



**Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi**



**Anexo 1 “Monitoreo en el Bofedal Artificial Subcuenca de Chiclla”**

**Enero 2018**



CONTROL REVISIÓN DOCUMENTOS CEA				
Versión	Fecha	Elaborado	Revisado	Aprobado
0	08-01-2018	Daniela Baeza Viviana Vasquez Elizabeth Chihuailaf Sebastián Coloma	Natalia Muñoz	Elizabeth Araya
CONTROL REVISIÓN DOCUMENTOS COLLAHUASI				
Versión	Fecha	Revisado	Aprobado	

**CONTENIDO**

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	OBJETIVO.....	4
3	MATERIALES Y MÉTODOS .....	5
3.1	Área de estudio .....	5
3.2	Metodología.....	0
4	RESULTADOS .....	1
4.1	Calidad de Agua .....	1
4.2	Macroinvertebrados Bentónicos .....	5
4.3	Flora de microalgas bentónicas .....	8
4.4	Vegetación terrestre .....	12
5	CONCLUSIONES.....	17
6	REFERENCIAS .....	18
7	ANEXO .....	18
7.1	Fotografías Bofedal Artificial Quebrada Chiclla 2005 .....	18
7.2	Fotografías Bofedal Artificial Quebrada Chiclla 2017 .....	20

## 1 INTRODUCCIÓN

La Quebrada Chiclla se ubica en el sector cordillerano del altiplano en la comuna de Pica, Provincia del Tamarugal, a una altitud promedio de 4.400 metros sobre el nivel del mar y a 185 km al sureste de la ciudad de Iquique en la I Región de Tarapacá. Este sector (18°- 28°S) se caracteriza por presentar un bioclima macro-regional semi-árido, con períodos marcados de lluvias relativamente elevadas durante los meses de verano, hecho conocido como “invierno boliviano”.

La quebrada Chiclla se sitúa al suroeste del yacimiento Rosario de la actividad comercial de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC). Recorre aproximadamente 18,5 km, con una variación de altura desde 4.737 msnm en su parte más alta y 3.577 msnm aguas abajo. En 1995 CMDIC presenta un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) en el cual se establece que las obras del rajo Rosario afectarían los bofedales de la quebrada Capella. Por lo anterior, la compañía se compromete como medida de compensación a la rehabilitación de bofedales en el sector de la quebrada Chiclla a partir de suelo desnudo con champas de especies vegetales provenientes de la quebrada Capella (Tecknoriego, 2017).

Esta medida de mitigación fue ejecutada por la empresa Tecknoriego y el trabajo inicial se realizó en 3 etapas, la primera de ellas fue a través de un programa multidisciplinario de investigación donde se evaluaron las oportunidades de mejorar la productividad de los bofedales existentes y se investigó sobre la metodología para rehabilitar el bofedal de la quebrada Chiclla. El diseño e implementación del proyecto fue contratado a la empresa aymara MISTSU y los estudios científicos al Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2005). La estrategia se centró en brindar riego constante a las champas de bofedal y en asegurar el asentamiento de los cojines. El riego se realizó distribuyendo las numerosas fuentes de agua de la quebrada en terrazas artificiales, mediante técnicas de manejo aymará.

Durante agosto 2017 se realizó el monitoreo estacional de flora y vegetación en el bofedal de Chiclla, en el marco el monitoreo de Quebradas y Bofedales. Adicionalmente, en noviembre del mismo año se lleva a cabo un nuevo estudio de investigación de la flora y vegetación del bofedal artificial, con el fin de evaluar el estado actual de éste con mayor detalle. En el presente informe, los resultados registrados durante 2017 se comparan con lo obtenido el 2005. Cabe destacar que la estacionalidad de monitoreo difiere entre 2005 y 2017, correspondiendo a otoño e invierno/primavera, respectivamente.

Por otra parte, se debe considerar que la metodología utilizada para los componentes de calidad de agua, biota acuática y vegetación terrestre no es comparable entre ambas campañas. En mayo 2005 la toma de muestras de calidad del agua se realizó con un fraccionamiento *in situ* de la carga de nutrientes en suspensión en la columna de agua mediante 5 redes Surber modificadas con mallas de diferentes tamaño de poro colocadas en la entrada y salida de cada red para la recolección de las fracciones entre 50 y 1800  $\mu\text{m}$ , mientras que en la presente campaña calidad de agua se realizó de acuerdo a lo establecido en las Normas Chilenas NCh411.

Los macroinvertebrados bentónicos se midieron en muestras aleatorias obtenidas con un core de 0,0396  $\text{m}^2$ , mientras que durante noviembre 2017 las muestras fueron obtenidas con una red surber de 0,09  $\text{m}^2$ . Las microalgas bentónicas en mayo del 2005 fueron medidas con un core de diámetro de 0,9 cm, mientras que en noviembre del 2017 fueron medidas con un perifitómetro de 289,53  $\text{mm}^2$ . En el caso de la vegetación terrestre, en mayo 2005 se realizaron transectos cada 0,25 m, mientras que en la campaña de noviembre 2017 se estimó por medio del establecimiento de una o más parcelas en cada sector.

## **2 OBEJTIVO**

Realizar un análisis comparativo temporal (2005-2017) de la estructura y funcionamiento del bofedal Chiclla, a modo de evaluar el efecto de la falta de información en informes de reporte de Seguimiento Ambiental presentados a través del sistema de Seguimiento Ambiental y proponer un plan de acción y monitoreo a nivel ecosistémico vegetacional para el bofedal de Chiclla.

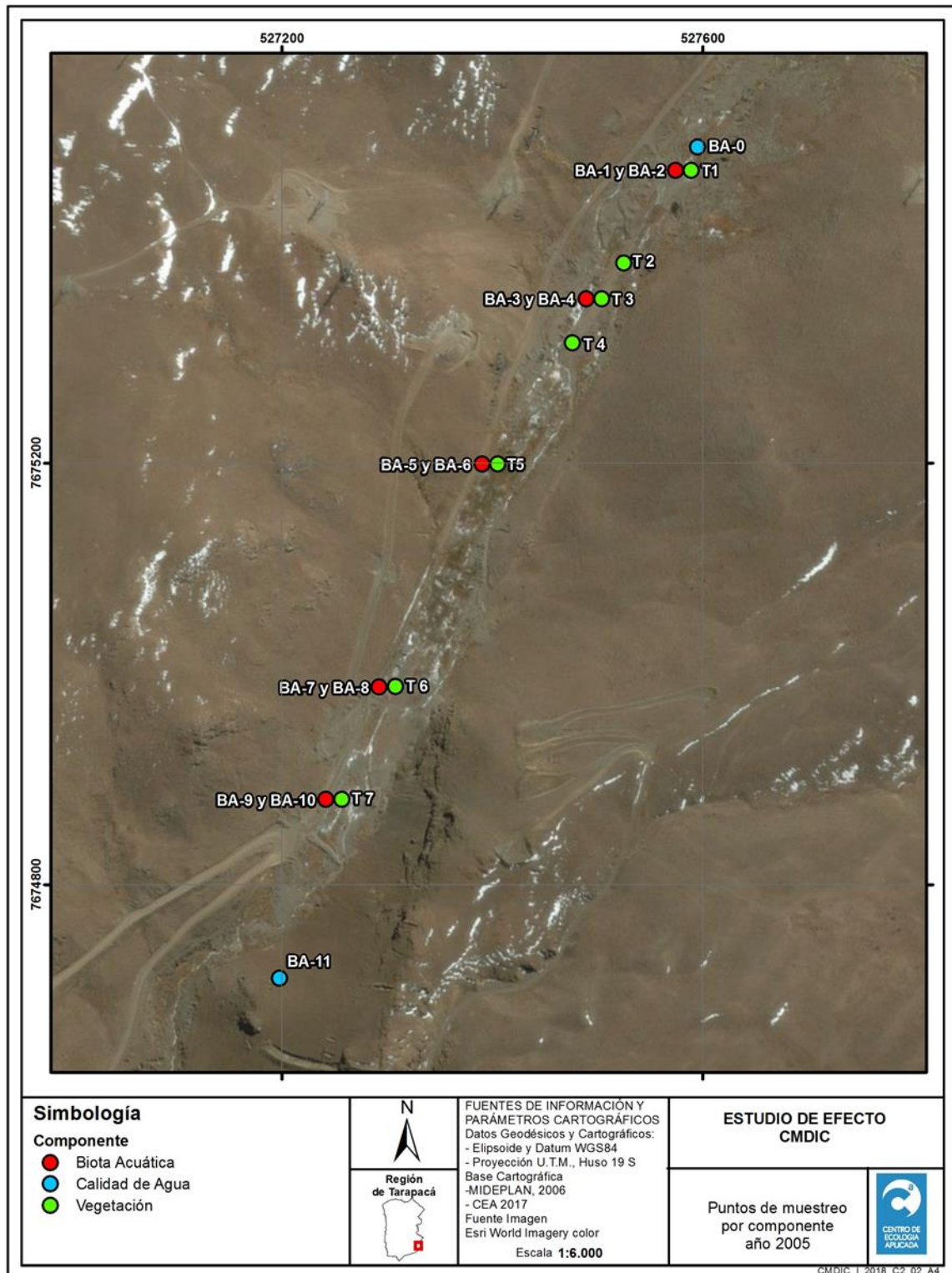
### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudio

La quebrada Chiclla se emplaza en la faena cordillerana de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, ubicado en el altiplano de la región de Tarapacá, en la comuna de Pica, Provincia de El Tamarugal, a 185 km al sureste de la ciudad de Iquique, a una altitud promedio de 4.506 msnm en las coordenadas 527272 E, 7674985 N (Datum WGS 84). Su disposición espacial se presenta en la Tabla 3-1, Figura 3-1 y Figura 3-2.

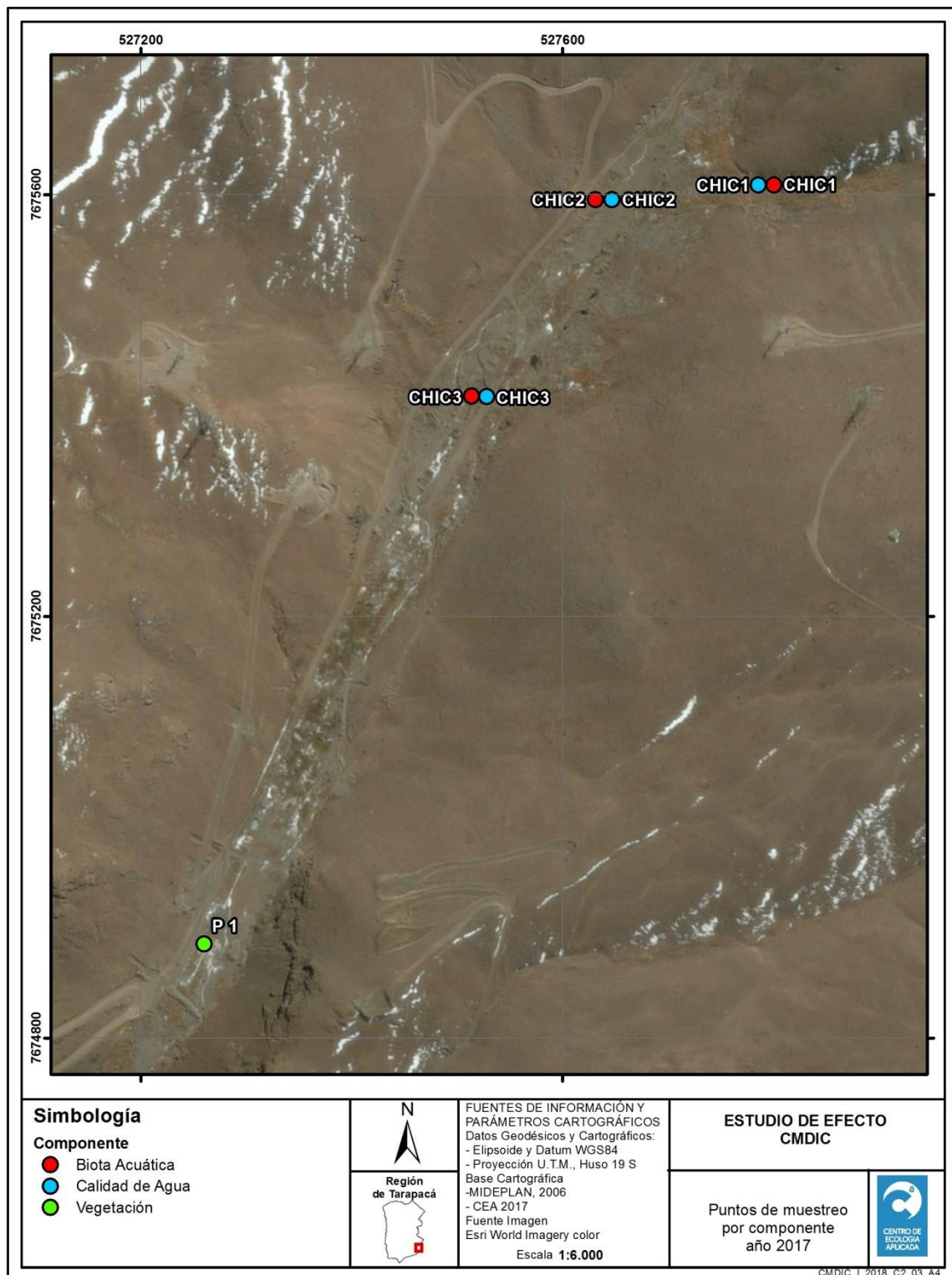
**Tabla 3-1 Puntos de muestreo para cada componente en el Bofedal artificial Chiclla.**

Componente	Campaña	Punto de muestreo	Coordenadas UTM ( Huso 19K)	
			N	E
Vegetación	Mayo 2005	T1	7675478	527589
		T 2	7675390	527525
		T 3	7675356	527504
		T 4	7675314	527476
		T5	7675199	527405
		T 6	7674988	527308
		T 7	7674881	527257
	Agosto 2017	Tch1	527240	7674858
		Tch2	527257	7674886
		Tch3	527270	7674902
		Tch4	527405	7675193
		Tch5	527435	7675247
		Tch6	527463	7675299
		Tch7	527684	7675582
		Tch8	527737	7675634
		Tch9	527746	7675673
		P 1	7674889	527260
Biota Acuática	Mayo 2005	BA-1 y BA-2	7675478	527589
		BA-3 y BA-4	7675356	527504
		BA-5 y BA-6	7675199	527405
		BA-7 y BA-8	7674988	527308
		BA-9 y BA-10	7674881	527257
	Noviembre 2017	CHIC1	7675609	527801
		CHIC2	7675595	527647
		CHIC3	7675409	527514
Calidad de Agua	Mayo 2005	BA-0	7675500	527595
		BA-11	7674711	527198
	Noviembre 2017	CHIC1	7675609	527801
		CHIC2	7675595	527647
		CHIC3	7675409	527514



**Figura 3-1 Puntos de muestreo biota acuática, calidad de agua y vegetación en el año 2005 en el Bofedal Artificial Chiclla.**





**Figura 3-2 Puntos de muestreo biota acuática, calidad de agua y monitoreo de vegetación en el año 2017 en el Bofedal Artificial Chiclla.**



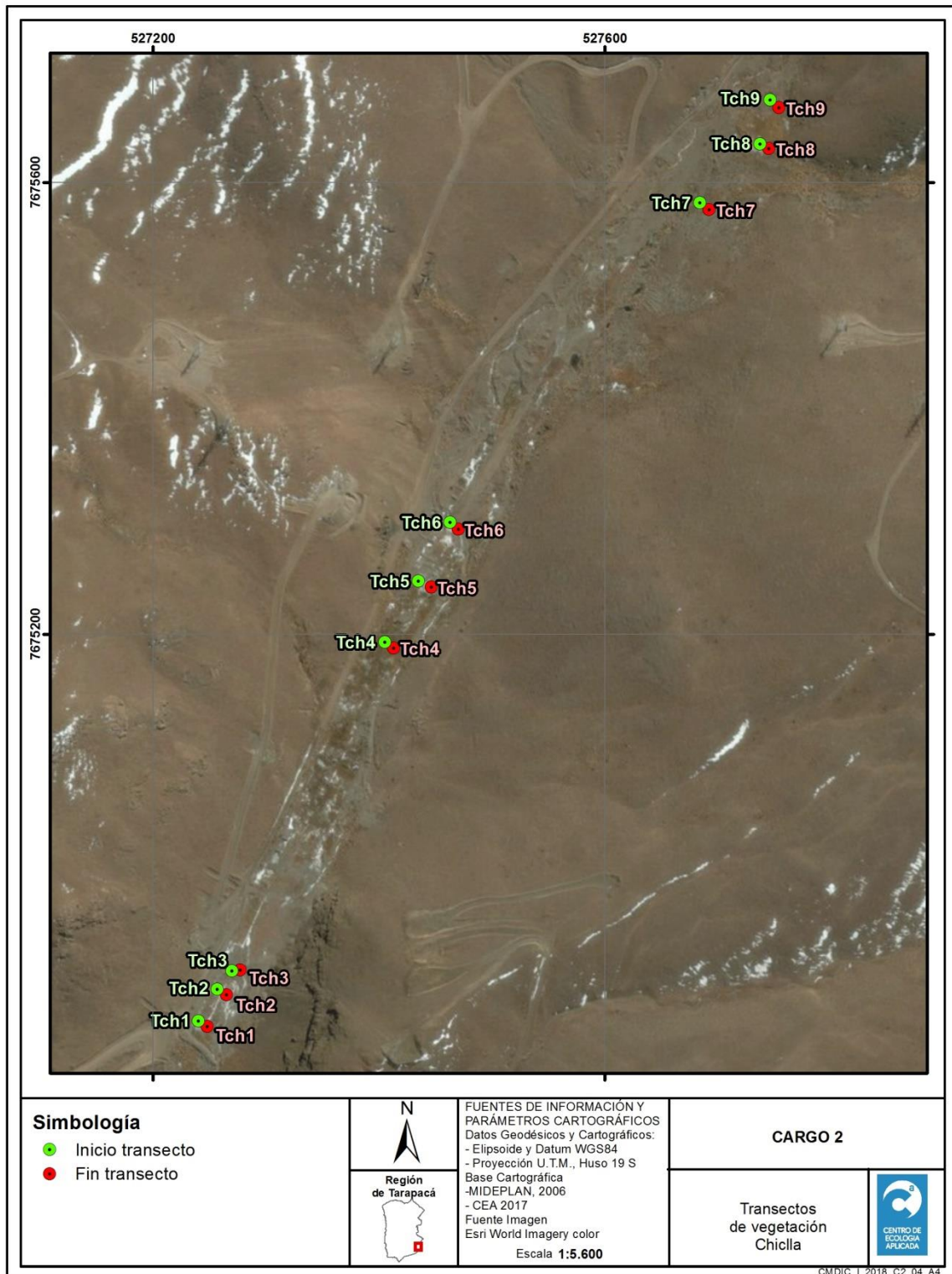


Figura 3-3 Puntos de muestreo de flora y vegetación desde año 2017 en el Bofedal Artificial Chiclla.

### **3.2 Metodología**

#### ***Calidad de agua***

Durante la campaña de mayo del 2005 la toma de muestras se realizó a través de un fraccionamiento *in situ* de la carga de nutrientes en suspensión en la columna de agua mediante 5 redes Surber modificadas con mallas de diferentes tamaño de poro colocadas en la entrada y salida de cada red para la recolección de las fracciones entre 50 y 1800  $\mu\text{m}$ . Se midió el área de filtración y la velocidad del escurrimiento mediante 3 mediciones de tiempo y distancia de desplazamiento de un objeto flotante. Para cuantificar las fracciones de material particulado menores a 50  $\mu\text{m}$  en transporte y la fracción disuelta se tomaron muestras de agua (3l) en envases plásticos de alta densidad, las que fueron transportadas en frío al laboratorio. Las muestras fueron filtradas con filtros de fibra de Sartolon Poliamida (Sartorius) de 0,45 y 0,20  $\mu\text{m}$ . La cuantificación de la concentración de fósforo, nitrógeno y metales siguió la metodología estándar indicada por la APHA, AWWA & WEF (1995). Se determinó una función de retención o exportación de la fracción orgánica particulada y disuelta de fósforo y nitrógeno y de metales a través de un balance negativo (retención) o positivo (exportación) de la concentración afluente y efluente. Los resultados fueron comparados con los resultados obtenidos en las quebradas naturales San Daniel, San Nicolás.

Durante la campaña de noviembre del 2017 la toma de muestras y preservación de los parámetros de calidad de agua, se realizó de acuerdo a las Normas Chilenas NCh411. Las muestras con tiempo de análisis (Holding time) de 24 a 36 horas se trasladaron diariamente a los laboratorios. El análisis de las muestras se realizó en laboratorios acreditados en el sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de normalización, INN, bajo la norma ISO NCh.17025 en el área físico-química para aguas crudas.

#### ***Fauna de macroinvertebrados bentónicos***

En la campaña de mayo del 2005 la estimación de la composición y abundancia de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por grupo de organismos obtenidas con un core de 0,0396  $\text{m}^2$ , las que fueron preservadas con formalina al 10%. Cada muestra fue cernida a través de un juego de tamices con abertura de malla de 0,5  $\mu\text{m}$  y 0,25  $\mu\text{m}$ , respectivamente. La fauna retenida fue identificada hasta el nivel taxonómico más específico posible. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos se realizó en base a los trabajos de Bertrand (1995), Lopretto & Tell (1995) y Merrit & Cummins (1996), Pennak (1991), McCafferty (1998), Fernández & Domínguez (2001). Durante noviembre 2017 se realizó mediante una red surber de 0,09  $\text{m}^2$ .

#### ***Flora de microalgas bentónicas***

La estimación de la composición y abundancia de la flora fitobentónica (epipelica y epilítica) se realizó mediante el estudio de diatomeas. Para cumplir con este objetivo, en mayo del 2005 se obtuvieron extrayendo 2 core de cada estación mediante un saca testigos de Plexiglass (diámetro 0,9 cm), mientras que en noviembre del 2017 se realizó mediante un Perifitómetro de 289,53  $\text{mm}^2$ .

#### ***Vegetación terrestre***

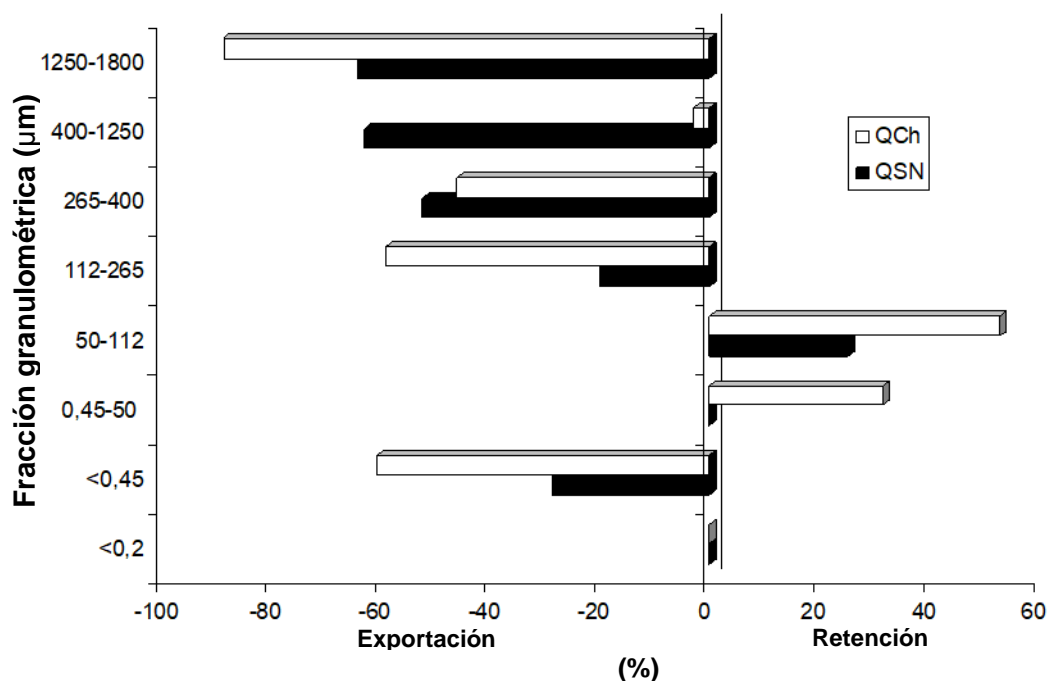
Durante la campaña de mayo del 2005 se realizó el muestreo a través de 7 transectos. Mientras que en agosto del 2017 se realizó a través de una parcela de 100  $\text{m}^2$ , como parte del monitoreo de Quebradas y Bofedales que realiza CEA, en el marco de la RCA N°713/95. Complementariamente, en noviembre 2017 se adicionó un muestreo mediante 9 transectos en el bofedal, los cuales tienen carácter de permanente, distribuidos en tres secciones del bofedal.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Calidad de Agua

#### Nitrógeno orgánico

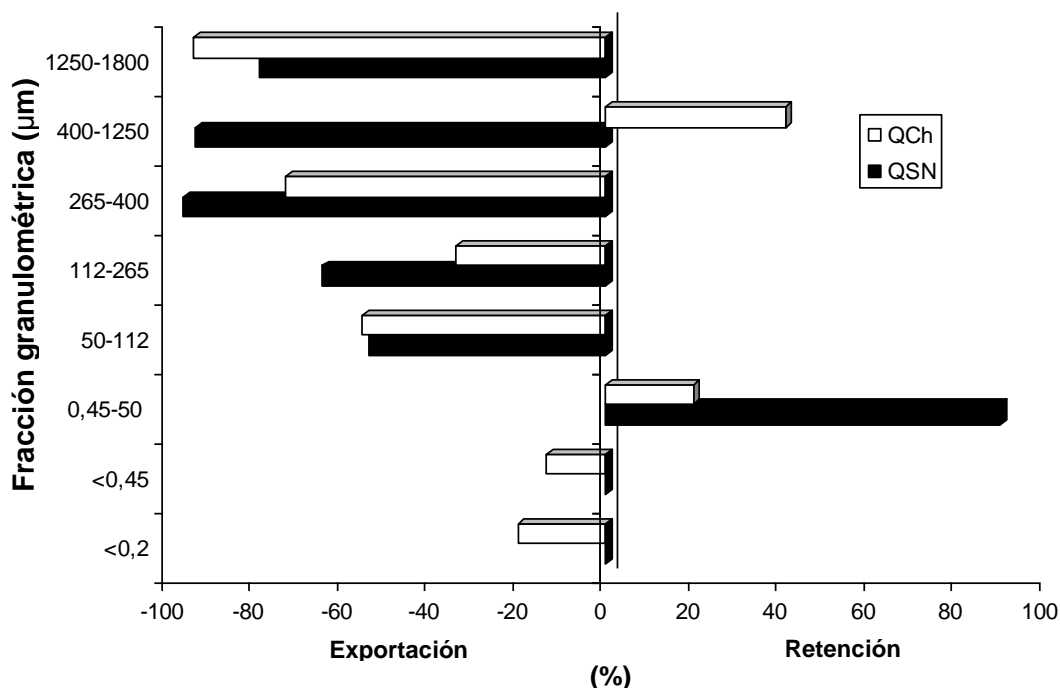
Durante la campaña de mayo del 2005 hubo alta similaridad en el comportamiento de la quebrada natural San Nicolás (QSN) y el bofedal artificial (QCh) sobre la disponibilidad de nitrógeno orgánico particulado y disuelto. Ambos sistemas presentaron una exportación de material nitrogenado orgánico, específicamente de las fracciones particuladas mayores a 112  $\mu\text{m}$ . Entre las fracciones disueltas ambas áreas exportaron la fracción de nitrógeno menor a 0,45  $\mu\text{m}$  y mayor a 0,2  $\mu\text{m}$  (Figura 4-1). Sin embargo, cabe señalar que las diferencias funcionales surgieron en la fracción entre 400 y 1200  $\mu\text{m}$ , debido a la quebrada natural San Nicolás exportó significativamente más nitrógeno particulado que el bofedal artificial (Figura 4-1). Por otra parte, el bofedal artificial presentó retención de la fracción 0,45-50  $\mu\text{m}$ , la cual estuvo ausente en la quebrada San Nicolás.



**Figura 4-1** Diagrama comparativo de la función de la quebrada San Nicolás (QSN) y el bofedal artificial (QCh) sobre el balance de nitrógeno orgánico particulado y disuelto.

## Fósforo orgánico

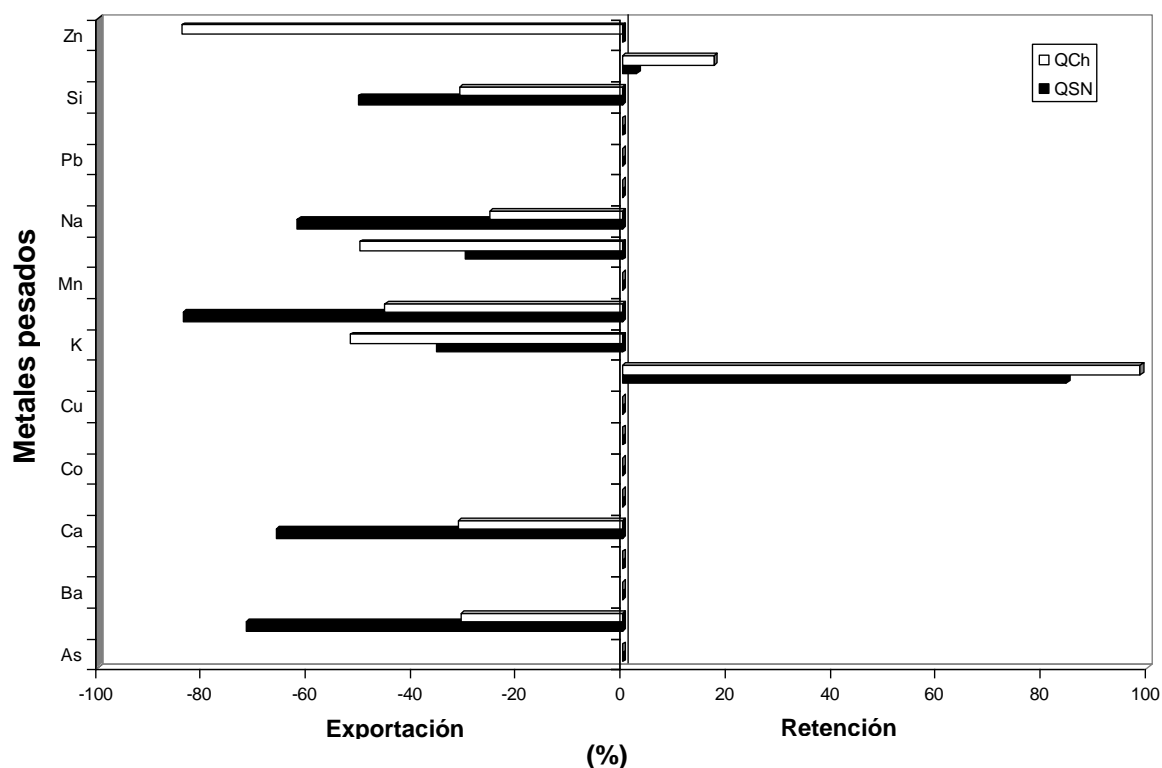
Durante la campaña de mayo del 2005 hubo alta similitud en el comportamiento de la quebrada natural San Nicolás (QSN) y el bofedal artificial (QCh) sobre la disponibilidad de fósforo orgánico particulado y disuelto. Ambos sistemas presentaron un rol predominante de exportación de material fosforado orgánico, específicamente de las fracciones particuladas mayores a 50  $\mu\text{m}$  (Figura 4-2). Por el contrario, hubo un comportamiento altamente diferencial entre los sistemas sobre la fracción disuelta de fósforo orgánico. Al igual que el patrón detectado sobre la disponibilidad de nitrógeno orgánico, el bofedal artificial presentó un rol exportador de nitrógeno disuelto a diferencia de la quebrada natural San Nicolás, en la que estuvo ausente la fracción disuelta (Figura 4-2). Una diferencia significativa entre ambos sistema surge debido a la mayor tasa de retención de la fracción particulada de fósforo entre 0,45 y 50  $\mu\text{m}$  de la quebrada San Nicolás.



**Figura 4-2** Diagrama comparativo de la función de la quebrada San Nicolás (QSN) y el bofedal artificial (QCh) sobre el balance de fósforo orgánico particulado y disuelto.

## Metales disueltos

Durante la campaña de mayo del 2005 hubo alta similaridad en el comportamiento de la quebrada natural San Nicolás (QSN) y el bofedal artificial (QCh) sobre la disponibilidad de metales disueltos (Figura 4-3). Ambos sistemas presentaron un rol predominante de exportación de la mayoría de los metales analizados.



**Figura 4-3 Diagrama comparativo de la función de la quebrada San Nicolás (QSN) y el bofedal artificial (QCh) sobre el balance de la concentración de metales pesados.**

Durante la campaña de primavera 2017, las aguas de la quebrada Chiclla presentaron aguas neutras según su pH (Hounslow, 1995), bien oxigenadas, y dulces de acuerdo a las concentraciones de sólidos totales disueltos (Davis *et al.*, 2003), con bajas concentraciones de sales disueltas en agua, lo cual se evidencia en las bajas conductividades registradas, y bajas concentraciones de aniones (carbonato, bicarbonato, cloruro y sulfato) y cationes (sodio, calcio, magnesio y potasio) analizados (Tabla 4-1).

Las concentraciones de alcalinidad total fueron aptas para vida acuática en todos los puntos de muestreo, al igual que las concentraciones de oxígeno disuelto y los valores de pH (NCh1333 Of.78). Además, las aguas presentaron características apropiadas para el uso de riego (NCh1333 Of.78) de acuerdo a los valores de conductividad eléctrica, pH, concentraciones de sólidos totales disueltos, cloruro y sulfato.

**Tabla 4-1 Resultados calidad de agua Quebrada Chiclla, campaña de primavera 2017.**

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo		
		CHI-1	CHI-2	CHI-3
Alcalinidad fenoltaleína	mgCaCO <sub>3</sub> /L	<3	<3	<3
Alcalinidad total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	30,6	29,1	33,7
Amonio	ug/L	30	34	19
Bicarbonato	mg/L	37,3	35,5	41,1
Calcio disuelto	mg/L	10,0	10,6	11,4
Carbonato	mg/L	<5	<5	<5

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo		
		CHI-1	CHI-2	CHI-3
Cloruro	mg/L	3,4	3,3	3,4
Conductividad eléctrica	mS/cm	0,101	0,108	0,118
Fósforo total	ug/L	59	31	111
Magnesio disuelto	mg/L	2,15	2,28	2,48
Nitrógeno de nitrato	ug/L	72	<46	<46
Nitrógeno de nitrito	ug/L	0,883	0,914	0,446
Nitrógeno Total Kjeldhal	mg/L	0,86	0,76	0,69
Ortofosfato	ug/L	22	19	27
Oxígeno disuelto	mg/L	7,50	6,84	7,13
pH	Unidad	7,41	7,45	7,45
Potasio disuelto	mg/L	1,16	1,37	1,45
Salinidad	g/L	0,0	0,0	0,0
Sodio disuelto	mg/L	3,15	3,77	3,77
Sólidos disueltos totales	mg/L	50	58	55
Sólidos totales suspendidos	mg/L	3,36	5,56	28,05
Sulfato	mg/L	17,032	20,871	23,334
Sulfuro	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1
Temperatura	°C	9,5	12,5	14,1



## 4.2 Macroinvertebrados Bentónicos

**a) Diversidad general del área:** Durante la campaña de mayo del 2005 fueron reconocidos en el área de estudio un total de 7 grupos taxonómicos, conformados por los grupos Platyhelminthes (1 taxón : 14,2%), Annelida (2 taxa: 28,5%), Crustacea (1 taxón: 14,2%), Acari (1 taxón: 14,2%) y Diptera (2 taxa: 28,5%). Mientras que en noviembre del 2017 fueron reconocidos en el área de estudio un total de 14 grupos taxonómicos, conformados por los grupos Platyhelminthes (1 taxón) Ephemeroptera (2 taxa), Plecoptera (1 taxón), Trichoptera (1 taxón), Crustacea (2 taxa), Nematoda (1 taxón), Haplotaxida (1 taxón), Ostracoda (1 taxón), Acari (1 taxón) y Diptera (3 taxa).

**b) Riqueza taxonómica:** Dentro de la quebrada Chiclla en mayo del 2005 fue registrada una riqueza taxonómica promedio de 4 taxa, donde los valores extremos se encontraron en los transectos T3 y T5 en las sitios BA-4 con 0 taxa, y la estación BA-5 con 6 taxa. Mientras que en la campaña de noviembre del 2017 fue registrada una riqueza taxonómica promedio de 9 taxa, donde los valores extremos se encontraron en los puntos CHIC-1 con 8 taxa y CHIC-2 y CHI-3 con 10 taxa cada uno (Tabla 4-2 y Figura 4-4).

**c) Abundancia total:** durante la campaña de mayo 2005 la abundancia total promedio en el sector evaluado del bofedal artificial fue de 16.162 ind/m<sup>2</sup>, con los valores máximos y mínimos registrados en los transectos T1 y T3 en las sitios BA-4 con 0 ind/m<sup>2</sup> y la estación BA-1 con 50.758 ind/m<sup>2</sup>. Por otro lado, en noviembre del 2017 la abundancia total promedio en el sector evaluado del bofedal artificial fue de 975,9 ind/m<sup>2</sup>, con los valores máximos y mínimos registrados en los puntos CHIC-3 con 711,11 ind/m<sup>2</sup> y el punto CHIC-2 con 1.455 ind/m<sup>2</sup> (Tabla 4-2 y Figura 4-5).

**d) Abundancias relativas:** Los grupos más importantes en el bofedal artificial durante mayo del 2005 según el número de individuos fueron los anélidos con un 65% de representatividad, dípteros con un 30%, mientras los otros grupos presentaron menos de un 3%. Los taxa *Tubifex* sp. y Chironomidae fueron los que aportaron con el mayor número de individuos, contribuyendo el 94% del total colectado. Mientras que los grupos más importantes en el bofedal artificial en el periodo 2017 según el número de individuos fueron los dípteros, crustáceos y platelmintos. Los taxa Chironomidae y *Limnoperla jaffueli* fueron los que aportaron con el mayor número de individuos.

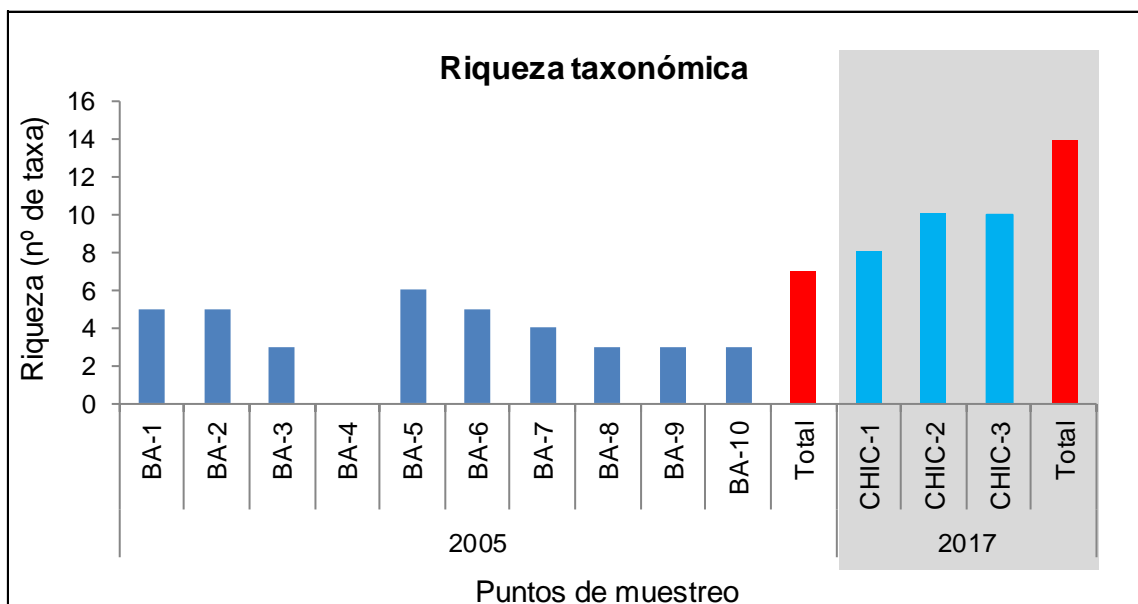


Figura 4-4 Riqueza taxonómica de macroinvertebrados bentónicos en mayo 2005-noviembre del 2017.

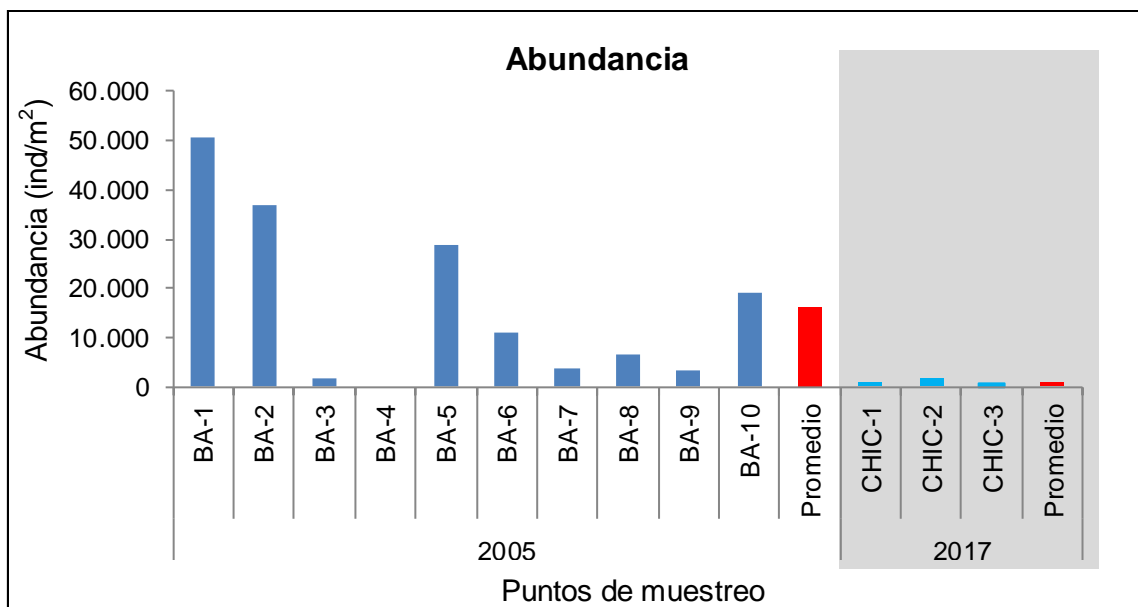


Figura 4-5 Abundancia (ind/m²) de macroinvertebrados bentónicos en mayo 2005 -noviembre del 2017.

Tabla 4-2 Riqueza y abundancia de macroinvertebrados bentónicos (ind/m<sup>2</sup>) en el bofedal artificial. Mayo de 2005 y noviembre 2017.

Año		2005										2017		
Orden	Taxa	Puntos de muestreo										CHIC-1	CHIC-2	CHIC-3
		BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7	BA-8	BA-9	BA-10			
ACARI	Acari indet.	253	-	-	-	505	253	505	-	-	-	11,11	11,11	11,11
ANNELIDA	Hirudinea	758	-	253	-	-	-	-	-	-	-			
ANNELIDA	<i>Tubifex</i> sp.	48737	16162	758	-	26263	5303	-	253	253	6566			
CRUSTACEA	<i>Hyalella</i> sp.	253	505	-	-	253	1010	253	253	1768	505	5,56	11,11	222,22
CRUSTACEA	Canthocamptidae indet.											5,56		
DIPTERA	Chironomidae	758	19192	505	-	758	4293	2525	6061	1263	12121	505,56	966,67	50,00
DIPTERA	Empididae	-	253	-	-	505	253	253	-	-	-	5,56		
DIPTERA	Tabanidae indet.													5,56
EPHEMEROPTERA	<i>Andesiops</i> sp.												100,00	
EPHEMEROPTERA	<i>Meridialaris</i> sp.												16,67	11,11
HAPLOTAXIDA	<i>Nais</i> sp.											5,56	116,67	83,33
NEMATODA	Nematoda indet.											5,56	5,56	
OSTRACODA	Ostracoda indet.													5,56
PLATYHELMINTHES	<i>Dugesia</i> sp.	-	758	-	-	505	-	-	-	-	-		5,56	188,89
PLECOPTERA	<i>Limnoperla jaffueli</i>											216,67	194,44	88,89
TRICHOPTERA	<i>Metrichia</i> sp.												27,78	44,44
Riqueza taxonómica		5	5	3	0	6	5	4	3	3	3	8	10	10
Abundancia total (ind/m²)		50.758	36.869	1.515	0	28.788	11.111	3.535	6.566	3.283	19.192	761,1	1.455,6	711,1

### 4.3 Flora de microalgas bentónicas

**a) Riqueza taxonómica:** La riqueza taxonómica total registrada en el bofedal artificial fue 25 taxa identificadas en la campaña de mayo del 2005 y un grupo determinado como otras diatomeas. Por su parte, en la campaña de noviembre del 2017 se identificaron 20 taxa (Tabla 4-3, Figura 4-6). Los taxa más frecuentes en la campaña de mayo del 2005 entre los sitios de muestreo fueron *Fragilaria brevistriata* y *Nitzschia* spp., encontradas en 8 de los 10 sitios. Mientras que en la campaña de noviembre del 2017, al igual que la campaña del 2005 los taxa más frecuentes fueron del genero *Fragilaria* sp.

**b) Abundancia total:** La abundancia total promedio registrada en el bofedal artificial en 10 puntos de muestreo en mayo del 2005 fue 37.614 cel/mm<sup>2</sup>, mientras que en la campaña de noviembre 2017 con 3 puntos de muestreo el promedio fue de 1.876 cel/mm<sup>2</sup> (Tabla 4-3). Durante la campaña de mayo del 2005 los taxa más abundantes fueron *Fragilaria capuchina* y secundariamente la especie *Fragilaria brevistriata*. Por el contrario, los taxa menos abundantes fueron *Navicula paramutica* y *Navicula cincta*. Por su parte, en la campaña de noviembre del 2017 las especies más abundantes fueron *Fragilaria* sp. y *Fragilaria capucina* v *vaucheriae*. Por el contrario, los taxa menos abundantes fueron *Nitzschia fonticola* y *Nitzschia linearis*.

**c) Diversidad biológica:** Durante la campaña de mayo del 2005 el valor promedio de diversidad biológica en el área de estudio fue 2,34 bits, el cual varió entre 0,65 bits y 3,22 bits, mientras que en la campaña del 2017 la diversidad biológica registró un promedio de 2,7 variando de un mínimo de 2,5 a un máximo de 3,0 bits. (Tabla 4-3).

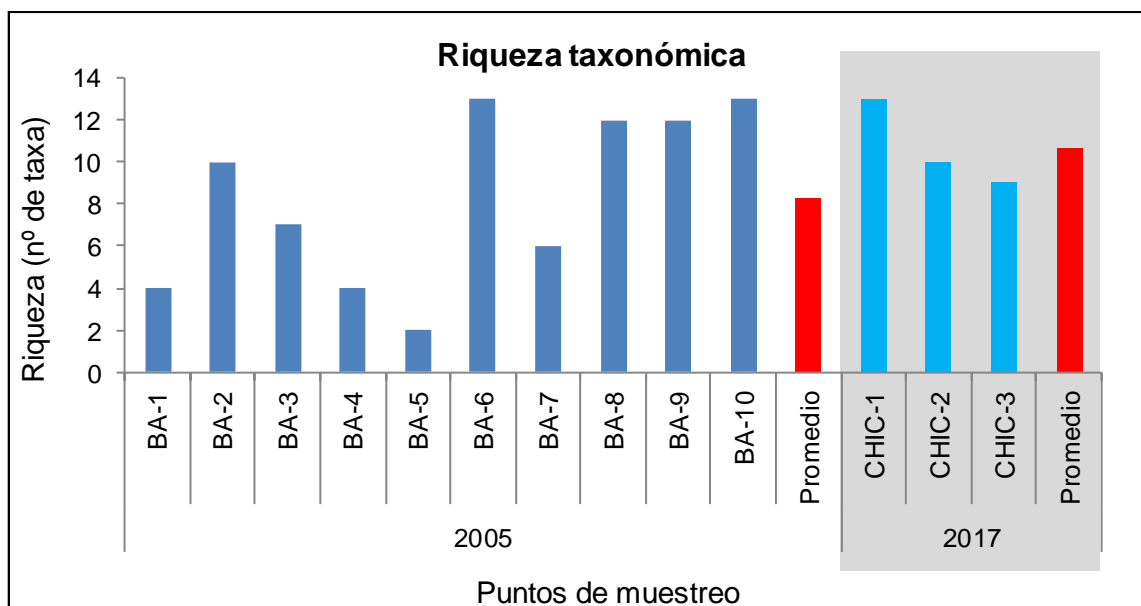


Figura 4-6. Riqueza taxonómica de microalgas bentónicas Mayo 2005 – noviembre 2017.

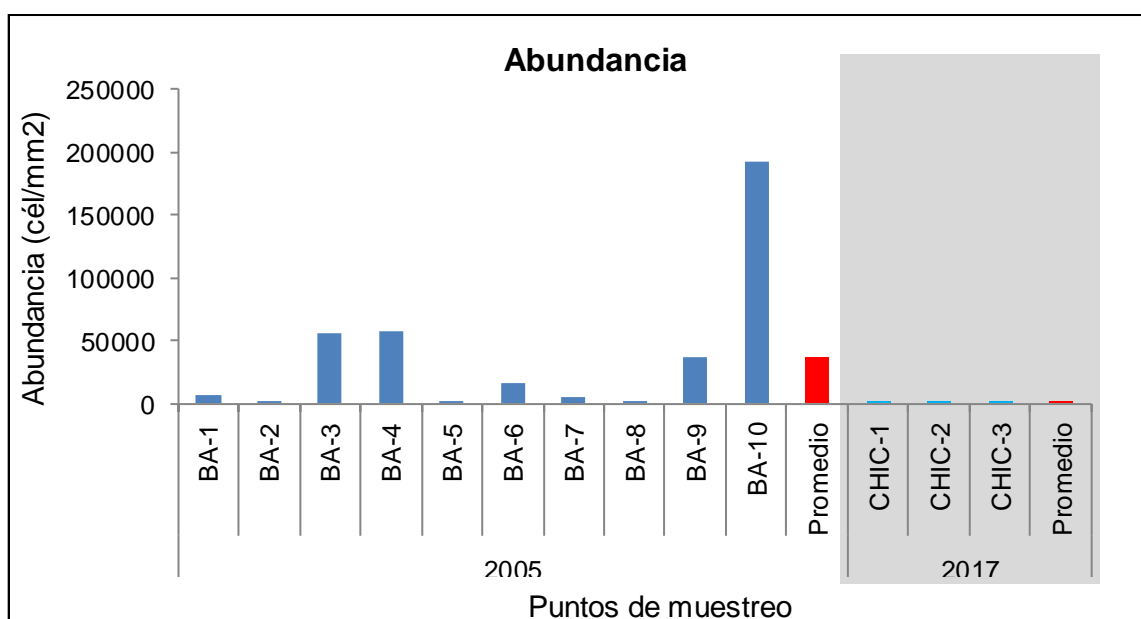


Figura 4-7 Abundancia total y promedio de microalgas bentónicas en mayo 2005 – noviembre 2017.

Tabla 4-3 Riqueza y Abundancia de microalgas bentónicas (cel/mm<sup>2</sup>) en el bofedal artificial. Mayo de 2005 y noviembre 2017.

Taxa	Mayo 2005										Noviembre 2017		
	Puntos de muestreo												
	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7	BA-8	BA-9	BA-10	CHIC-1	CHIC-2	CHIC-3
<i>Achnanthes hungarica</i>									1459,6				
<i>Achnanthes minutissima v microcephala</i>							656,8	36,5					
<i>Achnanthes submarina</i>						729,8	437,9	73,0					
<i>Achnanthidium minutissimum</i>		73,0				364,9					384,9		
<i>Achnanthidium</i> sp.											48,2	96,2	
<i>Adlafia minúscula</i>												48,2	48,2
<i>Amphora acutiuscula</i>										8757,8			
<i>Amphora lenieolata v calamae</i>				11677,0									
<i>Caloneis</i> sp						364,9		73,0					
<i>Cavinula</i> sp.												48,2	
<i>Encyconema minutum</i>		146,0	8757,8			729,8		73,0		17515,5			
<i>Fragilaria brevistriata</i>	5692,5	36,5	8757,8			3649,1	2189,4	36,5	518,7	8757,8			
<i>Fragilaria capucina</i>													144,3
<i>Fragilaria capucina v gracilis</i>	218,9	36,5			6,8				1459,6				
<i>Fragilaria capucina v vaucheriae</i>		51,9				5838,5		36,5	11677,0	52546,6	96,2	769,7	529,2
<i>Fragilaria pinnata</i>	218,9			23354,0	12,2		437,9						
<i>Fragilaria</i> sp.											128,3	769,7	577,3
<i>Gomphonema</i> sp.											32,7		
<i>Navicula cincta</i>	218,9												
<i>Navicula cryptotenella</i>										17515,5			
<i>Navicula paramutica</i>								73,0					
<i>Navicula salinicola</i>										13136,7			
<i>Navicula</i> spp						364,9				4378,9			
<i>Nitzschia fonticola</i>											16,4		



Taxa	Mayo 2005										Noviembre 2017		
	Puntos de muestreo												
	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7	BA-8	BA-9	BA-10	CHIC-1	CHIC-2	CHIC-3
<i>Nitzschia linearis</i>			4378,9			364,9			2919,3	13136,7	16,4		
<i>Nitzschia palea</i>								218,9	729,8				
<i>Nitzschia</i> spp		255,4	4378,9	11677,0		364,9		255,4	518,7	4378,9	28,5	384,9	
<i>Pinnularia microstauron</i>						194,7	437,9		2189,4				
<i>Planothidium biporum</i>												48,2	
<i>Planothidium delicatulum</i>		146,0				729,8		73,0	1459,6		16,4	144,3	48,2
<i>Planothidium lanceolatum</i>		36,5		11677,0		729,8			729,8	4378,9		48,2	
<i>Planothidium frequentissimum</i>											48,2		48,2
<i>Planothidium</i> sp.													48,2
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>													96,2
<i>Pseudostaurosira</i> sp.											96,2	96,2	
<i>Staurosirella pinnata</i>											16,4		
<i>Surirella angusta</i>			4378,9			1824,5		19,5	2189,4	8757,8			
<i>Surirella sella</i>										4378,9			
<i>Synedra ulna</i>		182,5	8757,8										
<i>Ulnaria ulna</i>											48,2		481,8
Otras diatomeas		19,5	17515,5				437,9	182,5	2189,4	3531,1			
<b>Riqueza</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>9</b>
<b>Abundancia</b>	<b>6349,2</b>	<b>1532,8</b>	<b>56925,6</b>	<b>58385,0</b>	<b>73,0</b>	<b>17150,5</b>	<b>4597,8</b>	<b>1240,8</b>	<b>37220,3</b>	<b>192671,1</b>	<b>1154,6</b>	<b>2453,5</b>	<b>2020,5</b>
<b>Shannon-Winner</b>	<b>0,6</b>	<b>2,8</b>	<b>2,6</b>	<b>1,9</b>	<b>0,7</b>	<b>3,0</b>	<b>2,2</b>	<b>3,3</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>	<b>3,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>
<b>Jaccard</b>	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>

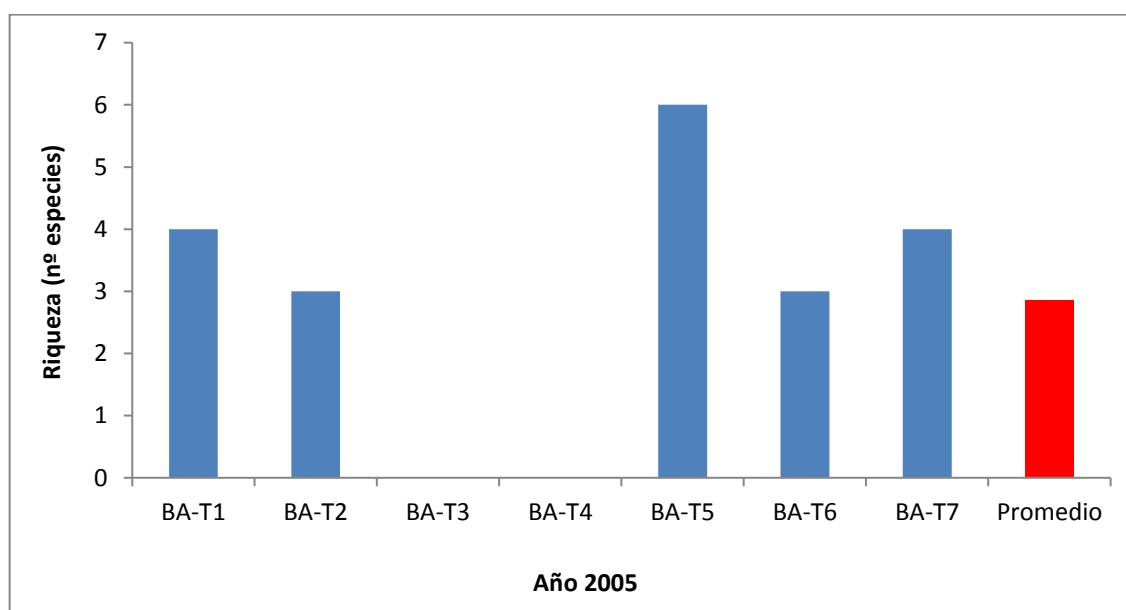
#### 4.4 Vegetación terrestre

Durante la campaña de mayo del 2005 en el bofedal artificial Chiclla se realizaron 7 transectos observándose la riqueza total de 8 especies de plantas vasculares. La riqueza de especies registrada en los transectos fluctúa entre cero y cuatro especies. Los taxones con mayores representación en el sector son *Festuca hypsophylla* (Poaceae) y *Oxychloe andina* (Juncaceae), con presencia en 5 transectos. (Tabla 4-4 y Figura 4-8).

**Tabla 4-4 Riqueza y cobertura de vegetación en Mayo de 2005**

Año 2005								
Especie	BA-T1	BA-T2	BA-T3	BA-T4	BA-T5	BA-T6	BA-T7	Promedio
<i>Festuca hypsophylla</i>	1,5	1,9			1,4	1,8	4,4	2,20
<i>Lilaeopsis macloviana</i>					5,5			5,50
<i>Lobelia oligophylla</i>					3,2			3,20
<i>Oxychloe andina</i>	17,9	9,4			46,3	11,9	23,5	21,80
<i>Poa sp.</i>	1,5				1,8		2	1,77
<i>Scirpus atacamensis</i>	1,5							1,50
<i>Stipa sp.</i>		1,9			1,4	1,8	4,4	2,38
<b>Cobertura (%)</b>	<b>22,4</b>	<b>13,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>59,6</b>	<b>15,5</b>	<b>34,3</b>	<b>20,71</b>
<b>Riqueza</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2,86</b>

Mientras que cobertura de la vegetación fluctuó entre el 0% (T3 y T4) y 59,64% (T5). Los transectos con mayor cobertura de vegetación se ubicaron en la parte media baja la sección quebrada (T5 y T7). Los transectos T2 y T6 presentaron valores intermedios de cobertura con valores de 13,21% y 15,39% respectivamente (Tabla 4-4 y Figura 4-9). En la Ilustración 1 se observa la sobrevivencia del bofedal artificial (ver Anexo).



**Figura 4-8 Riqueza taxonómica en el Bofedal artificial Chiclla mayo 2005.**

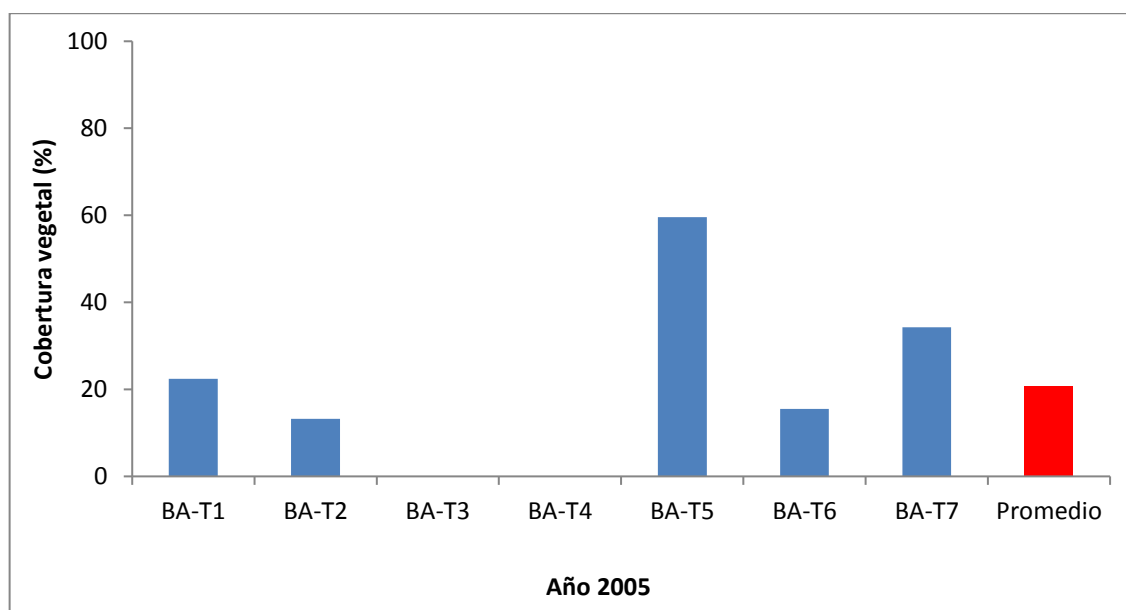


Figura 4-9 Cobertura vegetal en el Bofedal artificial Chiclla en mayo 2005.

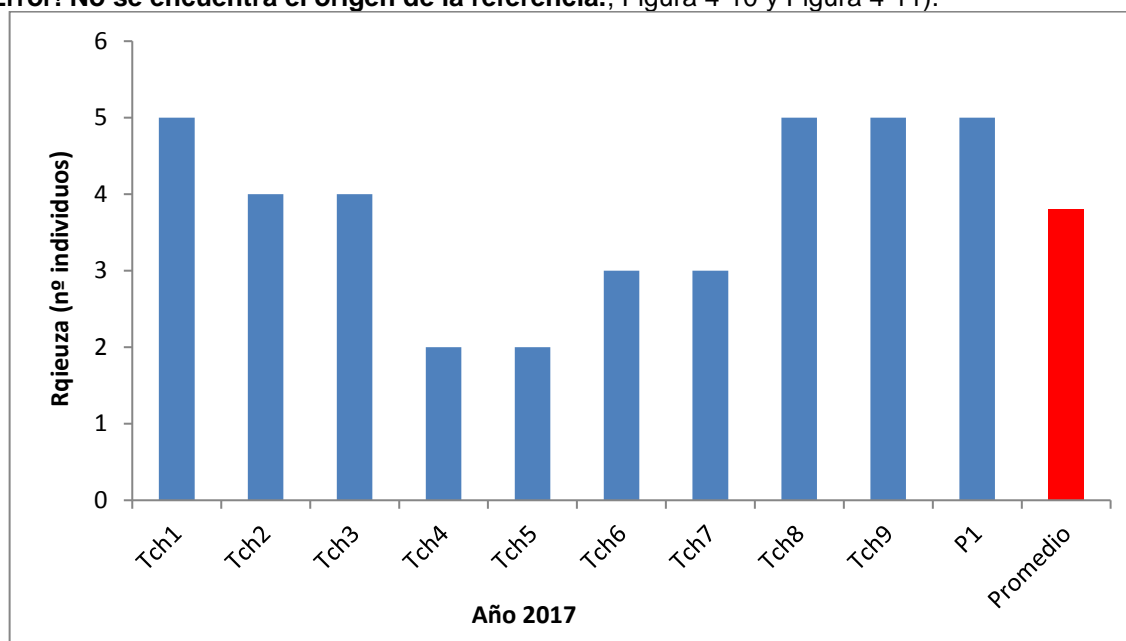
Durante agosto 2017, a través de una parcela de 100 m<sup>2</sup>, se realizó el monitoreo semestral en el sector del bofedal artificial de acuerdo a lo establecido en RCA N° 713/95, identificándose 4 especies con una cobertura vegetal del 60%, destacándose las especies *Oxychloe andina* y *Deyeuxia curvula*, con 25% y 20% de cobertura, respectivamente (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., Figura 4-10 y Figura 4-11).

Tabla 4-5 Riqueza y cobertura de vegetación en agosto (P1) y noviembre 2017

Año 2017											
Especie	Tch1	Tch2	Tch3	Tch4	Tch5	Tch6	Tch7	Tch8	Tch9	P1	Promedio
<i>Oxychloe andina</i>	24,4	19,5	24,4	19,5	24,4	12,2		26,7	12,2	25,0	18,83
<i>Festuca hypsophylla</i>		39,0	24,4			22,0	47,6	31,1	48,8		23,65
<i>Festuca deserticola</i>	p									10,0	10,00
<i>Lobelia oligophylla</i>			2,4					11,1			6,78
<i>Deyeuxia chrysantha</i>	19,5	4,9	2,4	22,0	17,1					P	13,17
<i>Zameioscirus atacamensis</i>		9,8					16,7	8,9		5,0	10,08
<i>Parastrephia lucida</i>						2,4	7,1				4,79
<i>Deyeuxia curvula</i>									17,1	20,0	18,54
<i>Werneria pygmaea</i>								8,9			8,89
<i>Phylloscirus acaulis</i>									2,4		2,44
<i>Bryum sp.</i>									7,3		7,32
<i>Ruppia filifolia</i>	p										0,00
<i>Senecio nutans</i>	p										0,00
<b>Cobertura (%)</b>	<b>43,9</b>	<b>73,2</b>	<b>53,7</b>	<b>41,5</b>	<b>41,5</b>	<b>36,6</b>	<b>71,4</b>	<b>86,7</b>	<b>87,8</b>	<b>60,0</b>	<b>59,61</b>
<b>Riqueza</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3,80</b>

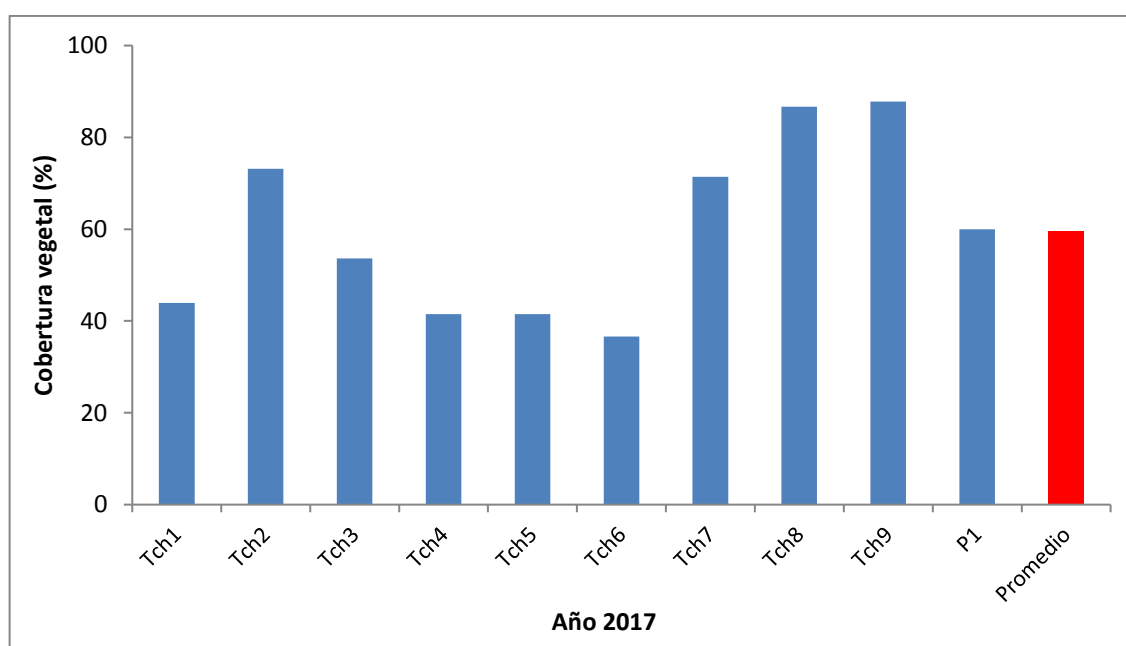
En noviembre de 2017, se realizó un monitoreo mediante 9 transectos observándose la riqueza de 12 plantas vasculares más una briofita, totalizando 13 especies. La riqueza de especies encontrada en los transectos fluctúa entre dos y seis especies. Los taxones más representados en el sector, considerando el conjunto de transectos son *Oxychloe andina* (Juncaceae), *Festuca hypsophylla*

(Poaceae) y *Deyeuxia chrysantha* (Poaceae), con presencia en 8, 6 y 5 transectos, respectivamente (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., Figura 4-10 y Figura 4-11).



**Figura 4-10 Riqueza taxonómica en el Bofedal artificial Chiclla en 2017.**

Por su parte, la cobertura de la vegetación fluctuó entre el 39,02% (Tch3) y 95,56% (Tch8). Los transectos con mayor cobertura se concentraron en la parte alta de la sección monitoreada, destacando Tch8 y Tch9, con coberturas superiores al 85%. Por otro lado, los transectos Tch5 y Tch6 ubicados en la parte media de la sección monitoreada, presentaron las coberturas más bajas, cuyos valores son inferiores al 42%. Por último, en la parte baja de la sección monitoreada, se registraron valores disímiles, donde el Tch2 presentó una cobertura cercana a los máximos, con valor de 82,93%, y Tch1 presentó una cobertura levemente superior a los mínimos registrados, con 43,9% (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., Figura 4-10 y Figura 4-11).



**Figura 4-11 Cobertura vegetal (%) en el Bofedal artificial Chiclla en 2017**

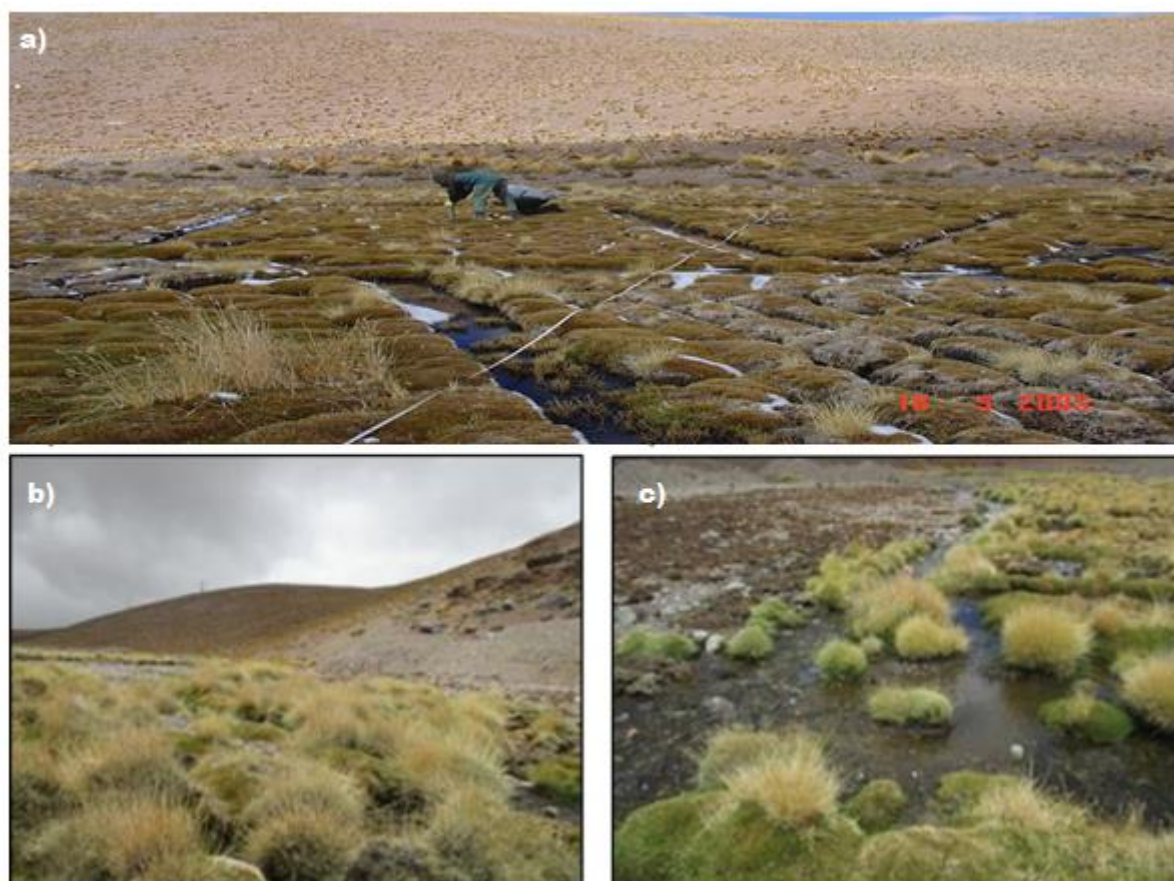


Ilustración 1 a) Bofedal trasplantado en Chiclla mayo 2005, 1 c) Vista Este de Qda. Chiclla agosto 2017 y b) Vista Oeste de Qda. Chiclla agosto 2017.

Al realizar la comparación de la riqueza entre ambas mediciones, se puede señalar que el año 2017 se registró una mayor riqueza que el año 2005, con 13 y 5 especies, respectivamente. (Tabla 4-6)

Tabla 4-6 Comparación riqueza entre año 2015 y 2017

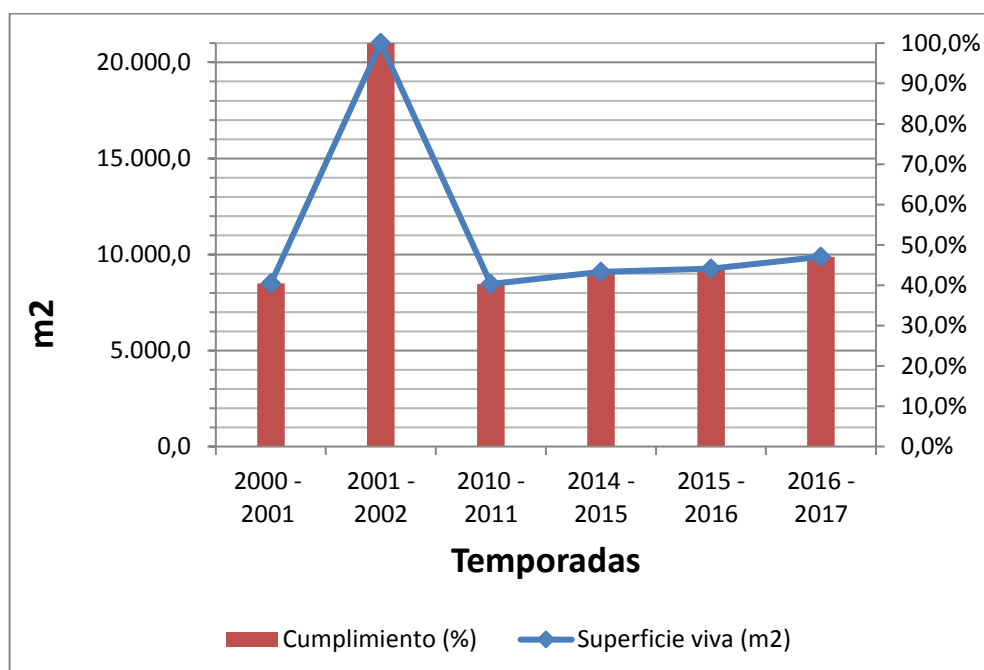
Especie	2005	2017
<i>Bryum</i> sp.		1
<i>Deyeuxia curvula</i>		1
<i>Deyeuxia crysantha</i>		1
<i>Festuca deserticola</i>		1
<i>Festuca hypsophylla</i>	1	1
<i>Lilaeopsis macloviana</i>	1	
<i>Lobelia oligophylla</i>	1	1
<i>Oxychloe andina</i>	1	1
<i>Parastrephia lucida</i>		1
<i>Phylloscirus acaulis</i>		1
<i>Poa</i> sp.	1	
<i>Ruppia filifolia</i>		1
<i>Scirpus (Zameioscirus) atacamensis</i>	1	1
<i>Senecio nutans</i>		1
<i>Stipa</i> sp.	1	
<i>Werneria pygmaea</i>		1
<b>Totales</b>	<b>7</b>	<b>13</b>

En cuanto a la comparación de las coberturas de las especies vegetales entre ambas campañas, se puede señalar que el año 2017 se registró una mayor cobertura, salvo en el caso de *Oxychloe andina*, cuyo mayor valor se registró el año 2005. Al comparar los resultados de cobertura vegetal de los transectos, se puede señalar que se presenta mayor cobertura el año 2017 (Tabla 4-7 Tabla 4-6).

**Tabla 4-7 Comparación cobertura entre año 2015 y 2017**

Especie	2005	2017
<i>Bryum</i> sp.		7,3
<i>Deyeuxia curvula</i>		18,5
<i>Deyeuxia chrysantha</i>		13,2
<i>Festuca deserticola</i>		10,0
<i>Festuca hypsophylla</i>	2,2	23,7
<i>Lilaeopsis macloviana</i>	5,5	
<i>Lobelia oligophylla</i>	3,2	6,8
<i>Oxychloe andina</i>	21,8	18,8
<i>Parastrephia lucida</i>		4,8
<i>Phylloscirpus acaulis</i>		2,4
<i>Poa</i> sp.	1,8	
<i>Ruppia filifolia</i>		p
<i>Scirpus (Zameioscirpus) atacamensis</i>	1,5	10,1
<i>Senecio nutans</i>		p
<i>Stipa</i> sp.	2,4	
<i>Werneria pygmaea</i>		8,9
<b>Promedio cobertura</b>	<b>20,71</b>	<b>59,61</b>

Al analizar los datos históricos del área cubierta por el bofedal artificial, es posible identificar una lenta recuperación desde el año 2010 – 2011, el incremento hasta el año 2017 es de aproximadamente un 10% (Figura 4-12).



**Figura 4-122 Cobertura vegetal (m2) en el Bofedal artificial Chiclla en 2000 a 2017. Fuente Teknoriego.**



## 5 CONCLUSIONES

- En el Bofedal Chiclla se puede observar que las especies *Oxychloe andina* y *Festuca hypsophylla* se han mantenido en el tiempo, presentando mayor cobertura en la medición del año 2005 y 2017, respectivamente. Respecto de la riqueza en general, la mayor riqueza se expresa durante el año 2017. A nivel general, se puede observar una mayor cobertura en la medición del año 2017 (en la evaluación de transectos), evidenciando un cambio en la estructura comunitaria, lo que da cuenta de procesos sucesionales.
- Para realizar el análisis de respuesta, se utilizó el estudio del año 2005, el cual indicaba que el bofedal artificial de Chiclla y el bofedal de la quebrada de San Nicolás, basado en flujos de nitrógenos, fosforo inorgánico y metales pesados tienen un patrón de funcionamiento ecosistémico similar. Esto indica, que del punto de vista ecosistémico hasta el año 2005 el bofedal artificial se comportaba ecosistémica igual que un bofedal natural. Actualmente, en el monitoreo de noviembre del año 2017 las concentraciones de Nitrógeno y de Fosforo indican, que debe ocurrir una exportación de estos materiales aguas abajo del bofedal artificial, como ocurría durante el año 2005. Es decir, estaría funcionando de acuerdo a lo esperado.
- Desde el punto de vista del área del bofedal artificial, como medida dentro de las acciones acordadas en el EIA, la información indica que se alcanzó la superficie máxima de 2,1 hectáreas, en el año 2002, luego disminuyó a aproximadamente unos 8.000 metros cuadrados en el año 2010 y ha venido creciendo lentamente hasta la actualidad. La disminución ocurrió a nuestro juicio, por una perturbación natural, como es la sepultación de la vegetación por material proveniente de procesos de remoción en masa, ocurrida en las laderas vecinas o un poco más arriba de la localización del “bofedal artificial”, durante episodios de precipitaciones intensas en la temporada de lluvias del altiplano, fenómeno propio del clima altiplánico.
- Estos antecedentes indican que el ecosistema “bofedal artificial” está instalado exitosamente en la quebrada de Chiclla y podría sostenerse en el tiempo sin subsidios de materiales o energía, provenientes de acciones antrópicas.

## 6 REFERENCIAS

Centro de Ecología Aplicada (2005). Evaluación de la estructura y funcionamiento del bofedal transplantado Chiclla. Informe Final.

Comín F.A., R. Julià & Comín, P. (1991). Fluctuations, the key aspect for the ecological interpretation of saline lake ecosystems. *Oecologia aquatica*, 10: 127-135.

Squeo, FA, Warner BG, Aravena R & Espinoza D 2006. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia natural*, 79(2): 245-255.

Tecknoriego (2017). Informe recopilatorio quebrada Chiclla.

## 7 ANEXO

### 7.1 Fotografías Bofedal Artificial Quebrada Chiclla 2005



**Ilustración 2 Actividades de muestreo. a) Medición de parámetros *in situ*. b) Muestreo de microalgas bentónicas y macroinvertebrados bentónicos.**





Ilustración 3 . Bofedal artificial Chiclla. a) Vista general del bofedal, b) Cojines de champas transplantadas, c) y d) vegetación terrestre del bofedal.

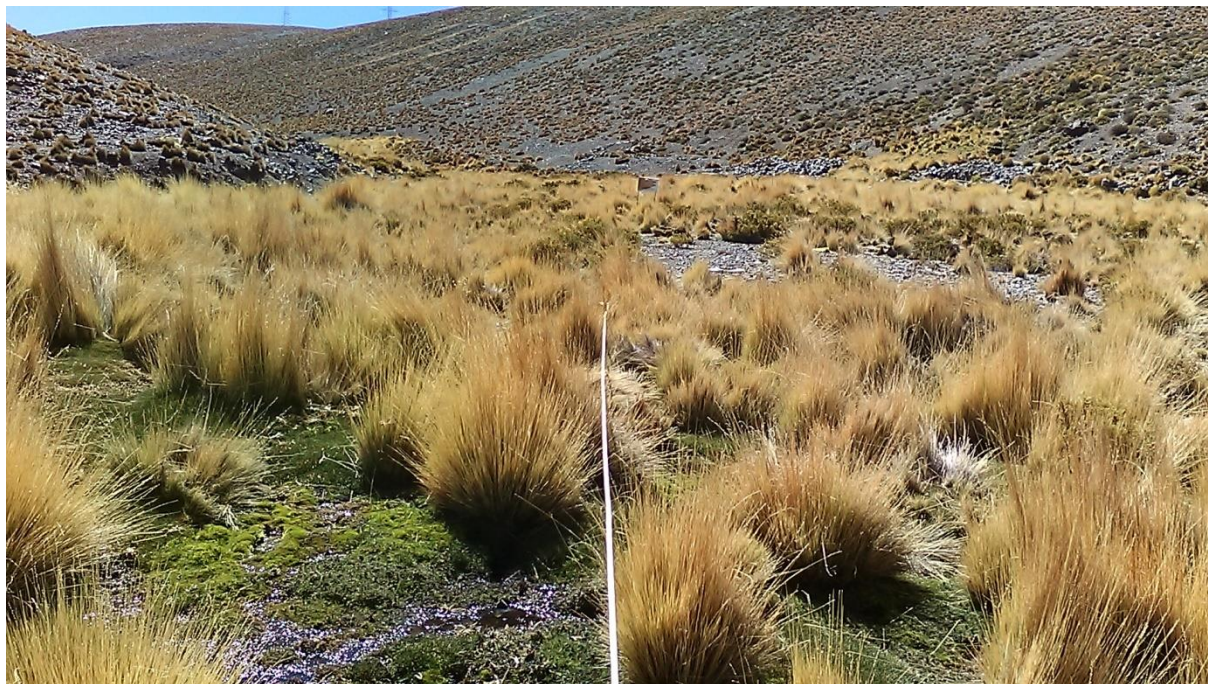


## 7.2 Fotografías Bofedal Artificial Quebrada Chiclla 2017



**Ilustración 4 Bofedal Artificial Chiclla Febrero 2017.**





**Ilustración 5 Bofedal Artificial Chiclla Noviembre 2017.**