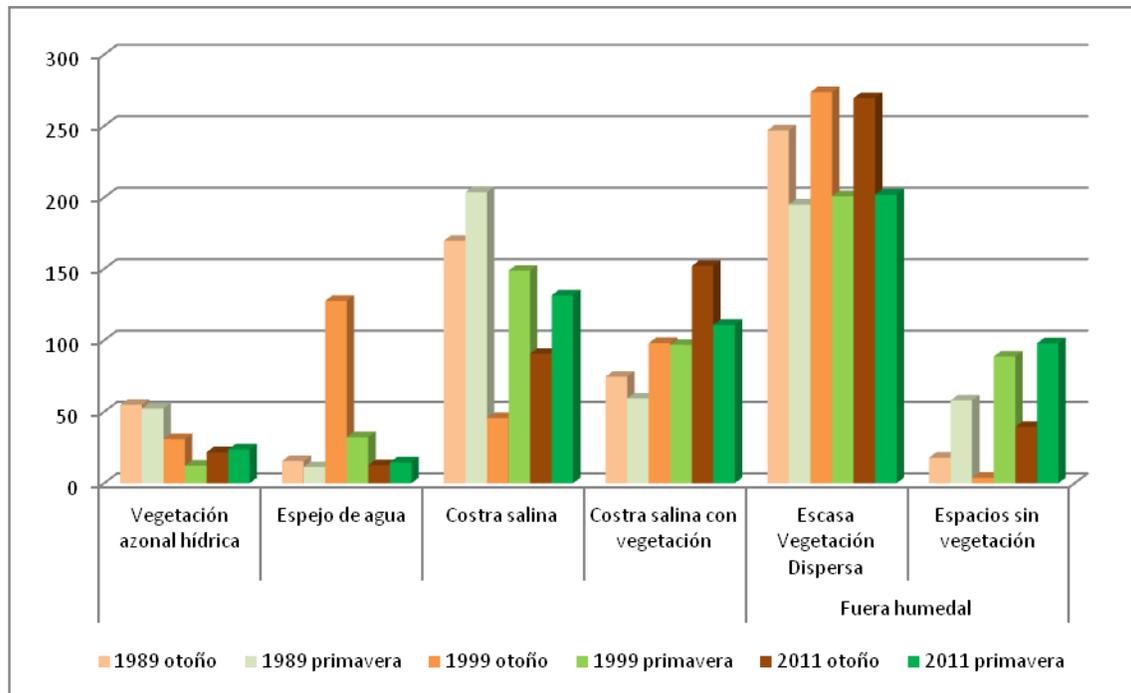
El aumento de la superficie del espejo de agua es de más de 100 hectáreas entre mayo y septiembre del año 1999. Esto provoca también variaciones en la costra salina que disminuye drásticamente (ver Tabla 4.4).

**Tabla 4.4.** Superficie (has.) coberturas de Lagunillas.

	1989		1999		2011	
	otoño	primavera	otoño	primavera	otoño	primavera
<b>Vegetación azonal hídrica</b>	54.88	52.29	30.88	12.24	21.71	23.66
<b>Espejo de agua</b>	15.53	11.32	127.6	32.13	12.61	14.53
<b>Costra salina</b>	169.7	203.65	45.61	148.73	90.57	131.49
<b>Costra salina con vegetación</b>	74.5	59.37	98.05	96.8	152	110.86
<b>Vegetación andina Dispersa</b>	246.9	195.03	273.7	200.9	269.5	201.98
<b>Espacios sin vegetación</b>	17.86	57.94	3.78	88.6	39.44	97.86

Las consecuencias de las condiciones del año 1999 también se reflejan en las coberturas que no forman parte del humedal; así, por ejemplo, las superficies de suelo desnudo (espacios sin vegetación) solo llegan a 3 hectáreas en la estación de otoño.

Al igual que para el Salar de Huasco, las coberturas de Lagunillas no muestran tendencias claras, salvo la costra salina con vegetación que experimenta un sostenido aumento entre 1989 y 2011 (ver Figuras 4.4 y 4.5).



**Figura 4.4.** Variación inter e intra-anual de la superficie (has.) coberturas Lagunillas.

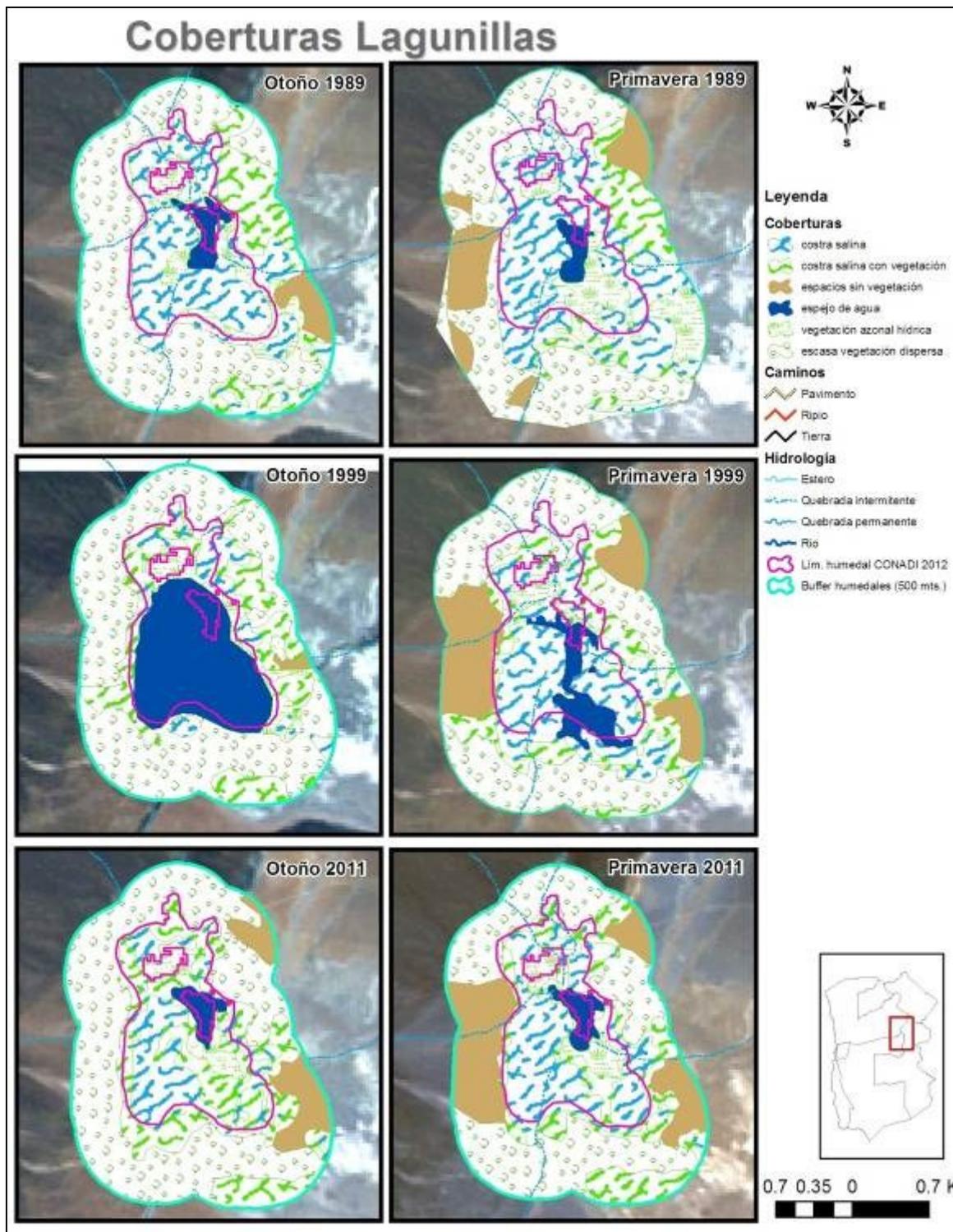


Figura 4.5. Coberturas Lagunillas.

#### 4.1.3. Proyección de cambio

Luego de analizar los resultados respecto del comportamiento de las coberturas en las dos últimas décadas, se concluye principalmente que el horizonte de tiempo no permite evidenciar, si es que existe, una tendencia de cambio, y menos aún, que ellos se deban al fenómeno del cambio climático. Las oscilaciones inter e intra anuales indican que la dinámica de cambio y reemplazo es muy alta y que está fuertemente explicada por la variabilidad natural del clima en esa zona, más específicamente de las precipitaciones. Por lo anterior, realizar un escenario futuro al año 2.022 posee un grado muy alto de incertidumbre al no incorporar espacialmente los cambios en las precipitaciones en la próxima década.

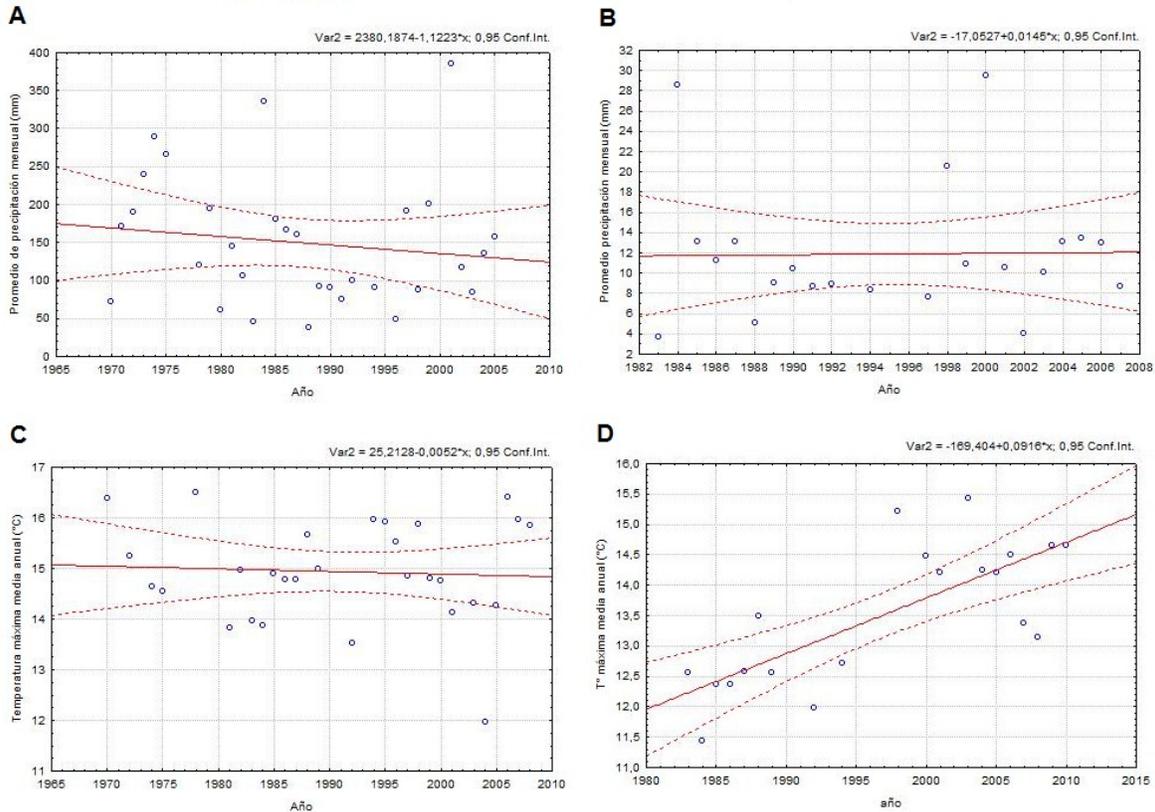
Al proyectar las probabilidades de cambio en hectáreas para el año 2.022 de cada cobertura, basado en el comportamiento observado entre 1.999 y 2.011, se esperaría que todas ellas experimentarían como principal tendencia el mantenerse en su categoría, y en menor proporción, ser reemplazadas por costra salina o espacios sin vegetación. Esta sucesión de coberturas resulta coherente pensando en un estado seco, en que el agua, tanto de las lagunas como del suelo se evapora, secando la vegetación y dejando una capa dura de mineral. Existe una proporción de la costra que no variará y se mantendrá en esta condición aun cuando exista precipitación.

En el contexto del potencial cambio que experimentarían los humedales altoandinos como consecuencia del cambio climático es importante hacer referencia a lo señalado por el “Estudio de vulnerabilidad de la biodiversidad terrestre en la Eco-Región mediterránea, a nivel de ecosistemas y especies, y medidas de adaptación frente a escenarios de cambio climático”, encargado por CONAMA. Este estudio se basa en los modelos de cambio climáticos construidos para el período 2070 – 2100, y en uno de sus capítulos se refiere a los humedales altiplánicos, en donde realizan un seguimiento del comportamiento de los cuerpos de agua a través de imágenes de satélite. En este se prevé que la tendencia climática de las áreas donde se ubican los humedales altoandinos es al aumento de las temperaturas y a la disminución de las precipitaciones en el orden de 5% a 25%.

## **4.2. Tendencias climáticas a escala local en las cuencas del salar de Huasco y Lagunillas**

### 4.2.1. Pluviosidad y temperatura

Se analizaron las tendencias temporales (escala de décadas) registradas *in situ* (nivel de cuenca) para las variables climáticas de precipitación y temperatura para ambos humedales utilizando datos de las estaciones meteorológicas Collacagua (Cuenca de Huasco; 1974 - 2002) y Lagunillas (Cuenca Quebrada de Tarapacá; 1982 - 2007). Cabe destacar que los datos de la estación meteorológica del Salar de Huasco no se utilizaron debido a que las mediciones no se realizaron de manera continua, presentando largos periodos fuera de funcionamiento, impidiendo su análisis. En su lugar se utilizaron datos de la estación Collacagua, establecida en la misma cuenca (Figura 4.6)



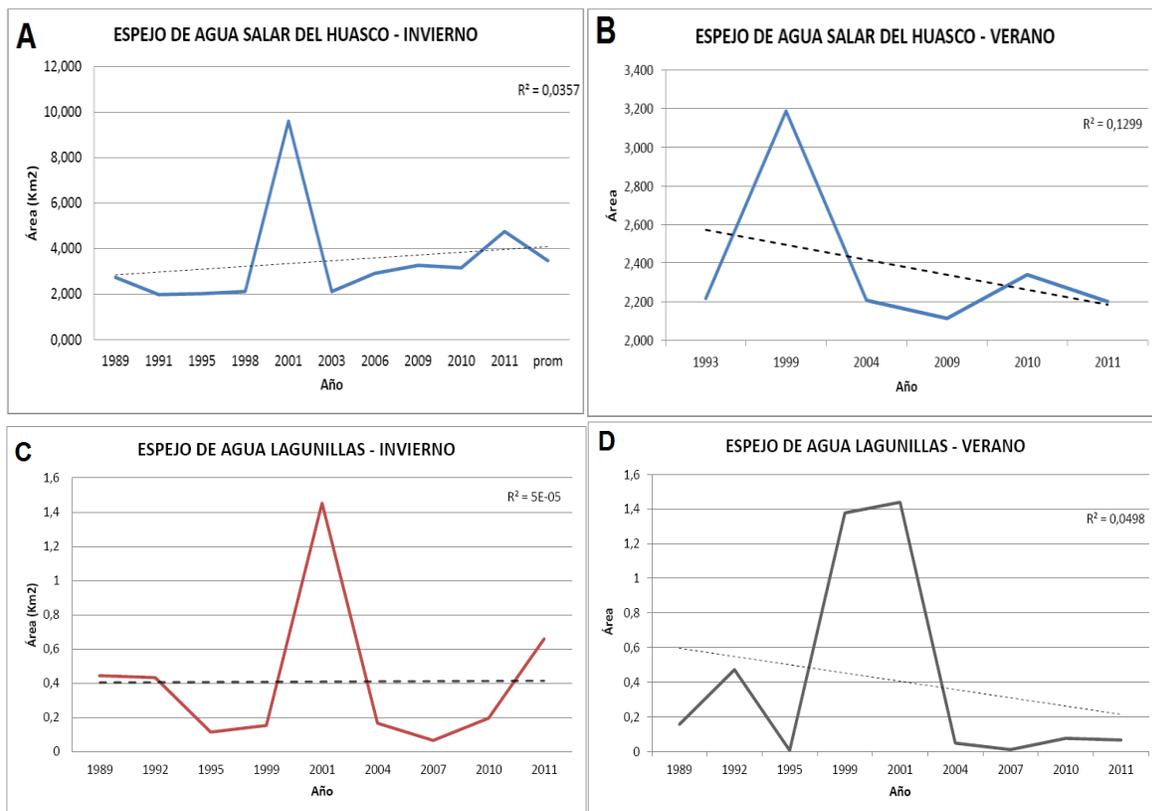
**Figura 4.6** Tendencias temporales de las variables climáticas precipitación mensual (mm; arriba) y Temperatura máxima mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ; abajo) expresadas por la línea de tendencia y su intervalo de confianza del 95%. A: gráfico del promedio anual (entre las medias mensuales) de precipitación por año para la estación meteorológica de Collacagua entre los años 1974 y 2002. B: gráfico del promedio anual entre las medias mensuales de precipitación por año para la estación meteorológica de Lagunillas entre los años 1982 y 2007. C: gráfico del promedio anual (entre las medias mensuales de temperatura máxima diaria) por año para la estación meteorológica de Collacagua entre los años 1970 y 2008. D: gráfico del promedio anual (entre las medias mensuales de temperatura máxima diaria) por año para la estación meteorológica de Lagunillas entre los años 1982 y 2010.

Los resultados muestran que para la cuenca del Salar de Huasco las precipitaciones tienden a disminuir, mientras que la temperatura no presenta mayores cambios. Por el contrario, para la cuenca del humedal Lagunillas, la temperatura presenta una tendencia al incremento, mientras que las precipitaciones no muestran una tendencia clara. No obstante, es evidente una alta variabilidad tanto en temperatura como en precipitación en ambas cuencas. Esto da cuenta de la variabilidad espacial en parámetros climáticos, incluso entre sistemas hidrológicos contiguos, separados por no más de 36 Km. lineales, remarcando la importancia de documentar *in situ* variables climáticas a escala local. Para ello se hace imprescindible establecer una completa red de estaciones meteorológicas para el altiplano, más aún teniendo en cuenta la alta incerteza de los escenarios climáticos modelados para la Región.

#### 4.2.2. Tamaño de las lagunas de evaporación Huasco y Lagunillas

##### 4.2.2.1. Descripción de las fluctuaciones

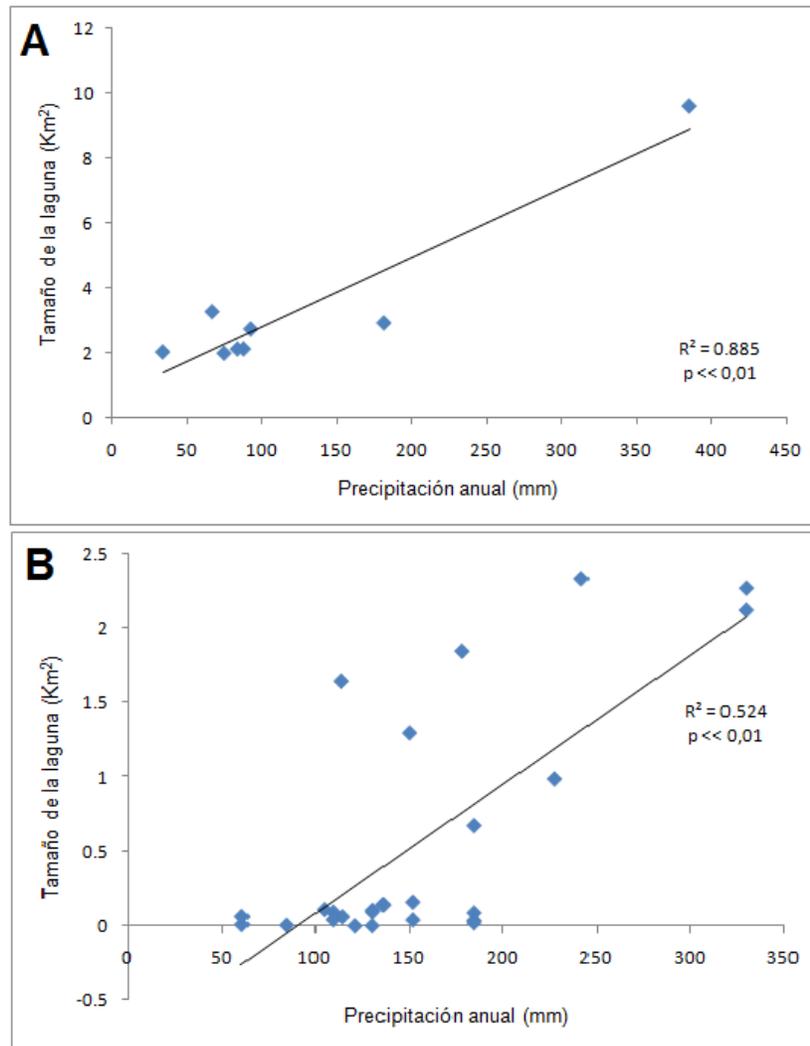
La información generada como producto del estudio “Análisis multitemporal salar del Huasco y Lagunillas” (CEH-CED, 2012) permite concluir que tanto para el Salar de Huasco como para Lagunillas, los espejo de agua presentan una alta variabilidad temporal tanto entre estaciones como entre diferentes años. Más aún, las tendencias temporales expuestas por ambos espejos de agua desde 1989 a 2011 difieren al analizar extensiones del espejo de agua en invierno o en verano. De esto se desprende que las extensiones de las lagunas de evaporación no presenten tendencias claras, pero que, sin embargo, en invierno la pendiente de la recta que mejor describe las tendencias es cercana a cero. Esto no ocurre en las extensiones del espejo de agua en verano, en que la pendiente de la recta presenta valores negativos para ambos cuerpos de agua. Más allá de estas observaciones, lo más claro es que ambos cuerpos de agua, independiente de la estación del año en que sean medidos, presentan una extensión altamente variable y por tanto, entender cuáles son las variables que explican estos cambios resultará clave para su adecuado manejo (Figura 4.7).



**Figura 4.7.** Tendencias temporales (periodo 1989-2011) del tamaño de las lagunas de evaporación del Salar de Huasco y Lagunillas. A: Tamaño del espejo de agua del Salar de Huasco durante invierno. B: Tamaño del espejo de agua del Salar de Huasco durante el verano. C: Tamaño del espejo de agua de Lagunillas durante invierno. B: Tamaño del espejo de agua de Lagunillas durante el verano (Fuente: CEH-CED 2012).

#### 4.2.2.2. Variables climáticas como forzantes de la variabilidad

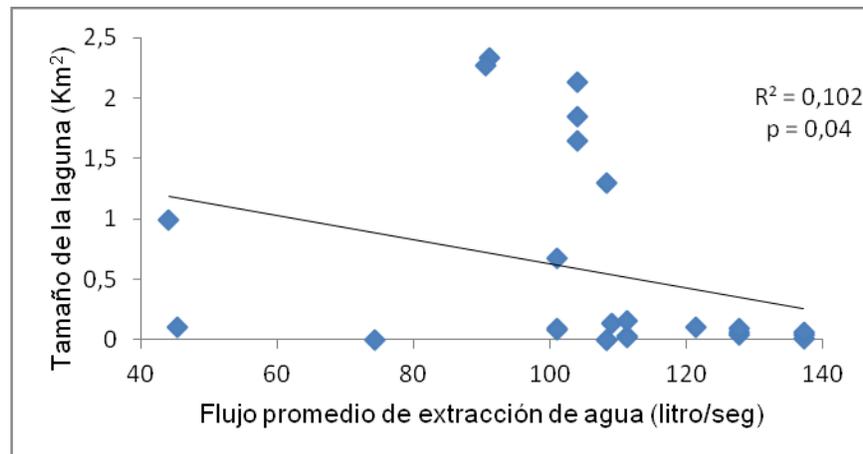
Uno de los influjos más importantes en el balance hídrico de las lagunas de evaporación estudiadas son las precipitaciones. Se exploró la relación entre precipitación acumulada anual y el tamaño de las lagunas mediante correlaciones lineales de Pearson y correlación no paramétrica de Kendall. Las correlaciones, como era de esperarse, son muy claras y estadísticamente significativas ( $p < 0,01$ ; Figura 4.8).



**Figura 4.8.** Correlaciones entre el tamaño de la laguna de evaporación y la precipitación anual acumulada para A: Salar de Huasco y B: Lagunillas.

De la figura se destaca que el  $R^2$  es mucho mayor en el Salar de Huasco que en Lagunillas, lo que se puede interpretar como que en Lagunillas, el tamaño de la laguna depende en menor medida de la precipitación respecto del Salar de Huasco, pudiendo estar influenciado por otras variables explicativas. Además, se hace notar que el intercepto debería acercarse a cero cuando la única variable que regula el tamaño de la laguna sea la precipitación; sin embargo para Lagunillas, son necesarios al menos 85 mm de lluvia al año para que la Laguna no se seque.

Como observación final, la relación existente entre la precipitación anual y el tamaño de la laguna Lagunillas podría estar condicionada por presiones externas, pudiendo corresponderse como una nueva variable explicativa del tamaño de la laguna. Para evaluar esto llevamos a cabo una correlación no paramétrica entre el tamaño de la laguna y el flujo promedio de extracción de agua en la cuenca de lagunillas. Los resultados indican que mientras mayor es el flujo de agua bombeado, menor es el tamaño de la laguna ( $p = 0,04$ ;  $R^2=0,102$ ; Figura 4.9).



**Figura 4.9.** Relación entre el tamaño de la laguna de evaporación en Lagunillas y el flujo promedio de extracción de agua en la cuenca.

A pesar de la correlación significativa entre extracción de agua y el tamaño de la laguna, al llevar a cabo una regresión múltiple utilizando la precipitación anual y el flujo promedio de extracción de agua como variables independientes, el tamaño de la laguna responde significativamente sólo a la precipitación anual y no al flujo de extracción de agua. Estos resultados se contraponen a los expuestos en la figura 4.9, por lo que, con los datos analizados, no podemos concluir nada acerca de la magnitud de la influencia de la extracción de agua sobre el tamaño de la laguna.

Ahora bien, la relevancia de estos análisis corresponde a que las consecuencias de cambios en las variables climáticas podrían estar moduladas o enmascaradas por acción de otras presiones, por lo que esclarecer los efectos de la variabilidad climática en la cuenca de Lagunillas no resulta fácil, ya que primero debemos esclarecer los efectos de presiones paralelas, que podrían estar causando efectos sinérgicos o aditivos a los de la variabilidad climática.

### 4.3. Variabilidad temporal de la composición biótica y su asociación a variables climáticas

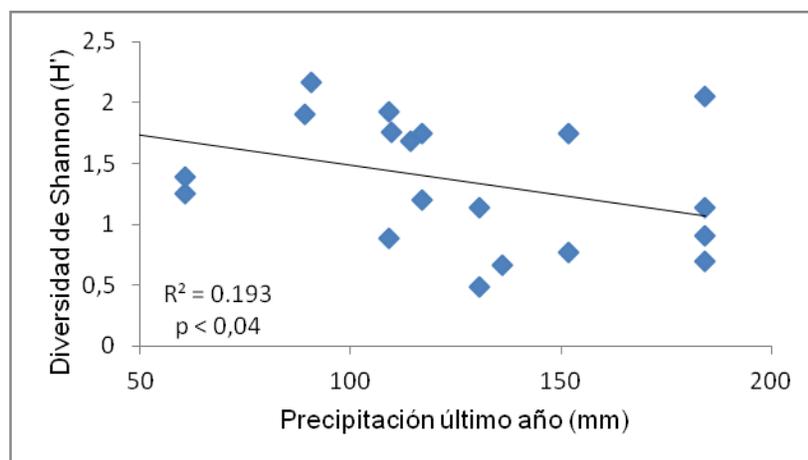
Evaluar cambios en la biota a través del tiempo y atribuirlos a presiones externas específicas (i.e. cambio climático o presiones antropogénicas) y no a variaciones naturales de la biota es uno de los desafíos más grandes en ecología de la conservación (Magurran et al., 2010). Una de las formas de lograrlo es llevando a cabo estudios y monitoreos de largo plazo; sin embargo, el análisis de estos sets de datos es complejo debido a la falta de foco y a la falencia a la hora de diseñar el monitoreo (Magurran et al., 2010). Estos problemas no están ausentes en las bases de datos utilizadas en este estudio, razón por la cual sólo se usará en el análisis un subconjunto de datos, consistentes en monitoreos de aves para el Salar de Huasco y monitoreos de aves, invertebrados planctónicos y microalgas de la columna de agua para el sector de Lagunillas, los cuales cumplen con el requisito de mantener el esfuerzo de muestreo, el periodo y el sitio constante a través de todo el intervalo de tiempo.

Para atribuir la variabilidad en la composición de las comunidades bióticas de Huasco y Lagunillas, se llevaron a cabo correlaciones lineales entre la riqueza de especies, la abundancia total, la diversidad de Shannon ( $H'$ ) y la equitatividad ( $J'$ ) (estas dos últimas sólo pudieron ser evaluadas para la avifauna, en donde se registró la abundancia relativa de cada especie en cada censo), con las variables climáticas registradas en las estaciones meteorológicas más cercanas. Las variables climáticas utilizadas fueron: Promedio de precipitación de los últimos 4 meses previos al muestreo ( $PP_4$ ), Promedio de precipitación de los últimos 12 meses previos al muestreo ( $PP_{12}$ ), Promedio de temperatura máxima diaria de los últimos 4 meses previos al muestreo ( $T^{\circ}_4$ ), y Promedio de temperatura máxima diaria de los últimos 12 meses previos al muestreo ( $T^{\circ}_{12}$ ). Los resultados de cada taxón se muestran en las Tablas 2 a 5.

#### 4.3.1. Avifauna

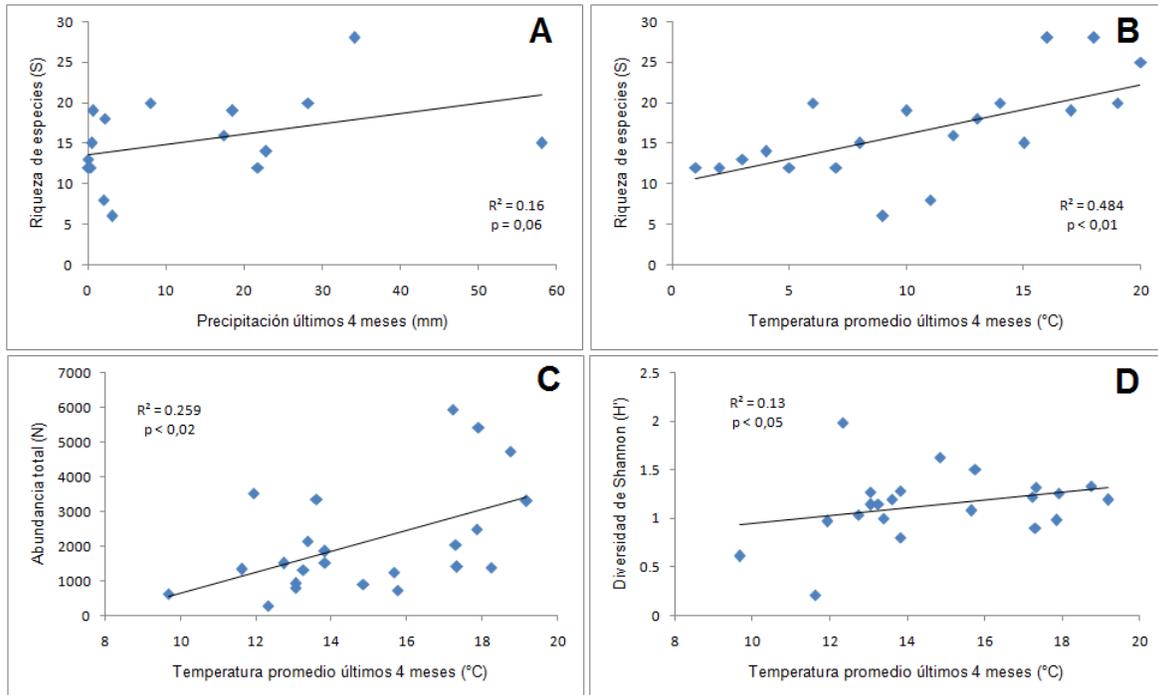
Para la avifauna presente en Lagunillas, si bien la riqueza y la abundancia de especies presentan correlaciones significativas con algunas variables climáticas, ellas explican no más del 3 % de la varianza (ver Anexo 6). La diversidad de Shannon en cambio presenta una correlación significativa y negativa con la precipitación en los últimos 12 meses, lo cual explicaría el 19% de la varianza (Figura 4.10). Este hecho indicaría que, de mantenerse la tendencia a disminuir las precipitaciones, la diversidad de aves en el sector de Lagunillas debiera incrementarse. Esto debe interpretarse con cautela, ya que el índice de diversidad de Shannon es fuertemente sensible a comunidades en que varias especies presentan abundancias muy pequeñas y unas pocas presentan altas abundancias relativas, como sucede con las especies de flamenco. En este estudio se detectó, además, una correlación significativa y positiva entre la abundancia de las especies de flamenco andino y chileno con las variables de precipitación, lo que se traduciría, otra vez de mantenerse la tendencia a la disminución en las precipitaciones, en una disminución de sus poblaciones, lo cual podría ser artificio para un aumento en la diversidad de Shannon. Por esta razón, la diversidad de Shannon podría no ser útil para la caracterización de las comunidades de aves de los humedales seleccionados, ya que su interpretación resulta contra intuitiva.

Llama la atención que pese a presentar una tendencia a aumentar la temperatura máxima en los últimos 30 años, esto no se refleje en las relaciones entre la temperatura de los últimos 4 o 12 meses y las variables de la composición de avifauna evaluadas ( $S$ ,  $N$ ,  $H'$  o  $J'$ , ver Anexo 6).



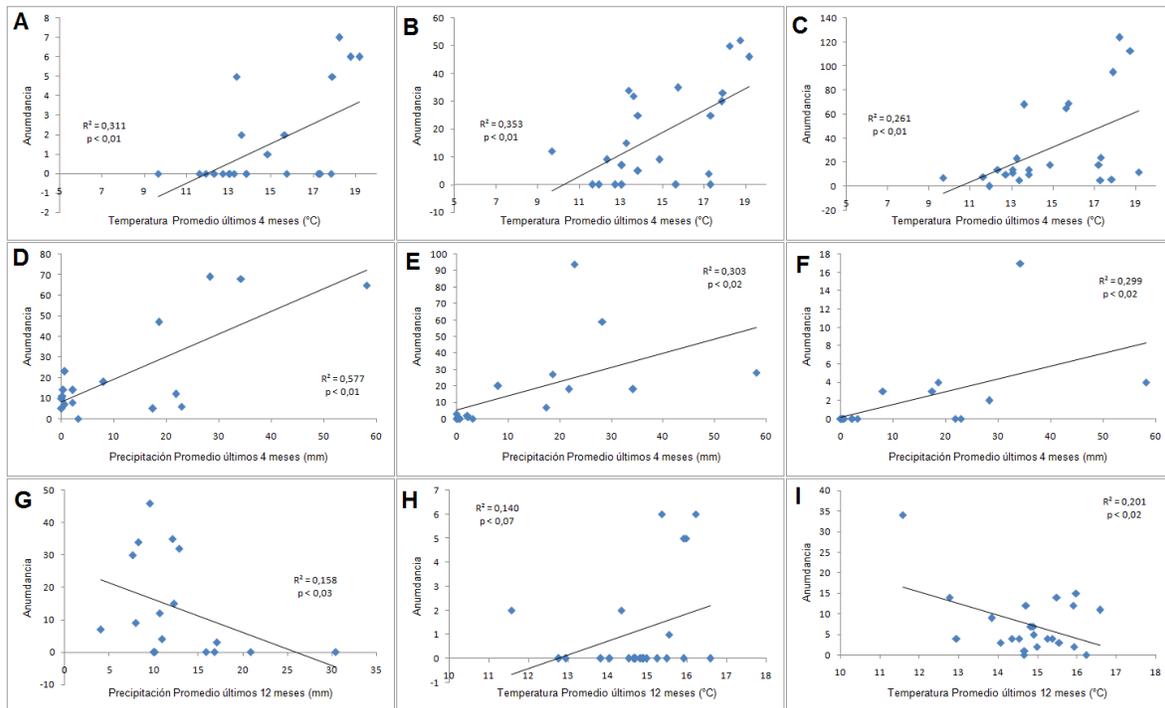
**Figura 4.10.** Correlación entre la Diversidad de Shannon ( $H'$ ) y la precipitación acumulada del año previo al censo de aves.

Respecto de las respuestas de la avifauna del Salar de Huasco a las variables climáticas evaluadas, ellas son en general más importantes, lo cual podría ser evidencia de una mayor susceptibilidad de la avifauna del Huasco a variaciones climáticas, o bien la presencia de otras presiones en el ecosistema Lagunillas. La riqueza de especies responde positiva y significativamente a la precipitación y la temperatura máxima promedio de los últimos 4 meses, explicando el 16 y 24% de la varianza respectivamente, lo cual refleja la estrecha relación entre variables climáticas y riqueza de especies de aves en este humedal. La abundancia y la Diversidad de Shannon responden sólo a la temperatura de los últimos 4 meses, explicando esta variable el 26 y 13% de la varianza respectivamente (Figura 4.11, véase también Anexo 6).



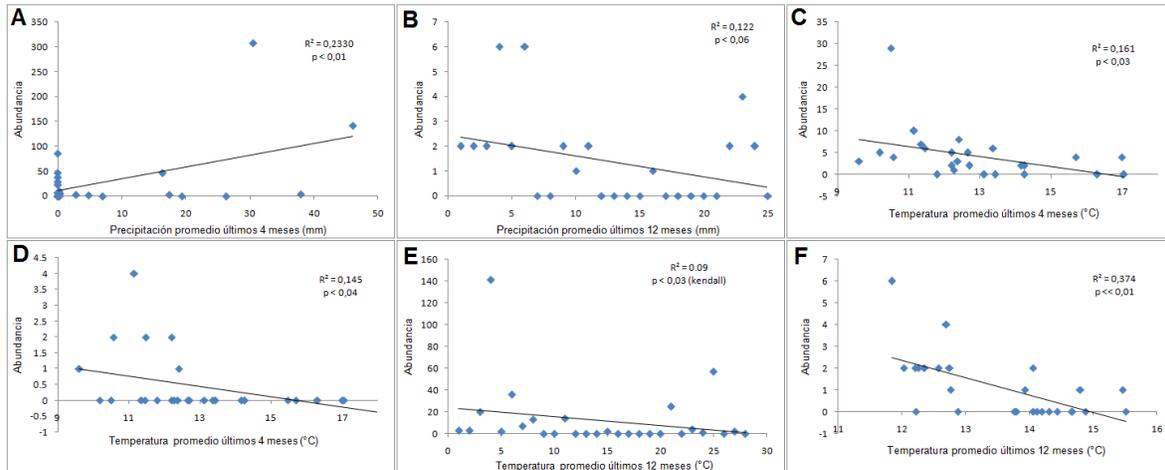
**Figura 4.11.** Correlaciones significativas entre variables de composición de avifauna en el Salar de Huasco y variables climáticas. A: Riqueza de especies y PP<sub>4</sub>; B: Riqueza de especies y T°<sub>4</sub>; C: Abundancia total de aves y T°<sub>4</sub>; D: Diversidad de Shannon (H') y T°<sub>4</sub>.

Además, para la avifauna, se analizaron relaciones entre la abundancia de cada especie y las variables climáticas ya mencionadas (siempre y cuando la especie fuera registrada un mínimo de cinco veces entre todos los censos para cada localidad). Los resultados muestran que para el Salar de Huasco, las aves que presentan relación con alguna de estas variables son el Flamenco Andino, el cual responde de manera positiva tanto a precipitación como a temperatura, el piuquén, el Playero de Baird y el Colegial del Norte, que se ven fuerte y positivamente relacionados tanto a la precipitación como a la temperatura, o el Caití, quien está fuerte e inversamente correlacionado a la temperatura, pudiendo verse más “perjudicados” de mantenerse las tendencias en precipitación y convirtiéndolas a todas ellas especies “vulnerables” a las variaciones climáticas que se proyectan para el altiplano andino (aumento de temperatura y disminución de la precipitación, sensu Marquet et al., 2011). El Suri, el cual responde de manera negativa frente a la precipitación y positiva frente a la temperatura, o el Chorlo de la Puna, que está fuerte y positivamente relacionado a la temperatura, son especies que pudiesen verse menos “perjudicadas” o incluso “beneficiadas” de cumplirse los escenarios proyectados (Figura 4.12; Anexo 6).



**Figura 4.12.** Correlaciones lineales significativas más llamativas entre distintas variables climáticas y la abundancia poblacional de aves del Salar de Huasco. Se muestran: el Chorlo de la puna (A y H), el Suri (casi amenazado) (B y G), el Piuquén (C y D), el Playero de Baird (E), el Colegial del Norte (F) y el Caití (I).

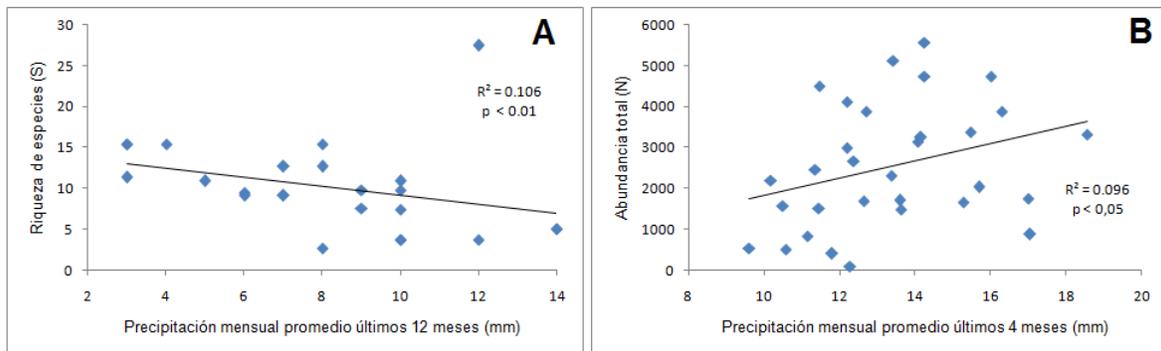
Para el humedal de Lagunillas, las especies que podrían verse más “perjudicadas” son el Flamenco Andino, que presenta una relación positiva con la precipitación y negativa con la temperatura, lo cual resulta preocupante debido a que ambas variables motivarían un descenso en su abundancia de cumplirse los escenarios de cambio climático proyectados. El Pato Juarjuel, el Caití y la Gaviota Andina, son especies que presentan una correlación fuertemente significativa y negativa entre su abundancia y la temperatura; y finalmente el Flamenco Chileno, presenta una correlación significativa y positiva entre su abundancia y la precipitación. Al contrario de lo observado en Huasco, ninguna especie de ave presenta tendencias que permitiesen suponer un aumento en su abundancia en función de las proyecciones climáticas (Figura 4.13). Todos los resultados de las correlaciones entre abundancia por especie y variables climáticas se muestran en el Anexo 6 del presente informe.



**Figura 4.13.** Correlaciones lineales significativas más llamativas entre distintas variables climáticas y la abundancia poblacional de aves en Lagunillas. Se muestran: el Flamenco Chileno (casi amenazado) (A), la Gaviota Andina (B y F), el Pato Juarjual (C), el Caití (D) y el Flamenco Andino (Vulnerable) (E).

#### 4.3.2. Microalgas de la columna de agua

Para el caso de las microalgas de la columna de agua, su riqueza se correlaciona significativamente con la precipitación en los últimos 12 meses, mientras que su abundancia se correlaciona con la temperatura promedio de los últimos 4 meses (Figura 4.14). El efecto del aumento en las precipitaciones correspondería entonces a una menor riqueza de especies pero una mayor abundancia total, conllevando una simplificación en la comunidad.

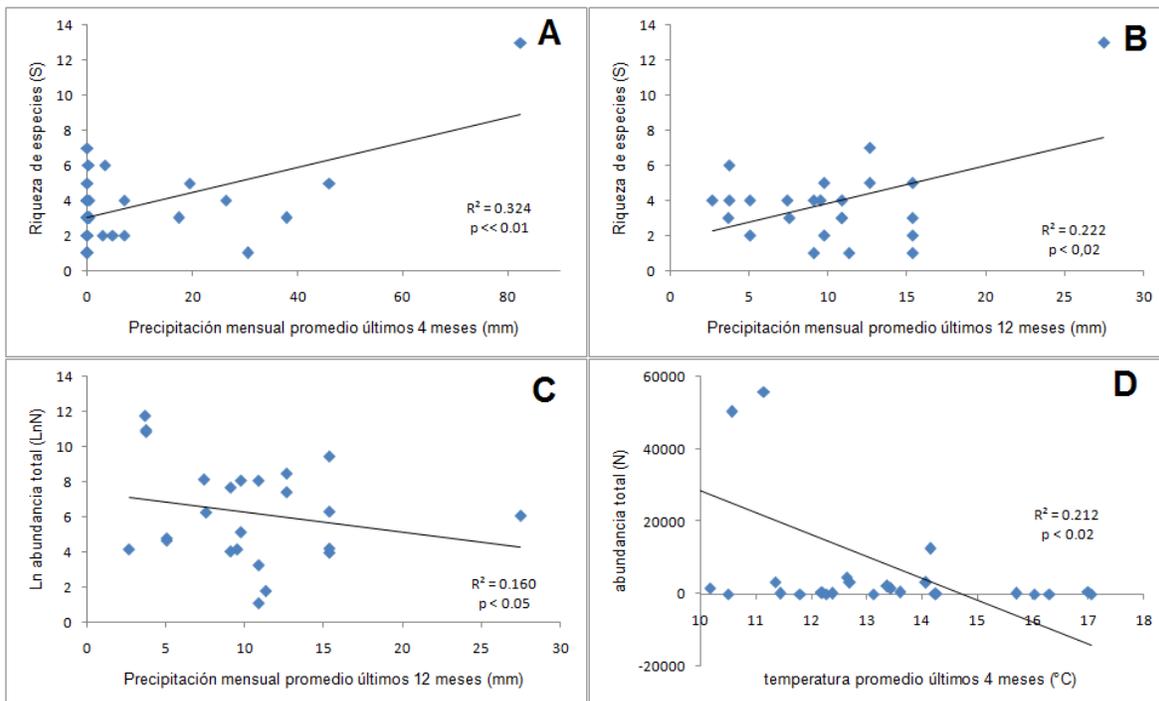


**Figura 4.14.** Correlaciones significativas entre variables de composición de microalgas de la columna de agua en la laguna Lagunillas y variables climáticas. A: Riqueza de especies y PP<sub>12</sub>; B: Abundancia total y T<sup>4</sup>.

Las microalgas de la columna de agua presentan una respuesta diferente del resto de los taxones estudiados, ya que podrían verse “beneficiadas” por la tendencia climática prevista para el altiplano andino. Sin embargo, esto debe interpretarse nuevamente con cautela, ya que forman parte de los grupos basales de la trama trófica, por lo tanto pequeñas alteraciones en la comunidad de microalgas podrían conllevar grandes cambios en el resto de los organismos heterótrofos.

### 4.3.3. Invertebrados planctónicos

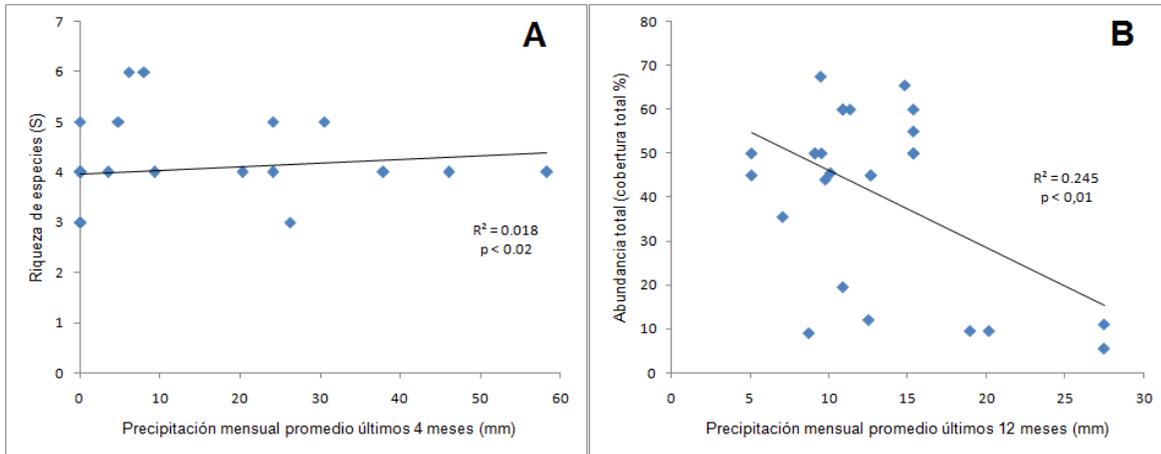
Los invertebrados planctónicos presentan una correlación positiva y significativa entre la riqueza de especies y la precipitación promedio de los últimos 4 y 12 meses previos al muestreo. Al mismo tiempo, su abundancia total presenta una correlación inversa tanto con la precipitación (12 meses previos al muestreo), como con la temperatura (4 y 12 meses previos al muestreo; Figura 4.15; Tabla A 6.4. del Anexo 6). Algunas de estas variables explican hasta el 32% de la variabilidad en la riqueza de especies registradas, y hasta el 22% de la variabilidad de la abundancia total de invertebrados planctónicos (Tabla A 6.4. del Anexo 6), lo cual los convierte en excelentes indicadores de los efectos del cambio climático para la región Altiplánica, argumento suficiente para proponerlos como parámetro de monitoreo (ver sección 5.3.1).



**Figura 4.15.** Correlaciones significativas entre variables de composición de invertebrados planctónicos en Lagunillas y variables climáticas. A: Riqueza de especies y  $PP_4$ ; B: Riqueza de especies y  $PP_{12}$ ; C: Abundancia total y  $PP_{12}$ ; D: Abundancia total y  $T^{\circ}_4$ .

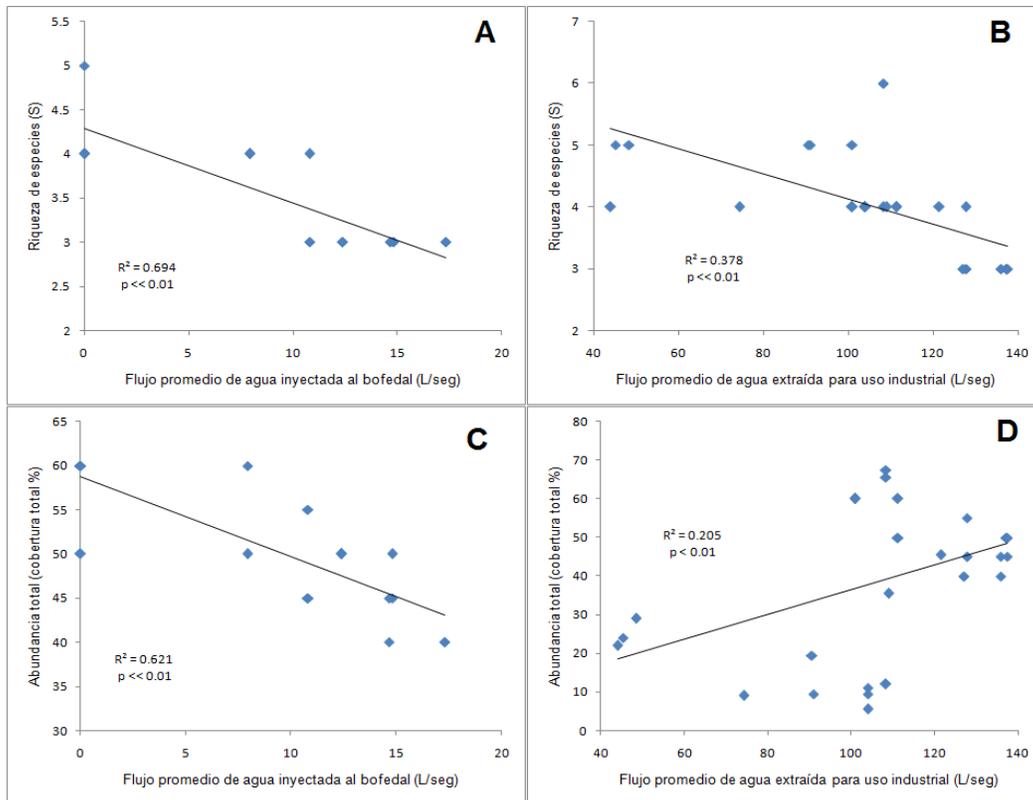
### 4.3.4. Flora vascular

Basados en el monitoreo de una parcela permanente establecida por el CENIMA (U. Arturo Prat) en la zona de bofedal del sector norte de Lagunillas se exploró la relación entre composición florística y variables climáticas. En general, las variables climáticas presentan relaciones débiles con la composición florística. La riqueza se correlaciona significativamente sólo con la precipitación mensual promedio de los últimos 4 meses. La abundancia total por su parte se correlaciona significativamente sólo con la precipitación mensual promedio de los últimos 12 meses (Figura 4.16; Anexo 6).



**Figura 4.16.** Correlaciones significativas entre variables de composición de flora vascular en Lagunillas y variables climáticas. A: Riqueza de especies y PP<sub>4</sub>; B: Abundancia total y PP<sub>12</sub>.

Para el caso del humedal de Lagunillas, que presenta alteraciones al ciclo hidrológico, por la extracción de agua para uso industrial desde 1994 y por la implementación de un plan de recarga artificial desde 2004 para contrarrestar los eventuales efectos de tal extracción de agua se exploró las relaciones entre estas perturbaciones y la composición florística. Los resultados indican que tales perturbaciones presentan una relación directa tanto con la riqueza como con la abundancia total registrada en la parcela de monitoreo. Los efectos de la extracción de agua para uso industrial se expresan en una disminución de la riqueza de especies y un aumento en la abundancia (Figura 4.17 B y D, respectivamente; Anexo 6), mientras que el flujo de agua inyectado a las vertientes como parte del sistema de regadío artificial se correlaciona inversamente tanto con la riqueza como con la abundancia, teniendo efectos contrarios a los esperados (Figura 4.17 A y C, respectivamente; Anexo 6).



**Figura 4.17.** Relación entre el flujo promedio de extracción de agua y el flujo promedio inyectado para el sistema de riego artificial del bofedal con la composición florística del bofedal de Lagunillas. A: Correlaciones entre la riqueza de especies y el flujo promedio inyectado al bofedal como parte del sistema de riego artificial (litros/segundo), (correlación sólo abarca el periodo 2005-2011). B: Correlaciones entre la riqueza de especies y el flujo promedio de extracción de agua para uso industrial. C: Correlación entre la abundancia total de flora vascular (expresada en % de cobertura) y el flujo promedio inyectado al bofedal (litros/segundo). D: Correlación entre la abundancia total y el flujo promedio de agua extraído para uso industrial.

Se puede concluir que, a escala local y tomando como ejemplo el sector de Lagunillas (único sitio donde se monitorean otros taxones), la biota responde de manera distinta entre los distintos taxones, lo cual se ve reflejado al comparar las variables ambientales que influyen en la riqueza y abundancia de especies de aves, invertebrados planctónicos, microalgas de la columna de agua y flora vascular. Entre éstos, el grupo más susceptible a las variaciones en precipitación y temperatura es el de los invertebrados planctónicos. Sin embargo, debido a la historia de perturbaciones del humedal Lagunillas, los monitoreos llevados a cabo no permiten atribuir cambios en la composición biótica a la variabilidad climática. A partir de la inundación de 2001, una perturbación catastrófica en que más del 70% de la vegetación azonal hídrica quedó bajo el agua por un periodo de tiempo prolongado y posteriormente se secó, la vegetación ha entrado en un estado de sucesión temprana, por lo que muchos es los cambios en composición podrían deberse no a presiones ambientales, sino al proceso natural de recuperación post-perturbación (Carrasco et al, 2005)

De este análisis se desprende la recomendación de estudiar los eventuales efectos del cambio climático en humedales con escasa intervención, como es el caso del Salar de Huasco. A pesar de su condición de laboratorio natural, el Salar de Huasco no cuenta actualmente con un sistema adecuado de monitoreo ambiental focal, mucho menos con uno enfocado a cambio climático. Resulta prioritario entonces desarrollar un plan de monitoreo estandarizado y replicable, con

periodicidad determinada y llevado a cabo de manera continua para atribuir cambios en la biota a presiones ambientales variables en el tiempo y el espacio, como lo es el cambio climático.

## 5. ÍNDICE DE FUNCIONALIDAD PERILACUSTRE: ADAPTACIÓN AL ALTIPLANO ANDINO

En este capítulo se propone un índice de relativamente fácil aplicación e interpretación, que optimice la información cuantitativa o cualitativa disponible para llevar a cabo una evaluación rápida y efectiva del estado ecológico de los humedales del altiplano andino. La propuesta se elabora a partir de la adaptación del Índice de Funcionalidad Perilacustre (SFI, por su sigla en Inglés; Siligardi et al., 2010). La metodología utilizada es la misma del proceso de elaboración del SFI (Siligardi et al., 2010) pero, además, se agrega un nuevo set de parámetros, con el objeto de diseñar un plan de seguimiento que ponga foco en los potenciales efectos del cambio climático en los humedales del altiplano andino.

La funcionalidad ecológica es el producto de las relaciones de los componentes de un ecosistema con su ambiente, por lo tanto depende tanto de su naturaleza como de las perturbaciones ambientales promovidas por el ser humano. El Indicador de Funcionalidad Perilacustre (SFI) tiene por objetivo estimar el nivel de funcionalidad de la zona perilacustre a partir de parámetros de fácil evaluación *in situ*. Por lo tanto el resultado de esta estimación dependerá tanto del grado de perturbación como de las condiciones originales del humedal.

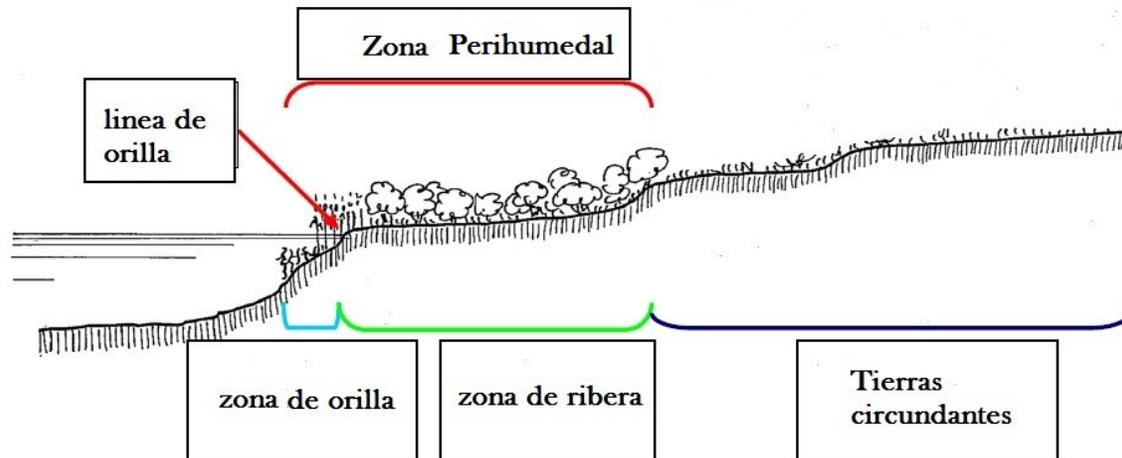
El SFI se ha desarrollado bajo un contexto de grandes perturbaciones antropogénicas, principalmente procesos de urbanización e industrialización, en que la integridad ecológica ha sido alterada por construcciones y acciones físicas de la zona de ribera. Además, se ha desarrollado y puesto a prueba para clasificar la funcionalidad ecológica de lagos, lo que implica que las condiciones ambientales que modulan la funcionalidad natural de la zona Perilacustre (especialmente las topográficas), sean radicalmente distintas de las observadas en el altiplano andino. Ello limita su capacidad de clasificación de la funcionalidad ecológica de la zona perimetral y por ende, a su utilización efectiva para estos sistemas límnicos (Seremi Medio Ambiente Tarapacá, 2012). Resulta entonces necesario adaptar el Índice, a través de una selección cuidadosa de los parámetros evaluados, y al mismo tiempo adaptando el árbol de decisiones que lleva a cabo la estimación de funcionalidad de la zona perimetral (SEREMI Medio Ambiente Los Lagos, 2012). El objetivo es ponderar, ajustado al contexto del altiplano, la importancia de cada parámetro en la estimación de la funcionalidad ecológica de la zona perimetral.

### 5.1. Consideraciones previas

La zona perilacustre es la interfase entre ecosistemas acuáticos y terrestres, presentando características ecotonales que le confieren una gran importancia ecológica, reflejado en sus altos niveles de biodiversidad. La zona perilacustre se extiende alrededor de los lagos con un ancho determinado, y presenta funciones ecológicas que dependen de variables ambientales, especialmente topográficas. Paralelamente, para el caso de los humedales, y en particular de aquellos asociados a cuerpos de agua del altiplano andino (lagunas de evaporación, vegas y bofedales), la zona perimetral (zona perihumedal) comparte la relevancia funcional de la zona perilacustre. Sin embargo, presenta una dinámica estacional e interanual muy marcada, regulada, bajo condiciones naturales, casi exclusivamente por variables climáticas como precipitación y temperatura, las que determinan en corto y mediano plazo el tamaño del cuerpo de agua y los límites de la zona perihumedal. Esto es así debido a que las cuencas que los contienen son de naturaleza endorreica; es decir, no presentan salida superficial al mar, por lo que el balance hídrico tiene como principales componentes la evaporación, la filtración de agua al acuífero, las precipitaciones estacionales y el aporte subterráneo a través de surgencias.

En el presente informe se define 'Zona Perihumedal' como una banda que incluye parte de los suelos anegados, desde la línea de orilla hacia el interior del cuerpo de agua, limitado por la línea de la vegetación acuática (si no está presente no será considerada); y la zona de vegetación

azonal hídrica no anegada. Esto es desde la línea de orilla, hasta el límite de la vegetación azonal hídrica, incluyendo costra de sal, vegetación salina y vegetación higrófila. Ésta es una adaptación práctica de la definición de zona perilacustre originalmente planteada por Siligardi y colaboradores (2010) (“toda la zona entre la línea de orilla y una profundidad máxima de 1 metro y la zona de ribera completa, con un máximo de 50 metros desde la línea de orilla”). El motivo de la adaptación es que gran parte de los humedales del altiplano andino presentan escasa pendiente, muchas veces no superando la profundidad de 1 metro, por lo que resultaría contraproducente y difícil de delimitar bajo la forma descrita.



**Figura 5.1.-** Esquema de la zona perihumedal (modificado del esquema de la zona perilacustre, Siligardi y colaboradores, 2010).

El gran dinamismo que caracteriza a los humedales de la región presenta dos grandes desafíos: a) delimitar el humedal y la zona perilacustre; y b) incorporar los dinamismos en una evaluación del estado funcional de la zona perihumedal. Para sortear estas dificultades, tanto los límites del humedal como los de la zona perilacustre serán establecidos mediante fotointerpretación a partir de imágenes satelitales de las últimas tres décadas, en distintas estaciones del año. El objetivo es capturar la mayor parte de la dinámica estacional e interanual, fijando el límite de la franja perihumedal a partir de la mayor extensión de la vegetación higrófila registrada en este periodo.

Otras diferencias importantes radican en la naturaleza, la magnitud y la distribución de la presión antropogénica. En este caso, específicamente, interesa su magnitud y su origen, lo que puede registrarse mediante la inclusión de parámetros adecuados en la ficha de evaluación de funcionalidad, lo que permitirá distinguir patrones espaciales en tales presiones, y cómo ellas podrían estar afectando la funcionalidad ecológica de estos humedales.

Finalmente, el diseño del índice propuesto, enfocado a evaluar la funcionalidad de la zona perihumedal, se limita a la evaluación de humedales asociados a cuerpos de agua (sean estos permanentes o estacionales). Por lo tanto, quedan excluidos los humedales asociados a quebradas, a pesar de que constituyen un componente importante de los sistemas de humedales de la región.

## 5.2. Implicancias de los objetivos

El objetivo de este trabajo es virtualmente equivalente al de Siligardi y colaboradores (2010), ya que busca: a) caracterizar el contexto de cada humedal asociado a cuerpos de agua del Altiplano, y b) evaluar el estado funcional de tales humedales. Sin embargo, el foco ya no estará sólo en la función de protección del cuerpo de agua de fuentes de contaminación no puntuales que realiza la zona de orilla, sino asegurar además otras funciones importantes como la disponibilidad de agua en la cuenca, la amortiguación de eventos catastróficos como inundaciones, y la regulación del ciclo de carbono. Además, la propuesta de indicador incluye un tercer objetivo no contemplado en el SFI, que consiste en: c) monitorear el estado funcional a través del tiempo para distinguir potenciales efectos del cambio climático. Para cumplir con estos tres objetivos, se proponen tres set de parámetros que generarían cada uno la información necesaria para cumplir los objetivos de caracterizar y evaluar el estado funcional (constituyendo un índice de funcionalidad) y monitorear los efectos del cambio climático sobre la estructura y función de estos ecosistemas. Los parámetros son los siguientes:

- 1) Parámetros de caracterización: Son aquellos relacionados con las condiciones bióticas y abióticas actuales de la estructura y composición de cada humedal. Son evaluables tanto *ex situ* como *in situ* y permiten caracterizar el contexto ambiental de cada humedal (Ver Ficha 1). La evaluación de cada parámetro se lleva a cabo primeramente a partir de información bibliográfica y de no ser posible completarlo en su totalidad, se dará cuenta de los vacíos en la información disponible.
- 2) Parámetros de funcionalidad aparente: Son aquellos parámetros de la estructura del humedal, evaluables a simple vista, pero que se relacionan inequívocamente a determinadas funciones ecosistémicas. Serán aplicados *in situ*, y permitirán evaluar el estado funcional de la zona perihumedal, relacionando observaciones directas de su estructura, con la funcionalidad potencial de la zona de orilla. En otras palabras, estos parámetros dan cuenta de la capacidad aparente de la zona de orilla para proteger la funcionalidad del humedal en un momento dado. Este set conforma el Índice de Funcionalidad Perihumedal para Cuerpos de Agua del Altiplano (IFPCAA), el cual deberá ser evaluado por completo para los humedales seleccionados y reflejado en la cartografía respectiva.
- 3) Parámetros para monitorear efectos ecológicos del cambio climático: Son parámetros relacionados directamente con funciones ecosistémicas que podrían verse afectadas por el cambio climático. También son evaluados *in situ*, y permitirían monitorear el estado funcional a través del tiempo con foco en eventuales efectos del cambio climático. Este set representa una propuesta para generar información a mediano y largo plazo.

Estos parámetros, en su conjunto y por separado, proveerán la información pertinente a la toma de decisiones de manejo y uso sustentable de los ecosistemas.

## 5.3. Método de adaptación

### 5.3.1. Selección de parámetros

#### a) Parámetros de caracterización

Los parámetros utilizados para la caracterización del humedal en su conjunto corresponden principalmente a los utilizados por el SFI. A ellos se les agregan aquellos relevantes para la

caracterización incluidos en las Fichas de Calidad de Humedales desarrolladas anteriormente por el Centro de Estudios de Humedales (CEH, 2011). Cabe destacar el hecho de que parámetros de la Ficha 1 no puedan ser evaluados aún por el limitado conocimiento de estos sistemas no impide llevar a cabo la evaluación de funcionalidad. Por lo tanto, la Ficha 1 deberá ser llenada con la mejor información disponible a la fecha, y evidenciará los vacíos de información actuando como guía para el conocimiento de estos ecosistemas.

**Tabla 5.1. Ficha 1 de** parámetros de caracterización del humedal.

	<b>PARÁMETRO</b>	<b>Expresión</b>	<b>Tipología</b>
<b>TOPOGRÁFICOS</b>	• origen <sup>1</sup>	-	categorías
	• tipo <sup>2</sup>	-	categorías
	• posición fisiográfica <sup>3</sup>	-	categorías
	• latitud	coordenadas UTM	número
	• longitud	coordenadas UTM	número
	• altitud media de la cuenca	msnm	número
	• altitud del cuerpo de agua	msnm	número
	• altitud máxima del humedal	msnm	número
	• altitud promedio del humedal	msnm	número
<b>MORFOLÓGICOS</b>	• área de la cuenca (AC)	km <sup>2</sup>	número
	• área promedio (30 años) cuerpo de agua marzo	km <sup>2</sup>	número
	• área promedio (30 años) cuerpo de agua noviembre	km <sup>2</sup>	número
	• área máxima registrada	km <sup>2</sup>	número
	• área mínima registrada	km <sup>2</sup>	número
	• capacidad tributaria	m <sup>3</sup> /s	número
	• área humedal	km <sup>2</sup>	número
	• relación área humedal / área cuenca	0 a 1	número
	• variabilidad intra-anual del nivel de agua	-	categorías
<b>CLIMÁTICOS</b>	• Evaporación potencial	unidades	número
	• precipitación anual promedio (30 años)	mm/año	número
	• varianza precipitación anual (30 años)	-	número
	• tendencia de la precipitación anual (últimos 30 años)	-1 a 1	número
	• precipitación promedio de verano* (últimos 30 años)	mm/año	número
	• varianza precipitación de verano (últimos 30 años)	-	número
	• precipitación promedio de invierno** (últimos 30 años)	mm/año	número
	• varianza precipitación de invierno (últimos 30 años)	-	número
	• tendencia de la temperatura media anual (últimos 30 años)	-1 a 1	número

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• promedio de la temperatura máxima en enero (últimos 30 años)</li> <li>• varianza temperatura máxima en enero (últimos 30 años)</li> <li>• promedio de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)</li> <li>• varianza de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)</li> </ul>	<p>°C</p> <p>-</p> <p>°C</p> <p>-</p>	<p>número</p> <p>número</p> <p>número</p> <p>número</p>
<b>PRESIONES ANTROPOGÉNICAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• extracción de agua relativa a la capacidad tributaria</li> <li>• destino de la utilización del recurso agua a nivel de cuenca<sup>4</sup></li> <li>• intensidad de minería en la cuenca</li> <li>• densidad poblacional a nivel de cuenca</li> <li>• intensidad de turismo en la cuenca (10 años)</li> <li>• número (y distribución) de las fuentes de contaminación industrial</li> <li>• manejo ambiental</li> <li>• grado de protección: porcentaje de la cuenca bajo protección efectiva<sup>5</sup></li> <li>• Intensidad de agricultura en la cuenca<sup>6</sup></li> <li>• Intensidad de geotermia en la cuenca</li> <li>• grado de naturalidad o alteración de la cubeta<sup>7</sup></li> <li>• existencia de flujos de materia orgánica de origen antrópico hacia el humedal desde sistemas terrestres y fluviales<sup>8</sup></li> <li>• intensidad de la ganadería a nivel de cuenca relativo a la capacidad de carga</li> </ul>	<p>% (pudiendo ser mayor a 100)</p> <p>-</p> <p>toneladas por mes</p> <p>personas / km<sup>2</sup></p> <p>promedio anual de visitas</p> <p>-</p> <p>Con, o sin</p> <p>%</p> <p>-</p> <p>MWatts/Km<sup>2</sup></p> <p>-</p> <p>-</p> <p>% (pudiendo ser mayor a 100)</p>	<p>número</p> <p>categorías</p> <p>número</p> <p>número</p> <p>número</p> <p>número</p> <p>categorías</p> <p>número</p> <p>categorías</p> <p>categorías</p> <p>número</p>
<b>OTROS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tipo principal del sustrato<sup>9</sup></li> <li>• Tamaño del almacén de carbono</li> <li>• permeabilidad del sustrato<sup>10</sup></li> <li>• Salinidad aparente en superficie<sup>11</sup></li> <li>• Ecotipo<sup>12</sup></li> <li>• Vegetación dominante<sup>13</sup></li> <li>• Porcentaje del humedal cubierto por costra salina</li> <li>• principios indicadores<sup>14</sup></li> <li>• conductividad del agua (µS/cm)<sup>15</sup></li> <li>• pulsos de inundación<sup>16</sup></li> </ul>	<p>-</p> <p>toneladas</p> <p>-</p> <p>%</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>%</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p>	<p>categorías</p> <p>número</p> <p>categorías</p> <p>número</p> <p>categorías</p> <p>categorías</p> <p>número</p> <p>categorías</p> <p>categorías</p> <p>categorías</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hidroperiodo<sup>17</sup></li> <li>• Tamaño<sup>18</sup></li> </ul>	-	categorias
		-	categorias

- 1 = tectónico, volcánico, glacial, endorreico, estacional, otros  
 2 = artificial, natural abierto, natural grande, natural cerrado, natural regulado, otros  
 3 = ladera o valle  
 4 = sin uso; tradicional; industrial; mixto  
 5 = sometida al SNASPE, a áreas silvestres protegidas privadas, a sitios RAMSAR, a Santuarios de la Naturaleza o a Monumentos Naturales.  
 6= sin agricultura, agricultura de subsistencia, producción industrial  
 7= Sin alteración, Excavación-Camino/carretera, Cultivos muy próximos, Ganado, Extracción de áridos, otros.  
 8= No existe evidencia, Presencia de plantaciones de especies exóticas, Presencia de pozos de extracción de agua en la cuenca, Aporte de Riles en el cauce de tributarios del humedal o directamente sobre éste, Presencia de Canales.  
 9 = calcáreo, magmático, metamórfico, sedimentario, otros  
 10 = alta, media, baja, nula  
 11 = % visual de sales en la superficie  
 12 = clasificación según Ahumada & Faúndez (2009)  
 13 = clasificación según Ahumada & Faúndez (2009)  
 14 = ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, hipertrófico  
 15 = ya sea promedio (con medidas de dispersión y N); o bien última medición realizada (especificar fecha de medición).  
 16 = Sin alteración, Evidencia de crecidas o inundaciones del espejo de agua  
 17 = permanentes, semipermanentes, temporal estacional, temporal intermitente  
 18 = 100 o más ha.; 10 a 99 ha; menor o igual a 9 ha  
 \* Verano: Noviembre - Febrero  
 \*\* Invierno: Mayo – Agosto

#### b) Parámetros de funcionalidad aparente (IFPCAA)

Los parámetros utilizados en la Ficha 2, corresponden a aquellos parámetros que potencialmente conformarán el IFPCAA, y que fueron seleccionados buscando mantener la estructura desarrollada por Siligardi y colaboradores (Tabla 5.2).

Los parámetros fueron colectados de literatura y en base al conocimiento experto de los sistemas locales. La Ficha 2 contiene un set de 26 parámetros, de los cuales 14 se mantienen a partir del indicador original (SFI); 9 fueron reestructurados en función de las características propias de la biota altiplánica o bien de las presiones antropogénicas presentes en la Región; y 3 se agregaron para dar cuenta del nivel de estrés o del valor ecológico de cada unidad homogénea. Además, algunos de los parámetros que se mantienen fueron recategorizados acorde a las observaciones desprendidas de las campañas de terreno.

Para la selección de los 26 parámetros expuestos en la Ficha 2 se verificó que cumplan con el principio de ser fácilmente evaluables *in situ*. Con esto, la lista de parámetros recabados a partir de la literatura y las recomendaciones de expertos disminuyó notablemente. Al respecto, los parámetros propuestos por Siligardi y colaboradores en su mayoría no fueron reemplazados por otros, sino que se modificaron las categorías ocupadas para evaluarlos, ajustándolas al contexto del altiplano andino.

Cabe destacar que el SFI sólo considera 9 de los 28 parámetros originalmente propuestos para la clasificación de funcionalidad (Siligardi et al, 2010). De manera análoga, los parámetros que

formarán parte del nuevo árbol de decisiones del IFPCAA son seleccionados mediante un análisis de redes neuronales siguiendo la metodología original. Este método estadístico no paramétrico de inteligencia artificial, utilizado entre otras cosas para clasificación, es capaz de filtrar aquellos parámetros que sean aparatosos o que entreguen información insignificante para diferenciar zonas funcionalmente distintas. Por lo tanto, para la construcción del IFPCAA, los parámetros son filtrados *a posteriori* (después de la salida a terreno) como se describe en la sección 4.5, sólo considerándose aquellos que se relacionen a la funcionalidad de la zona de orilla y a la vez que sean capaces de distinguir efectivamente zonas funcionalmente distintas.

**Tabla 5.2.** Ficha 2, de parámetros de funcionalidad aparente utilizados para construir el IFPCAA. A pesar de que no todos los parámetros serán incorporados en la evaluación, todos deben ser llenados. Esto permitirá tener una visión completa del estado funcional del humedal en el momento de su evaluación; además, se define la información que podrá ser utilizada en otras posibles evaluaciones o bien directamente en aportar a la toma de decisiones de gestión.

	Parámetros	Tipología	Valor
1	extensión de la zona perihumedal <sup>1</sup>	categoría	0,1,2,3,4,5
2	caracterización de la vegetación		
2.1	Diversidad vascular <sup>2</sup>	categoría	0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1
2.2	Productividad vegetal <sup>2</sup>	categoría	0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1
2.3	cobertura total de la vegetación en la ribera	numérico	%
2.4	cobertura vegetación acuática (hidrófita, helófitas, anffitas, macrófitas)	numérico	%
2.5	cobertura vegetación arbustiva (tola)	numérico	%
2.6	cobertura vegetación en cojín	numérico	%
2.7	cobertura vegetación cespitosa baja	numérico	%
2.8	cobertura vegetación cespitosa con champas	numérico	%
2.9	Cobertura de vegetación dominada por especies rizomatosas (vega)	numérico	%
2.10	porcentaje de vegetación muerta	numérico	%
2.11	especies de flora no higrófila	numérico	
2.12	especies de flora amenazadas	numérico	
2.13	especies de flora endémicas regionales	numérico	
2.14	suelos desnudos	numérico	%
2.15	heterogeneidad vegetal <sup>3</sup>	numérico	0 a 1
2.16	continuidad de la vegetación azonal hídrica	categoría	0; 0,5 ó 1
2.17	continuidad de la vegetación acuática en el suelo <sup>4</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
3	Interrupciones artificiales de la vegetación <sup>5</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
4	tipos de uso antrópico de la ribera <sup>6</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
5	principales usos de las tierras circundantes <sup>7</sup>	categoría	0, 1, 2, 3 ó 4
6	Infraestructura dentro de la zona perihumedal <sup>8</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
7	grado de artificialidad de la ribera <sup>9</sup>	numérico	0 a 1
8	forma de la línea de orilla: concavidad / convexidad <sup>10</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
9	complejidad de forma <sup>11</sup>	categoría	0; 0,5; 1

10	salinidad aparente en superficie	numérico	0; 0,5; 1
11	valoración personal del evaluador <sup>12</sup>	categoría	0,1,2,3,4,5

- 1: categorías: 1 = 0 a 5m; 2 = >5>10; 3 = >10>30; 4 = >30 > 50; 5 = 50 o más.  
 2: 0 = nula; 0,1 = muy baja; 0,3 = baja; 0,5= media; 0,8= alta; 1= muy alta.  
 3: 0= Monoespecífico; 1= muy diversificado, sin especies dominantes; 0,1-0,9=valores intermedios.  
 4: 0= Ausente; 0,5= Discontinuo; 1 = Continuo.  
 5: 0= -sin interrupciones; 1= interrumpido por infraestructura habitada; 0,5 = infraestructura no habitada (por ejemplo caminos).  
 6: 0= no uso; 0,5 = agrícola/ganadero/ tradicional; 1= industrial  
 7: 1 = formaciones xerofíticas, 2 = pasturas ganaderas, 3 = suelos desnudos, 4= asentamientos humanos.  
 8= categorías por establecer.  
 9: 0= sin evidencia aparente de perturbaciones humanas; 1= con evidencias claras de perturbación mayor atribuible al humano; 0,1-0,9 = valores intermedios de perturbación antropogénica.  
 11: 0 = unidad de forma circular con un perfil liso; 1 = unidad con forma compleja con zonas cóncavas y convexas, y con un perfil accidentado; 0,1-0,9= valores intermedios de complejidad de forma.  
 12: 1: Escasa a nula funcionalidad; 2: pobre funcionalidad; 3: moderada funcionalidad; 4: Buena funcionalidad; 5: Excelente funcionalidad.

### c) Parámetros para monitorear efectos ecológicos del cambio climático

Los parámetros de la Ficha 3 son propuestos con el objetivo de llevar a cabo el seguimiento a los componentes y funciones que, según investigación científica de corriente mundial, podrían verse afectados por los efectos del cambio climático. Bajo este contexto, las principales funciones de los humedales del altiplano andino que podrían verse involucradas son la regulación del ciclo hidrológico, la regulación del ciclo de carbono, la productividad ecosistémica y la provisión de nichos ecológicos para especies de flora y fauna (Uribe & CED/CEH, 2012). Esto se traduciría en una eventual disminución en la magnitud de los servicios ecosistémicos de provisión de agua, mitigación del cambio climático (suponiendo a los humedales como captadores de CO<sub>2</sub> atmosférico), y capacidad de carga ganadera, entre otros.

Los parámetros propuestos pretenden dar cuenta, de ser evaluados de manera periódica y sistemática, de los mecanismos de regulación que el clima podría estar ejerciendo sobre las funciones ecosistémicas mencionadas. Además, una evaluación temprana de las consecuencias ecológicas del cambio climático permitiría actuar de manera proactiva, evitando mayores consecuencias a través de un manejo ambiental adecuadamente informado.

La periodicidad, la metodología y la escala espacial para evaluar cada uno de estos parámetros dependerá de los objetivos específicos de un eventual plan de monitoreo futuro: por lo tanto, también escapan a los objetivos de la presente consultoría. Sin embargo y a modo de ejemplo, se recalca que para el monitoreo de los flujos de carbono (parámetros 2 al 4 en la Ficha 3, ver Tabla 5.3), la metodología más adecuada dependerá fuertemente del financiamiento, la escala temporal (y por tanto, el detalle en la dinámica de los flujos) y la extensión del monitoreo (cuántos sitios de estudio o humedales distintos sean monitoreados). Del mismo modo, monitorear la temporalidad de floración requiere seleccionar una metodología que considere por ejemplo, una especie o un conjunto limitado de especies, las cuales deberán ser seleccionadas en función del grado de conocimiento de su dinámica reproductiva (que deberá ser necesariamente bien conocido, mostrando sincronía en la floración a escala local) y de la facilidad de distinguir las estructuras reproductivas a largas distancias para facilitar su monitoreo.

Tabla 5.3.Ficha 3, de parámetros propuestos para futuros monitoreos de los efectos del cambio climático sobre la funcionalidad de los humedales del Altiplano Andino.

	Parámetros	Tipología	Valor
1	Caudales principales vertientes y afluentes	m <sup>3</sup> /s	número
2	Intercambio neto anual de CO <sub>2</sub> atmósfera-humedal	Kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	número
3	Respiración ecosistémica anual	Kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	número
4	Productividad ecosistémica anual	Kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	número
5	Temporalidad de floración	semana de la primera floración	número
6	Temporalidad de nidificación de aves	semana de primera nidada	número
7	Capacidad de carga de pastoreo	cabezas de ganado / cuenca	número
8	Composición florística	abundancias relativas	número
9	Porcentaje clorofila A	%	número
10	Densidades poblacionales micromamíferos	individuos/km <sup>2</sup>	número
11	Abundancia aves	N° individuos	número
12	Densidades poblacionales microinvertebrados planctónicos	individuos/Litro	número

### 5.3.2. Protocolo de evaluación en terreno del IFPCAA

El presente protocolo detalla paso a paso la metodología para llevar a cabo de manera efectiva y sistemática la evaluación de la funcionalidad de la zona perihumedal a través del IFPCAA.

1.- Previo a la campaña de terreno se llevará a cabo una investigación preliminar que permita poner en contexto los humedales que serán evaluados. Para eso se llena la Ficha 1 a partir de información disponible y se generan mapas temáticos del humedal y las tierras circundantes. Ello dará una perspectiva del ecosistema en su conjunto, informando los usos de suelo, los caminos cercanos y las posibles fuentes de presiones antropogénicas. La información útil para los mapas temáticos incluye: vegetación, uso de suelo, tipo de suelo, altitud, relieve y batimetría, etc. La información recabada para la caracterización del humedal y la generación de los mapas temáticos también será útil en terreno, cuando se distingan unidades homogéneas de orilla, para lo cual resultará útil contar con fotografías aéreas o satelitales.

2.- A partir de la información recabada en el paso 1 y de imágenes satelitales con una escala adecuada, se llevará a cabo una delimitación *a priori* de las unidades homogéneas de la franja de zona perihumedal. Para esto, la fotointerpretación y los mapas temáticos permitirán establecer límites de cada unidad, las cuales deberán ser mapeadas y georeferenciadas.

3.- Ya en terreno, el primer paso para la evaluación resulta determinante, y corresponde a la distinción y validación de cada unidad homogénea en la zona de orilla. Para esto, se utilizarán las unidades distinguidas *a priori* pero, además, el cambio en cualquiera de los parámetros de la Ficha 2 motivará la distinción entre dos unidades homogéneas diferentes. El largo de cada zona homogénea no está predeterminado; sin embargo, el largo mínimo será de 50 metros para evitar problemas con la detección de los cambios y con la construcción del SIG.

4.- Una vez distinguidas y validadas, cada unidad homogénea deberá ser georeferenciada en sus vértices y numerada. Esto facilitará su procesamiento, atribuyéndosele una ficha numerada. Además facilitará la construcción del SIG y la cartografía resultante.

5.- Para cada unidad homogénea de orilla se necesitarán al menos dos personas para llevar a cabo la evaluación de cada parámetro de la ficha 2. Todos los datos deben ser colectados en terreno, para lo cual se necesitará: lápiz, GPS, huincha de medir, y de ser posible un telémetro.

Dado que la cantidad de unidades homogéneas distinguidas a priori muy probablemente será menor a la cantidad de unidades distinguidas en terreno, se deberá contar con a lo menos el doble de Fichas 2 numeradas. Además, mientras mayor sea el grupo de evaluadores y mejor conocimiento tengan del funcionamiento de los sistemas evaluados, más confiable será la evaluación. Esto tiene especial importancia para el parámetro 11 de la Ficha 2, el cual será utilizado como salida en la construcción de nuestro modelo, y a partir del cual evaluaremos el grado de predictibilidad de nuestro modelo (Ver sección 4.5).

### 5.3.3. Cálculo del IFPCAA: Estimación de la funcionalidad de la zona de orilla

Los indicadores considerados para el cálculo del IFPCAA fueron seleccionados *a posteriori*, analizando la variabilidad de los 26 parámetros evaluados de la Ficha 2, y construyendo un modelo de clasificación utilizando árboles de clasificación utilizando particiones recursivas. El modelo se alimentó con los valores de cada parámetro evaluado en cada una de las franjas de los humedales seleccionados a manera de variables explicativas, y se utilizó como salida del modelo (variable respuesta) la opinión experta sobre la funcionalidad de cada unidad homogénea evaluada a simple vista (parámetro 11 de la Ficha 2). A partir de estos datos se determinaron, mediante un análisis de sensibilidad, los parámetros que mejor clasificaron la funcionalidad. Luego se construyó un árbol de decisiones, mediante el cual se estimó la funcionalidad de cada franja homogénea, calculando la probabilidad de ocurrencia de cada categoría (I al V), estableciéndose la mayor probabilidad como el resultado de la evaluación del Índice de Funcionalidad Perihumedal para el Altiplano (IFPCAA). El árbol de clasificación se construyó utilizando el software estadístico gratuito estudio, utilizando los paquetes rpart y partykit. La capacidad de predicción del árbol de decisiones generado con este modelo fue puesta a prueba mediante la prueba de Kappa de Cohen (Cohen, 1960) y comparada con la capacidad de predicción expuesta por el SFI.

## 5.4. Resultados

### 5.4.1. Parámetros evaluados

#### a) Parámetros de caracterización

**Tabla 5.4.** Parámetros de caracterización del humedal evaluados para el Salar del Huasco.

	PARÁMETRO	Expresión
<b>TOPOGRÁFICOS</b>	• origen <sup>1</sup>	endorreico
	• tipo <sup>2</sup>	natural cerrado
	• posición fisiográfica <sup>3</sup>	Pampa abierta
	• latitud	7754553
	• longitud	516048
	• altitud media de la cuenca	3750
	• altitud del cuerpo de agua	3800
	• altitud máxima del humedal	3830
	• altitud promedio del humedal	3800
<b>MORFOLÓGICOS</b>	• área de la cuenca (AC)	1469,72 Km <sup>2</sup>
	• área promedio (30 años) cuerpo de agua marzo	2 km <sup>2</sup>
	• área promedio (30 años) cuerpo de agua noviembre	2,377 km <sup>2</sup>
	• área máxima registrada	9,591 km <sup>2</sup>
	• área mínima registrada	2,112 km <sup>2</sup>
	• capacidad tributaria	NE
	• área humedal	656,9 km <sup>2</sup>
	• relación área humedal / área cuenca	0,45
	• variabilidad intra-anual del nivel de agua	NE
<b>CLIMÁTICOS</b>	• Evaporación potencial	NE
	• precipitación anual promedio (30 años)	139,0 mm
	• desv.est. precipitación anual (30 años)	87,47 (N=29)
	• tendencia de la precipitación anual (últimos 30 años)	1,828
	• precipitación promedio de verano* (últimos 30 años)	108,41 mm
	• desv.est. precipitación de verano (últimos 30 años)	72,15 (N = 28)
	• precipitación promedio de invierno** (últimos 30 años)	5,29 mm

	<ul style="list-style-type: none"> <li>desv.est. precipitación de invierno (últimos 30 años)</li> </ul>	10,54 (N=29)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>temperatura máxima promedio anual (últimos 30 años)</li> </ul>	14,91 (°C)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>desv.est. promedio temperatura media anual</li> </ul>	0,992 (N = 26)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>tendencia de la temperatura media anual (últimos 30 años)</li> </ul>	0,025
	<ul style="list-style-type: none"> <li>promedio de la temperatura máxima en enero (últimos 30 años)</li> </ul>	17,24 (°C)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>desv.est. temperatura máxima en enero (últimos 30 años)</li> </ul>	1,465 (N = 28)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>promedio de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)</li> </ul>	10,96 (°C)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>desv.est. de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)</li> </ul>	1,441 (N = 30)
<b>PRESIONES ANTROPOGÉNICAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>extracción de agua relativa a la capacidad tributaria</li> </ul>	376,10 L/s
	<ul style="list-style-type: none"> <li>destino de la utilización del recurso agua a nivel de cuenca<sup>4</sup></li> </ul>	Tradicional
	<ul style="list-style-type: none"> <li>intensidad de minería en la cuenca</li> </ul>	0
	<ul style="list-style-type: none"> <li>densidad poblacional a nivel de cuenca</li> </ul>	6 Km <sup>-2</sup>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>intensidad de turismo en la cuenca (10 años)</li> </ul>	NE
	<ul style="list-style-type: none"> <li>número (y distribución) de las fuentes de contaminación industrial</li> </ul>	0
	<ul style="list-style-type: none"> <li>manejo ambiental</li> </ul>	SI
	<ul style="list-style-type: none"> <li>grado de protección: porcentaje de la cuenca bajo protección efectiva<sup>5</sup></li> </ul>	75%
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intensidad de agricultura en la cuenca<sup>6</sup></li> </ul>	NE
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intensidad de geotermia en la cuenca</li> </ul>	0
	<ul style="list-style-type: none"> <li>grado de naturalidad o alteración de la cubeta<sup>7</sup></li> </ul>	Excavación- Camino/carretera - Ganado
	<ul style="list-style-type: none"> <li>existencia de flujos de materia orgánica de origen antrópico hacia el humedal desde sistemas terrestres y fluviales<sup>8</sup></li> </ul>	No existe evidencia
	<ul style="list-style-type: none"> <li>intensidad de la ganadería a nivel de cuenca relativo a la capacidad de carga</li> </ul>	20%
		<ul style="list-style-type: none"> <li>tipo principal del sustrato<sup>9</sup></li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tamaño del almacén de carbono</li> </ul>	NE

<b>OTROS</b>	• permeabilidad del sustrato <sup>10</sup>	Alta a media
	• Salinidad aparente en superficie <sup>11</sup>	85.7
	• Ecotipo <sup>12</sup>	Humedal continental / evaporación- vega salina/Pajonal salino/bofedal
	• Vegetación dominante <sup>13</sup>	Dominancia de <i>Oxychloe andina</i> – <i>Zameioscirpusatacamensis</i> (bofedal), <i>Carexmiser</i> a (vega salina), <i>Festucanardifolia</i> – <i>F. deserticola</i> - <i>Deyeuxiacurvula</i> (pajonal salino), <i>Frankeniatriandra</i> (llaretilla) y <i>Werneria incisa</i> (pupusal)
	• Porcentaje del humedal cubierto por costra salina	85,7
	• principios indicadores <sup>14</sup>	NE
	• conductividad del agua ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) <sup>15</sup> Promedio (dev.est.; N; periodo)	566, 86 (75,46 ; 21; 01/2006 – 03/2012)
	• pulsos de inundación <sup>16</sup>	Sin alteración
	• hidroperiodo <sup>17</sup>	Permanente
	• Tamaño <sup>18</sup>	6568,99 ha

NOTA: NE= no evaluados.

**Tabla 5.5.** Parámetros de caracterización del humedal evaluados para Lagunillas.

	<b>PARÁMETRO</b>	<b>Expresión</b>
<b>TOPOGRÁFICOS</b>	• origen <sup>1</sup>	endorreico
	• tipo <sup>2</sup>	natural cerrado
	• posición fisiográfica <sup>3</sup>	Pampa abierta
	• latitud	7795752
	• longitud	516029
	• altitud media de la cuenca	4020
	• altitud del cuerpo de agua	4020
	• altitud máxima del humedal	4029
	• altitud promedio del humedal	4020
	• área de la cuenca (AC)	192,37 Km <sup>2</sup>
	• área promedio (30 años) cuerpo de agua marzo	0.409km <sup>2</sup>
	• área promedio (30 años) cuerpo de agua noviembre	0.405km <sup>2</sup>
	• área máxima registrada	145,3 km <sup>2</sup>

<b>MORFOLÓGICOS</b>	• área mínima registrada	0.0051 km <sup>2</sup>
	• capacidad tributaria	m <sup>3</sup> /s
	• área humedal	179km <sup>2</sup>
	• relación área humedal / área cuenca	0,93
	• variabilidad intra-anual del nivel de agua	NE
<b>CLIMÁTICOS</b>	• Evaporación potencial	NE
	• precipitación anual promedio (30 años)	141,05 mm
	• desv.est. precipitación anual (30 años)	73,51 (N=27)
	• tendencia de la precipitación anual (últimos 30 años)	- 0,0432
	• precipitación promedio de verano* (últimos 30 años)	114,7 mm
	• desv.est. precipitación de verano (últimos 30 años)	63,9 (N = 23)
	• precipitación promedio de invierno** (últimos 30 años)	5,926 mm
	• desv.est. precipitación de invierno (últimos 30 años)	17,014 (N = 27)
	• tendencia de la temperatura máxima media anual (últimos 30 años)	0,091
	• temperatura máxima promedio anual (últimos 30 años)	13,51 (°C)
	• desv.est. promedio temperatura media anual (últimos 30 años)	1,155 (N = 20)
	• promedio de la temperatura máxima en enero (últimos 30 años)	15,30 (°C)
	• desv.est. temperatura máxima en enero (últimos 30 años)	1,91 (N = 28)
	• promedio de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)	9,70 (°C)
	• desv.est. de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)	1,47 (N = 27)
<b>PRESIONES ANTROPOGÉNICAS</b>	• extracción de agua relativa a la capacidad tributaria	126,95 L/s (promedio 2011)
	• destino de la utilización del recurso agua a nivel de cuenca <sup>4</sup>	industrial
	• intensidad de minería en la cuenca	0
	• densidad poblacional a nivel de cuenca	3 Km <sup>-2</sup>
	• intensidad de turismo en la cuenca (10 años)	NE
	• número (y distribución) de las fuentes de contaminación industrial	NE
	• manejo ambiental	Con
	• grado de protección: porcentaje de la cuenca bajo protección efectiva <sup>5</sup>	0%
• Intensidad de agricultura en la cuenca <sup>6</sup>	0	

	• Intensidad de geotermia en la cuenca	0
	• grado de naturalidad o alteración de la cubeta <sup>7</sup>	Ganado y extracción de agua
	• existencia de flujos de materia orgánica de origen antrópico hacia el humedal desde sistemas terrestres y fluviales <sup>8</sup>	Sin evidencia
	• intensidad de la ganadería a nivel de cuenca relativo a la capacidad de carga	NE
<b>OTROS</b>	• tipo principal del sustrato <sup>9</sup>	sedimentario
	• Tamaño del almacén de carbono	toneladas
	• permeabilidad del sustrato <sup>10</sup>	Alta a media
	• Salinidad aparente en superficie <sup>11</sup>	92,6
	• Ecotipo <sup>12</sup>	Humedal continental / evaporación-sin información
	• Vegetación dominante <sup>13</sup>	No hay dominante
	• Porcentaje del humedal cubierto por costra salina	92,6
	• principios indicadores <sup>14</sup>	NE
	• conductividad del agua ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) <sup>15</sup> Promedio (dev.est.; N; periodo)	415,05 (476,12 ; 21; 01/2006 – 03/2012)
	• pulsos de inundación <sup>16</sup>	Inundación catastrófica 2001-2 (> 70% vegetación azonal hídrica)
	• hidroperiodo <sup>17</sup>	Permanente
• Tamaño <sup>18</sup>	178.92 ha	

NOTA: NE= no evaluados.

#### b) Parámetros de funcionalidad aparente (IFPCAA)

No todos los parámetros evaluados fueron incluidos en la construcción del árbol de decisiones. Esto se debe a que fueron filtrados *a posteriori* cada vez que la evaluación de un parámetro no presentara variabilidad entre las unidades homogéneas evaluadas y por tanto resultarían inútiles para la clasificación de la funcionalidad de tales unidades. Estos parámetros se destacan en color rojo en la tabla 5.6.

**Tabla 5.6.** Ficha 2: parámetros no analizados se destacan en azul (parámetros eliminados) o en rojo (parámetros sin variabilidad) (mayor detalle en el texto).

	Parámetros	Tipología	Valor
1	extensión de la zona perihumedal <sup>1</sup>	categoría	0,1,2,3,4,5
2	caracterización de la vegetación		
2.1	Diversidad vascular <sup>2</sup>	categoría	0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1
2.2	Productividad vegetal <sup>2</sup>	categoría	0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1
2.3	cobertura total de la vegetación en la ribera	numérico	%
2.4	cobertura vegetación acuática (hidrófita, helófitas, anffitas, macrófitas)	numérico	%
2.5	cobertura vegetación arbustiva (tola)	numérico	%
2.6	cobertura vegetación en cojín	numérico	%
2.7	cobertura vegetación cespitosa baja	numérico	%
2.8	cobertura vegetación cespitosa con champas	numérico	%
2.9	Cobertura de vegetación dominada por especies rizomatosas	numérico	%
2.10	porcentaje de vegetación muerta	numérico	%
2.11	especies de flora no higrófila	numérico	
2.12	especies de flora amenazadas	numérico	
2.13	especies de flora endémicas regionales	numérico	
2.14	suelos desnudos	numérico	%
2.15	heterogeneidad vegetal <sup>3</sup>	numérico	0 a 1
2.16	continuidad de la vegetación azonal hídrica	categoría	0; 0,5 ó 1
2.17	continuidad de la vegetación acuática en el suelo <sup>4</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
3	Interrupciones artificiales de la vegetación <sup>5</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
4	tipos de uso antrópico de la ribera <sup>6</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
5	principales usos de las tierras circundantes <sup>7</sup>	categoría	0, 1, 2, 3 ó 4
6	Infraestructura dentro de la zona perihumedal <sup>8</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
7	grado de artificialidad de la ribera <sup>9</sup>	numérico	0 a 1
8	forma de la línea de orilla: concavidad / convexidad <sup>10</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
9	complejidad de forma <sup>11</sup>	categoría	0; 0,5; 1
10	salinidad aparente en superficie	numérico	0; 0,5; 1
11	valoración personal del evaluador <sup>12</sup>	categoría	0,1,2,3,4,5

Es importante mencionar que el hecho de la escasa variabilidad de algunos parámetros no implica que no sean informativos, sino que para el caso específico de los humedales estudiados, las condiciones en que se expresan tales parámetros son similares, no excluyendo que en otros humedales las condiciones sean distintas.

Para el caso de los parámetros 1 y 6 (destacados en azul), su evaluación no se llevó a cabo. En el caso de la extensión de la zona perihumedal, dado que las unidades homogéneas no conformaron en su mayoría franjas de ribera sino secciones homogéneas de vegetación, pierde sentido evaluar

el ancho de la zona perihumedal. Por otra parte, para el caso de la infraestructura, el parámetro fue incorporado en la evaluación de las interrupciones artificiales de la vegetación.

Los resultados de la evaluación de los parámetros de la ficha 2 para cada unidad homogénea se detallan en el anexo 3 y en el SIG que de esta consultoría se genera.

#### c) Parámetros para monitorear efectos ecológicos del cambio climático

De los parámetros de la Ficha 3, en la presente consultoría sólo han sido evaluadas las densidades poblacionales de micromamíferos e invertebrados planctónicos (resultados expuestos en los puntos 3.2 y 3.3, respectivamente) y la composición florística de ambos humedales (resultados expuestos en el punto 3.4.). Esto estuvo condicionado por los alcances de la presente consultoría, así como también por las dificultades logísticas. Por ejemplo, para medir los parámetros 1, 2, 3 y 4 son necesarios instrumentos técnicos, o bien para los parámetros 5 y 6 es necesario evaluarlos en la época del año adecuada.

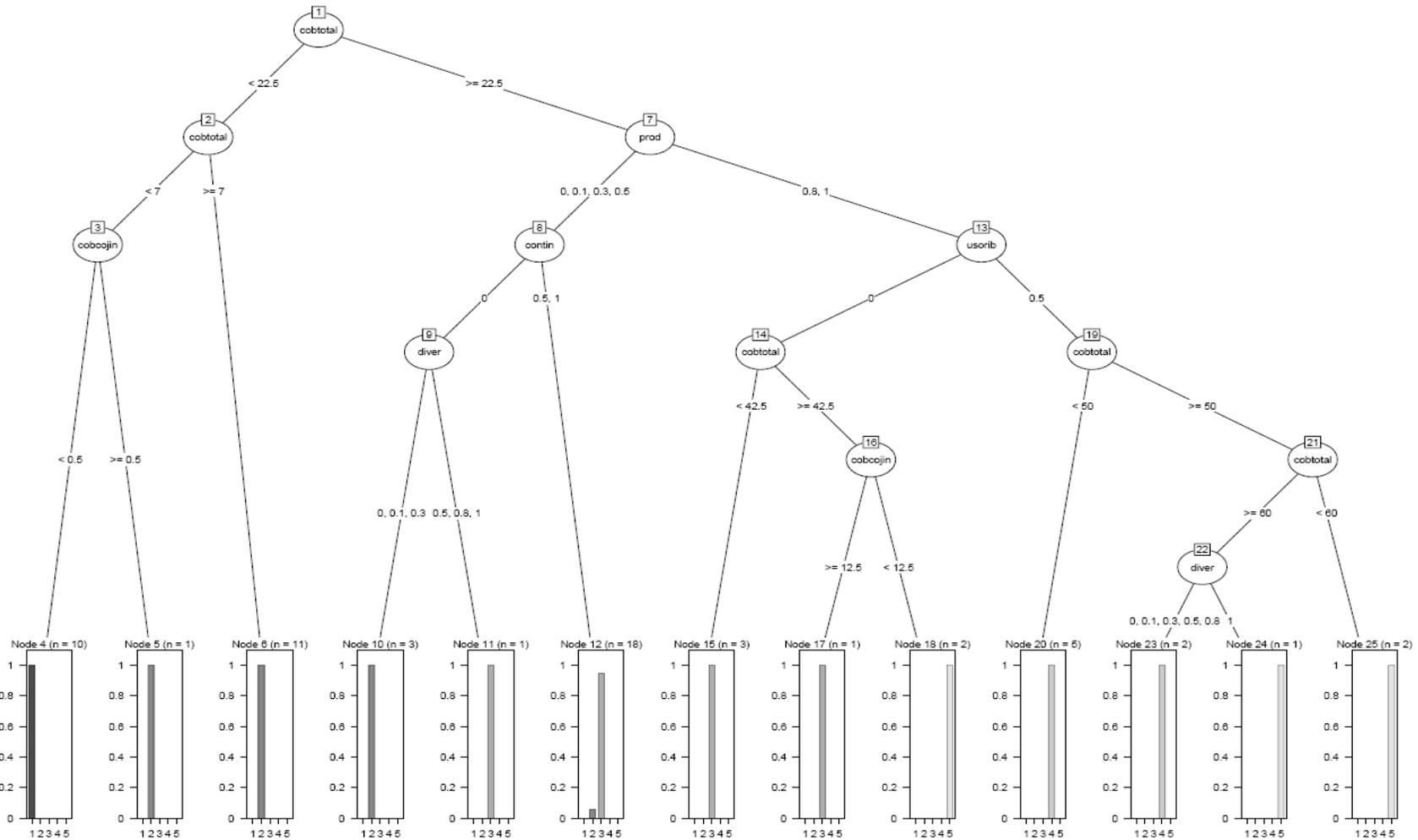
Como cualquier monitoreo, deben establecerse protocolos estandarizados para la evaluación de cada uno de estos parámetros, tanto en la metodología de evaluación como en la periodicidad de su evaluación. Esto resulta clave para permitir la comparación entre condiciones iniciales y finales, o para atribuir cambios a variables climáticas, descartando efectos enmascarados por la utilización de metodologías no comparables.

#### 5.4.2. Árbol de decisiones y construcción del IFPCAA

La función de estimación que realiza el IFPCAA está completamente contenida en la estructura del árbol de decisiones y por lo tanto, es el mismo árbol de decisiones la base del IFPCAA. La construcción de este árbol se llevó a cabo utilizando 16 parámetros como variables explicativas (en negro en la tabla 5.6.). El árbol fue construido en el software estadístico Rstudio, y podado para simplificar su análisis manteniendo un error mínimo utilizando el paquete rpart. El árbol ya podado fue graficado utilizando el paquete de herramientas de partición recursiva partykit. El resultado se muestra en la Figura 5.2.

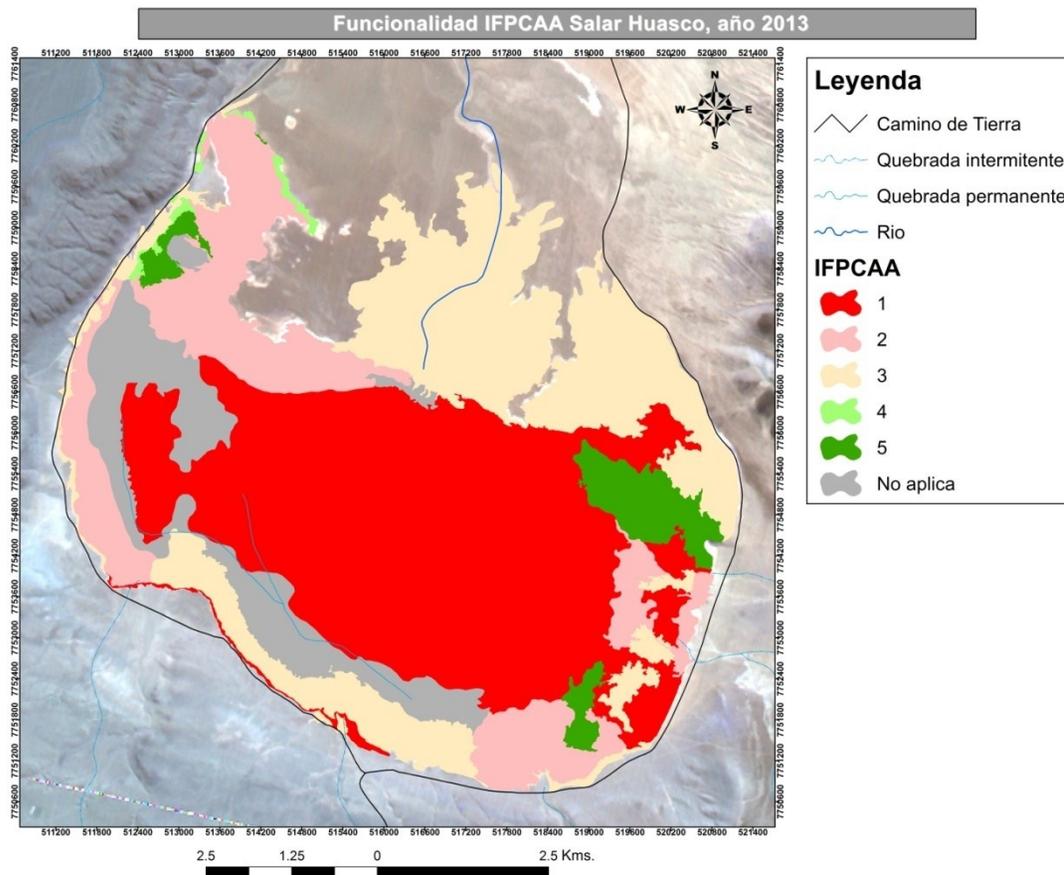
En el árbol resultante se consideran sólo algunos de los 16 parámetros ingresados como variables explicativas. Esto tiene que ver con la capacidad de cada parámetro de relacionarse con la variable respuesta. Por lo tanto los parámetros considerados en el árbol son aquellos que mejor predicen la variable respuesta (en este funcionalidad aparente), logrando prescindir de aquellos que no han sido considerados en el árbol de clasificación a pesar de que también se relacionan con la variable respuesta. Esto en la práctica dependerá también de la variabilidad de los parámetros dentro de las unidades homogéneas evaluadas. Al evaluarse sólo las unidades homogéneas de dos humedales que no necesariamente son representativos de todos los humedales asociados a cuerpos de agua del altiplano, este árbol requiere construirse utilizando una muestra mayor y representativa de unidades homogéneas, para potenciar su utilidad y lograr clasificar de manera adecuada la funcionalidad en cualquier humedal asociado a cuerpo de agua del altiplano andino. De no construirse un nuevo árbol para el IFPCAA con una muestra representativa de los humedales del altiplano, la congruencia entre la opinión experta y la estimada a partir del IFPCAA (evaluada mediante la prueba de Kappas de Cohen) será menor cuanto menos se parezca el humedal evaluado a los humedales a partir de los cuales se construyó el árbol, limitando la aplicación del IFPCAA a humedales que presenten características similares al Salar de Huasco y Lagunillas.

**Figura 5.2.** Árbol de clasificación del IFPCAA, construido a partir de los 16 parámetros analizados. Cobtotal: cobertura vegetal total; cobcojin: cobertura de plantas en cojín; prod: productividad vegetal; contin: continuidad de la vegetación azonal hídrica; diver: diversidad vascular; usorib: principales usos de la zona de ribera.

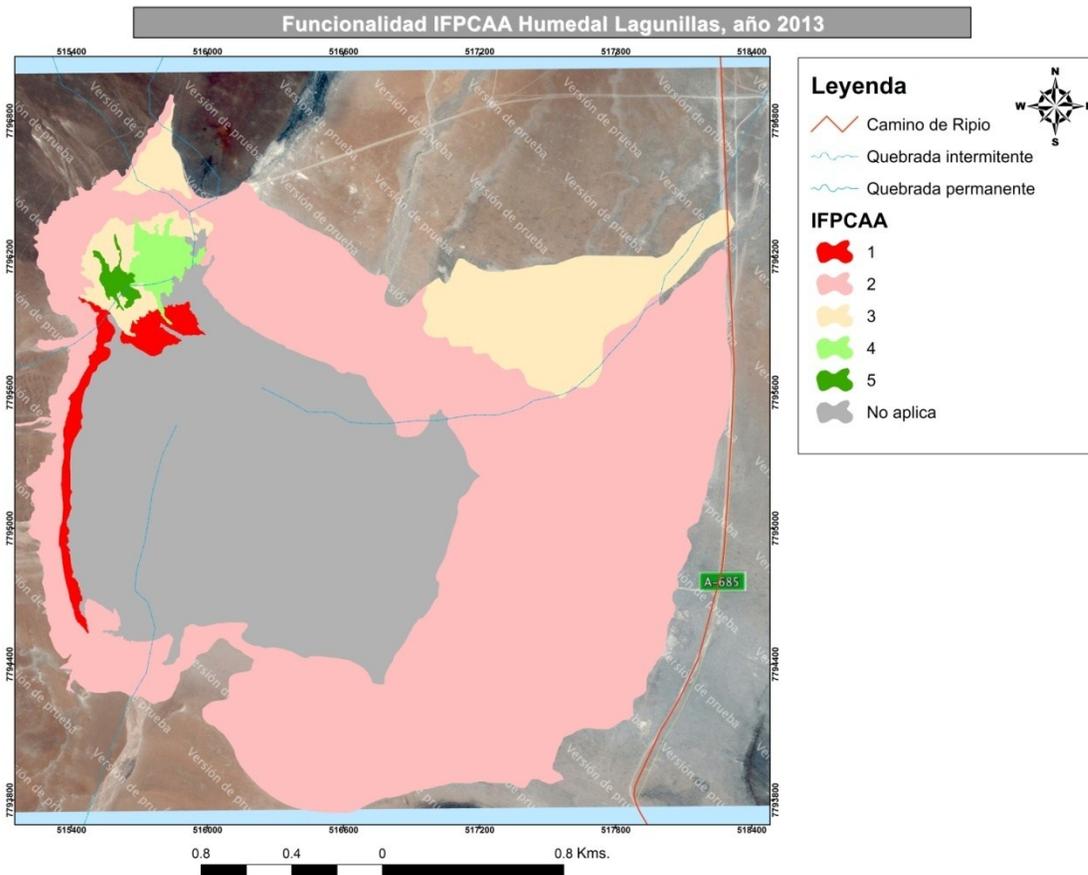


### 5.4.3. Resultados del IFPCAA y evaluación de su aplicación

La estimación de la funcionalidad aparente llevada a cabo por el IFPCAA se desprende del mismo árbol y se llevó a cabo de manera automatizada utilizando el paquete parte del software Estudio. El árbol calcula directamente la probabilidad de asignar cada unidad homogénea a cada nivel de funcionalidad, atribuyéndolas al nivel más probable de funcionalidad (1 al 5). Los niveles de funcionalidad estimados a partir del árbol de clasificación se expresan en formato digital en el Anexo 3 y en el SIG que de esta consultoría se genera. El resultado gráfico de la estimación utilizando el IFPCAA se muestra en las Figuras 5. 3 y 5.4.



**Figura 5. 3.** Cartografía de la estimación de funcionalidad aparente para cada unidad homogénea del Salar de Huasco, a partir del IFPCAA. 1: Escasa a nula funcionalidad; 2: pobre funcionalidad; 3: moderada funcionalidad; 4: Buena funcionalidad; 5: Excelente funcionalidad.



**Figura 5.4.** Cartografía de la estimación de funcionalidad aparente para cada unidad homogénea del Salar de Lagunillas, a partir del IFPCAA. 1: Escasa a nula funcionalidad; 2: pobre funcionalidad; 3: moderada funcionalidad; 4: Buena funcionalidad; 5: Excelente funcionalidad.

El valor predictivo de éste árbol de clasificación experimentado para los humedales seleccionados es mayor que el experimentado por el SFI, el cual acertó en el 51% de las estimaciones realizadas, frente al 98% de aciertos en las estimaciones llevadas a cabo por el IFPCAA. La prueba de Kappa de Cohen (Cohen, 1960) muestra una concordancia altamente significativa entre el valor de funcionalidad evaluado por los expertos y el valor de funcionalidad estimado a través del IFPCAA ( $K = 0,977$ ; error estándar =  $0,01$ ;  $N = 60$ ;  $z = 79,46$ ;  $p < 0,001$ ).

Más allá del alta valor predictivo del IFPCAA, debemos tener en cuenta que todos los procesos de evaluación del IFPCAA, incluyendo la delimitación de unidades homogéneas, la evaluación de los parámetros y la aplicación del árbol para la estimación de funcionalidad deben ser estandarizados, para lo cual es necesario capacitar a los evaluadores. Los valores de cobertura vegetal son clave en el proceso de evaluación y variaciones pequeñas en estos parámetros podrían tener consecuencias importantes en el valor estimado de funcionalidad a partir del IFPCAA, por lo cual debe ser evaluado unificando criterios e interpretado con cautela las estimaciones de funcionalidad que de este indicador se generan.

#### 5.4.4 Comparación del Estado Funcional de los Humedales.

Se reconocen al interior de los humedales Salar Huasco y Lagunillas 49 y 24 unidades homogéneas respectivamente. De acuerdo al tipo de formación que contienen se reconocen 20 tipos en el Salar Huasco y 15 tipos en Lagunillas. En la Tabla 5.7 se muestran las diferentes formaciones reconocidas, con su superficie total y número de fragmentos, que corresponde al número de unidades homogéneas que presentaron dicha formación. Algunas unidades no poseen vegetación, y corresponden a Arenal, Salar y Laguna de Evaporación, en Lagunillas, y Cuerpo de agua – sales, suelo desnudo y Sales en Salar Huasco.

Los humedales poseen una composición bastante diferenciada, lo que se traduce en solo dos formaciones coincidentes, Tolar hídrico y Vega Salina, que serán analizadas con detalle más adelante, El tolar hídrico corresponde a la formación que mayor superficie ocupa en Lagunillas (más del 50% sumadas todas sus asociaciones) y la vega salina la más abundante en Salar Huasco (casi el 40% de la superficie total).

**Tabla 5.7.** Unidades homogéneas y formaciones reconocidas en Salar Huasco y Lagunillas.

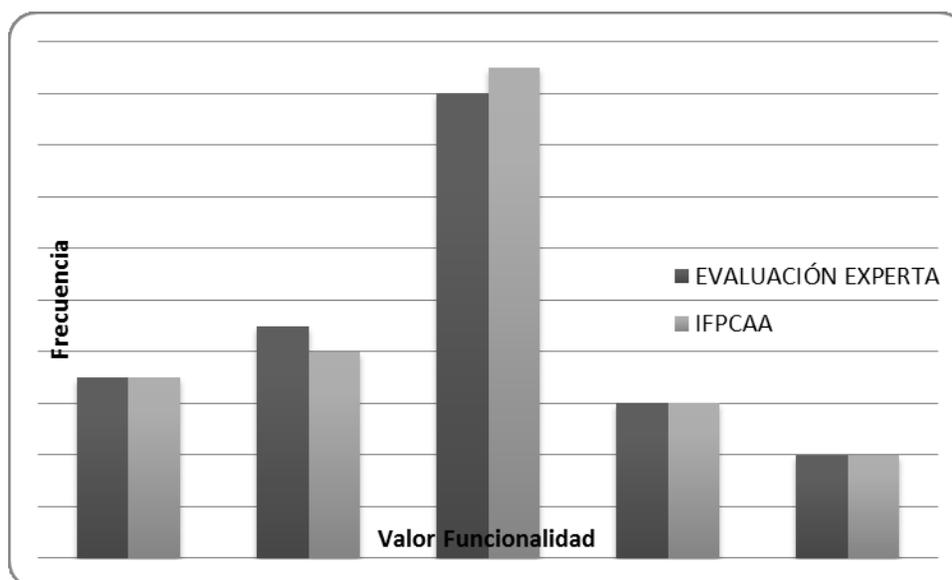
Formación	Salar Huasco (20)			Lagunillas (15)		
	Superficie (has)	%	fragmentos	Superficie (has)	%	Fragmentos
Arenal				77.46	11.82	1
Bofedal	0.45	0.01	1			
Bofedal muerto (a12)				4.43	0.68	1
Bofedal-vega salina (a7)				2.33	0.36	1
Borde salar húmedo (a3)				54.07	8.25	5
Cuerpo de agua – sales	586.30	9.59	3			
Laguna de evaporación (a13)				3.02	0.46	1
Llaretillar	25.07	0.41	1			
Llaretillar – Pupusal	11.50	0.19	1			
Pajonal salino	515.75	8.43	1			
Pajonal salino - bofedal y sales	407.96	6.67	4			
Pajonal salino - Llaretillar	86.58	1.42	1			
Pajonal salino - Pupusal	18.31	0.30	3			
Pajonal salino - Pupusal // sales	220.15	3.60	2			
Pajonal salino - Vega salina	188.45	3.08	2			
Pajonal salino - Vega salina y Bofedal	86.08	1.41	3			
Pajonal salino - Vega y sales	35.59	0.58	1			
Pupusal	9.43	0.15	1			
Pupusal – sales	16.57	0.27	1			
Salar(a6)				73.00	11.14	1
Sales	146.69	2.40	5			

Suelo desnudo	20.05	0.33	1			
<b>Tolar hídrico</b>	<b>1179.52</b>	<b>19.29</b>	<b>11</b>	<b>119.87</b>	<b>18.29</b>	<b>2</b>
Tolar hídrico en lecho de río temporal				15.90	2.43	1
<b>Tolar hídrico escaso muerto (a2)</b>				6.65	1.01	2
Tolar hídrico - Pajonal salino - vega salina	20.29	0.33	4			
Tolar hídrico-Pajonal (a11)				5.39	0.82	1
Tolar hídrico salino (a9)				272.92	41.65	3
Tolar hídrico salino-vega salina (a10)				4.11	0.63	1
<b>Vega salina</b>	<b>2366.46</b>	<b>38.69</b>	<b>3</b>	<b>9.60</b>	<b>1.46</b>	<b>3</b>
Vega salina-Bofedal (a8)				6.58	1.00	1
Vega salina -Pajonal salino	174.50	2.85	1			
<b>Total general</b>	<b>6115.70</b>		<b>50</b>	<b>655.33</b>		<b>24</b>

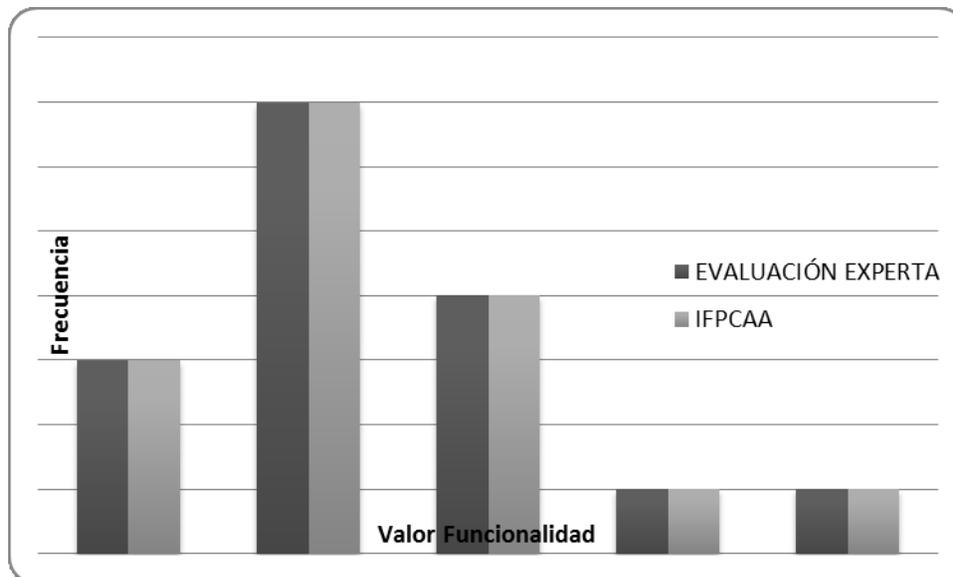
Fuente: Elaboración propia.

Al comparar el valor de funcionalidad obtenido por la observación del experto y a partir del cálculo del índice de funcionalidad (IFPCAA) hay una muy alta coincidencia. Solo existen diferencias en una unidad homogénea del Salar Huasco, que según el experto posee funcionalidad 2, y al realizar el cálculo resulta en funcionalidad 3.

La Figura 5.5 muestra los datos del Salar Huasco, donde se observa que los valores se concentran en funcionalidad 3, con un mayor número de casos con funcionalidad 4 y 5 si se comparan con Lagunillas (figura 5.6). Por su parte, Lagunillas concentra los valores en 2, su curva se encuentra desplazada a la izquierda, con sólo un caso con funcionalidad es 4 y otro con 5.



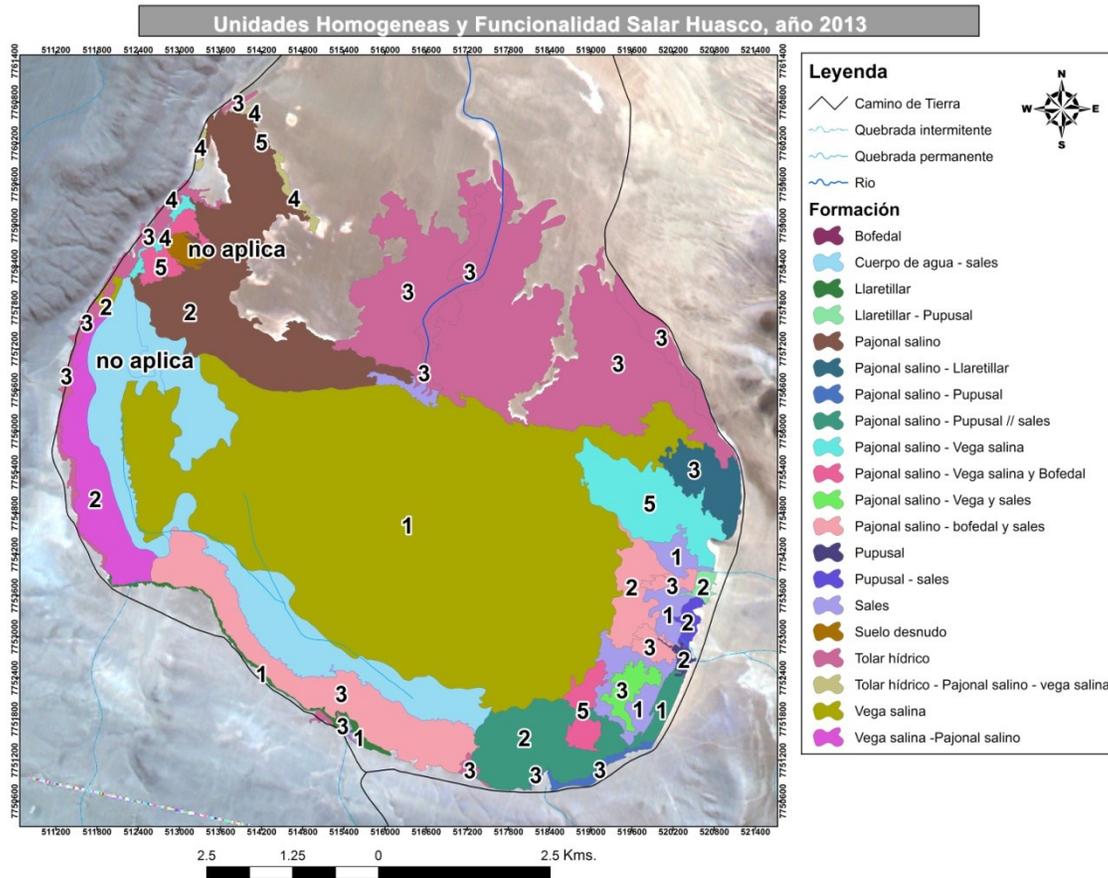
**Figura 5.5.** Histograma de funcionalidad de las unidades homogéneas del Salar de Huasco.



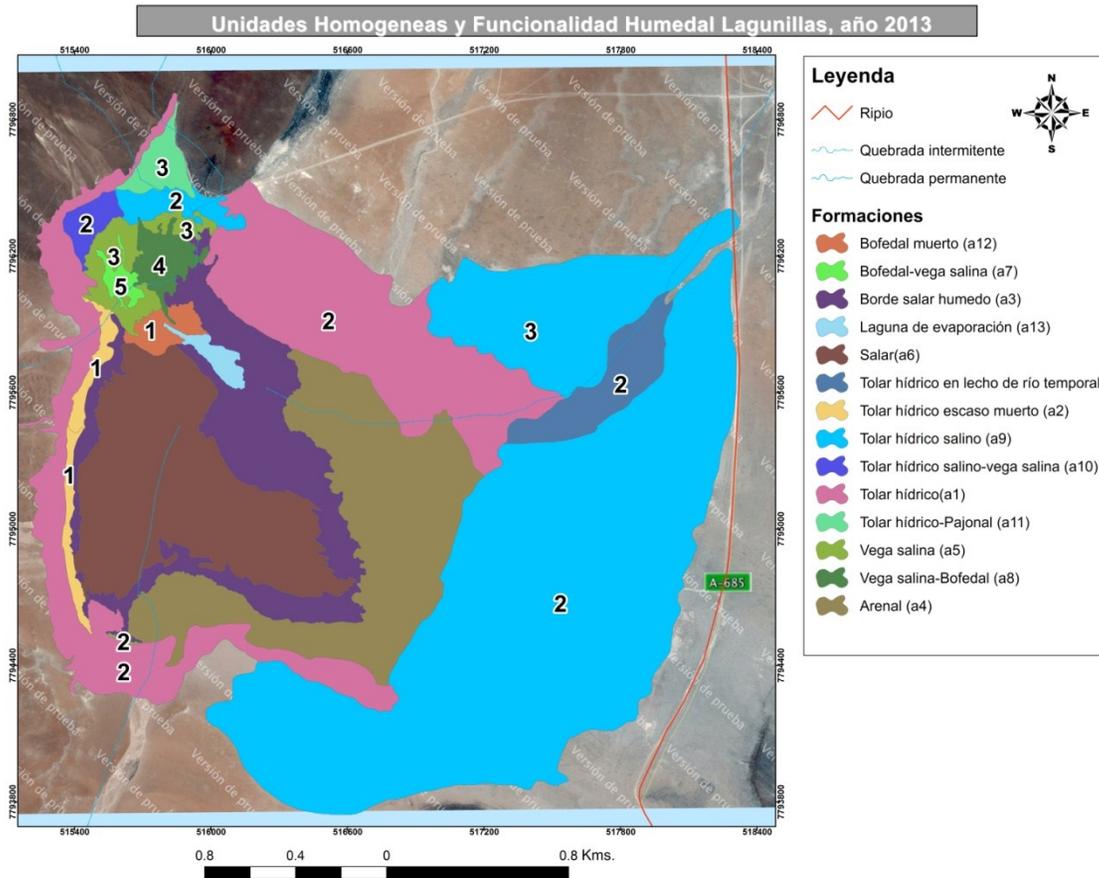
**Figura 5.6.** Histograma de funcionalidad de las unidades homogéneas de Lagunillas

Los valores más altos para la funcionalidad en el Salar Huasco, se encuentran en el borde nor oeste del salar, y en menor grado al sur este (Figura 5.7); los valores 5 se asocian a la formación compuesta por Pajonal Salino – Vega Salina – Bofedal (dos casos), Pajonal Salino – Vega Salina (un caso) y Tolar hídrico – Vega Salina – Bofedal (un caso).

En Lagunillas (Figura 5.8), los valores de funcionalidad más altos, 4 y 5, se ubican al sur, asociados a la formación de Bofedal – Vega Salina (valor 5) y Vega Salina – Bofedal (valor 4).



**Figura 5.7.** Unidades homogéneas del Salar de Huasco por tipo de cobertura vegetal y su funcionalidad asociada.



**Figura 5.8.** Unidades homogéneas del Salar de Lagunillas por tipo de cobertura vegetal y su funcionalidad asociada.

Las formaciones de Tolar Hídrico y Vega Salina, como ya ha sido mencionado en párrafos anteriores de este capítulo, son coincidentes en ambos humedales. No se consideran en este análisis estas formaciones en asociación con otras, y solo se incluye para Lagunillas el Tolar Hídrico Muerto.

El Tolar Hídrico en Salar Huasco se encuentra distribuido en 11 unidades homogéneas, y solo en cuatro en el Humedal Lagunillas; sin embargo, este es más significativo en Lagunillas al considerarlo en términos porcentuales respecto a la superficie total del sistema (Tabla 5.8). Esta formación en ambos sistemas presenta una productividad baja o muy baja, esta última solo en aquellos casos donde el tolar se encuentra muerto, la diversidad de plantas superficiales (vasculares) es también baja. La cobertura total de vegetación (incluyendo plantas vasculares, cespitosas, rizomatosas, entre otras) es mayor en el Salar Huasco, con 37,5% en todas las unidades de esta formación, en Lagunillas oscilan entre 5% (tolar hídrico muerto) y 15%. La funcionalidad de esta formación es de 3 en Huasco y oscila entre 1 y 2 en Lagunillas.

**Tabla 5.8.** Productividad, diversidad de vasculares, cobertura total y funcionalidad en formaciones coincidentes en Salar Huasco y Lagunillas.

Sistema	TIPO FORMACIÓN	Superficie (ha)	Productividad	Diversidad vasculares	Cobertura total (%)	Funcionalidad Evaluación del Experto	Funcionalidad IFPCAA
Salar Huasco	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	2	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Tolar hídrico	6.8	baja	baja	37.5	3	3
	Vega salina	8	media	baja	30	2	2
	Vega Salina	2358	Muy baja	alta	6	1	1
Lagunillas	Tolar hídrico	0.25	Baja	baja	15	2	2
	Tolar hídrico	48.01	Baja	baja	15	2	2
	Tolar hídrico muerto	3.4	muy baja	baja	5	1	1
	Tolar hídrico muerto	3.3	muy baja	baja	5	1	1
	Vega salina	5.05	Media	media	45	3	3
	Vega salina	0.63	Media	media	45	3	3
	Vega salina	3.02	Muy baja	baja	6	2	2

Finalmente, la Vega Salina se encuentra en dos unidades homogéneas del Salar Huasco, ocupando la parte central de este sistema, con más de 2.500 hectáreas en una y solo 8 has., en otra, en Lagunillas se presenta en tres unidades homogéneas, con superficies de 0.6, 3 y 5 hectáreas. Los valores de productividad y diversidad vascular son mayores en Lagunillas, al igual que la cobertura total de vegetación al interior de estas unidades, aquella unidad de Huasco que supera las 2.500 has posee solo un 6% de su superficie cubierta con vegetación. La funcionalidad de esta formación en Huasco es mínima, con valor 1 en ambas unidades, y en Lagunillas posee valores de 2 (un caso) y 3 (dos casos).

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHUMADA M & L FAÚNDEZ (2009) Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. 118 pp.
- BHP BILLINGTON (2012) Informe Cuenca Lagunillas: periodo semestral julio – diciembre 2011.
- CEH/CED (2011) Fichas de Calidad de los Humedales de Tarapacá.
- CEH/CED (2012) Análisis multitemporal Humedales Huasco y Lagunillas. 71 pp.
- CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA, CEA (2006) Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica. Informe final Consultoría. Centro de Ecología Aplicada. Elaborado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente-Chile. 114pp.
- CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA, CEA (2009) Estudio estacional de los salares de Coposa, Michincha y Huasco.
- COHEN J (1960) A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ. Psychol. Meas.* 20: 27–46.
- COLWELL RK, & JA CODDINGTON (1994) Estimating Terrestrial Biodiversity through Extrapolation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 345: 101–118.
- CONADI-CED/CEH (2012) Catastro de humedales y usos indígenas de la Provincia del Tamarugal. Informe Final.
- CONNELL JH (1978) Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science* 199:1302-1310.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (2011) Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España.
- FAÚNDEZ L. & ESCOBAR M. 2005. Estudio de los Sistemas Vegetacionales Hídricos Azonales del Altiplano Chileno, Regiones I, II y III. Informe final Consultoría. Biota Gestión y Consultorías Ambientales. Elaborado para el Servicio Agrícola y Ganadero-Chile. 51 pp (incluidos anexos).
- FERNÁNDEZ HR & E DOMÍNGUEZ (2001) Guía para la determinación de artrópodos bentónicos Sudamericanos. Tucumán, Argentina.
- HILL MO (1973) Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology* 54: 427–432.
- MAGURRAN AE, SR BAILLIE, ST BUCKLAND, J McP DICK, DA ELSTON, et al. (2010) Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Trends in Ecology and Evolution* 25: 574–582.
- MARQUET P, S ABADES, JJ ARMETO, I BARRIA, MTK ARROYO, et al. (2009) Estudio de la vulnerabilidad de la biodiversidad terrestre, a nivel de ecosistemas y especies, y medidas de adaptación frente a escenarios de cambio climático. Santiago, Chile.

- PIELOU EC (1969) An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience, New York.
- CARPENTER SR & WA BROCK (2006) Rising variance: a leading indicator of ecological transition. Ecology Letters 9: 311–318.
- PRAT N, R ACOSTA, C VILLAMARÍN & M RIERADEVALL (2011) Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Clave para la determinación de los principales morfotipos larvarios.
- SEREMI Medio Ambiente Los Lagos (2012) Aplicación piloto del Índice de Funcionalidad Lacustre al Lago Chapo, información proporcionada por la Secretaria Regional Ministerial del Medio Ambiente Tarapacá.
- SEREMI Medio Ambiente Tarapacá (2012) Informe de aplicación del Índice de Funcionalidad Lacustre en lagunas de altura en la Región de Tarapacá, información proporcionada por la Secretaria Regional Ministerial del Medio Ambiente Tarapacá.
- SILIGARDI M, S BERNABEI, C CAPPELLETTI, F CIUTTI, V DALLAFIOR, *et al.* (2010) Lake Shorezone Functionality Index (SFI): A tool for the definition of ecological quality.
- URIBE DE & CED/CEH (2012) Humedales del altiplano Andino y su rol en el cambio climático.

## **ANEXOS**

---

## **Anexo 1. Lista de asistencia y registro fotográfico Taller de Lanzamiento: Presentación Plan de Trabajo**

**Anexo 1: Lista de asistencia y registro fotográfico Taller de Lanzamiento: Presentación  
Plan de Trabajo**

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO ELECTRÓNICO
1	Aida Campos	SUBPESCA	<a href="mailto:acampos@subpesca.cl">acampos@subpesca.cl</a>
2	Priscilla Piña	CONAF	<a href="mailto:priscilla.pina@conaf.cl">priscilla.pina@conaf.cl</a>
3	Roxana Galleguillos	MMA	<a href="mailto:Rgalleguillo.1@mma.gob.cl">Rgalleguillo.1@mma.gob.cl</a>
4	Vinko Malinarich	SAG	<a href="mailto:vinko.malinarich@sag.gob.cl">vinko.malinarich@sag.gob.cl</a>
5	Patricio Rivas	SERNAPESCA	<a href="mailto:privas@sernapesca.cl">privas@sernapesca.cl</a>
6	Alfredo Guzmán	MMA	<a href="mailto:aguzman@mma.gob.cl">aguzman@mma.gob.cl</a>
7	Juan Salas	DGA-MOP	<a href="mailto:Juan.salas@mop.gov.cl">Juan.salas@mop.gov.cl</a>
8	Carolina Vera	CEH	<a href="mailto:cvera@ceh.cl">cvera@ceh.cl</a>
9	Maritza Paicho	CEH	<a href="mailto:mpaicho@ceh.cl">mpaicho@ceh.cl</a>
10	Stefany Álvarez	CEH	<a href="mailto:salvareza90@gmail.com">salvareza90@gmail.com</a>



## **Anexo 2. Sistematización de información de Humedales Seleccionados**

## **Anexo 2: Sistematización de información humedal Salar de Huasco**

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Resumen</b>
Relación entre la comunidad de aves acuáticas y las características de su hábitat, en lagunas Huascoaltinas, sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad, región de Atacama, Chile.	Del Villar, Galia.	2007	Esta Investigación Consta De Tres Partes: Parte 1. Caracterización De Las Comunidades De Avifauna Acuática Presente En Las Lagunas Del Huasco Alto; Laguna Grande, Laguna Chica Y Laguna Valeriana, Región Neotropical, Zona De Transición Entre La Ecorregiones Tropical Y Andina. Finalmente la información colectada fue entregada por medio de talleres y actividades educacionales a la comunidad local para incentivar el uso sustentable de esta área
Conservación de la biodiversidad y gestión sustentable de humedales altoandinos : resumen ejecutivo	CED/GEF-PNUD/CMDIC	2006	Los contenidos de este material entregan una visión detallada de los resultados y aplicaciones del Proyecto CHI/01/G36 "Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco", ejecutado por el CED e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM).El objetivo fundamental es crear las condiciones necesarias para la conservación y uso sustentable del Salar del Huasco, incorporando los actores locales en un proceso de gestión ambiental participativa
Conservación de la Biodiversidad y Gestión Sustentable de Humedales Altoandinos: Informe Final	Centro de Estudios para el Desarrollo	2006	Los contenidos de este material entregan una visión detallada de los resultados y aplicaciones del Proyecto CHI/01/G36 "Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco", ejecutado por el CED e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM).El objetivo fundamental es crear las condiciones necesarias para la conservación y uso sustentable del Salar del Huasco, incorporando los actores locales en un proceso de gestión ambiental participativa
Conservación de la Biodiversidad y Gestión Sustentable de Humedales Altoandinos: Informe Final	Centro de Estudios para el Desarrollo	2006	Los contenidos de este material entregan una visión detallada de los resultados y aplicaciones del Proyecto CHI/01/G36 "Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco", ejecutado por el CED e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM).El objetivo fundamental es crear las condiciones necesarias para la conservación y uso sustentable del Salar del Huasco, incorporando los actores locales en un proceso de gestión ambiental participativa
Salar del Huasco: Diversidad Natural y Cultural. Guía Educativa y Difusión de los Usos Culturales de la Biodiversidad del Salar del Huasco	Asociación Indígena Aymara Laguna del Huasco		La guía pretende fomentar la valorización de los usos culturales y conocimientos ancestrales de la flora y fauna del humedal. En el texto se incluyen experiencias de quienes viven o han vivido en el Salar del Huasco, junto con presentar aspectos de la cultura Aymara.
Guía Metodológica para la Investigación Escolar GESTIÓN SUSTENTABLE DE BOFEDALES DEL SALAR DE HUASCO	Cárdenas, Mario & Encina Gloria	2002	Este material educativo ha sido elaborado por el Centro de Estudios para el Desarrollo (CED) como parte de las actividades impulsadas por el Plan de Gestión para la Conservación y Uso Sustentable del Salar del Huasco, parte del Proyecto «Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco» que cuenta con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial. Los contenidos de este trabajo han sido el resultado de un proceso que comenzó el año 2002 con el Programa de Educación Ambiental para apoyar la conservación de la diversidad biológica y cultural del Salar del Huasco, en el marco de un Convenio de Cooperación suscrito con el Liceo Técnico-Profesional de Pica Padre Alberto Hurtado Cruchaga. Los editores destacan el importante apoyo que profesores y profesoras del Liceo Padre Alberto Hurtado y de las Escuelas Básicas San Andrés, Nueva Extremadura de Matilla y Vertiente del Saber, de la comuna de Pica, han dado al despliegue del Programa de Educación Ambiental y a la elaboración de los materiales educativos. También agradecen los aportes que otros docentes de las comunas de Pozo Almonte e Iquique entregaron para apoyar el proceso. Con el propósito de difundir y promover la conservación de la diversidad biológica y cultural, este material queda a disposición de la comunidad educativa de la Provincia de Iquique, de la Región de Tarapacá y del país, para ser utilizado como herramienta de apoyo en las iniciativas de educación ambiental.
Guía Metodológica para la Investigación Escolar DESARROLLO DEL ETNOTURISMO EN EL SALAR DEL HUASCO	Espinoza, Mónica & Guajardo Anahí	2002	Esta Guía Educativa tiene como objetivo principal estimular y desarrollar en los alumnos de la especialidad de turismo el valorar la importancia de la cultura de los pueblos originarios del sector de la cuenca del salar del Huasco y así también crear conciencia Turístico - Ecológica de la zona que se encuentra localizada dentro de la comuna de Pica. Así también generar el desarrollo de temas de investigación práctica sobre el Etnoturismo como nueva alternativa de turismo de intereses especiales. Junto con ser un medio educativo para los alumnos también busca ser un aporte para otros estudiantes de la especialidad de turismo de otras unidades educativas.

Guía del Alumno. Fundamento e importancia de la Conservación de la Diversidad Biológica y Cultural del Salar del Huasco	Centro de Estudios para el Desarrollo	200 2	Este material educativo ha sido elaborado por el Centro de Estudios para el Desarrollo (CED) con el apoyo de la Convención sobre Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, más conocida como Ramsar. También es parte del Proyecto «Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco» que cuenta con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial. Los contenidos de este trabajo han sido el resultado de un proceso que comenzó el año 2002 con el Programa de Educación Ambiental para apoyar la Conservación de la Diversidad Biológica y Cultural del Salar del Huasco, en el marco de un Convenio de Cooperación suscrito con el Liceo Técnico-Profesional de Pica Padre Alberto Hurtado Cruchaga. Los editores destacan el importante apoyo que profesores y profesoras del Liceo Padre Alberto Hurtado y de las Escuelas Básicas San Andrés, Nueva Extremadura de Matilla y Vertiente del Saber de la comuna de Pica han dado al despliegue del Programa de Educación Ambiental y la elaboración del material educativo. También agradecen los aportes que otros docentes de las comunas de Pozo Almonte e Iquique entregaron para apoyar el proceso. Con el propósito de difundir y promover la conservación de la diversidad biológica y cultural, este material queda a disposición de la comunidad educativa de la Provincia de Iquique, de la Región de Tarapacá y del país, para ser utilizado como herramienta de apoyo en las iniciativas de educación ambiental.
Guía del Profesor Fundamento e importancia de la Conservación de la Diversidad Biológica y Cultural del Salar del Huasco	Centro de Estudios para el Desarrollo	200 2	Esta Guía Educativa forma parte de un ejercicio práctico de difusión y educación sobre la relevancia ambiental de los salares altiplánicos del Norte de Chile. También busca promover la importancia de los actores institucionales, nacionales, regionales y locales, así como la sociedad civil organizada y la comunidad educativa en general, entre otros, para asumir el desafío de resguardar y proteger la calidad ambiental de estos sitios, muchos de ellos reconocidos a nivel mundial por su fragilidad y singularidad. Se busca con esta guía que distintos públicos puedan conocer las bellezas escénicas y la riqueza natural y cultural asociados al Salar de Huasco, con el fin de lograr un mayor reconocimiento de su valor biológico y de sus relaciones ecológicas, culturales y de desarrollo. Se busca generar una mayor conciencia sobre su conservación y gestión sustentable, y sobre las acciones colectivas e individuales que pueden emprender en esta dirección. En este ejercicio de aprendizaje teórico-práctico se ha tomado como ejemplo el humedal del Salar del Huasco por poseer un conjunto de características que lo constituyen en un lugar de relevancia mundial, nacional, regional y comunal, para la conservación de la biodiversidad.
MANUAL PARA EDUCADORES EDUCACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LOS PROCESOS EDUCATIVOS	Trelles, Eloísa	200 4	El objetivo del proyecto es crear las condiciones y ejecutar acciones para la conservación y gestión sustentable del Salar del Huasco, incorporando a los actores locales en un proceso de gestión ambiental participativa. Uno de los componentes del proyecto es el fortalecimiento de las capacidades para el despliegue de un Plan de Gestión para la conservación de la biodiversidad del Salar del Huasco. En este componente se incluye el diseño y puesta en marcha de un Programa de Educación Ambiental, destinado a incorporar en los establecimientos educacionales y las comunidades de Pica y de la Provincia de Iquique las temáticas asociadas a la conservación de la diversidad biológica y cultural en general y la protección de la diversidad biológica del Salar del Huasco en particular.
Acta del Seminario - Taller Internacional GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS Desafío del Desarrollo Sustentable en América Latina	Espinoza et al (ed)	200 3	La gestión integrada de cuencas hidrográficas constituye uno de los principales desafíos del desarrollo sustentable en los países de América Latina. El Centro de Estudios para el Desarrollo (CED) se encuentra ejecutando el Proyecto CHI/01/G36 "Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco" con financiamiento del Global Environmental Facility (GEF) y cuya agencia de implementación es el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Los objetivos planteados en el desarrollo del SEMINARIO-TALLER INTERNACIONAL GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS se buscó difundir, analizar e intercambiar experiencias relevantes y buenas prácticas en la gestión integrada de cuencas áridas y semiáridas en América Latina, facilitando la discusión en torno al uso de planes, programas, mecanismos participativos e instrumentos de gestión en un marco de sustentabilidad ambiental, económica, institucional y social.
Plan de Gestión para la Conservación de la Biodiversidad del Salar del Huasco	Centro de Estudios para el Desarrollo	200 5	El presente documento contiene las propuestas básicas identificadas por los integrantes del Comité Público-Privado para la Conservación de la Biodiversidad y Gestión Sustentable del Salar del Huasco con la finalidad de proteger de manera efectiva la diversidad biológica y cultural del Salar del Huasco, localizado en el altiplano de la Región de Tarapacá. La idea es establecer un proceso de gestión que aproveche los servicios y beneficios ambientales ofrecidos por las especies y ecosistemas que caracterizan el Salar, particularmente en el ámbito de turismo y ganadería, articulados con las capacidades existentes en los habitantes del lugar, con miras a lograr un efectivo resguardo de la diversidad biológica y cultural del área, y un potenciamiento de los modos de vida tradicionales asociados.
Evolución química de las salmueras del Salar de Huasco (Chile) en condiciones experimentales controladas	López Pedro; Garcés Ingrid	200 2	El salar de Huasco se ubica en la zona de la Alta Cordillera andina, en la Primera Región de Tarapacá, y se localiza a unos 130 km en línea recta al E de la ciudad costera de Iquique. Se encuentra muy próximo además a la frontera entre Chile y Bolivia, de la cual dista aproximadamente 15 km. Se trata de un cuerpo evaporítico-sedimentario situado a una altitud aproximada de 3800 m.s.n.m, cuyo principal acceso es una pista de tierra que parte del pueblo de Pica, un oasis enclavado en la Depresión Central aunque muy próximo al contacto entre ésta y la Precordillera Andina. La cuenca de drenaje del salar se extiende a lo largo de una
Impactos ambientales de las extracciones de agua subterránea en el Salar del Huasco (norte de Chile)	Acosta; Custodio	200 8	En la Cordillera Andina del árido norte de Chile existen depresiones alargadas en las que se forman salares y humedales propios de la Estepa Alto-Andina Subdesértica (bofedales). Uno de ellos es el Salar del Huasco, declarado Sitio Ramsar por su elevado valor como hábitat y como paisaje. El sistema acuífero de la cuenca está en un estado natural, de modo que a largo plazo la recarga por la lluvia, única entrada, se iguala con la descarga por evaporación, única salida probada del sistema. Estos acuíferos son atractivos para la industria minera, que requiere obtener caudales de agua para el procesamiento del mineral. Una de las compañías mineras de cobre ha logrado alumbrar cerca de 900 L/s de agua subterránea por lo que ha manifestado su interés en captarla en esa cuenca. Tan elevado caudal requiere

			estudiar cuidadosamente el funcionamiento global del acuífero y determinar los impactos potenciales sobre los ecosistemas húmedos locales. Por ello se ha definido el primer modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca, para llegar a un modelo numérico de flujo que apoye la toma de decisiones. Cabe distinguir: a) un acuífero superior en los Depósitos Recientes y la Unidad Superior de la Fm. Collacagua, b) un acuífero intermedio en las unidades Media e Inferior de la Fm. Collacagua, y c) un acuífero inferior en la Ignimbrita Huasco y los estratovolcanes de la Fm. Sillillica. El 80% de los suelos reconocidos son de textura gruesa, presentan una baja retención de humedad y una elevada capacidad de infiltración, lo que favorece la recarga por la precipitación. Esto es una característica diferencial con buena parte de las áreas (semi-áridas de otros lugares del mundo). La recarga media total, contrastada con el modelo numérico, es cercana a 1100 L/s, 80% de la cual es descargada en el salar. Así pues, se trata de un humedal mixto hipogénico-epigénico, en el que extracciones de agua subterránea de centenas de L/s podrían generar un impacto ecológico importante. Un caudal de extracción de 200 L/s durante 25 años, en un compromiso entre conservación ecológica y satisfacción de las necesidades mineras, produciría impactos asumibles, sin perturbaciones significativas en los niveles de agua y en la hidroquímica de las lagunas, ya que la afección a los manantiales es mínima y el aporte de agua subterránea al humedal casi no se ve afectado. Este caudal se obtendría fundamentalmente de la recarga inducida desde el río y del almacenamiento en la cuenca media.
Acciones ciudadanas y análisis de impacto vinculados a extracción de aguas subterráneas en salares altoandinos, Región Tarapacá Chile	López Vegazo Claudio; Manzur Aníbal		El Norte de Chile donde la explotación del cobre es una actividad económica importante, posee los desiertos más áridos del planeta. En esta región se manifiestan fuertes conflictos por los usos del agua, cuya agudización ocasiona daños irreparables en ecosistemas de humedales andinos, y conflictos entre ciudadanía, estado y empresas. Organizaciones Ciudadanas y regantes del pueblo de Pica, se oponen a la potencial extracción de aguas subterráneas por parte de la empresa Doña Inés de Collahuasi en el Salar del Huasco, a través de diversas acciones. Como parte del proceso de defensa se procedió a evaluar detalladamente tanto los aspectos técnicos como los legales - administrativos. Sobre el conflicto por la extracción de aguas del Salar de Huasco pueden destacarse dos aspectos principales:
Humedales Ecosistemas para cuidar más allá de compromisos ambientales	Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM	200 8	Collahuasi está ubicada en una zona donde el valor de los ecosistemas se realiza debido a la escasez de recursos hídricos que ayuden a preservarlos. Entre ellos destaca el Salar del Huasco, ubicado en el alto andino de la Región de Tarapacá, cuya laguna en 1996 fue declarada sitio de interés en el marco de la Convención Ramsar (Convención Internacional relativa a los humedales). De 1.374 km <sup>2</sup> de extensión, es uno de los salares más importantes de la región y del país, poblado por numerosas especies de flora y fauna propias de la región. Pero no sólo destaca por su importante biodiversidad sino también por su relevante valor eco-turístico. Está ubicado en una de las rutas más importantes para la migración de aves, y es un lugar crucial para el descanso y anidamiento de aves migratorias, de acuerdo al PNUD. El mismo organismo señala que el Salar del Huasco es uno de los pocos salares en Chile donde anidan las tres especies de flamencos sudamericanos (el Andino, de James y Chileno), además de la presencia de suris (ñandúes), cóndores y de vicuñas.
ORIGEN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL SECTOR PICA-SALAR DEL HUASCO, PROVINCIA DE IQUIQUE, I REGIÓN DE TARAPACÁ"	Alejandro Grilli, Evelyn Aguirre, Manuel Duran, Francisco Townsed, Alejandra González	199 9	En la Pampa del Tamarugal (Provincia de Iquique, I Región), una de las zonas más áridas del mundo, surge el oasis de Pica. El hombre de la zona, así como sus actividades económicas, se sustentan en las aguas subterráneas que se alumbran de manera natural en vertientes y socavones. El origen de estas aguas ha sido una interrogante que ha existido por muchos años, la cual no ha podido ser resuelta utilizando las técnicas hidrológicas convencionales.
Plan de Gestión para la conservación de la biodiversidad del Salar del Huasco 2004 - 2010	CED / PNUD-GEF / CMDIC	200 5	El presente documento contiene las propuestas básicas identificadas por los integrantes del Comité Público-Privado para la Conservación de la Biodiversidad y Gestión Sustentable del Salar del Huasco con la finalidad de proteger de manera efectiva la diversidad biológica y cultural del Salar del Huasco, localizado en el altiplano de la Región de Tarapacá. El Comité Público-Privado ha sido formalizado como Subcomité Técnico de la Comisión Regional de Recursos Hídricos, según acta de sesión realizada del 8 de julio de 2003, y mediante Resolución Exenta N° 757 del 30 de octubre de 2003 de la Intendencia Regional de Tarapacá, que aprueba el Reglamento de la Comisión...
Mapa de Salar del Huasco		200 0	
Descripción vegetacional Salar del Huasco - I Región de Tarapacá	MINISTERIO DE AGRICULTURA, SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO. DIVISIÓN DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES	200 5	Los humedales de altura corresponden a sistemas ecológicos azonales hídricos, correlacionados con un aporte hídrico permanente y constante durante la temporada de crecimiento (fines de primavera, verano e inicios de otoño) y que, desde el punto de vista de la vegetación, se caracterizan por su presencia en ambientes normalmente árido-fríos, en el caso chileno asociados a la cordillera de los Andes, y solo puntualmente a la cordillera de la Costa, en donde en medio de matrices arbustivas o herbáceas de escaso o bajo cubrimiento (inferiores a 50 % normalmente) y baja estratificación (habitualmente inferiores a 1 m) aparecen resaltando con su mayor actividad vegetativa y sus mayores cubrimientos.. (Normalmente sobre el 50 %). Además, corresponden a los sistemas de mayor productividad en las áreas en las cuales se ubican, no obstante su menor superficie, constituyéndose en elementos funcionales de alta significación para los ecosistemas relacionados.

Conservación de la biodiversidad y Manejo sustentable del Salar del Huasco Informe Final	CED	2006	El Centro de Estudios para el Desarrollo (CED) tiene el agrado de poner a disposición del PNUD el presente Informe Final del Proyecto CHI/01/G36 "Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco", ejecutado por el CED, implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). Luego de cuatro años de trabajo y con la activa participación y contribución de más de treinta instituciones y organizaciones públicas y privadas de la Región de Tarapacá, se ha avanzado de manera sustantiva en crear las condiciones para asegurar la conservación de uno de los humedales altoandinos más... emblemáticos de Chile por su diversidad biológica y cultural.
Conservación de la biodiversidad y Manejo sustentable del Salar del Huasco, Resumen Ejecutivo	CED	2006	El Centro de Estudios para el Desarrollo (CED) tiene el agrado de poner a disposición del PNUD el presente Informe Final del Proyecto CHI/01/G36 "Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco", ejecutado por el CED, implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). Luego de cuatro años de trabajo y con la activa participación y contribución de más de treinta instituciones y organizaciones públicas y privadas de la Región de Tarapacá, se ha avanzado de manera sustantiva en crear las condiciones para asegurar la conservación de uno de los humedales altoandinos más... emblemáticos de Chile por su diversidad biológica y cultural.
Presentación Línea base ambiental Salar del Huasco	Arcadis Geotecnica		El Salar del Huasco es un remanente de un lago Pleistoceno de 400 km de largo, que se extendía desde donde hoy está el lago Titicaca, hasta la II región de Chile. Cuando el lago se secó, los remanentes se convirtieron en "islas húmedas". Como consecuencia de esto, la biodiversidad asociada con estos salares muestran un alto nivel de endemismo y adaptaciones ecológicas. Con fecha 2 de diciembre de 1996, el Salar del Huasco ha sido incorporado al Listado Internacional de Sitios Ramsar, acordado por la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas".
Actualización de la estadística fluviométrica de la I a la VII región, Informe final I, II y III regiones	MOP - DGA	1987	El presente Informe corresponde al trabajo de actualización realizado para la información fluviométrica de las regiones I, II y III en lo correspondiente a las hoyas de los ríos de la I región; Caquena, Lauca, Salar Huasco, Lluta, San José, Quebrada de Vitor, Camarones, Quebrada Camiña, Quebrada Aroma, Quebrada Tarapacá y Quebrada Guatacondo; de la II región; Loa, San Pedro de Atacama; de la III región; Huasco, Copiapó, Salar de Maricunga.
Declaración de Impacto Ambiental Proyecto habilitación e implementación refugio Salar de Huasco	Lucas Ticona, Pedro	2006	El proyecto que se somete al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) mediante la presente Declaración de Impacto Ambiental (DIA) se denomina Proyecto Habilitación e Implementación Refugio Salar de Huasco (en adelante el Proyecto), siendo el titular del Proyecto Don Pedro Lucas Ticona.
Informe final Biodiversidad del Salar de Llamara	Pinto, Raquel; Fondo de Protección Ambiental; CONAMA	2009	El extremo norte de Chile forma parte del desierto de Atacama uno de los más áridos del mundo. Producto del cambio climático en él se encuentran una serie de salares que conformaban antiguos lagos, en los distintos pisos altitudinales. En la cordillera de la costa el salar de Soronal y salar Grande, en la depresión intermedia el salar de Pintados, Bellavista, Sur Viejo y Llamara, y en la zona altoandina el Salar de Surire, Huasco, Coposa y Michincha. Presentándose en el sector altoandino de Bolivia los salares de mayor extensión...
PRESENTACION DE LA TESIS: MODIFICACIÓN DE LOS MANEJOS PASTORILES DE LAS COMUNIDADES AYMARAS DEL SALAR DEL HUASCO Y DE LIRIMA (REGIÓN DE TARAPACÁ)	XIMENA SOLEDAD MORENO SEPÚLVEDA	2011	La gestión sustentable del pastoreo es de suma importancia para asegurar la Conservación de la fitomasa, mantener la biodiversidad y lograr un buen funcionamiento del espacio. Especialmente cuando esta actividad se realiza en ecosistemas tan frágiles como los humedales altoandinos. Con los cambios económicos y sociales ocurridos en el Chile y el mundo, estas prácticas se han modificado de sus matrices ancestrales. La observación participante y la revisión bibliográfica fueron trascendentales para la construcción del modelo del etnoagroecosistema Salar del Huasco y Lirima, entregando un análisis holístico de este territorio.
DESCRIPCIÓN VEGETACIONAL SALAR DEL HUASCO I REGION DE TARAPACA	BIOTA GESTION Y CONSULTORIA AMBIENTALES, LUIS FAUNDES YANCA	2005	Los humedales de altura corresponden a sistemas ecológicos azonales hídricos, correlacionados con un aporte hídrico permanente y constante durante la temporada de crecimiento (fines de primavera, verano e inicios de otoño) y que, desde el punto de vista de la vegetación, se caracterizan por su presencia en ambientes normalmente árido-fríos, en el caso chileno asociados a la cordillera de los Andes, y solo puntualmente a la cordillera de la Costa, en donde en medio de matrices arbustivas o herbáceas de escaso o bajo cubrimiento (inferiores a 50 % normalmente) y baja estratificación (habitualmente inferiores a 1 m) aparecen resaltando con su mayor actividad vegetativa y sus mayores cubrimientos (normalmente sobre el 50 %). Además, corresponden a los sistemas de mayor productividad en las áreas en las cuales se ubican, no obstante su menor superficie, constituyéndose en elementos funcionales de alta significación para los ecosistemas relacionados.
PRECIPITACION MENSUAL DE HUASCO	DGA	1961-200	

		0	
ESTUDIO ESTACIONAL DE LOS SALARES DE COPOSA, MICHINCHA Y HUASCO	CIA. MINERA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI SCM.	2009	Los salares son unidades geográficas ubicadas preferentemente en cuencas endorreicas, como resultado de un balance hídrico donde la evaporación del agua es la principal pérdida del sistema. Este proceso genera gradientes espaciales en la calidad química del agua, desde los puntos de afloramiento ("surgencias") hacia los sectores de menor altitud ("lagunas de evaporación"). La calidad del agua que ingresa al sistema experimenta inicialmente cambios derivados del proceso de lixiviación, al escurrir sobre depósitos de sales, generando un enriquecimiento progresivo del componente inorgánico en la matriz acuosa; posteriormente, y como resultado de la mayor evaporación, se produce la precipitación de las sales en los sedimentos de las lagunas. Este patrón espacial desde sectores con aguas de baja salinidad hasta aquellos dominados por aguas sobresaturadas, cambia significativamente en el tiempo en función del balance hídrico.
FICHA INFORMATIVA SOBRE HUMEDALES RAMSAR. Salar del Huasco.	Victor Valverde S.	1996	El humedal está situado en la Estepa Alto-Andina Sub-Desértica (Gardo, 1994). Formación vegetacional heterogénea, que se encuentra al sur del altiplano de la 1 Región, con una geomorfología de extensas mesetas con formas montañosas frecuentes el salar de Huasco se encuentra enclavado en una cuenca serrada que se extiende de norte a sur con formaciones lacumares someras asociadas a las escasas precipitaciones del sector (150 a 200 mm/año). Estas precipitaciones permiten el desarrollo de comunidades de bofedales característicos de la tundra del altiplano (Quirrtanilla, 1987). En ellos habita una nítida fauna que hace que el salar sea uno de los más importantes desde el punto de vista de la biodiversidad de la región.
DESCRIPCIÓN VEGETACIONAL SALAR DEL HUASCO I REGION DE TARAPACA	Luis Faúndez Yancas BIOTA CONSULTORIA	2005	Los humedales de altura corresponden a sistemas ecológicos azonales hídricos, correlacionados con un aporte hídrico permanente y constante durante la temporada de crecimiento (fines de primavera, verano e inicios de otoño) y que, desde el punto de vista de la vegetación, se caracterizan por su presencia en ambientes normalmente árido-fríos, en el caso chileno asociados a la cordillera de los Andes, y solo puntualmente a la cordillera de la Costa, en donde en medio de matrices arbustivas o herbáceas de escaso o bajo cubrimiento (inferiores a 50 % normalmente) y baja estratificación (habitualmente inferiores a 1 m) aparecen resaltando con su mayor actividad vegetativa y sus mayores cubrimientos (normalmente sobre el 50 %). Además, corresponden a los sistemas de mayor productividad en las áreas en las cuales se ubican, no obstante su menor superficie, constituyéndose en elementos funcionales de alta significación para los ecosistemas relacionados.
CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y MANEJO SUSTENTABLE DEL SALAR DEL HUASCO ANEXO 23	CENTRO DE ESTUDIOS DEL DESARROLLO	2005	El Comité Público-Privado para la Conservación de la Biodiversidad y la Gestión Sustentable del Salar del Huasco ha aprobado el Plan de Gestión, el que actualmente está en la fase final de su proceso de formalización en la Región de Tarapacá. Creado en marzo del 2003 como Subcomité Técnico de la Comisión Regional de Recursos Hídricos de la Región de Tarapacá y presidido por la Gobernadora de la Provincia de Iquique, el Comité está compuesto de 33 miembros permanentes que representan a las instituciones públicas y los principales actores privados que de una forma u otra influyen en el uso de los recursos y la biodiversidad del Salar. La Secretaría Técnica del Comité está formada por las direcciones regionales de CONAMA, DGA, CONAF y SAG, además del equipo técnico del Centro para Estudios del Desarrollo (CED), en la forma de la Unidad de Coordinación del Proyecto (UCP) que se ejecuta con financiamiento del GEF.
CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y MANEJO SUSTENTABLE DEL SALAR DEL HUASCO	CED	2006	
DESCRIPCIÓN VEGETACIONAL SALAR DEL HUASCO I REGION DE TARAPACA	Luis Faúndez Yancas BIOTA CONSULTORIA	2005	
GUIA EDUCATIVA SALAR DEL HUASCO, DIVERSIDAD NATURAL Y CULTURAL	ASOCIACION INDIGENA AYMARA LAGUNA DEL HUASCO		

Guía Metodológica para la Investigación Escolar: DESARROLLO DEL ETNOTURISMO EN EL SALAR DEL HUASCO	Mónica Espinoza - Anahí Guajardo		
CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y MANEJO SUSTENTABLE DEL SALAR DEL HUASCO	CED	200 6	
DESCRIPCIÓN VEGETACIONAL SALAR DEL HUASCO I REGION DE TARAPACA	LUIS FAUNDEZ YANCAS	200 5	
CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y MANEJO SUSTENTABLE DEL SALAR DEL HUASCO. Segundo Informe de Ejecución Cuerpo Central	CED	200 4	
PROYECTO CHI/01/G36 "Conservación de la Biodiversidad y manejo sustentable del Salar del Huasco", Plan detallado de trabajo e Informe Final.	CED	200 2- 200 6	
PLUVIOMETRIA, Estudio Estacional de los Salares de Coposa, Michincha y Huasco	CEA - Cía. Minera Inés de Collahuasi - DGA	200 9	
Estudio Estacional de los Salares de Coposa, Michincha y Huasco	Cía. Minera Inés de Collahuasi-CEA	200 9	
Impactos de las extracciones de agua subterránea en el Salar del Huasco (Norte de Chile)	Acosta Orlando	200 4	
Guía del alumno Guía Profesor: Fundamento e importancia de la conservación de la diversidad biológica y cultural del Salar del Huasco	CED	200 2	
Umanayra - Ojo de Agua - Salar del Huasco	CED - CMDIC	200 4	

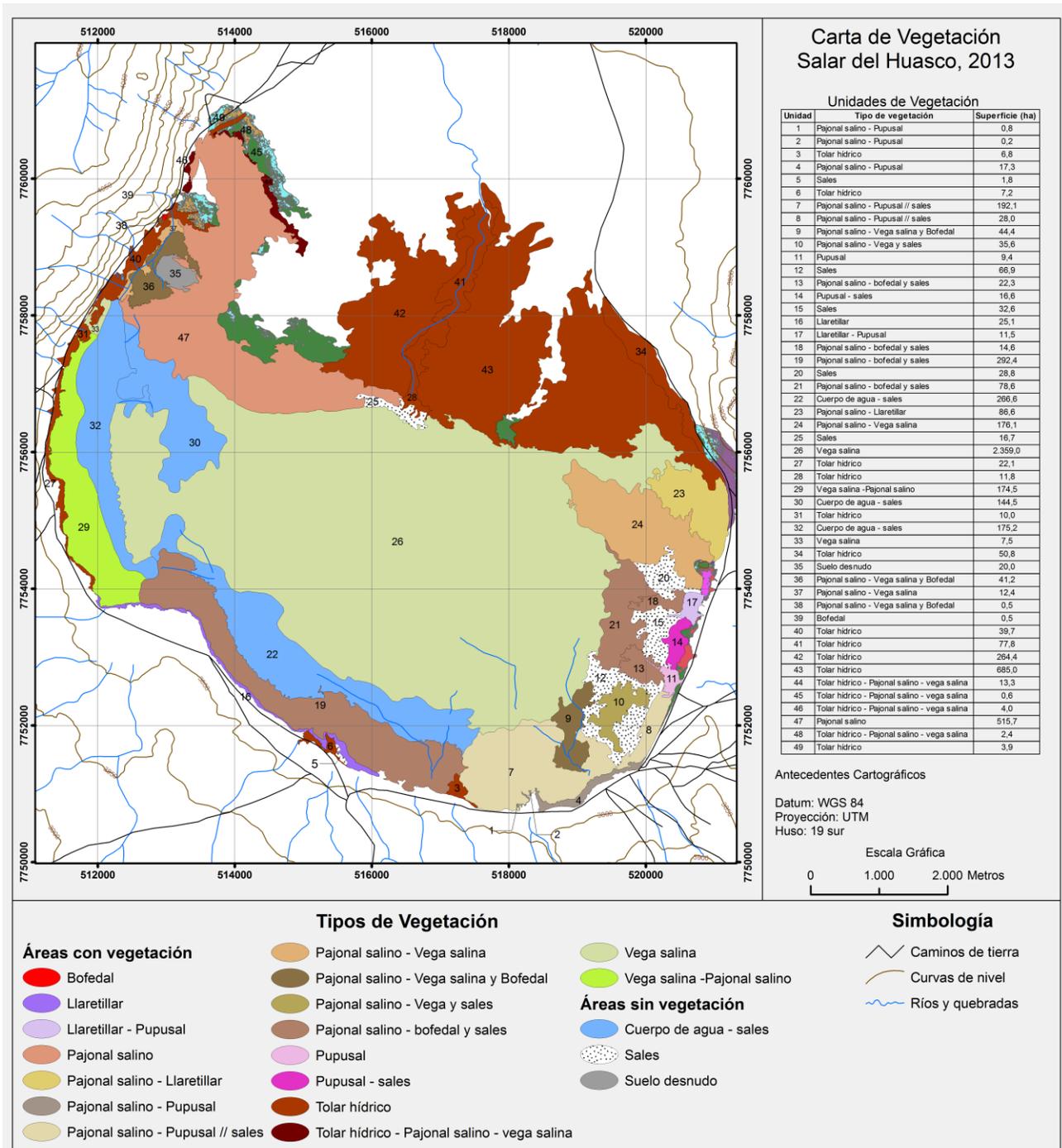
## **Anexo 2: Sistematización de información humedal Lagunillas**

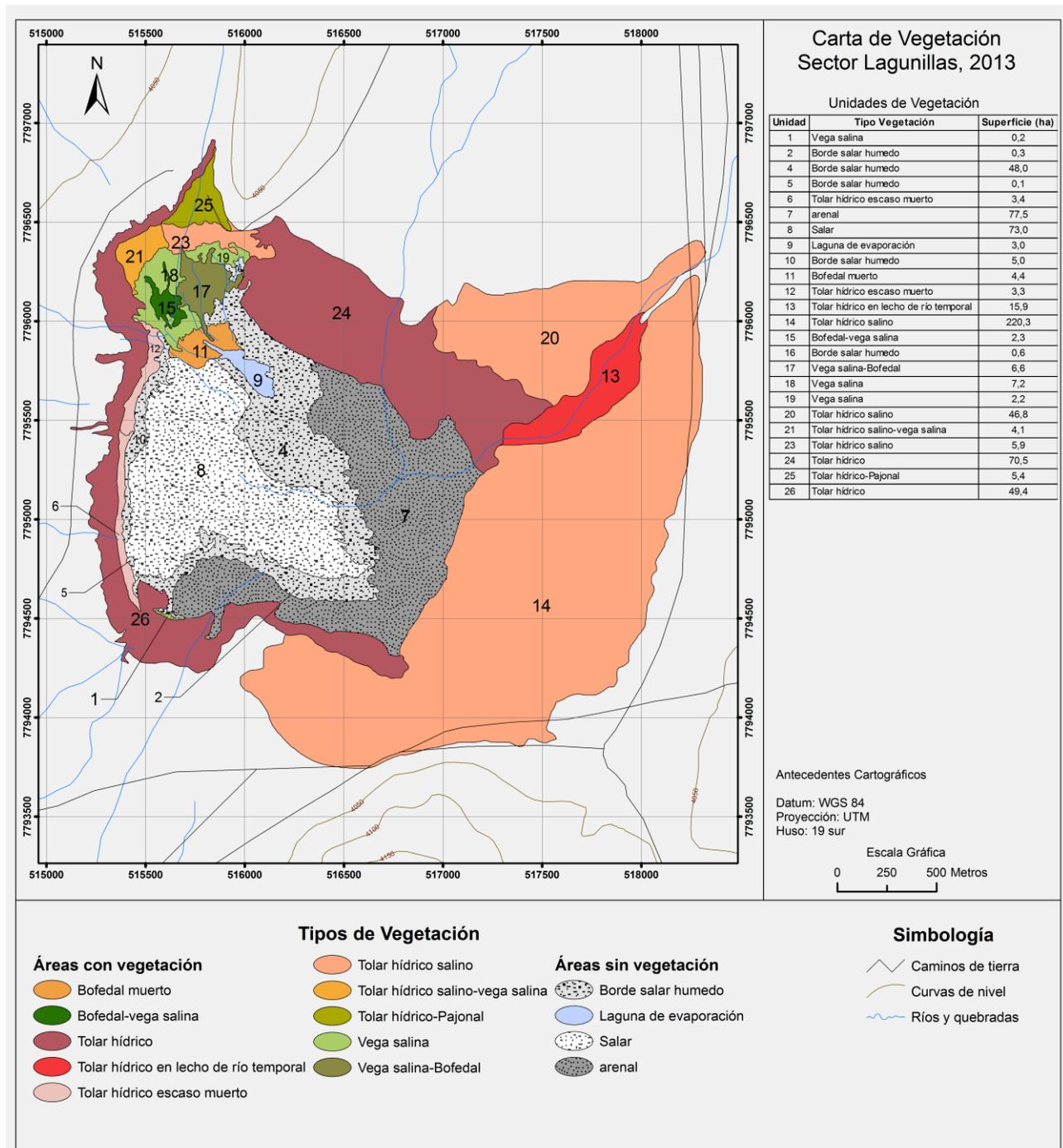
<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Resumen</b>
LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS	2010	Registro de pp correspondientes al sector de Pampa Lirima.
MONITOREO AMBIENTAL DEL SECTOR LIRIMA LAGUNILLAS	Universidad Arturo Prat	1998	Estudio de monitoreo con el objetivo de caracterizar diferentes aspectos del sector Lagunillas principalmente como: tamaño de la laguna, análisis de la pluviometría, limnología de los cuerpos de agua superficiales, composición florística y faunística.
ESTUDIO DEL ECOSISTEMA DE PAMPA LAGUNILLA: DESCRIPCIÓN Y DINÁMICA	Universidad Arturo Prat	1995	Estudio orientado a caracterizar el área de Pampa Lagunilla, considerando las principales variables bióticas y abióticas del ecosistema, e integración espacial y estacional. Describe el comportamiento anual dinámico del ecosistema.
INFORME SEMESTRAL CUENCA DE LAGUNILLAS PERIODO ENERO-JUNIO 2009	Bhpbilliton	2009	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME JULIO 2005. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunillas	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2005	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME MARZO 2005. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2005	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME NOVIEMBRE 2005. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2005	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Estado Ambiental del Bofedal de Lagunillas 1992-2005	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2005	Corresponde a un informe que analiza el estado ambiental histórico y actual del bofedal, para establecer objetivamente el origen de los cambios de este ecosistema.
INFORME MARZO 2006. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2006	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME AGOSTO 2006. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2006	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME NOVIEMBRE 2006. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2006	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME MARZO 2007. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2007	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME AGOSTO 2007. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2007	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME NOVIEMBRE 2007. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2007	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME MARZO 2008. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2008	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME AGOSTO 2008. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2008	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
INFORME NOVIEMBRE 2008. Evaluación Ambiental de Pampa Lagunilla	Bhpbilliton Universidad Arturo Prat	2008	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Trimestral Cuenca Lagunillas Periodo Enero – Marzo 2009	Bhpbilliton	2009	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Cuenca de Lagunillas Periodo Trimestral Julio – Septiembre 2009	Bhpbilliton	2009	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.

Informe Cuenca de Lagunillas Periodo Semestre Julio – Diciembre 2009	Bhpbilliton	2010	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Cuenca de Lagunillas Periodo Trimestre Enero – Marzo 2010	Bhpbilliton	2010	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Cuenca de Lagunillas Periodo Semestre Enero – Junio 2010	Bhpbilliton	2010	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Cuenca de Lagunillas Periodo Trimestre Julio – Septiembre 2010	Bhpbilliton	2010	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Cuenca de Lagunillas Periodo Semestre Julio – Diciembre 2010	Bhpbilliton	2010	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Cuenca de Lagunillas Periodo Semestre Enero – Junio 2011	Bhpbilliton	2011	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Cuenca de Lagunillas Periodo Semestre Julio – Diciembre 2011	Bhpbilliton	2012	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Cuenca de Lagunillas Periodo Trimestre Enero – Marzo 2010	Bhpbilliton	2012	Corresponde a un informe de monitoreo de Cuenca Lagunillas, en el cual se expresan datos como el área lagunar, calidad del agua, flora, fauna, limnología, flujos de bombeo, niveles de agua subterránea en los pozos de observación y en los sectores lacustres de lagunillas.
Informe Cartografía vegetacional Bofedal de Lagunillas 2009-2012	Bhpbilliton	2012	Corresponde a un informe que cuantifica las variaciones espacio-temporales de la vegetación del bofedal de Lagunilla entre los periodos 2009 y 2012, respecto a la configuración histórica antes de la condición de humectación deficitaria.

**Anexo 3. Fichas Ambientales de Humedales Seleccionados**  
**En formato Excel en cd, informe final.**

## **Anexo 4. Cartografías de la Vegetación de los humedales seleccionados**





**Anexo 5: SIG con la información recabada para la construcción y aplicación del IFPCAA, y los sitios de evaluación de composición biótica.**

**En formato Excel en cd, informe final**

**Anexo 6: Tablas de las correlaciones entre composición  
biótica y variables climáticas  
En formato Excel en cd, informe final.**

## **Anexo 7: Registro fotográfico campaña terreno a humedales seleccionados**

**8 y 12 de mayo de 2013**



Tolar hídrico, zona sur del Salar de Huasco.



*Eligmodontia puerulus* capturado en la grilla 2 del Salar de Huasco.



*Phyllotis sp.* Capturado en la grilla 1 del Salar de Huasco



Vertiente sur del Salar de Huasco y bofedal asociado



Bofedal-pajonal hídrico, vertiente norte del Salar de Huasco



*Eligmodontia puerulus*, recaptura en la grilla 2 del Salar de Huasco (marcado mediante corte de pelo en la zona dorsal)



Patos Juarjuel en la zona del bofedal de Collacagua



Vega salina y tolar hídrico adyacente asociados a surgencias difusas en la zona sur del Humedal Lagunillas.



*Akodon albiventer* capturado en la grilla 2 del humedal Lagunillas.





Suri avistado en la ruta que une ambos humedales



Toma de muestras de agua para invertebrados planctónicos en la Laguna del Huasco



Ectoparásito de *Abrothrix andinus*, grilla 2, Lagunillas



*Phyllotis sp* capturado en la grilla 1, Lagunillas



Becacina de la Puna, Bofedal Collacagua



Perdiz de la Puna, Salar del Huasco



Chorlito nevado, Laguna Lagunillas



Anseriformes en laguna Lagunillas



Flamencos en laguna Lagunillas



Flamencos en Laguna del Huasco



Caiquenes o Guallatas, Laguna del Huasco

## **Anexo 8. Lista de asistencia y registro fotográfico Taller de Cierre: Presentación resultados finales**

**Anexo 8: Lista de asistencia y registro fotográfico Taller de cierre: Presentación resultados finales**

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO ELECTRÓNICO
1	Priscilla Piña	CONAF	<a href="mailto:priscilla.pina@conaf.cl">priscilla.pina@conaf.cl</a>
2	Roxana Galleguillos	MMA	<a href="mailto:rgalleguillo.1@mma.gob.cl">rgalleguillo.1@mma.gob.cl</a>
3	Vinko Malinarich	SAG	<a href="mailto:vinko.malinarich@sag.gob.cl">vinko.malinarich@sag.gob.cl</a>
4	Patricio Rivas	SERNAPESCA	<a href="mailto:privas@sernapesca.cl">privas@sernapesca.cl</a>
5	Yubinza Arriagada	CONADI	<a href="mailto:yarriagada@conadi.gov.cl">yarriagada@conadi.gov.cl</a>
6	Marco Soto	Subpesca	<a href="mailto:msoto@subpesca.cl">msoto@subpesca.cl</a>
7	Ximena Cancino	SEA	<a href="mailto:xcancino.1@sea.gob.cl">xcancino.1@sea.gob.cl</a>
8	Eduardo Ubal	GORE	<a href="mailto:eubal@goretarapaca.gov.cl">eubal@goretarapaca.gov.cl</a>
9	David Uribe	CEH	<a href="mailto:d.uribe.r@gmail.com">d.uribe.r@gmail.com</a>
10	Guillermo Espinoza	CED	<a href="mailto:gespinoza@ced.cl">gespinoza@ced.cl</a>
11	Carolina Vera	CEH	<a href="mailto:cvera@ceh.cl">cvera@ceh.cl</a>
12	María Jesús Silva	CEH	<a href="mailto:mjsilva@ceh.cl">mjsilva@ceh.cl</a>



## **Anexo 9: Boletín InfoHumedales**



# info Humedales

*fuentes de vida para las nuevas generaciones*

Boletín Digital

Lagunillas

Edición Especial

## Estudio

-Humedales y Cambio Climático  
en la Región de Tarapacá

publicación bimensual del

Centro de Estudios de  
**Humedales**

Pica - Chile





## Centro de estudios de humedales

Blanco Encalada 280

Pica - CHILE

Teléfono (56+57) 274 2067

email: [contacto@ceh.cl](mailto:contacto@ceh.cl)

[www.ceh.cl](http://www.ceh.cl)

Todas las fotografías de campo de propiedad del Señor David Uribe

### EQUIPO

**Carolina Vera**  
Coordinadora, [cvera@ceh.cl](mailto:cvera@ceh.cl)

**Érica Ayavire**  
Asistente Administrativa, [eayavire@ceh.cl](mailto:eayavire@ceh.cl)

**Maritza Paicho**  
Encargada SIT CEH, [mpaicho@ceh.cl](mailto:mpaicho@ceh.cl)

**Jaime Novoa**  
Asistente Técnico Operativo, [jnovoa@ced.cl](mailto:jnovoa@ced.cl)



Centro de Estudios de  
**Humedales**

Estimados lectores,

Con este número especial del *Infohumedales* damos a conocer los principales resultados del estudio “Humedales y Cambio Climático en la Región de Tarapacá”, realizado por el equipo de profesionales del CEH para la Subsecretaría del Medio Ambiente, Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Tarapacá.

El objetivo principal del estudio fue el generar conocimiento respecto de los vínculos entre cambio climático, funcionamiento de los humedales e influencia de las presiones humanas en sectores de lagunas altoandinas. Para ello se analizó el comportamiento, la magnitud y velocidad de cambios o variaciones derivadas del comportamiento climático de la zona en los humedales del Salar del Huasco y Lagunillas, ambos ubicados en la comuna de Pica.

Entre los principales resultados obtenidos se encuentra la adaptación del Índice de Funcionalidad de Riveras Perilacustre (SFI, por su sigla en inglés) a un índice de relativamente fácil aplicación e interpretación aplicable a humedales altoandinos con la finalidad de establecer su funcionamiento *in situ*. Este índice optimiza la información cuantitativa o cualitativa disponible para llevar a cabo una evaluación rápida y efectiva del estado ecológico de los humedales del altiplano andino. Otro de los resultados del estudio comprende una ficha con parámetros con los cuales se busca diseñar un plan de seguimiento que ponga foco en los potenciales efectos del cambio climático en los humedales del altiplano andino. Ambas herramientas fueron aplicadas en ambos humedales antes mencionados.

Una de las principales conclusiones de estudio es que el Salar del Huasco cumple con condiciones propicias para el estudio de los efectos de la variabilidad climática sobre la biodiversidad (composición, estructura y función), ya que las presiones antropogénicas, que podrían alterar la respuesta de la biota, son en general bajas.

Para el Centro de Estudios de Humedales este estudio refuerza el trabajo desarrollado desde hace ya cuatro años en la Región, tendiente a la generación y difusión de conocimiento sobre el estado, funcionamiento y uso de los humedales.

Agradecemos a la Subsecretaría del Medio Ambiente, Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Tarapacá, a todo el equipo de trabajo del CEH y a sus investigadores asociados. Esperamos que esta información valiosa para los humedales altoandinos de nuestro país sea de gran utilidad para la adecuada conservación de estos ambientes.

Carolina Vera Burgos  
Coordinadora CEH



## ¿Qué es el Centro de Estudios de Humedales?

La Estrategia Regional de Humedales Altoandinos, impulsada por la Convención Ramsar, reconoce a los humedales como ecosistemas estratégicos debido a que regulan y son fuentes de agua para diversas actividades humanas. Además de ecosistemas con alta biodiversidad y hábitat de especies de flora y fauna en distintos estados de conservación, son centros de endemismo y espacios de vida para comunidades locales e indígenas. De acuerdo a la Convención Ramsar, existe vulnerabilidad en los humedales altoandinos derivada de distintas presiones humanas a lo largo del tiempo. Esto puede verse amplificado por la acción del cambio climático y por la disponibilidad de agua. Las modificaciones humanas y la variabilidad natural de los ecosistemas aumentan la importancia de mejorar el uso de la información disponible y la generación de nuevo conocimiento que permita tomar decisiones sustentables.

En este marco desarrolla sus actividades el CEH, una iniciativa Bicentenario que funciona gracias a un convenio entre la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi y el Centro de Estudios del Desarrollo, el cual busca promover la conservación y uso sustentable de los humedales altiplánicos, por medio de la complementariedad y especificidad en los esfuerzos regionales y nacionales.

La finalidad es contribuir a la descentralización de la gestión de la información y de la investigación. Este propósito demanda un sostenido y creciente vínculo con las comunidades, generando alianzas estratégicas y espacios para la transferencia del conocimiento. El CEH es un espacio de referencia que trabaja en la generación y difusión de conocimiento e información y en la capacitación de actores vinculados a los humedales en general y a los altoandinos en particular.

El CEH también apoya el desarrollo de políticas sobre conservación y uso sustentable de estos ecosistemas y sus ambientes asociados, trabajando en seis líneas estratégicas, con estudios, proyectos, mediciones, tesis y pasantías que apuntan al fortalecimiento de las capacidades a nivel público y privado para conservar los humedales.



Oficinas del Centro de Estudios de Humedales en Pica

## Presentación

### ESTUDIO HUMEDALES Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ<sup>1</sup>

#### I.- Contexto del Trabajo

El estudio desarrollado por el Centro de Estudios del Desarrollo (CED) en el marco de las líneas de trabajo del Centro de Estudios de Humedales de Pica (CEH) y encargado por la Subsecretaría del Medio Ambiente, Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Tarapacá, apuntó a generar conocimiento respecto de los vínculos entre cambio climático y funcionamiento de los humedales en sectores de lagunas altoandinas de la Región de Tarapacá. Ello se impulsa a través de una ficha de índice de funcionalidad aplicable a humedales altoandinos, que permita la obtención de un indicador para establecer su funcionamiento *in situ*.

El trabajo se hizo en base a dos humedales seleccionados, el Salar del Huasco y Lagunillas, ambos ubicados en la comuna de Pica. Cabe destacar que su aplicación puede ser ampliada a otros ecosistemas lagunares similares del altiplano. Se elaboró un índice de funcionalidad modificado a partir del Índice de Funcionalidad de Riveras Perilacustre (SFI, por su sigla en inglés; Siligardi et al., 2010), pero ajustado a las condiciones locales. El índice fue aplicado a través de una ficha con parámetros seleccionados en ambos humedales. Con esta propuesta se podrá realizar un programa de seguimiento de los



<sup>1</sup> Este resumen ha sido elaborado a partir del informe "Humedales y Cambio Climático en la Región de Tarapacá, elaborado por el CED/CEH para la Subsecretaría del Medio Ambiente, Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Tarapacá, con la finalidad de difundir los principales resultados obtenidos en ese trabajo.

2 Siligardi M, S Bernabei, C Cappelletti, F Ciutti, V Dallafior, et al, 2010. Lake Shorezone Functionality Index (SFI): A tool for the definition of ecological quality. Instituto Superiore per la protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)





efectos del cambio climático que combina un diseño conceptual, la información disponible y los aspectos básicos que deben ser medidos en el campo. El estudio considera la influencia de la variabilidad natural de los ecosistemas y las presiones humanas como variables importantes para despejar potenciales efectos e implicancias del cambio climático. En esta publicación se presentan solo los antecedentes vinculados al Índice de Funcionalidad Perilacustre.

El equipo de trabajo estuvo conformado por los profesionales Guillermo Espinoza González (Geógrafo), Carolina Vera Burgos (Bióloga en Gestión de Recursos Naturales), Pamela Smith Guerra (Geógrafo), Luis Faúndez Yancas (Ingeniero Agrónomo) y David Uribe Rivera (Biólogo). La contraparte técnica del estudio estuvo a cargo de la profesional Roxana Galleguillo Cordero, Encargada Recursos Renovables y Biodiversidad de la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Tarapacá.



## II.- Marco Conceptual

El término humedales se refiere a una amplia variedad de hábitats interiores, costeros y marinos que comparten como característica principal la dependencia del agua, la que juega un rol fundamental en los ecosistemas, determinando su estructura y funciones. Los humedales son ecosistemas intermedios entre el medio acuático y el terrestre, con porciones húmedas, semihúmedas y secas. Debido a esta característica ecotonal (*zona de transición entre diferentes ecosistemas*) los humedales se destacan por presentar una mayor riqueza de especies, respecto a las zonas circundantes.

Debido en parte a la amplia variedad de ecosistemas que se describen como humedales, existen muchas expresiones del término. Algunas están basadas en criterios principalmente ecológicos y otras más orientadas a aspectos vinculados a

su manejo. La definición más aceptada es la descrita por la Convención Ramsar sobre Humedales, que los establece como “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. La Convención Ramsar clasifica los humedales de acuerdo a su ubicación en el paisaje y el tipo de vegetación presente, y los divide en tres grandes grupos: marinos, continentales y artificiales.

En un sentido amplio y en conformidad a la definición general de humedales que hace la Convención de Ramsar, es posible señalar que todo ambiente de transición entre ecosistemas acuáticos y terrestres puede ser considerado un humedal,





Figura 1. Gradiente de cambios en los sistemas de humedales de acuerdo al nivel de antropización.

sea natural, transformado o artificial en función del grado de intervención humana o antrópica (ver Figura 1).

La complejidad de las relaciones entre el medio natural y el medio humano se expresa en el territorio en función de la oferta de recursos naturales y en las condiciones para su conservación y uso sustentable. Dichas relaciones no son lineales y, por lo tanto, todo esfuerzo por representarlas tiene limitaciones para señalar a cabalidad la realidad. No obstante esta dificultad, es innegable la necesidad de abordar la gestión y seguimiento de los humedales con un enfoque territorial integrado. Si ocurre lo contrario, los esfuerzos de conservación de la biodiversidad en esos ambientes no tendrán los resultados esperados en la medida que no se considere la dinámica socioambiental a nivel local y de cuencas.



A diferencia de los ecosistemas terrestres los humedales suelen presentar una gran variabilidad tanto en el tiempo como en el espacio. Esta dinámica tiene efectos muy importantes sobre la diversidad biológica presente en ellos, ya que deben

desarrollar adaptaciones para sobrevivir a estos cambios que pueden llegar a ser muy extremos; por ejemplo, ciclos hidrológicos anuales con períodos de sequía e inundación extremos (CEA-SAG, 2006)<sup>3</sup>

<sup>3</sup> CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA & SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO, CEA-SAG. 2006. Conceptos y Criterios para la Evaluación Ambiental de Humedales. Santiago. 81 pp. I CEH / CED - 2011 /2012.

Asimismo, la disponibilidad, acceso y uso de los recursos hídricos presentarán modificaciones hacia el futuro en el marco del cambio climático, las que se asocian directamente con el patrón de precipitaciones y del régimen de aporte hídrico que sustentan a los humedales. El balance hídrico de las cuencas podría presentar cambios importantes por esta causa, lo que también puede tener implicancias en la distribución espacial y temporal de la biodiversidad, la disponibilidad de agua para usos

humanos, y la capacidad de los ecosistemas de sustentar bienes y servicios ambientales. Estas modificaciones aumentan la importancia de prever acciones de gestión estratégica y de seguimiento a diferentes escalas para asegurar el abastecimiento de las poblaciones humanas, la mantención de los ecosistemas de humedales, y la sustentabilidad ambiental de actividades demandantes del recurso hídrico.

### III. Índice de funcionalidad perilacustre: adaptación al altiplano andino

La adaptación del Índice de Funcionalidad Perilacustre a la realidad de los humedales altoandinos del país propone un índice de relativamente fácil aplicación e interpretación, que optimice la información cuantitativa o cualitativa disponible para llevar a cabo una evaluación rápida y efectiva del estado ecológico de los humedales del altiplano andino. La propuesta se elabora a partir de la adaptación del Índice de Funcionalidad Perilacustre (SFI, por su sigla en Inglés; Siligardi et al., 2010)<sup>4</sup>. La metodología que se utilizó es la misma del proceso de elaboración del SFI, pero, además, se agregó un nuevo set de parámetros, con el objeto de diseñar un plan de seguimiento que ponga foco en los potenciales efectos del cambio climático en los humedales del altiplano andino.

La funcionalidad ecológica es el producto de las relaciones de los componentes de un ecosistema con su ambiente, por lo tanto depende tanto de su naturaleza como de las perturbaciones ambientales promovidas por el ser humano. El Indicador de Funcionalidad Perilacustre (SFI) tiene por objetivo estimar el nivel de funcionalidad de la zona perilacustre a partir de parámetros de fácil evaluación *in situ*. Por lo tanto el resultado de esta estimación dependerá tanto del grado de perturbación como de las condiciones originales del humedal.

El SFI se ha desarrollado bajo un contexto de grandes perturbaciones antropogénicas, principalmente procesos de urbanización e industrialización, en que la integridad

<sup>4</sup> SILIGARDI M, S BERNABEI, C CAPPELLETTI, F CIUTTI, V DALLAFIOR, *et al.* (2010) Lake Shorezone Functionality Index (SFI): A tool for the definition of ecological quality.





ecológica ha sido alterada por construcciones y acciones físicas de la zona de ribera. Además, se ha desarrollado y puesto a prueba para clasificar la funcionalidad ecológica de lagos, lo que implica que las condiciones ambientales que modulan la funcionalidad natural de la zona Perilacustre (especialmente las topográficas), sean radicalmente distintas de las observadas en el altiplano andino. Ello limita su capacidad de clasificación de la funcionalidad ecológica de la zona perimetral y por ende, a su utilización efectiva para estos sistemas límnicos (Seremi Medio Ambiente Tarapacá, 2012)<sup>5</sup>. Resulta entonces necesario adaptar el Índice, a través de una selección cuidadosa de los parámetros evaluados, y al mismo tiempo adaptando el árbol de decisiones que lleva a cabo la estimación de funcionalidad de la zona perimetral (SEREMI Medio Ambiente Los Lagos, 2012)<sup>6</sup>. El objetivo fue ponderar, ajustado al contexto del altiplano, la importancia de cada parámetro en la estimación de la funcionalidad ecológica de la zona perimetral.

La zona perilacustre es la interfase entre ecosistemas acuáticos y terrestres, presentando características ecotonales que le confieren una gran importancia ecológica, reflejado en sus altos niveles de biodiversidad. La zona perilacustre se extiende alrededor de los lagos con un ancho determinado, y presenta funciones ecológicas que dependen de variables ambientales, especialmente topográficas. Paralelamente, para el caso de los humedales, y en particular de aquellos asociados a cuerpos de agua del altiplano andino (lagunas de evaporación, vegas y bofedales), la zona perimetral (zona perihumedal) comparte la relevancia funcional de la zona perilacustre. Sin embargo, presenta una dinámica estacional e interanual muy marcada, regulada, bajo condiciones naturales, casi exclusivamente por variables climáticas como precipitación y temperatura, las que determinan en corto y mediano plazo el tamaño del cuerpo de agua y los límites de la zona perihumedal. Esto es así debido a que las cuencas que los contienen son de naturaleza endorreica; es decir, no presentan salida superficial al mar, por lo que el balance hídrico tiene

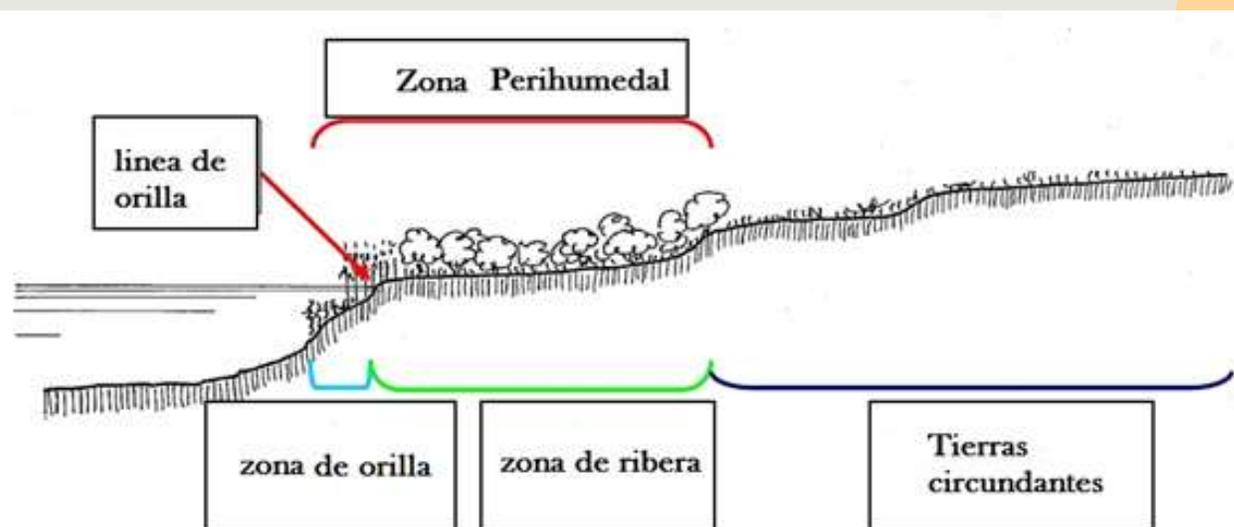
<sup>5</sup> SEREMI Medio Ambiente Tarapacá (2012) Informe de aplicación del Índice de Funcionalidad Lacustre en lagunas de altura en la Región de Tarapacá, información proporcionada por la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Tarapacá.

<sup>6</sup> SEREMI Medio Ambiente Los Lagos (2012) Aplicación piloto del Índice de Funcionalidad Lacustre al Lago Chapo, información proporcionada por la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Tarapacá.

como principales componentes la evaporación, la filtración de agua al acuífero, las precipitaciones estacionales y el aporte subterráneo a través de surgencias.

Al adaptar el índice se define 'Zona Perihumedal' (ver **Figura 2**) como una banda que incluye parte de los suelos anegados, desde la línea de orilla hacia el interior del cuerpo de agua, limitado

por la línea de la vegetación acuática (si no está presente no se considera); y la zona de vegetación azonal hídrica no anegada. Esto es desde la línea de orilla, hasta el límite de la vegetación azonal hídrica, incluyendo costra de sal, vegetación salina y vegetación higrófila. El motivo de la adaptación es que gran parte de los humedales del altiplano andino presentan escasa pendiente, muchas veces no superando la profundidad de 1 metro.



**Figura 2.** Esquema de la zona perihumedal (modificado del esquema de la zona perilacustre, Siligardi y colaboradores, 2010).

El gran dinamismo que caracteriza a los humedales de la Región presentó dos grandes desafíos para aplicar el índice de funcionalidad: a) delimitar el humedal y la zona perilacustre; y b) incorporar los dinanismos en una evaluación del estado funcional de la zona perihumedal. Tanto los límites del humedal como los de la zona perilacustre se establecieron mediante fointerpretación a partir de imágenes satelitales de las últimas tres décadas, en distintas estaciones del año. Con el objetivo de capturar la mayor parte de la dinámica estacional e interanual, fijando el límite de la franja perihumedal

a partir de la mayor extensión de la vegetación higrófila registrada en este periodo.

Otras diferencias importantes radican en la naturaleza, la magnitud y la distribución de la presión antropogénica. En este caso, específicamente, interesa su magnitud y su origen, lo que puede registrarse mediante la inclusión de parámetros adecuados en la ficha de evaluación de funcionalidad, lo que permitirá distinguir patrones espaciales en tales presiones, y cómo ellas podrían estar afectando la funcionalidad ecológica de estos humedales.

Finalmente, el diseño del índice propuesto, enfocado a evaluar la funcionalidad de la zona perihumedal, se limita a la evaluación de humedales asociados a cuerpos de agua (sean estos permanentes o estacionales). Por lo tanto, quedan excluidos los humedales asociados a quebradas, a pesar de que constituyen un componente importante de los sistemas de humedales de la Región.

El objetivo de este trabajo es virtualmente equivalente al de Siligardi y colaboradores (2010), ya que busca: a) caracterizar el contexto de cada humedal asociado a cuerpos de agua del Altiplano, y b) evaluar el estado funcional de tales humedales. Sin embargo, el foco ya no estará sólo en la función de protección del cuerpo de agua de fuentes de contaminación no

puntuales que realiza la zona de orilla, sino asegurar además otras funciones importantes como la disponibilidad de agua en la cuenca, la amortiguación de eventos catastróficos como inundaciones, y la regulación del ciclo de carbono. Además, la propuesta de indicador incluye un tercer objetivo no contemplado en el SFI, que consiste en: c) monitorear el estado funcional a través del tiempo para distinguir potenciales efectos del cambio climático. Para cumplir con estos tres objetivos, se evaluaron tres set de parámetros que generarían cada uno la información necesaria para cumplir los objetivos de caracterizar y evaluar el estado funcional (constituyendo un índice de funcionalidad) y monitorear los efectos del cambio climático sobre la estructura y función de estos ecosistemas. Los parámetros son los siguientes:



1) Parámetros de caracterización: Son aquellos relacionados con las condiciones bióticas y abióticas actuales de la estructura y composición de cada humedal. Son evaluables tanto *ex situ* como *in situ* y permiten caracterizar el contexto ambiental de cada humedal (Ver **Ficha 1 A y B**). La evaluación de cada parámetro se lleva a cabo primeramente a partir de información bibliográfica y de no ser posible completarlo en su totalidad,

se dará cuenta de los vacíos en la información disponible. Los parámetros utilizados para la caracterización del humedal en su conjunto corresponden principalmente a los utilizados por el SFI. A ellos se les agregan aquellos relevantes para la caracterización incluidos en las Fichas de Calidad de Humedales desarrolladas anteriormente por el Centro de Estudios de Humedales (CEH, 2011) CEH/CED (2011)<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Fichas de Calidad de los Humedales de Tarapacá



## Ficha 1 A. Parámetros de caracterización del humedal evaluados para el Salar del Huasco

	PARAMETRO	Expresión
TOPOGRAFICOS	· Origen	Endorreico
	· Tipo	natural cerrado
	· posición fisiográfica	Pampa abierta
	· latitud	7754553
	· longitud	516048
	· altitud media de la cuenca	3750
	· altitud del cuerpo de agua	3800
	· altitud máxima del humedal	3830
MORFOLOGICOS	· altitud promedio del humedal	3800
	· área de la cuenca (AC)	1469,72 Km <sup>2</sup>
	· área promedio (30 años) cuerpo de agua marzo	2 Km <sup>2</sup>
	· área promedio (30 años) cuerpo de agua noviembre	2,377 Km <sup>2</sup>
	· área máxima registrada	9,591 Km <sup>2</sup>
	· área mínima registrada	2,112 Km <sup>2</sup>
	· capacidad tributaria	NE
	· área humedal	656,9 Km <sup>2</sup>
CLIMATICOS	· relación área humedal / área cuenca	0,45
	· variabilidad intra-anual del nivel de agua	NE
	· Evaporación potencial	NE
	· precipitación anual promedio (30 años)	139,0 mm
	· desv.est. precipitación anual (30 años)	87,47 (N=29)
	· tendencia de la precipitación anual (últimos 30 años)	1,828
	· precipitación promedio de verano (últimos 30 años)	108,41 mm
	· desv.est. precipitación de verano (últimos 30 años)	72,15 (N = 28)
	· precipitación promedio de invierno (últimos 30 años)	5,29 mm
	· desv.est. precipitación de invierno (últimos 30 años)	10,54 (N=29)
	· temperatura máxima promedio anual (últimos 30 años)	14,91 (°C)
	· desv.est. promedio temperatura media anual	0,992 (N = 26)
	· tendencia de la temperatura media anual (últimos 30 años)	0,025
	· promedio de la temperatura máxima en enero (últimos 30 años)	17,24 (°C)
	· desv.est. temperatura máxima en enero (últimos 30 años)	1,465 (N = 28)
	· promedio de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)	10,96 (°C)
	· desv.est. de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)	1,441 (N = 30)
PRESIONES ANTROPOGENICAS	· extracción de agua relativa a la capacidad tributaria	376,10 L/s
	· destino de la utilización del recurso agua a nivel de cuenca	Tradicional
	· intensidad de minería en la cuenca	0
	· densidad poblacional a nivel de cuenca	6 Km <sup>-2</sup>
	· intensidad de turismo en la cuenca (10 años)	NE
	· número (y distribución) de las fuentes de contaminación industrial	0
	· manejo ambiental	SI
	· grado de protección: porcentaje de la cuenca bajo protección efectiva	75%
	· Intensidad de agricultura en la cuenca	NE
	· Intensidad de geotermia en la cuenca	0
	· grado de naturalidad o alteración de la cubeta	Excavación-Camino/carretera –Ganado
	· existencia de flujos de materia orgánica de origen antrópico hacia el humedal desde sistemas terrestres y fluviales	No existe evidencia
	· intensidad de la ganadería a nivel de cuenca relativo a la capacidad de carga	20%



	PARAMETRO	Expresión	
OTROS	· tipo principal del sustrato	Sedimentario	
	· Tamaño del almacén de carbono	NE	
	· permeabilidad del sustrato	Alta a media	
	· Salinidad aparente en superficie	85.7	
	· Ecotipo	Humedal continental / evaporación- vega salina/Pajonal salino/bofedal	
	· Vegetación dominante	Dominancia de <i>Oxychloe andina</i> – <i>Zameioscirpusatacamensis</i> (bofedal), <i>Carexmisera</i> (vega salina), <i>Festucanardifolia</i> – <i>F. deserticola</i> – <i>Deyeuxiacurvula</i> (pajonal salino), <i>Frankeniatriandra</i> (llaretilar) y <i>Werneria incisa</i> (pupusal)	
		· Porcentaje del humedal cubierto por costra salina	85,7
		· principios indicadores	NE
		· conductividad del agua ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) Promedio (dev.est.; N; periodo)	566, 86 (75,46 ; 21; 01/2006 – 03/2012)
		· pulsos de inundación	Sin alteración
	· hidroperiodo	Permanente	
	· Tamaño	6568,99 ha	

NOTA: NE= no evaluados.

### Ficha 1 B. Parámetros de caracterización del humedal evaluados para Lagunillas

	PARAMETRO	Expresión
TOPOGRAFICOS	· Origen	Endorreico
	· Tipo	natural cerrado
	· posición fisiográfica	Pampa abierta
	· latitud	7795752
	· longitud	516029
	· altitud media de la cuenca	4020
	· altitud del cuerpo de agua	4020
	· altitud máxima del humedal	4029
MORFOLOGICOS	· altitud promedio del humedal	4020
	· área de la cuenca (AC)	192,37 Km <sup>2</sup>
	· área promedio (30 años) cuerpo de agua marzo	0.409km <sup>2</sup>
	· área promedio (30 años) cuerpo de agua noviembre	0.405km <sup>2</sup>
	· área máxima registrada	145,3 km <sup>2</sup>
	· área mínima registrada	0.0051 km <sup>2</sup>
	· capacidad tributaria	m <sup>3</sup> /s
	· área humedal	179km <sup>2</sup>
	· relación área humedal / área cuenca	0,93
	· variabilidad intra-anual del nivel de agua	NE
CLIMATICOS	· Evaporación potencial	NE
	· precipitación anual promedio (30 años)	141,05 mm
	· desv.est. precipitación anual (30 años)	73,51 (N=27)
	· tendencia de la precipitación anual (últimos 30 años)	- 0,0432
	· precipitación promedio de verano (últimos 30 años)	114,7 mm
	· desv.est. precipitación de verano (últimos 30 años)	63,9 (N = 23)
	· precipitación promedio de invierno (últimos 30 años)	5,926 mm
	· desv.est. precipitación de invierno (últimos 30 años)	17,014 (N = 27)
	· tendencia de la temperatura máxima media anual (últimos 30 años)	0,091
	· temperatura máxima promedio anual (últimos 30 años)	13,51 (°C)
	· desv.est. promedio temperatura media anual (últimos 30 años)	1,155 (N = 20)
	· promedio de la temperatura máxima en enero (últimos 30 años)	15,30 (°C)
	· desv.est. temperatura máxima en enero (últimos 30 años)	1,91 (N = 28)

CLIMATICOS	· promedio de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)	9,70 (°C)
	· desv.est. de la temperatura máxima en julio (últimos 30 años)	1,47 (N = 27)
PRESIONES ANTROPOGÉNICAS	· extracción de agua relativa a la capacidad tributaria	126,95 L/s (promedio 2011)
	· destino de la utilización del recurso agua a nivel de cuenca	Industrial
	· intensidad de minería en la cuenca	0
	· densidad poblacional a nivel de cuenca	3 Km <sup>-2</sup>
	· intensidad de turismo en la cuenca (10 años)	NE
	· número (y distribución) de las fuentes de contaminación industrial	NE
	· manejo ambiental	Con
	· grado de protección: porcentaje de la cuenca bajo protección efectiva	0%
	· Intensidad de agricultura en la cuenca	0
	· Intensidad de geotermia en la cuenca	0
	· grado de naturalidad o alteración de la cubeta	Ganado y extracción de agua
	· existencia de flujos de materia orgánica de origen antrópico hacia el humedal desde sistemas terrestres y fluviales	Sin evidencia
	· intensidad de la ganadería a nivel de cuenca relativo a la capacidad de carga	NE
	OTROS	· tipo principal del sustrato
· Tamaño del almacén de carbono		Toneladas
· permeabilidad del sustrato		Alta a media
· Salinidad aparente en superficie		92,6
· Ecotipo		Humedal continental / evaporación-sin información
· Vegetación dominante		No hay dominante
· Porcentaje del humedal cubierto por costra salina		92,6
· principios indicadores		NE
· conductividad del agua (µS/cm) Promedio (dev.est.; N; periodo)		415,05 (476,12 ; 21; 01/2006 – 03/2012)
· pulsos de inundación		Inundación catastrófica 2001-2 (> 70% vegetación azonal hídrica)
· hidropериодо		Permanente
· Tamaño		178.92 ha

NOTA: NE= no evaluados.

2) Parámetros de funcionalidad aparente: Son aquellos parámetros de la estructura del humedal, evaluables a simple vista, pero que se relacionan inequívocamente a determinadas funciones ecosistémicas. Serán aplicados *in situ*, y permitirán evaluar el estado funcional de la zona perihumedal, relacionando observaciones directas de su estructura, con la funcionalidad potencial de la zona de orilla. En otras palabras, estos parámetros dan cuenta de la capacidad aparente de la zona de orilla para proteger la funcionalidad del humedal en un momento dado. Este set

conforma el *Índice de Funcionalidad Perihumedal para Cuerpos de Agua del Altiplano (IFPCAA)*, el cual deberá ser evaluado por completo para los humedales seleccionados y reflejado en la cartografía respectiva. conformarán el IFPCAA, y que fueron seleccionados buscando mantener la estructura desarrollada por Siligardi y colaboradores.

Los parámetros fueron colectados de literatura y en base al conocimiento experto de los sistemas locales. La **Ficha 2** contiene un set de 26 parámetros, de los cuales 14



se mantienen a partir del indicador original (SFI); 9 fueron reestructurados en función de las características propias de la biota altiplánica o bien de las presiones antropogénicas presentes en la Región; y 3 se agregaron para dar cuenta del nivel de estrés o del valor ecológico de cada unidad homogénea. Además, algunos de los parámetros que se mantienen fueron recategorizados acorde a las observaciones desprendidas de las campañas de terreno. Para la selección de los 26 parámetros expuestos en la Ficha 2 se verificó que cumplan con el principio de ser fácilmente evaluables *in situ*. Con esto, la lista de parámetros recabados a partir de la literatura y las recomendaciones de expertos disminuyó notablemente. Al respecto, los parámetros propuestos por Siligardi y colaboradores en su mayoría no fueron reemplazados por otros, sino que se modificaron las categorías ocupadas para evaluarlos,

ajustándolas al contexto del altiplano andino.

Cabe destacar que el SFI sólo considera 9 de los 28 parámetros originalmente propuestos para la clasificación de funcionalidad (Siligardi et al, 2010). De manera análoga, los parámetros que formarán parte del nuevo árbol de decisiones del IFPCAA son seleccionados mediante un análisis de redes neuronales siguiendo la metodología original.

A pesar de que no todos los parámetros serán incorporados en la evaluación, todos deben ser llenados. Esto permitirá tener una visión completa del estado funcional del humedal en el momento de su evaluación; además, se define la información que podrá ser utilizada en otras posibles evaluaciones o bien directamente en aportar a la toma de decisiones de gestión.

## Ficha 2. Parámetros de funcionalidad aparente utilizados para construir el IFPCAA

	Parámetros	Tipología	Valor
1	Extensión de la zona perihumedal <sup>1</sup>	categoría	0,1,2,3,4,5
2	caracterización de la vegetación		
2.1	Diversidad vascular <sup>2</sup>	categoría	0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1
2.2	Productividad vegetal <sup>2</sup>	categoría	0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1
2.3	cobertura total de la vegetación en la ribera	numérico	%
2.4	cobertura vegetación acuática (hidrófita, helófitas, anfífitas, macrófitas)	numérico	%
2.5	cobertura vegetación arbustiva (tola)	numérico	%
2.6	cobertura vegetación en cojín	numérico	%
2.7	cobertura vegetación cespitosa baja	numérico	%
2.8	cobertura vegetación cespitosa con champas	numérico	%
2.9	Cobertura de vegetación dominada por especies rizomatosas (vega)	numérico	%
2.10	porcentaje de vegetación muerta	numérico	%
2.11	especies de flora no higrófila	numérico	
2.12	especies de flora amenazadas	numérico	

	Parámetros	Tipología	Valor
2.13	especies de flora endémicas regionales	numérico	
2.14	suelos desnudos	numérico	%
2.15	heterogeneidad vegetal <sup>3</sup>	numérico	0 a 1
2.16	continuidad de la vegetación azonal hídrica	categoría	0; 0,5 ó 1
2.17	continuidad de la vegetación acuática en el suelo <sup>4</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
3	Interrupciones artificiales de la vegetación <sup>5</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
4	tipos de uso antrópico de la ribera <sup>6</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
5	principales usos de las tierras circundantes <sup>7</sup>	categoría	0, 1, 2, 3 ó 4
6	Infraestructura dentro de la zona perihumedal <sup>8</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
7	grado de artificialidad de la ribera <sup>9</sup>	numérico	0 a 1
8	forma de la línea de orilla: concavidad / convexidad <sup>10</sup>	categoría	0; 0,5 ó 1
9	complejidad de forma <sup>11</sup>	categoría	0; 0,5; 1
10	salinidad aparente en superficie	numérico	0; 0,5; 1
11	valoración personal del evaluador <sup>12</sup>	categoría	0,1,2,3,4,5

1: categorías: 1 = 0 a 5m; 2 = >5>10; 3 = >10>30; 4 = >30 > 50; 5 = 50 o más.

2: 0 = nula; 0,1 = muy baja; 0,3 = baja; 0,5= media; 0,8= alta; 1= muy alta.

3: 0= Monoespecífico; 1= muy diversificado, sin especies dominantes; 0,1-0,9=valores intermedios.

4: 0= Ausente; 0,5= Discontinuo; 1 = Continuo.

5: 0= -sin interrupciones; 1= interrumpido por infraestructura habitada; 0,5 = infraestructura no habitada (por ejemplo caminos).

6: 0= no uso; 0,5 = agrícola/ganadero/ tradicional; 1= industrial

7: 1 = formaciones xerofíticas, 2 = pasturas ganaderas, 3 = suelos desnudos, 4= asentamientos humanos.

8= categorías por establecer.

9: 0= sin evidencia aparente de perturbaciones humanas; 1= con evidencias claras de perturbación mayor atribuible al humano; 0,1-0,9 = valores intermedios de perturbación antropogénica.

11: 0 = unidad de forma circular con un perfil liso; 1 = unidad con forma compleja con zonas cóncavas y convexas, y con un perfil accidentado; 0,1-0,9= valores intermedios de complejidad de forma.

12: 1: Escasa a nula funcionalidad; 2: pobre funcionalidad; 3: moderada funcionalidad; 4: Buena funcionalidad; 5: Excelente funcionalidad.



3) Parámetros para monitorear efectos ecológicos del cambio climático: Los parámetros de la **Ficha 3** son propuestos con el objetivo de llevar a cabo el seguimiento a los componentes y funciones que, según investigación científica de corriente mundial, podrían verse afectados por los efectos del cambio climático. Bajo este contexto, las principales funciones de los humedales del altiplano andino que podrían verse involucradas son la regulación del ciclo hidrológico, la regulación del ciclo de carbono, la productividad ecosistémica y la provisión de nichos ecológicos para especies de flora y fauna (Uribe & CED/CEH, 2012)

Los parámetros propuestos pretenden dar cuenta, de ser evaluados de manera periódica y sistemática, de los mecanismos de regulación que el clima podría estar ejerciendo sobre las funciones ecosistémicas mencionadas. Además, una evaluación temprana de las consecuencias ecológicas del cambio climático permitiría actuar de manera proactiva, evitando mayores consecuencias a través de un manejo ambiental adecuadamente informado.

**Ficha 3. Parámetros propuestos para futuros monitoreos de los efectos del cambio climático sobre la funcionalidad de los humedales del Altiplano Andino**

	<b>Parámetros</b>	<b>Tipología</b>	<b>Valor</b>
1	Caudales principales vertientes y afluentes	m <sup>3</sup> /s	Número
2	Intercambio neto anual de CO <sub>2</sub> atmósfera-humedal	Kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	Número
3	Respiración ecosistémica anual	Kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	Número
4	Productividad ecosistémica anual	Kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	Número
5	Temporalidad de floración	semana de la primera floración	Número
6	Temporalidad de nidificación de aves	semana de primera nidada	Número
7	Capacidad de carga de pastoreo	cabezas de ganado / cuenca	Número
8	Composición florística	abundancias relativas	Número
9	Porcentaje clorofila A	%	Número
10	Densidades poblacionales micromamíferos	individuos/km <sup>2</sup>	Número
11	Abundancia aves	Nº individuos	Número
12	Densidades poblacionales microinvertebrados planctónicos	individuos/Litro	Número



<sup>8</sup> URIBE DE & CED/CEH (2012) Humedales del altiplano Andino y su rol en el cambio climático.



### Resultados del IFPCAA y evaluación de su aplicación

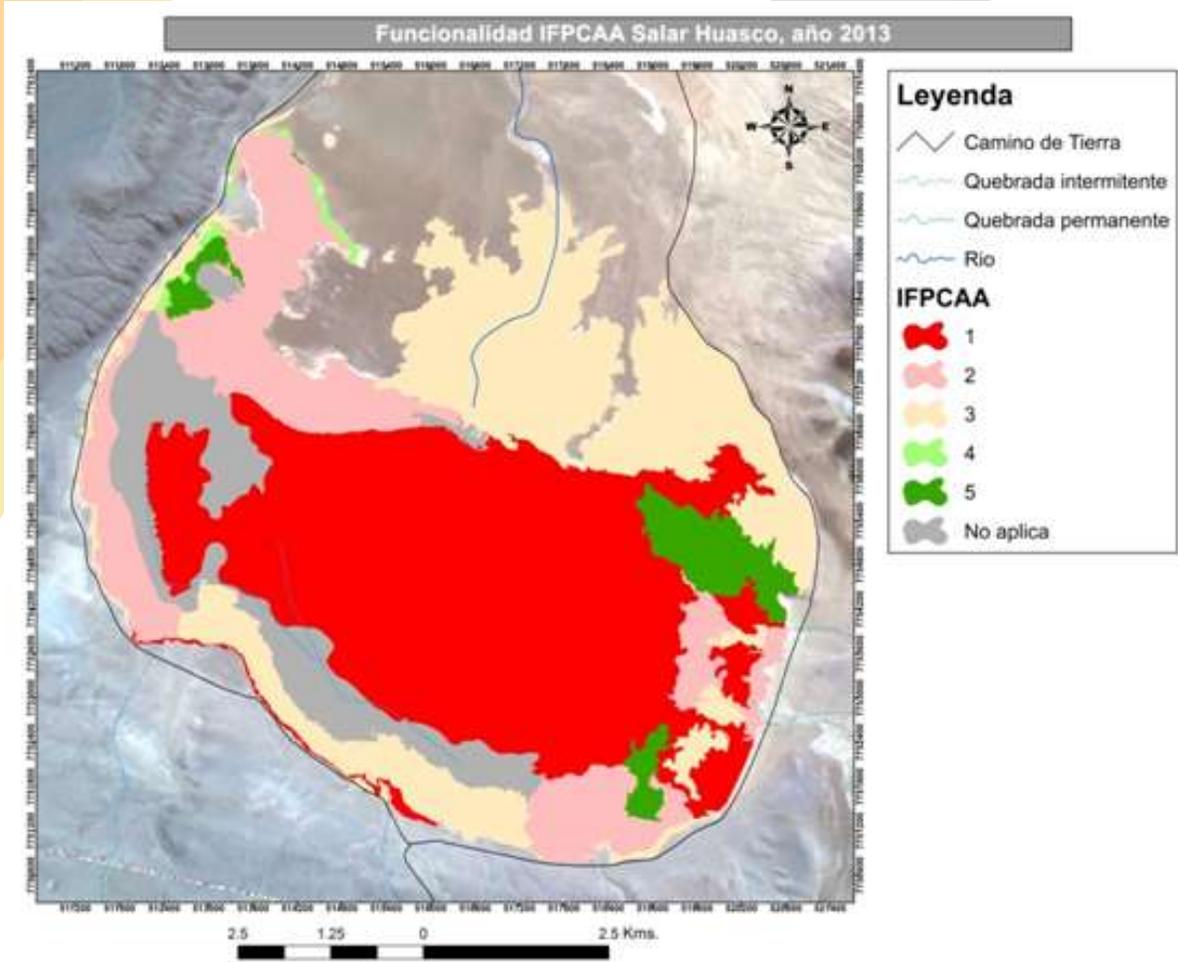
Al comparar el valor de funcionalidad obtenido por la observación del experto y a partir del cálculo del índice de funcionalidad (IFPCAA) hay una muy alta coincidencia. Solo existen diferencias en una unidad homogénea del Salar Huasco, que según el experto posee funcionalidad 2, y al realizar el cálculo resulta en funcionalidad 3. El resultado gráfico de la estimación utilizando el IFPCAA se muestra en las **Figuras 3 y 4**.

**Los valores más altos para la funcionalidad en el Salar Huasco, se**

**encuentran en el borde nor oeste del salar, y en menor grado al sur este (Figura 3);** los valores 5 se asocian a la formación compuesta por Pajonal Salino – Vega Salina – Bofedal (dos casos), Pajonal Salino – Vega Salina (un caso) y Tolar hídrico – Vega Salina – Bofedal (un caso).

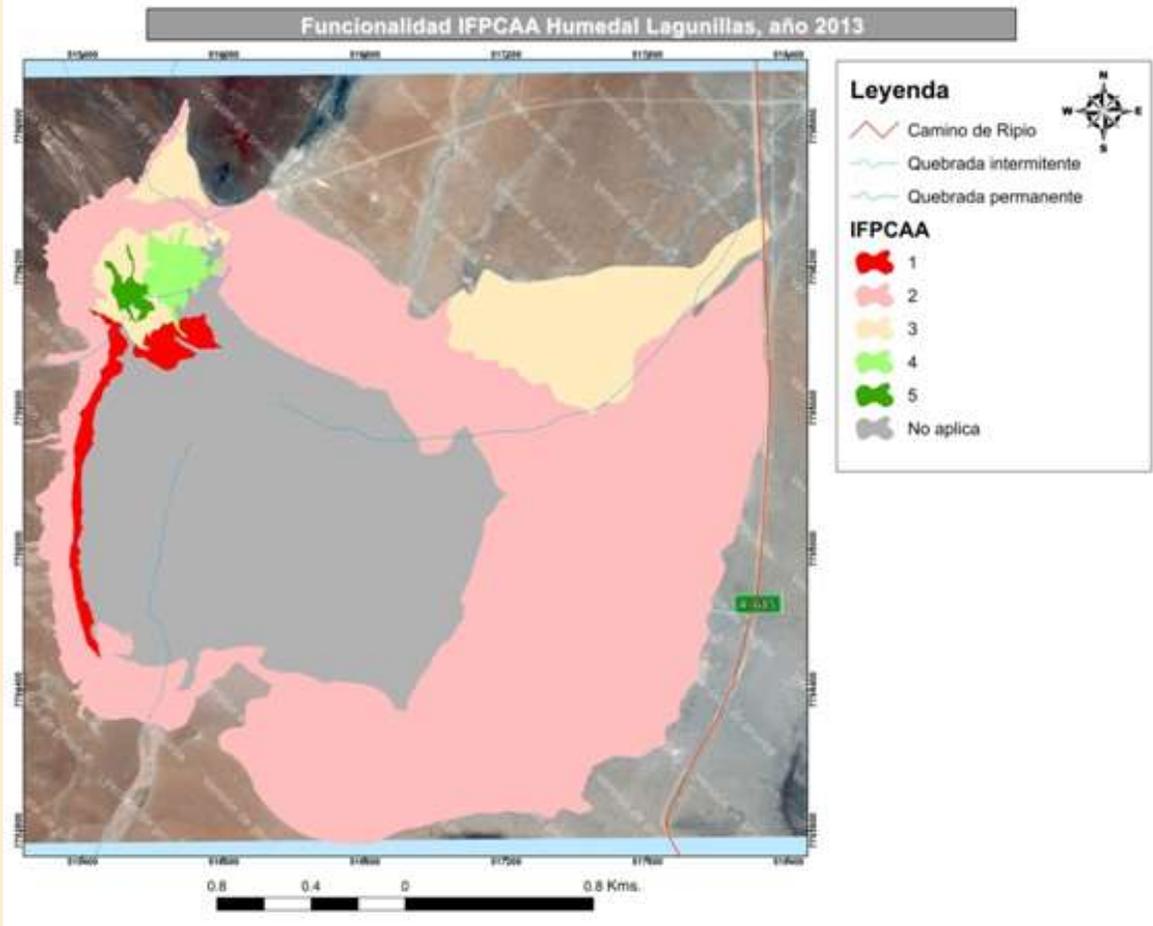
En Lagunillas (**Figura 4**), los valores de funcionalidad más altos, 4 y 5, se ubican al sur, asociados a la formación de Bofedal – Vega Salina (valor 5) y Vega Salina – Bofedal (valor 4).





**Figura 3.** Cartografía de la estimación de funcionalidad aparente para cada unidad homogénea del Salar de Huasco, a partir del IFPCAA. 1: Escasa a nula funcionalidad; 2: pobre funcionalidad; 3: moderada funcionalidad; 4: Buena funcionalidad; 5: Excelente funcionalidad.





**Figura 4.** Cartografía de la estimación de funcionalidad aparente para cada unidad homogénea del Salar de Lagunillas, a partir del IFPCAA. 1: Escasa a nula funcionalidad; 2: pobre funcionalidad; 3: moderada funcionalidad; 4: Buena funcionalidad; 5: Excelente funcionalidad.



#### IV. PRINCIPALES CONCLUSIONES

- a) De los dos humedales analizados el Salar del Huasco cumple con condiciones propicias para el estudio de los efectos de la variabilidad climática sobre la biodiversidad (composición, estructura y función), ya que las presiones humanas, que podrían alterar la respuesta de la biota, son en general bajas, permitiendo mediante un monitoreo estandarizado, periódico y focalizado en los efectos del cambio climático, establecer causalidad en los cambios observados en la biodiversidad. En Lagunillas será más complejo evidenciar los efectos del cambio climático dado que la presión que ejerce este podría confundirse con otros factores que promueven cambios en la biodiversidad de los humedales, relacionados a actividades de origen humano.
- b) No existe disponibilidad de monitoreos estandarizados y periódicos enfocados en los efectos del cambio climático para ninguno de los humedales seleccionados. Dado que la falta de información limita el análisis de la composición biótica, la Ficha 3 podría

constituir una guía para monitoreos enfocados en el estudio de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad.

- c) En adelante sería útil analizar las variaciones derivadas de monitoreos estandarizados y periódicos. Se recomienda distinguir entre ecosistemas con distintos grados de dependencia de fuentes hídricas (vertientes y afloramientos difusos, y aportes estacionales relacionados a precipitaciones).
- d) El IFPCAA (Índice de Funcionalidad Perihumedal para Cuerpos de Agua del Altiplano) presenta un alto valor predictivo, por lo tanto es útil en la estimación de la funcionalidad de unidades homogéneas de humedales asociados a cuerpos de agua del altiplano andino.

Finalmente se recomienda la evaluación de la congruencia entre la opinión experta de la funcionalidad aparente (variable respuesta) y el valor estimado a través del IFPCAA para humedales que no sean los seleccionados.





# info Humedales

*fuentes de vida para las nuevas generaciones*

