

**INFORME DE SEGUIMIENTO COMPENSACION POR PÉRDIDA DE
BOFEDALES QUEBRADA DE CHICLLA**

ELABORADO POR: Felipe Reinoso	REVISADO POR: Christian Troncoso	APROBADO POR:
Firma	Firma	Firma

Revisión	Fecha	Modificaciones
0	Enero 2018	
1	Enero 2018	Modificación de formato según comentarios

INFORME DE SEGUIMIENTO COMPENSACION POR PÉRDIDA DE BOFEDALES QUEBRADA DE
CHICLLA**Contenido**

1	INTRODUCCIÓN	6
2	OBJETIVOS	7
3	MATERIALES Y METODOS	7
3.1	Descripción del área de estudio	7
3.2	Ubicación de los puntos y sitios de muestreo, medición, análisis y control.....	8
3.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	8
3.3.1	Parámetros primera etapa desarrollo Programa de Investigación	8
3.3.2	Parámetros segunda etapa Implementación.....	8
3.3.3	Parámetros tercera etapa Monitoreo.....	9
3.4	Metodologías de muestreo, medición, análisis y control.....	9
3.4.1	Programa de Investigación	9
3.4.2	Implementación de las recomendaciones de la etapa de investigación	9
3.4.3	Monitoreo	11
3.5	Fechas de ejecución	16
4	RESULTADOS	16
4.1	Resultados de muestreos, mediciones, análisis y controles.	16
4.2	Limites considerados en la evaluación	42
5	DISCUSIÓN.....	42
6	CONCLUSIONES	42
7	REFERENCIAS	44
8	ANEXOS.....	45
8.1	Responsables a cargo del Estudio	45
8.2	Trabajos de mantención ejecutados.....	45

Índice de Figuras

Figura 1. Área de ejecución de los trabajos.....	8
Figura 2. Área de la quebrada de Chiclla utilizada para desarrollar las plataformas. Los paralelepípedos de colores corresponden a las plataformas, y las flechas azules muestran la fuente de agua para cada una de ellas.....	10
Figura 3. Vista transversal esquemática del embalse subterráneo.	11
Figura 4. a) Transectos utilizados para el muestreo de la vegetación terrestre y biota acuática, b) esquema de los transectos utilizados en el muestreo químico y biológico.....	12
Figura 5. Crecimiento vertical de la parcela 1.....	19
Figura 6. 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.....	27
Figura 7. 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.....	28
Figura 8. 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.....	28
Figura 9. Parámetros comunitarios evaluados en el bofedal artificial quebrada Chiclla a) Riqueza taxonómica, b) Abundancia total, c) Abundancia relativa, d) Clasificación de las sitios de muestreo según su composición taxonómica.	30
Figura 10. Parámetros evaluados en las quebradas naturales y bofedal artificial quebrada Chiclla. a) Riqueza taxonómica, b) Abundancia total, c) Abundancia relativa.	32
Figura 11. Clasificación de las sitios según su composición taxonómica (Jaccard: Bray-Curtis) presentes en las quebradas naturales San Nicolás (QSN), San Daniel (QSD), Tres Tetos (Q3T) y bofedal Artificial (BA), quebrada Chiclla.	33
Figura 12. Análisis comparativo de la abundancia total de microalgas bentónicas y de la riqueza de taxa entre quebradas naturales (otras quebradas) y el bofedal artificial.....	35
Figura 13. Porcentaje de cobertura absoluta de vegetación verde en el bofedal artificial. BA: bofedal artificial, T: Transecto.	37
Figura 14. Porcentaje de cobertura absoluta de vegetación seca en el bofedal artificial. BA: bofedal artificial, T: Transecto.	37
Figura 15. Porcentaje de vegetación verde vs vegetación seca en el bofedal artificial. BA: bofedal artificial, T: Transecto.	37
Figura 16. Riqueza de especies en quebradas de la zona y en el bofedal artificial. BA: bofedal artificial, T: Transecto.	38
Figura 17. Porcentaje de cobertura absoluta de vegetación verde en las quebradas naturales muestreadas en Mayo 2005 y en el bofedal artificial muestreado en Mayo 2005. BA: bofedal artificial, T: Transecto.	38
Figura 18. Porcentaje de cobertura absoluta de vegetación seca en las quebradas naturales y en el bofedal artificial. Mayo 2005. BA: bofedal artificial, T: Transecto.	39
Figura 19. Proporción de vegetación verde vs. vegetación seca en las quebradas naturales San Nicolás, San Daniel, Fantasía y Tres Tetos y en transectos del bofedal artificial. El valor 1 en la ordenada representa igual proporción de vegetación verde y seca (valores menores que 1 indican predominancia de vegetación seca). Eje de las ordenadas está en escala logarítmica. BA: bofedal artificial, T: Transecto. Mayo de 2005.....	39
Figura 20. Análisis de agrupamiento de los sitios muestreados, considerando los datos de presencia / ausencia de especies vegetales y utilizando el coeficiente de similitud de Jaccard.	40
Figura 21. Superficie viva y porcentaje de superficie.	41

Índice de Fotografías

Fotografía 1. Parcelas y tratamientos.	9
Fotografía 2. a) Sector evaluado en el bofedal trasplantado Chiclla, b) y c) Quebrada San Daniel d) y e) quebrada San Nicolás.	12
Fotografía 3. Actividades de muestreo. a) Medición de parámetros in situ. b) Muestreo de microalgas bentónicas y macroinvertebrados bentónicos.	14
Fotografía 4. Bofedal artificial Chiclla. a) Vista general del bofedal, b) Cojines de champas trasplantadas, c) y d) vegetación terrestre del bofedal.	15
Fotografía 5. Quebrada Chiclla. Vista aguas abajo de los lavaderos de Chiclla. Fuente Plan de Manejo Bofedales 1996 – Restauración de un bofedal intervenido en la quebrada de Chiclla, sector Ujina. I región de Tarapacá.	17
Fotografía 6. Quebrada Chiclla. Vista aguas arriba de los lavaderos de Chiclla. Fuente Plan de Manejo Bofedales 1996 – Restauración de un bofedal intervenido en la quebrada de Chiclla, sector Ujina. I región de Tarapacá.	18
Fotografía 7. Enraizamiento cojín.	20
Fotografía 8. Fusión de ejemplares.	20
Fotografía 9. a), b), c) y d); Embalse Cruce la Quebrada y Embalse Pirquineros.	21
Fotografía 10. a) y b) Bulldozer, confección de plataformas distintos ángulos.	22
Fotografía 11. Motoniveladora mejorando la superficie de las terrazas.	23
Fotografía 12. a) Izquierda corte de cojines (Capella) y b) transplante (Chiclla).	23
Fotografía 13. Imágenes de disposición final de planas y canales de riego bofedal Chiclla. a) Cojines y canales; b) vista aérea sector trasplantado; c) Vista a nivel de área trasplantada; c) Cojines y canales; d) Cojines y canales en operación de riego.	24
Fotografía 14. a) Izquierda; Follaje del bofedal cubierto con sedimentos y canales de drenaje completamente tapados. b) Derecha; Canales de drenaje del Sistema de Riego dañados parcialmente.	25
Fotografía 15. a) Izquierda; Se puede apreciar la nueva terraza construida aguas abajo del proyecto y aledaña al camino a Calama y separada de este por la berma de protección. b) Derecha; Terraza nueva construida esta temporada en la parte más baja del proyecto, con champas recién trasplantadas.	26

Índice de Tablas

Tabla 1. Diseño de muestreo: descripción de los transectos de muestreo en el bofedal artificial Chiclla.	13
Tabla 2. Diseño de muestreo: descripción de los transectos de muestreo en el bofedal artificial Chiclla.	26
Tabla 3. Abundancia total (ind/m ²) de la fauna de macrozoobentos presente en el bofedal artificial (BA), quebrada Chiclla. Mayo 2005.	29
Tabla 4. Abundancia total (ind/m ²) de la fauna del macrozoobentos presentes en las quebradas naturales San Nicolás (QSN), San Daniel (QSD), Tres Tetras (Q3T), y bofedal Artificial (BA), quebrada Chiclla.	31
Tabla 5. Abundancia por especie y total de microalgas bentónicas (cel/mm ²) en el bofedal artificial. Mayo de 2005.	34
Tabla 6. Abundancia por especie y total de microalgas bentónicas (cel/mm ²) en las quebradas naturales San Nicolás, San Daniel Fantasia y Tres Tetras. Mayo de 2005.	35
Tabla 7. Vegetación terrestre en el bofedal artificial. Mayo de 2005.	36
Tabla 8. Cobertura de vegetación verde y vegetación seca en siete transectos del bofedal artificial. Mayo de 2005.	36
Tabla 9. Cobertura absoluta de las especies vegetales presentes en las quebradas muestreadas. Mayo de 2005.	40

RESUMEN

El presente documento contiene el informe de seguimiento de compensación por pérdida de bofedales en la quebrada de Chiclla de acuerdo a las medidas señaladas en el Capítulo 6 de EIA 60 KTPD, acápite 6.4.1 *Compensación por pérdida de Bofedales*. Los estudios de factibilidad y de impacto ambiental del Proyecto Collahuasi fueron aprobados en 1995 (resolución exenta 713/2199 del 27 de diciembre de 1995). A fines de 1996, habiéndose suscrito los acuerdos relativos al financiamiento y comercialización, se dio inicio a la etapa de desarrollo y construcción.

En términos generales, el trabajo se divide en tres etapas, la primera de investigación y estudio, con el objetivo de evaluar las oportunidades de mejorar la productividad de los bofedales existentes e investigar la metodología para rehabilitar el bofedal de la quebrada de Chiclla, junto con la revisión bibliográfica existente sobre bofedales y su rehabilitación.

La segunda etapa, es la de implementación de las recomendaciones de la etapa de investigación, considerando las opciones que técnicamente y económicamente sean factibles, buscando el incremento progresivo de la productividad del bofedal y la rehabilitación de la quebrada de Chiclla.

Finalmente, la tercera, es la de evolución y monitoreo de los resultados obtenidos, de modo de poder efectuar las adecuaciones y correcciones necesarias al programa.

En cuanto a los resultados, de la primera etapa se infiere que no existe una ley de protección directa para estas formaciones (bofedales), sino una serie de leyes que indirectamente protegerán la subsistencia de ellas, como tampoco en Chile se han efectuado trabajos de manejo con bofedales en forma sistemática.

Del plan piloto ejecutado como parte de la primera etapa (año 1998 – 1999), se obtienen resultados positivos en donde la vegetación dentro de las parcelas mostró buen crecimiento vegetativo, registrándose fusión entre las champas de *Oxychloe andina* (Pako) y *Distychia muscoides* (Jachu).

Los resultados de la segunda etapa de implementación (2000 – 2002), se logra el traslado de 2,1 ha de suelo y champas desde el bofedal de Capella, con contratiempos en la implementación causados por eventos naturales como aludes y precipitaciones. No obstante, a la fecha, es posible contar con cerca de 1 ha de bofedal vivo luego de 17 años.

Los resultados de la tercera etapa de monitoreo, en función de los resultados obtenidos al año 2005, se induce a que el bofedal trasplantado estaría adquiriendo atributos en su estructura y funcionamiento similares a los sistemas naturales, en donde si se mantienen los canales de riego y la humectación en forma mecánica de las áreas que han sufrido deterioros por las heladas y estrés hídrico, sería posible conseguir un completo asentamiento de las champas transplantadas.

1 INTRODUCCIÓN

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) se emplazan en el altiplano del desierto de Atacama, una zona andina que se caracteriza por tener un clima lluvioso asociado al invierno Boliviano en verano y nevadas durante los meses de mayo a agosto. Situada a 135 km de las localidades de Pica y Matilla a unos 4.400 m.s.n.m.

El presente documento corresponde al Informe de seguimiento de compensación por pérdida de bofedales implementado en la quebrada de Chiclla, en cumplimiento de lo señalado en el capítulo 6.4.1 del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero Collahuasi, aprobado por la Res. Ex. N° 713/1995.

De acuerdo a lo señalado, se presenta en este informe la descripción detallada de las actividades y avances realizados en el marco de la implementación de la medida, dando cuenta de los resultados obtenidos, asociados a los parámetros definidos durante el proceso de evaluación.

2 OBJETIVOS

El presente informe tiene como propósito entregar y dar a conocer los resultados obtenidos producto del desarrollo de las actividades asociadas a la medida de compensación, durante el período ejecución del proyecto.

El objetivo de la medida es generar una metodología para rehabilitar el bofedal de la quebrada de Chiclla, implementar la metodología estudiada y finalmente evaluar la eficacia de la implementación de la metodología así como realizar un monitoreo de los resultados.

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del área de estudio

La región de Tarapacá se caracteriza por un predominio del clima desértico, con algunas variaciones de mar a cordillera, destacando cuatro subclimas: clima desértico costero con alta nubosidad, clima desértico normal, clima desértico marginal de altura y clima de estepa de altura. Este último corresponde al clima del área de estudio, el cual se presenta en los sectores por sobre los 3.500 metros de altitud. Las temperaturas medias no sobrepasan los 5°C, produciéndose gran amplitud térmica entre el día y la noche. La variación en la temperatura anual se registra alrededor de los 8,1°C.

El área de estudio en general, corresponde al interior del área de influencia del proyecto la cual se encuentra inserta en la Región de la Estepa Alto-Andina. En ésta última se encuentra la sub región del altiplano y la puna, sector donde se encuentra el área de estudio, donde a su vez se incluye la estepa alto andina sub desértica y la estepa arbustiva pre-puneña (Gajardo, 1994), por lo cual su vegetación presenta una fisionomía propia de un clima desértico a semidesértico de montaña.

Los sistemas vegetacionales altoandinos que se desarrollan en el entorno de la faena de CMDIC corresponden a humedales azonales, dada su dependencia directa con las aguas subsuperficiales locales que permiten la mantención de estos sistemas. Estas aguas corresponden a aguas de afloramiento que aparecen a lo largo de los humedales, y que se desarrollan como parte del flujo subsuperficial de las quebradas o se expresan superficialmente como pequeños flujos que recorren partes del humedal. Desde ambas componentes, es extraída el agua que requiere la vegetación ahí presente para su desarrollo fisiológico.

En el mes más caluroso del año (Enero) se registra un promedio de 6,5°C y durante el mes más frío (Junio), se registra un promedio de -1°C. El mes más seco es Abril con 0 mm de precipitación, por el

contrario el mes de Enero se registran lluvias que pueden alcanzar un promedio de 30 mm (climate-data.org, 2017).

En cuanto a las características del suelo presente en la zona, este posee en general escasos de nutrientes, bajo contenido de materia orgánica (<1%), sustratos originarios de depósitos volcánicos y con texturas arenosas y registros de pH que oscilan entre los 5,1 a 6,8. Esta caracterización se analizará en mayor detalle posterior a los análisis edáficos y de laboratorio programados.

3.2 Ubicación de los puntos y sitios de muestreo, medición, análisis y control

El desarrollo de los trabajos de compensación se ubica al sur del área del proyecto de CMDIC, aproximadamente a 8 km del rajo de Rosario (figura 1).

Figura 1. Área de ejecución de los trabajos.



*(Coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19 Sur: Quebrada Chiclla 527.364 E – 7.675.078 S).

3.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Los parámetros definidos de manera de evaluar la evolución en los resultados de las actividades a desarrollar, en el marco de la compensación respecto de las tres etapas definidas en el capítulo 6.4.1 Compensación por pérdida de bofedales se presentan a continuación.

3.3.1 Parámetros primera etapa desarrollo Programa de Investigación

- Revisión bibliográfica.
- Tratamiento experimental.

3.3.2 Parámetros segunda etapa Implementación

- Nivelación del terreno removido para establecer la topografía.
- Direccional el caudal del agua de manera tal que favorezca el desarrollo de bofedales.
- Transportar la cubierta vegetal de los bofedales desde el lugar en donde se depositarán estériles de Rosario a la quebrada de Chiclla.

3.3.3 Parámetros tercera etapa Monitoreo

- Parámetros físicos, químicos y biológicos de la quebrada de Chiclla, para estudiar la evolución de su recuperación.
- Transporte de nutrientes y metales pesados: Tasa de retención y exportación de fósforo, nitrógeno orgánico y metales pesados.
- Fauna de macroinvertebrados bentónicos.
- Flora de microalgas bentónicas.
- Vegetación terrestre.

3.4 Metodologías de muestreo, medición, análisis y control

A continuación se detallan las actividades y métodos desarrollados en el marco de los procedimientos definidos para la determinación de los parámetros.

3.4.1 Programa de Investigación

Durante esta etapa se efectúa una revisión bibliográfica en instituciones donde se trabajan estos tópicos; CONAF I Región, Facultad de Agronomía y Ciencias de la Universidad de Chile y en la Universidad de Tarapacá. Se visitan centros de prácticas de técnicas de manejo o lugares intervenidos con fines de manejo. Finalmente se diseña un plan piloto, el cual considera técnicas de transplante Aymará y el desarrollo de un tratamiento experimental. Las técnicas de transplante Aymará, constan de dos etapas:

Primero, nivelación de las pendientes, construcción de la plataforma y del sistema de riego en caracol que maximiza la eficiencia del uso del agua. Segundo, aplicación de una capa de materia orgánica natural, posterior humectación y transplante.

Por otro lado, el tratamiento experimental, consistió en la aplicación de 6 diferentes tratamientos (con nutrientes, CN, sin nutrientes, SN, con herbivoría, CH, sin herbivoría, SH, bofedal adulto, BA, bofedal juvenil, BJ). Se evalúa trimestralmente durante los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre. Estas evaluaciones consistieron en mediciones de cobertura de cada una de las especies presente y de suelo desnudo, expresadas como porcentajes de cobertura. También se midió el crecimiento vertical. Esto se ha hecho con una grilla metálica de 1x1 m con divisiones cada 10 cm, que se superpone a la parcela a una altura determinada por estacas colocadas en cada arista del cuadrado. Se hace un arreglo al azar de 32 parcelas de 1 m² cada una, con 4 réplicas por tratamiento (fotografía 1).

Fotografía 1. Parcelas y tratamientos.



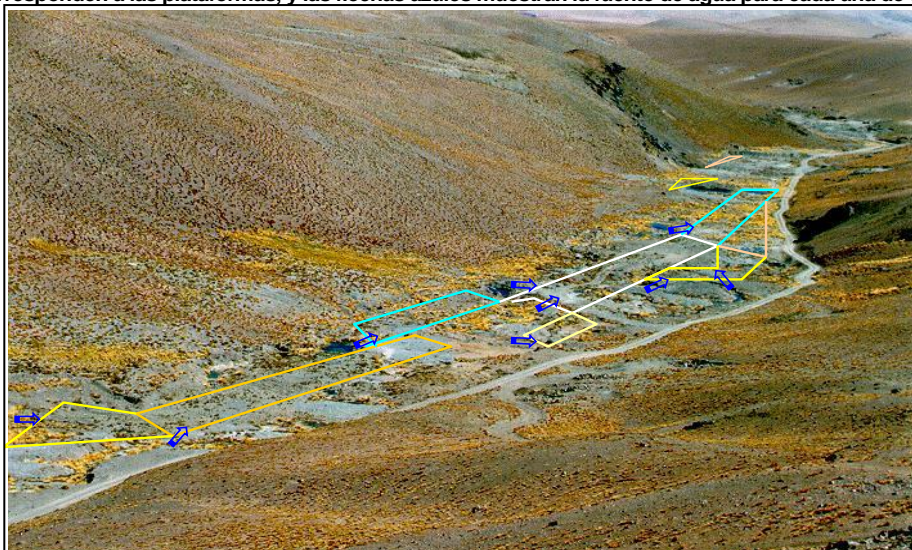
3.4.2 Implementación de las recomendaciones de la etapa de investigación

De acuerdo a los resultados de la primera etapa se define la metodología de implementación. Las actividades contempladas en esta etapa son:

- Nivelación del terreno removido para establecer la topografía.
- Reestablecer el caudal del agua de manera tal que favorezca el desarrollo de bofedales.
- Transportar la cubierta vegetal de los bofedales desde el lugar en donde se depositarán estériles de Rosario a la quebrada de Chiclla.
- Hacer seguimiento de parámetros físicos, químicos y biológicos de la quebrada de Chiclla, para estudiar la evolución de su recuperación.

Para la nivelación y restablecimiento de caudal, se utiliza maquinaria pesada (Bulldozer, motoniveladora), de acuerdo al diseño en función de la topografía del lugar. La figura 2 muestra el diseño de plantación.

Figura 2. Área de la quebrada de Chiclla utilizada para desarrollar las plataformas. Los paralelepípedos de colores corresponden a las plataformas, y las flechas azules muestran la fuente de agua para cada una de ellas.



Paralelamente se confeccionan embalses subterráneos, de modo de asegurar el abastecimiento de agua. Se consideraron dos diques subterráneos, revestidos en HDPE para embalsar aguas freáticas. Estos diques están ubicados en la quebrada de Chiclla, entre las coordenadas UTM 7.680.000 N y 7.675.000 N.

Los embalses tienen las siguientes características:

Embalse 1

- 4 metros de profundidad x 6 metros de ancho x 26 metros de largo = 624 m³.
- 8,5 metros de alto x 26 metros de largo = 221 m² de HDPE (espesor 1,5 mm).
- 6 metros alto x 26 metros largo x 0,4 metros de ancho = 62,4 m³ arena para protección de HDPE.

Embalse 2

- 4 metros de profundidad x 6 metros de ancho x 33 metros de largo = 792 m³.
- 8,5 metros de alto x 33 metros de largo = 280,5 m² de HDPE (espesor 1,5 mm).

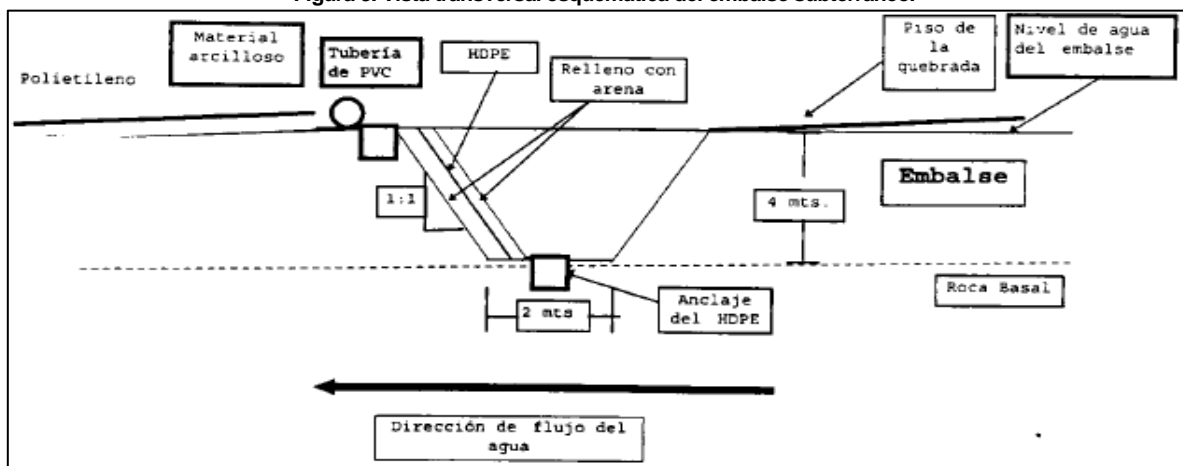
- 6 metros alto x 33 metros largo x 0,4 metros de ancho = 79,2 m³ arena para protección de HDPE.
- 20 metros ancho x 33 metros largo x 0,2 metros de espesor capa de material arcilloso = 132 m³.

Consideraciones generales

- Excavaciones a solo 4 metros de profundidad, largo de alcance de balde de la maquinaria.
- Construcción de canaleta paralela a la quebrada que sale desde la zanja hacia aguas debajo de la quebrada con pendiente de 1% para drenaje gravitacional de la obra.
- Emplazamiento de membrana de HDPE de 1,5 mm recostada en la cara expuesta que esta aguas debajo de la zanja.
- Se coloca sobre y bajo el HDPE una capa de arena de 0,2 metros.
- El HDPE no requiere de anclaje.
- Talud de seguridad de 1:1 y una base de trabajo de 2 metros de ancho en el fondo de la zanja.
- Para aumento de superficie de plantación, el agua de la salida del embalse se canaliza en una boca central. Esta superficie es impermeabilizada con polietileno común para que se degrade en el tiempo y sobre este se cubre con material arcilloso de 0,2 metros de espesor para retener la humedad, con exclusión de sobre tamaño de 2 pulgadas.
- El riego homogéneo se logra con una cañería de PVC perforada que capta el agua de la boca de rebalse del HDPE para distribuirla aguas abajo el embalse.

En figura 3 se presenta la vista transversal esquemática del embalse subterráneo tipo.

Figura 3. Vista transversal esquemática del embalse subterráneo.



3.4.3 Monitoreo

- Diseño de muestreo

En mayo de 2005 se evaluó la riqueza de especies y la abundancia total de los ensambles de macroinvertebrados bentónicos y microalgas bentónicas y la cobertura absoluta de vegetación verde y seca en el bofedal artificial (Fotografía 2a), los que fueron comparados con los resultados obtenidos en las quebradas naturales San Daniel, San Nicolás (Fotografía 2b-e), Fantasía y Tres Tetas.

El análisis de carga de material nitrogenado y fosforado y de metales pesados en transporte fue realizado en el bofedal artificial y comparado con el bofedal natural de la quebrada San Nicolás.

Se determinó la riqueza de especies y su cobertura en siete transectos de longitud variable, los que se instalaron abarcando toda la extensión del bofedal artificial. Cada transecto fue georeferenciado con un GPS DATUM WGS84 (Tabla 1). En la Tabla 1 y se muestran las coordenadas de cada transecto. El transecto T1 se ubicó en el nacimiento de la quebrada, mientras que el transecto T7 se ubicó en la parte final. La descripción, ubicación y características de los tramos de muestreo en el bofedal artificial (BA) y/o transportado (a) y las quebradas naturales San Daniel y San Nicolás se indican en la Tabla 1 y Figura 3. En las quebradas naturales se tomó un número variable de muestras en función de la variabilidad espacial de cada área de muestreo.



Fotografía 2. a) Sector evaluado en el bofedal trasplantado Chiclla, b) y c) Quebrada San Daniel d) y e) quebrada San Nicolás.



Figura 4. a) Transectos utilizados para el muestreo de la vegetación terrestre y biota acuática, b) esquema de los transectos utilizados en el muestreo químico y biológico.



Tabla 1. Diseño de muestreo: descripción de los transectos de muestreo en el bofedal artificial Chiclla.

TRANSECTO	CARACTERÍSTICAS	COMPONENTE	SITIOS	N	E
	Entrada del agua al bofedal	Agua: Formas orgánicas e inorgánicas: Nitrógeno, Fósforo	BA-0	7.675.500	527.595
TRANSECTO 1 (T1)	Sector semi-húmedo	Vegetación terrestre	-	7.675.478	527.589
		Fitobentos Zoobentos	BA-1 BA-2		
TRANSECTO 2 (T2)	Sector semi-húmedo	Vegetación terrestre	-	7.675.390	527.525
TRANSECTO 3 (T3)	Sector seco	Vegetación terrestre	-	7.675.356	527.504
		Fitobentos Zoobentos	BA-3 BA-4		
TRANSECTO 4 (T4)	Sector seco	Vegetación terrestre	-	7.675.314	527.476
TRANSECTO 5 (T5)	Sector húmedo	Vegetación terrestre	-	7.675.199	527.405
		Fitobentos Zoobentos	BA-5 BA-6		
TRANSECTO 6 (T6)	Sector semi-húmedo	Vegetación terrestre	-	7.674.988	527.308
		Fitobentos Zoobentos	BA-7 BA-8		
TRANSECTO 7 (T7)	Sector semi-húmedo	Vegetación terrestre	-	7.674.881	527.257
		Fitobentos Zoobentos	BA-9 BA-10		
	Salida del agua del bofedal	Formas orgánicas e inorgánicas: Nitrógeno, Fósforo	BA-11	7.674.711	527.198

- Parámetros

- Transporte de nutrientes y metales pesados: Tasa de retención y exportación de fósforo, nitrógeno orgánico y metales pesados.

La toma de muestras se realizó en los tramos de alimentación hídrica y descarga del humedal (Fotografía 3a). Se realizó 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 112 μm ; 112 y 265 μm ; 265 y 400 μm ; 400 y 1250 μm y 1250 y 1800 μm . Las redes fueron mantenidas durante 25 minutos en el tramo de alimentación y 10 minutos en el tramo de descarga del humedal, lo cual permitió filtrar la cantidad de muestra requerida por la técnica analítica. 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 μm en transporte y la fracción disuelta se tomaron muestras de agua (3 l) 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 μm . 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.

Fotografía 3. Actividades de muestreo. a) Medición de parámetros in situ. b) Muestreo de microalgas bentónicas y macroinvertebrados bentónicos.



- Fauna de macroinvertebrados bentónicos

La estimación de la composición y abundancia de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por grupo de organismos. Esto se midió en muestras aleatorias por estación obtenidas con un core de 39,6 cm^2 (Fotografía 3 letra b), 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 μm y 0,25 μm , 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).

- 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, las muestras se obtuvieron extrayendo 2 core de cada estación mediante un saca testigos de Plexiglass (diámetro 0,9 cm, Figura 6b).

El método de análisis consistió en obtener alícuotas de testigos provenientes de la comunidad bentónica, posteriormente se realizaron preparaciones para microscopía óptica las que se examinaron bajo el microscopio, clasificando y contando la totalidad de los organismos presentes (Wetzel & Likens, 1991). En este análisis sólo se consideraron los individuos vivos (con cloroplastos o remanentes).

- Vegetación terrestre

Cada 0,25 m en cada transecto se identificó el sustrato o la especie que se observó interceptando el punto (Fotografía 4). También se registraron como las especies que se encontraron en las inmediaciones de cada transecto, pero que no fueron detectadas. Para cada transecto, se estimó la cobertura absoluta de cada especie o sustrato como el porcentaje de puntos cubiertos por la respectiva especie o sustrato con respecto al total de puntos muestreados a través de la siguiente expresión:

$$CA_i = (N_i / N) \times 100$$

Dónde:

CA_i : Cobertura absoluta de la especie o sustrato i.
 N_i : Número de puntos cubiertos por la especie o sustrato i.
 N : Número total de puntos muestreados por transecto.

Fotografía 4. Bofedal artificial Chiclla. a) Vista general del bofedal, b) Cojines de champas transplantadas, c) y d) vegetación terrestre del bofedal.



3.5 Fechas de ejecución

La ejecución de los trabajos inicia en octubre de 1996 y se desglosan de la siguiente forma:

- Primera etapa desarrollo programa de investigación (1996 – 1999).
- Segunda etapa implementación (1999 – 2002).
- Tercera etapa monitoreo (2005).

4 RESULTADOS

4.1 Resultados de muestreos, mediciones, análisis y controles.

A. Primera etapa (Estudio y Evaluación).

- Aspectos legales de protección

No existe una ley de protección directa para estas formaciones, sino una serie de leyes que indirectamente protegerán la subsistencia de ellas.

En 1992 el Código de Aguas fue modificado incorporando a los artículos 58 y 63 de la protección y conservación de los humedales del altiplano de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, mediante la prohibición de explotar y explorar los recursos subterráneos ya que estos constituyen una fuente importante de alimentación.

En consecuencia, la Dirección General de Aguas, a través de la Resolución N°909 de 1996, identificó y delimitó dichos acuíferos. De esta manera, en la I Región quedaron protegidos 139 humedales, con una superficie de 335 km² equivalente al 0.57% del total de la superficie de la Región. En la II Región se protegieron 167 humedales, con una superficie de 2798 kms² equivalentes al 2,22% de la superficie total de la Región.

En las últimas cuatro décadas a nivel mundial se ha venido trabajando internacionalmente en la protección de los humedales en todo el mundo. Es así como en el año 1971 se firmó en la ciudad de Ramsar, Irán, la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, conocida como la Convención Ramsar, la cual fue ratificada por Chile en 1984.

Sin embargo no se encuentran protegidas por la legislación y las especies que lo conforman no se encuentran clasificadas en las categorías de conservación del libro rojo de la Flora Terrestre de Chile (Conaf, 1989).

- Definiciones y acciones de CMDIC

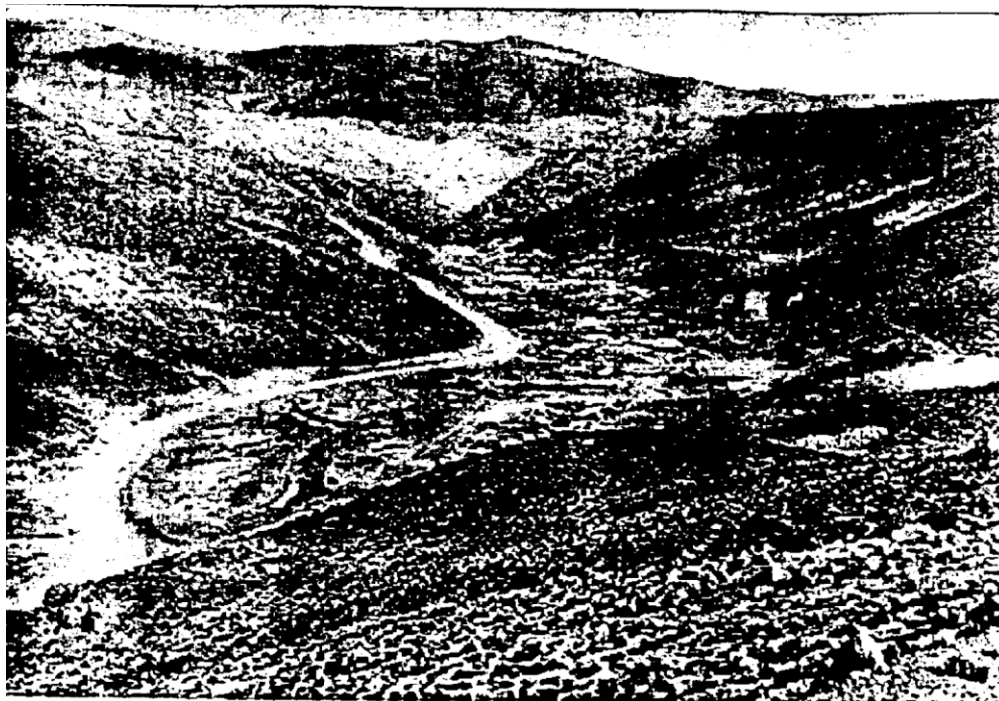
Por acciones de reparación se entenderán aquellas medidas que se adoptan sobre una o varias componentes ambientales para revertir el daño producido en ellas, de modo de recuperar en lo posible su condición original.

Las medidas de compensación tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado. Dichas medidas se expresarán en un Plan de Medidas de Compensación, que incluirá el reemplazo o sustitución de los recursos naturales o elementos del medio ambiente afectados, por otros de similares características, clase, naturaleza y calidad.

En el caso del proyecto de Collahuasi, los impactos evaluados como adversos y significativos corresponden a efectos remanentes de carácter irreversible e irrecuperable, no siendo por tanto posibles aplicar en ellos acciones de reparación según la definición anterior. En consecuencia el modo de hacerse cargo de tales impactos es por la vía de la compensación ambiental (Capítulo 6.4 EIA Estrategia de manejo ambiental).

Esta acción de compensación corresponde en la práctica a una acción que hizo Collahuasi, asociada al impacto generado en el pasado por terceros, ajenos al proyecto. La quebrada de Chiclla estuvo sometida a una intensa perturbación antrópica debido a la existencia del oro en las arenas de su fondo, donde se asentaban los bofedales. El sistema de extracción utilizado, llamado minería “Placer”, implica remover todo el suelo y utilizar el agua para lavarlo en “palanganas”, recuperándolo por un mecanismo que se basa en la mayor densidad del metal. En la actualidad quedan huellas de la utilización de la maquinaria pesada para extraer el suelo. En las fotos 5 y 6, tomadas en julio de 1996, en la quebrada en el sector de los lavaderos de Chiclla (4.300 m.s.n.m.) se pueden apreciar la falta de vegetación, la ausencia de materia orgánica en el suelo, los cauces intervenidos y el fondo que sólo es grava. En algunos lugares se pueden ver restos de vegetación que corresponden a gramíneas que suelen encontrarse en el extremo árido del gradiente de humedad de los bofedales naturales.

Fotografía 5. Quebrada Chiclla. Vista aguas abajo de los lavaderos de Chiclla. Fuente Plan de Manejo Bofedales 1996 – Restauración de un bofedal intervenido en la quebrada de Chiclla, sector Ujina. I región de Tarapacá.



La formación de bofedal es inexistente. La fotografía original muestra el manejo de los cauces de agua y el color gris del fondo que muestra material árido completamente lavado.

Fotografía 6. Quebrada Chiclla. Vista aguas arriba de los lavaderos de Chiclla. Fuente Plan de Manejo Bofedales 1996 – Restauración de un bofedal intervenido en la quebrada de Chiclla, sector Ujina. I región de Tarapacá.



Se observa el fondo completamente removido y algunos sectores con champas de gramíneas (apreciación hace referencia a fotografía original).

- Revisión de bibliografía y experiencias directas sobre manejo de bofedales y su rehabilitación

En Chile no se han efectuado trabajos de manejo con bofedales en forma sistemática. En la localidad de Colchane, en el altiplano de la I región, la comunidad Aymará de Piscigacarpa, con el apoyo de la Secretaria Regional Ministerial de Agricultura, ha desarrollado sistemas de exclusión de camélidos para evaluar el grado de recuperación de bofedal degradado por pastoreo y pisoteo. Si bien esa experiencia ha resultado exitosa, no se han evaluado factores que incrementen la productividad o experiencias para aumentar la superficie productiva (Señor Jorge García Mamani, habitante de la comunidad y partícipe de la experiencia. Comunicación personal). Otros autores como Troncoso (1991), o G. Castellaro del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), han efectuado estudios acerca del manejo pastoril de bofedales, evaluando capacidades de carga, en las áreas de Parinacota y el parque Nacional del Lauca en la I región.

Ruthsatz (1993), comenta el aumento de superficie del bofedal del valle del río Chusiavida, afluente del río Lauca en la provincia de Arica XV región, mediante la construcción de canales de irrigación, para disponer de mayor alimento para pastoreo.

En general la experiencia en Chile respecto al manejo de bofedales para cualquier fin es escasa (José Luis Galaz, encargado proyecto Vicuña, Corporación Nacional Forestal de la I región (XV). Comunicación personal), sin embargo personal de la Corporación Nacional Forestal de la I región (XV) ha efectuado visitas a la reserva Ulla Ulla en Bolivia, donde se han efectuado exitosas experiencias de creación y recuperación de bofedales (Gema Rudolph, Encargada de patrimonio forestal. Corporación Nacional Forestal I Región (XV). Comunicación personal).

El trasplante de bofedales es una actividad que ha tenido experiencias en Chile a través de los compromisos que se han generado en la industria de la minería, sin embargo los resultados de dichas experiencias no han tenido éxitos documentados que se hayan difundido a nivel científico.

Las experiencias en bofedales se enfocan en su gran mayoría a planes de manejo sobre bofedales existentes o a la recuperación de bofedales en su sitio original. En Chile, por ejemplo, existe el proyecto Más agua para la “Recuperación de Bofedales mediante Técnicas Ancestrales”, cuyas experiencias, de acuerdo a su programa, se refiere a la intervención en 150,5 hectáreas de bofedales mediante prácticas ancestrales de los Pueblos Andinos de manejo de bofedales el que contempla y usa técnicas de champeo, canalización, construcción de pequeños diques entre otros, de modo de poder optimizar el uso del agua, preservar sus fuentes, cumpliendo de esta forma con mantener adecuadamente irrigado el bofedal. Todo esto tiene el propósito de que el ganado de llamas, alpacas y la vida silvestre en general, cuenten con una buena fuente de alimentos y hábitat natural.

Estas mismas técnicas se han considerado para el trasplante a gran escala de bofedales y de considerable superficie, como es el caso de CMDIC. El gran mérito o resultado de esta experiencia, radica en que se logra establecer este ecosistema, en un sitio con características de degradación considerables por la actividad minera antigua y manual, que hoy sustenta no solo a esta vegetación sino que también a fauna que habita el sector.

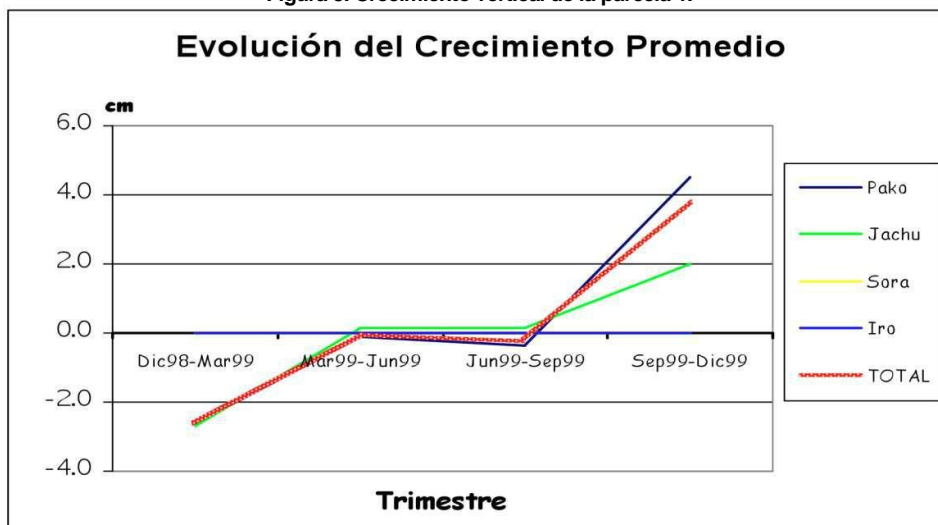
Es tal este éxito, desde el punto de vista de la experiencia, que este trabajo ha sido citado para el plan de manejo de bofedales en el proyecto multipropósito de riego y agua potable para los municipios de Batallas, Pucarani y el Alto en Bolivia, en relación a los capítulos de mitigación como restauración, de modo que la ejecución de las obras consideren este tipo de técnicas.

- Plan piloto trasplante bofedales (1998 – 1999)

Previo al trasplante masivo de los bofedales se realizó un plan piloto a fines del año 2000, con el fin de obtener una pequeña percepción del futuro trasplante masivo y así estudiar medidas de mejoramiento.

La vegetación dentro de las parcelas mostró buen crecimiento vegetativo, registrándose fusión entre las champas de *Oxychloe andina* (Pako) y *Distychia muscoides* (Jachu). Los resultados cuantitativos monitoreados para cada una de las parcelas se mostraron en forma de gráficos, tanto para coberturas por especie como para crecimiento vertical (figura 4).

Figura 5. Crecimiento vertical de la parcela 1.



Después de tres semanas de plantación comenzó el enraizamiento (Fotografía 7).

Fotografía 7. Enraizamiento cojin.



La vegetación dentro de las parcelas mostró estar en buen estado de crecimiento vegetativo registrándose fusión entre las champas de *Oxychloe andina* (Pako) y *Distychia muscoides* (Jachu) y enraizamiento (Fotografía 8).

Fotografía 8. Fusión de ejemplares.



En general se registró una cobertura constante para las diferentes especies hasta septiembre, con algunos casos de regresión, la que aumentó en forma notoria en el último trimestre. Esto se puede explicar por las condiciones climáticas del área, bajas temperaturas y escasas horas luz, que llevan a este tipo de plantas a detener prácticamente su crecimiento vegetativo durante la temporada invernal.

Los primeros resultados obtenidos a comienzos del programa de compensación por los planes de acción, mostraron que el Plan Piloto resultó un éxito en cuanto a establecimiento y crecimiento de las champas, lo que significó que las medidas adoptadas por el plan piloto, se llevaron a cabo en el trasplante masivo.

B. Segunda etapa (Implementación del programa)

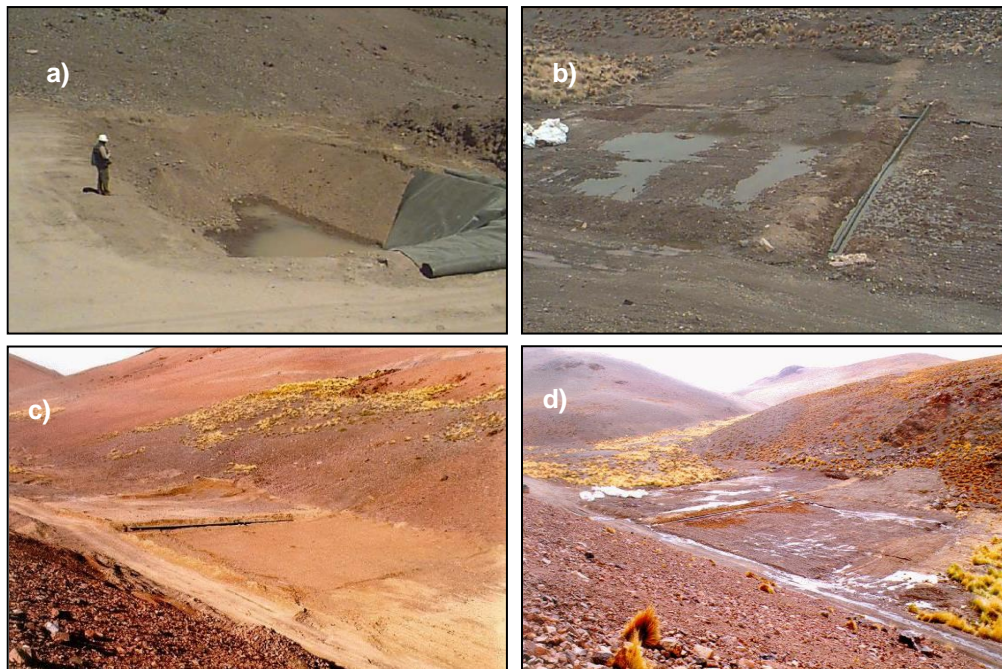
- Embalses subterráneos

Como se señala en la descripción de los bofedales, para el desarrollo de éstos, se infirió que es indispensable mantener un nivel de agua de riego importante en la zona de manejo, es por esto que se realizan trabajos para asegurar que el nivel de agua se mantenga de tal forma sustentar el trasplante que se efectuará en Quebrada Chiclla.

Los embalses que se realizan en esta área cumplen la función de retener y aflorar agua en el sector, dichos embalses (Fotografía 9) están revestidos de HDPE con el fin de optimizar el manejo de agua (año 1997 – 2000).

Luego de la construcción de los embalses, no se logra el afloramiento del agua, quedando alrededor de 10 cm bajo la superficie.

Fotografía 9. a), b), c) y d); Embalse Cruce la Quebrada y Embalse Pirquineros.



- Trasplante masivo en quebrada Chiclla (2000 – 2002)

Este período comprendió entre noviembre del 2000 y fines de marzo del 2001. Durante este tiempo se planificó trasplantar todo el material necesario para cumplir lo comprometido y alcanzar las metas establecidas en el EIA Ktpd 60/1995. Debido a condiciones climáticas, se produjeron retrasos y pérdidas que incidieron en los objetivos planteados para el verano del 2001. Esto llevó a reprogramar las reparaciones y trabajos faltantes para el período 2001- 2002.

La actividad de trasplante fue programada después de finalizado el invierno una vez que las plantas estuviesen saliendo del período de dormancia. El trasplante masivo consistió en llevar a gran escala

esta actividad manejando el riego en 2,1 hectáreas. Las medidas adoptadas para el buen desarrollo del trasplante masivo fueron las siguientes:

- Se aprovecharon los afloramientos como fuentes casi permanentes de riego para las plataformas que se construyeron bajo ellos.
- Se respetaron las lagunas de mayor tamaño para conservar especies propias de estos hábitats acuáticos tales como patos y anfibios.
- Se probaron tecnologías de corte y transporte utilizadas en el plan piloto.
- Se acondicionaron plataformas y se nivelaron terrazas con maquinaria pesada.
- Se construyeron canales para aguas de regadío según técnica Aymará.

La estrategia estuvo basada en trasplantar la cubierta superior verde del bofedal, cortando con moto sierras pequeños bloques de aproximadamente 40 cm x 25 cm por 10 cm de espesor, que según los ensayos pilotos mostraron buenos resultados por contener las raíces. Una vez cortados los bloques, fueron transportados en carretillas a tolvas de gran capacidad para ser trasladados a la quebrada de Chiclla.

En la quebrada de Chiclla se preparó el terreno nivelándolo con maquinaria pesada y se procedió con una nivelación fina, a mano, con no más del 2% de pendiente donde se retiraron las piedras de mayor tamaño. Se realizaron con retroexcavadora canalizaciones para las aguas lluvias y se realizaron a mano pequeños canales de riego. Posteriormente se preparó la superficie con materia orgánica (turba del mismo bofedal de Capella) y se procedió a humectar el terreno, dejándolo así en condiciones para recibir los bloques o campos.

La contratación de mano de obra estuvo enfocada a lugareños de áreas pre altiplánicas de la I Región con experiencia en agricultura, fundamentalmente de Pica, Huatacondo y Azapa, entre otros.

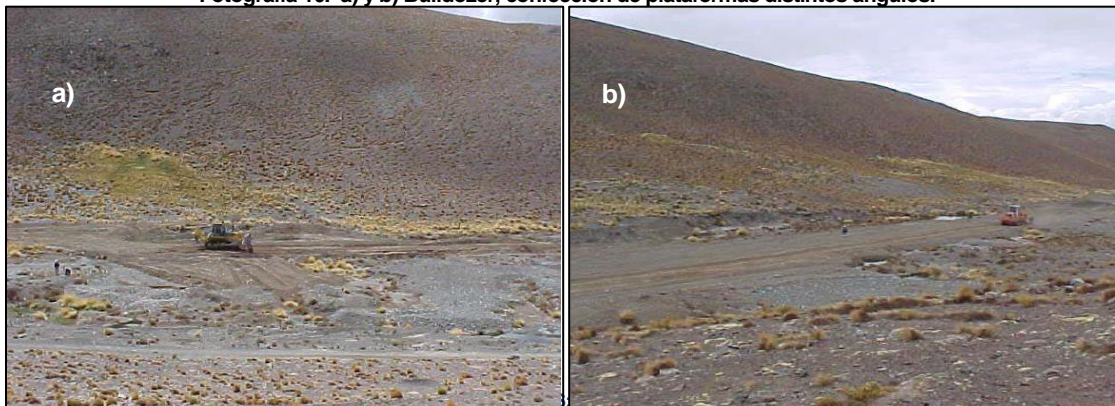
- Preparación del terreno

El desarrollo del programa de compensación considera los trabajos realizados en el sector de Capella y Quebrada Chiclla, contemplando la nivelación (restablecimiento de la topografía y restablecimiento del cauce de agua.). Considerando los resultados obtenidos y las numerosas fuentes de agua de la quebrada, se optó por aprovechar estas últimas, para crear aguas abajo de éstas, terrazas en las cuales aplicar las técnicas de manejo de riego.

También se consideró que estos afloramientos, son permanentes todo el año, aunque muestran variaciones del caudal dependiendo de las precipitaciones. La localización de cada plataforma y su dimensión dependen de la topografía y del caudal de las fuentes de aguas cercanas.

Dicha construcción se efectuó durante el mes de diciembre de 1999 con maquinaria pesada (Fotografía 10). Como primer paso se creó cada plataforma con bulldozer, para mejorar el abrupto relieve, generando una superficie útil de más de 20.000 m² para trasplantar bofedal desde Capella. Como criterio de construcción se respetaron las pequeñas pozas de agua que sirven tanto de bebedero a los animales, como de hábitats a algunos patos jergón chicos y anfibios.

Fotografía 10. a) y b) Bulldozer, confección de plataformas distintos ángulos.



Como se muestra en la fotografía 11, una segunda etapa fue mejorar las pendientes y perfiles de las plataformas con una motoniveladora, para asegurar el correcto escurrimiento del agua en los canales de riego.

Dentro de los cuidados que se generó para nivelación fue el respetar otros microhábitats como, lagunas o pozones, roqueríos cercanos, permite incrementar la biodiversidad, con especies tales como, patos, anfibios y roedores.

Fotografía 11. Motoniveladora mejorando la superficie de las terrazas.



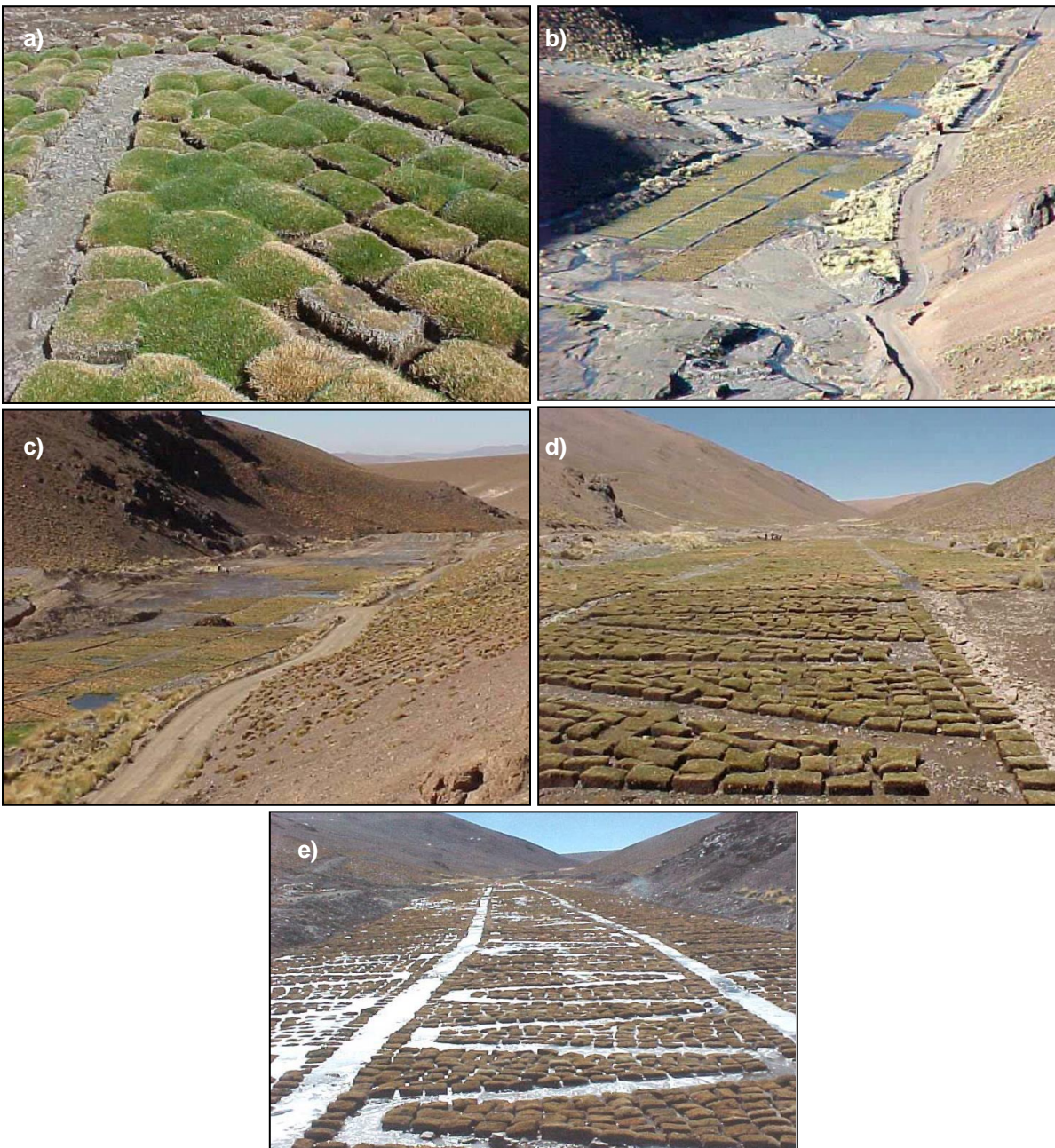
Ya con la preparación del terreno finalizada, se procede a la ejecución del trasplante masivo. En fotografía 12 se muestra el corte (a) y trasplante (b).

Fotografía 12. a) Izquierda corte de cojines (Capella) y b) trasplante (Chiclla).



En fotografía 13 se muestra el resultado final del traslado y trasplante de bofedal desde Capella hasta quebrada de Chiclla. En las imágenes es posible observar los canales de riego y disposición final de plantas.

Fotografía 13. Imágenes de disposición final de planas y canales de riego bofedal Chiclla. a) Cojines y canales; b) vista aérea sector trasplantado; c) Vista a nivel de área trasplantada; c) Cojines y canales; d) Cojines y canales en operación de riego.



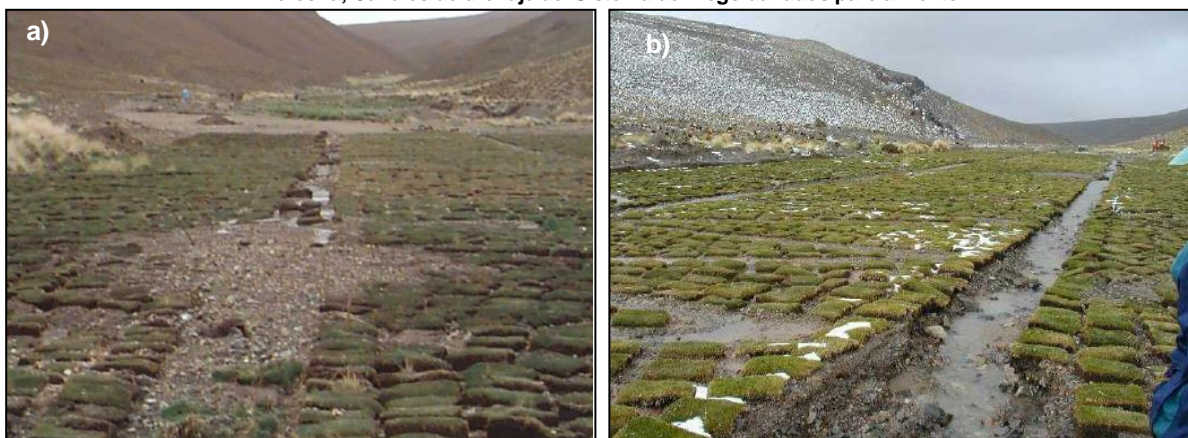
- Avances logrados y pérdidas

Desde Diciembre del 2000 a fines de Marzo del 2001 se plantó una superficie aproximada de 8.500 m² parte de la cual fue dañada por temporales de lluvias en forma irrecuperable. También se produjeron retrasos por daños recuperables.

Parte del follaje del bofedal trasplantado fue cubierto con sedimentos arrastrados debido al desborde de los canales de aguas lluvias y canales de drenaje (Fotografía 14a). Fue necesaria la limpieza de las champas para asegurar el proceso fotosintético, y para reconstruir el relleno de material fino entre las champas.

También se registran daños en los canales de drenaje de los Sistemas de Riego. Estos son los canales lineales de 1 metro de ancho entre cada sistema de riego, para drenar exceso de aguas lluvias dentro de las plantaciones. La capacidad de evacuación de estos fue sobrepasada, lo que significó su destrucción parcial en varios tramos (Fotografía 14b).

Fotografía 14. a) Izquierda; Follaje del bofedal cubierto con sedimentos y canales de drenaje completamente tapados. b) Derecha; Canales de drenaje del Sistema de Riego dañados parcialmente.



- Mejoras

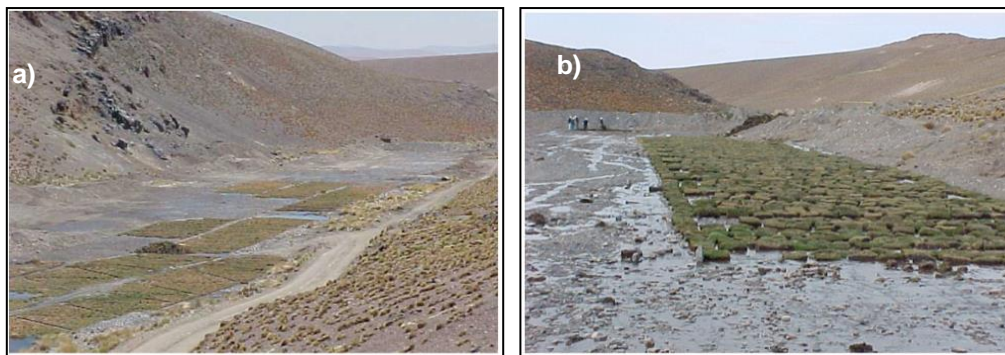
Durante noviembre del 2001 hasta febrero del 2002, se comenzó por reparar los daños de la temporada anterior. Esto implicó reconstruir canales de aguas lluvias, canales de drenaje, rellenos entre champas, reparación de caminos, nivelación fina, reparar sistemas de riego y reconstruir y hacer nuevas terrazas, con maquinaria pesada, en el sector más bajo del proyecto debido a las pérdidas causadas por las lluvias.

Las medidas efectuadas de reparación para generar un avance en el programa de compensación fueron los siguientes:

- Se repararon y confeccionaron terrazas nuevas con maquinaria pesada preparando una superficie útil de 8.000 m² adicionales en perfectas condiciones para trasplante (Fotografías 15a y 15b).
- Se realizó nivelación fina de las terrazas en forma manual, logrando una superficie útil de 1.544 m².
- Se realizó el levantamiento del área trasplantada, alcanzando los 12.000 m².

- También se ha registrado en varias ocasiones vicuñas, vizcachas y micromamíferos (Lauchita andina) que se alimentan del bofedal en crecimiento, aunque no se ha contabilizado un aumento poblacional de los mismos.

Fotografía 15. a) Izquierda; Se puede apreciar la nueva terraza construida aguas abajo del proyecto y alledaña al camino a Calama y separada de este por la berma de protección. b) Derecha; Terraza nueva construida esta temporada en la parte más baja del proyecto, con champas recién transplantadas.



Un avance considerable dentro de los primeros años de la aplicación del trasplante fue que la prueba y evaluación del programa de compensación estuvieron probadas como satisfactorias ya que pasaron las dos temporadas críticas que es la temporada de heladas y congelamiento (Abril-Septiembre) y la temporada más seca y mínimo caudal en la quebrada (Octubre-Diciembre), por lo que indica un resultado exitoso del proyecto trasplante masivo de bofedal quebrada Chiclla (2,1 ha), plantación terminada el 30 de Marzo de 2002.

Para asegurar el éxito del trasplante, el riego o abastecimiento de agua, en forma constante a las champas del bofedal era fundamental para asegurar el asentamiento de los cojines. Cabe destacar que los dos embalses subterráneos construidos y cuyo objeto era permitir el afloramiento natural de agua y una disponibilidad sostenida en el tiempo del recurso hídrico para el riego, fracasaron.

A través del monitoreo realizado hasta el año 2009 desde el inicio del proyecto, se ha detectado que los caudales medidos en el sector fueron variando, sin embargo los caudales en rigor no sufren una baja significativa. En Tabla 2 se presenta los caudales medidos durante el proyecto en Quebrada Chiclla hasta el año 2009.

Tabla 2. Diseño de muestreo: descripción de los transectos de muestreo en el bofedal artificial Chiclla

Año	Caudal (l/s)
1998	0,11
1999	S/I
2000	S/I
2001	0,45
2002	0,29
2003	0,22
2004	0,29
2005	0,27
2006	2,69
2007	0,24
2008	0,53
2009	0,21

Promedio

0,53

C. Tercera etapa (monitoreo de evaluación del programa)

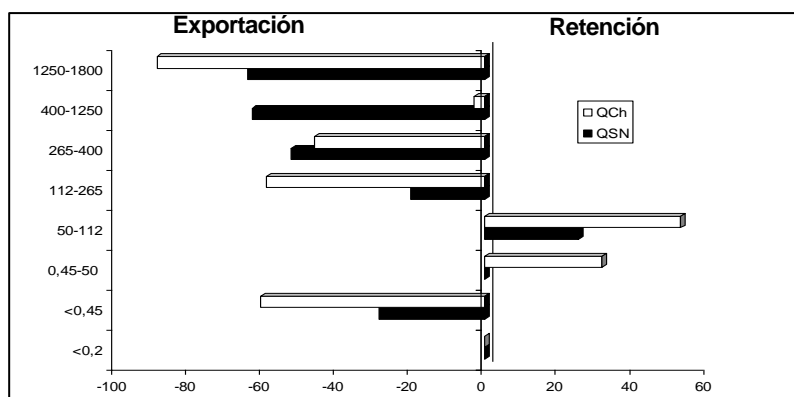
• Parámetros

- Transporte de nutrientes y metales pesados: Tasa de retención y exportación de fósforo, nitrógeno orgánico y metales pesados

- Nitrógeno orgánico

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 μm . Entre las fracciones disueltas ambas áreas exportaron la fracción de nitrógeno menor a 0,45 μm y mayor a 0,2 μm (Figura 5). Sin embargo, cabe señalar que las diferencias funcionales surgieron en la fracción entre 400 y 1200 μm , debido a la quebrada natural San Nicolás exportó significativamente más nitrógeno particulado que el bofedal artificial (Figura 5). Por otra parte, el bofedal artificial presentó retención de la fracción 0,45-50 μm , la cual estuvo ausente en la quebrada San Nicolás.

Figura 6. 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.

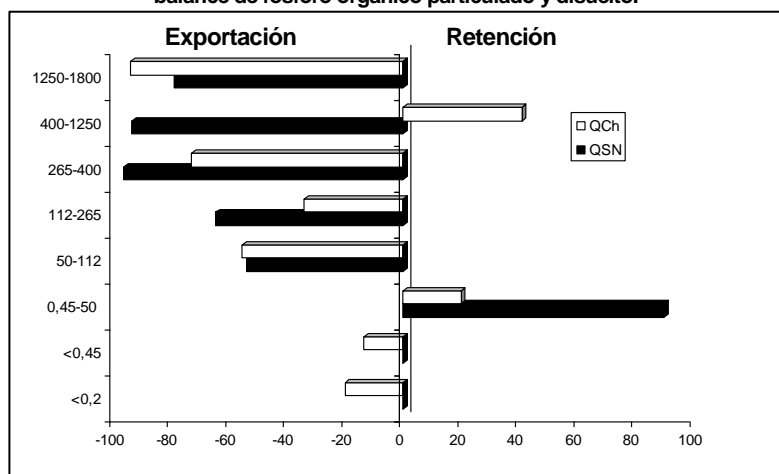


- Fósforo orgánico

Hubo alta similaridad 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 μm (Figura 6).

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 6). Una diferencia significativa entre ambos sistemas surge debido a la mayor tasa de retención de la fracción particulada de fósforo entre 0,45 y 50 μm de la quebrada San Nicolás.

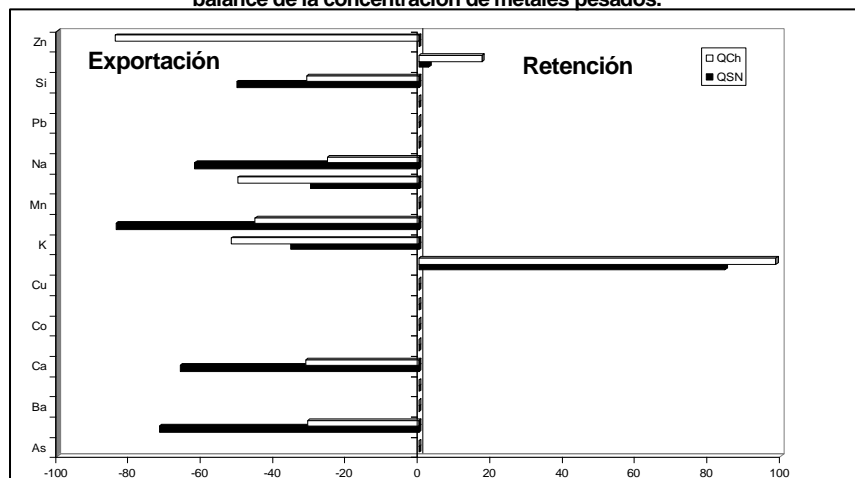
Figura 7. Diagrama comparativo de la función de la quebrada San Nicolás (QSN) y el bofedal artificial (QCh) sobre el balance de fósforo orgánico particulado y disuelto.



○ Metales disueltos

Hubo alta similitud en el comportamiento de la quebrada natural San Nicolas (QSN) y el bofedal artificial (QCh) sobre la disponibilidad de metales disueltos (Figura 7). Ambos sistemas presentaron un rol predominante de exportación de la mayoría de los metales analizados.

Figura 8. 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.



- Fauna de macroinvertebrados bentónicos

○ Estructura interna del Bofedal artificial de Chiclla

a) Diversidad general del área: Fueron reconocidos en el área de estudio un total de 7 grupos taxonómicos, conformados por los grupos Plathyelminthes (1 taxa: 14,2%), Annelida (2 taxa: 28,5%), Crustacea (1 taxa: 14,2%), Acari (1 taxa: 14,2%) y Diptera (2 taxa: 28,5%).

b) Riqueza taxonómica: Dentro de la quebrada Chiclla 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 (Tabla 2 y Figura 8a).

c) Abundancia total: La abundancia total promedio en el sector evaluado del bofedal artificial fue de 16.162 ind/m², con los valores máximos y mínimos registrados en los transectos T1 y T3 en las sitios BA-4 con 0 ind/m² y la estación BA-1 con 50.758 ind/m² (Tabla 3 y Figura 8b).

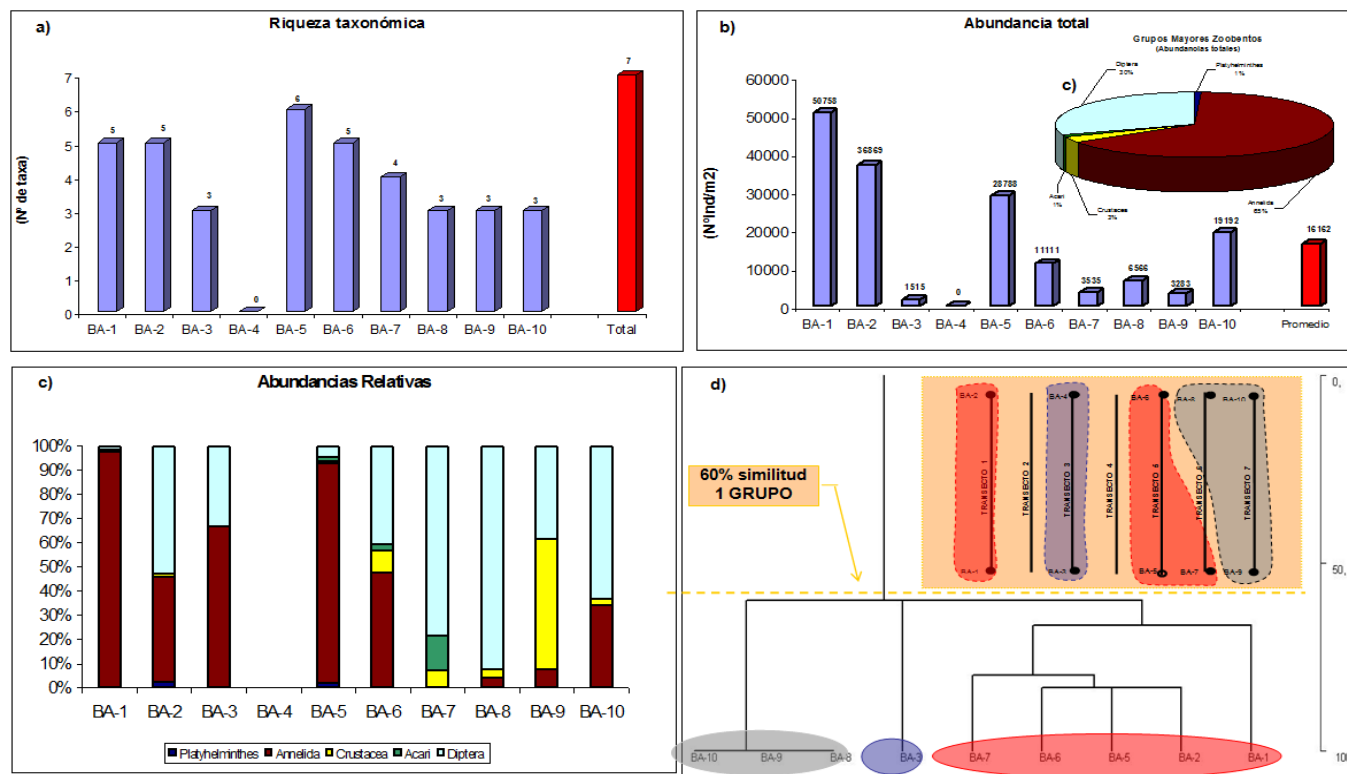
d) Abundancias relativas: Los grupos más importantes en el bofedal artificial según el número de individuos fueron los anélidos con un 65% de representatividad, dípteros con un 30%, mientras los otros grupos presentaron menos de un 3% (Figura 8c). Los taxa *Tubifex* sp. y Chironomidae fueron los que aportaron con el mayor número de individuos, contribuyendo el 94% del total colectado. Al observar el bofedal artificial internamente, los 10 sitios evaluados nos muestran que puede dividirse en dos sectores, un sector compuesto por los transectos T1, T3 (excepto BA-4) y T4 en donde las sitios BA-1, BA-2, BA-3, BA-5 y BA-6 dominaron el grupo de los anélidos, y un segundo sector formado por los transectos T6 y T7 donde las sitios BA-7, BA-8, BA-9 y BA-10 estuvieron dominados por el grupo de los dípteros. Se destaca la importancia adquirida del grupo de los crustáceos en los sitios BA-6, BA-7, BA-8, BA9 y BA-10.

e) Clasificación de las sitios: El análisis de clasificación de las sitios de muestreo (Jaccard: Bray-Curtis) según la composición taxonómica del zoobentos mostró que el bofedal artificial en quebrada Chiclla forma 1 sólo grupo con un 60% de similitud (excepto la estación BA-4 del transecto T3 ya que no presentó taxa). Un análisis más fino de la información (Figura 8d), nos muestra la formación de 3 subgrupos formados por las sitios BA-1, BA-2, BA-5, BA-6, BA-7 (transectos T1, T3, T5, T6) que presentaron una similitud de un 67%, un segundo grupo formado por las sitios BA-8, BA-9 y BA-10 (transectos T6 y T7) que presentaron un 99% de similitud y la estación BA-3 del transecto T3 que se diferenció del resto aunque compartió un 60% de similitud.

Tabla 3. Abundancia total (ind/m²) de la fauna de macrozoobentos presente en el bofedal artificial (BA), quebrada Chiclla. Mayo 2005.

Taxa/Sitios	T1		T3		T5		T6		T7	
	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7	BA-8	BA-9	BA-10
PLATHELMINTHES										
<i>Dugesia</i> sp.	-	758	-	-	505	-	-	-	-	-
ANNELIDA										
Hirudinea	758	-	253	-	-	-	-	-	-	-
<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
ACARI	253	-	-	-	505	253	505	-	-	-
DIPTERA										
Chironomidae	758	19192	505	-	758	4293	2525	6061	1263	12121
Empididae	-	253	-	-	505	253	253	-	-	-
Riqueza taxonómica	5	5	3	0	6	5	4	3	3	3
Abundancia total (ind/m²)	50.758	36.869	1.515	0	28.788	11.111	3.535	6.566	3.283	19.192

Figura 9. Parámetros comunitarios evaluados en el bofedal artificial quebrada Chiclla a) Riqueza taxonómica, b) Abundancia total, c) Abundancia relativa, d) Clasificación de las sitios de muestreo según su composición taxonómica.



○ Comparación del bofedal artificial Chiclla con quebradas naturales

a) Diversidad general del área: Entre las quebradas evaluadas, tanto las naturales San Nicolás (QSN), San Daniel (QSD), Tres Tetras (Q3T), como el bofedal artificial quebrada Chiclla (BA), fueron reconocidos un total de 14 taxa, donde el grupo de los insectos acuáticos fue el más importante, representados por un 50% (7 taxa). Siguió en importancia el grupo de los anélidos con un 21,4% (3 taxa) y los grupos de nemátodos, platelmintos, crustáceos y ácaros con un representante cada uno (7,1%) (Tabla 3).

b) Riqueza taxonómica: La riqueza taxonómica total registrada entre las quebradas naturales y bofedal artificial fue de 14 taxa, encontrándose el 100% de los taxa identificados en las quebradas QSN, QSD, Q3T, mientras que 7 taxa (50%) se identificaron en el bofedal artificial. Los valores máximos y mínimos registrados en la quebradas naturales fueron de 9 taxa en la quebrada San Nicolás (QSN-1) y de 1 taxa en la quebrada San Daniel (QSD-1). Al comparar estos resultados con el bofedal artificial tenemos que éste se encuentra dentro de los valores máximos y mínimos, ya que presentó un valor total de 7 taxa, con máximos y mínimos de 6 taxa (BA-5) y 0 taxa (BA-4) (Tabla 3 y Figura 9a).

c) Abundancia total: La abundancia total reconocida entre las quebradas naturales fue de 32.118 ind/m², con sus valores máximos y mínimos registrados en las sitios Q3T-2 con 194.903 ind/m² y la estación QSD-2 con 1.490 ind/m² (Tabla 3). Los valores obtenidos en el bofedal artificial nos indican que el valor promedio obtenido de 16.162 ind/m² se encuentra dentro de los valores máximos y mínimos registrados en las quebradas naturales (Tabla 4 y Figura 9b).

d) Abundancia relativa: Los grupos más importantes en cada una de las quebradas naturales fueron dípteros, anélidos, crustáceos y nematodos (Figura 9c).

El grupo de los dípteros dominó en la mayoría de las quebradas naturales, representados entre un 10,4% (QSN-3) y un 100% (QSD-1), el grupo de los anélidos estuvo representado por porcentajes entre 1,0% (QSN-2) y 61,7% (QSN-3), los crustáceos entre un 1,6% (QSN-2) y un 20,8% (QSD-2), y el grupo de los nematodos por un 0,5% (QSN-3) y un 31,0% (Q3T).

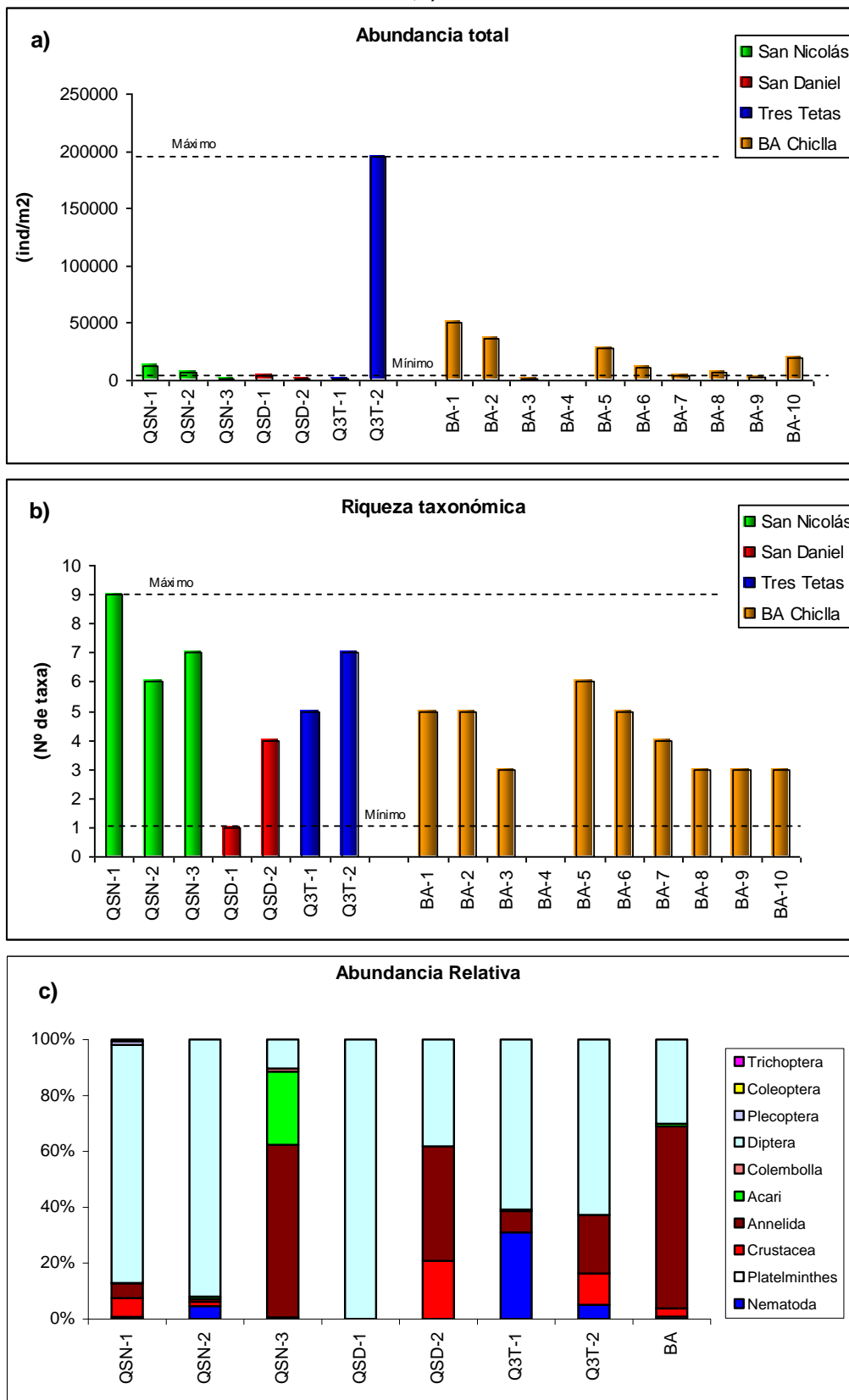
El grupo de los anélidos, crustáceos y nematodos presentaron porcentaje 0% en algunas quebradas naturales. Al comparar estos resultados con los obtenidos en el bofedal artificial quebrada Chiclla, observamos que los grupos mayores del zoobentos mejor representados son los mismos que en las quebradas naturales, donde los anélidos representaron el 65,2% del total colectado, los dípteros el 30,2% y el grupo de los crustáceos el 3,0%.

El grupo de los nematodos no fue reconocido en el bofedal artificial quebrada Chiclla para el muestreo de mayo de 2005. Como se observa en la Figura 20c, la composición de los grupos mayores del macrozoobentos entre las quebradas naturales y bofedal artificial fue similar. El taxa de mayor distribución y registrado en todas las quebradas fue el díptero Chironomidae indet.

Tabla 4. Abundancia total (ind/m2) de la fauna del macrozoobentos presentes en las quebradas naturales San Nicolás (QSN), San Daniel (QSD), Tres Tetras (Q3T), y bofedal Artificial (BA), quebrada Chiclla.

Taxa/Sitios	QSN-1	QSN-2	QSN-3	QSD-1	QSD-2	Q3T-1	Q3T-2	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7	BA-8	BA-9	BA-10	BA
Nematoda indet.		350	10			570	9804											
<i>Dugesia</i> sp.	100								758			505						126,3
<i>Hyalella</i> sp.	880	120			310		21961	253	505			253	1010	253	253	1768	505	479,8
<i>Lumbriculus</i> sp.							1176											
<i>Tubifex</i> sp.	700	60	1070		600	140	39216	48737	16162	758		26263	5303		253	253	6566	10429,3
Hirudinea indet.		20	60		10		392	758		253								101,0
Acari indet.	10	60	480			10		253				505	253	505				151,5
Colembolla indet.			20															
Chironomidae indet.	11200	7060	60	3922	570	1110	121570	758	19192	505		758	4293	2525	6061	1263	12121	4747,5
Empididae indet.			130			10	784		253			505	253	253				126,3
Tabanidae indet.	20																	
Limnoperla sp.	170																	
Elmidae indet.	10																	
<i>Metrichia</i> sp.	80																	
Abundancia Total	13170,0	7670,0	1830,0	3921,6	1490,0	1840,0	194903,5	50757,6	36868,7	1515,2	0,0	28787,9	11111,1	3535,4	6565,7	3282,8	19191,9	16161,6
Riqueza total	9	6	7	1	4	5	7	5	5	3	0	6	5	4	3	3	3	7

Figura 10. Parámetros evaluados en las quebradas naturales y bofedal artificial quebrada Chiclla. a) Riqueza taxonómica, b) Abundancia total, c) Abundancia relativa.

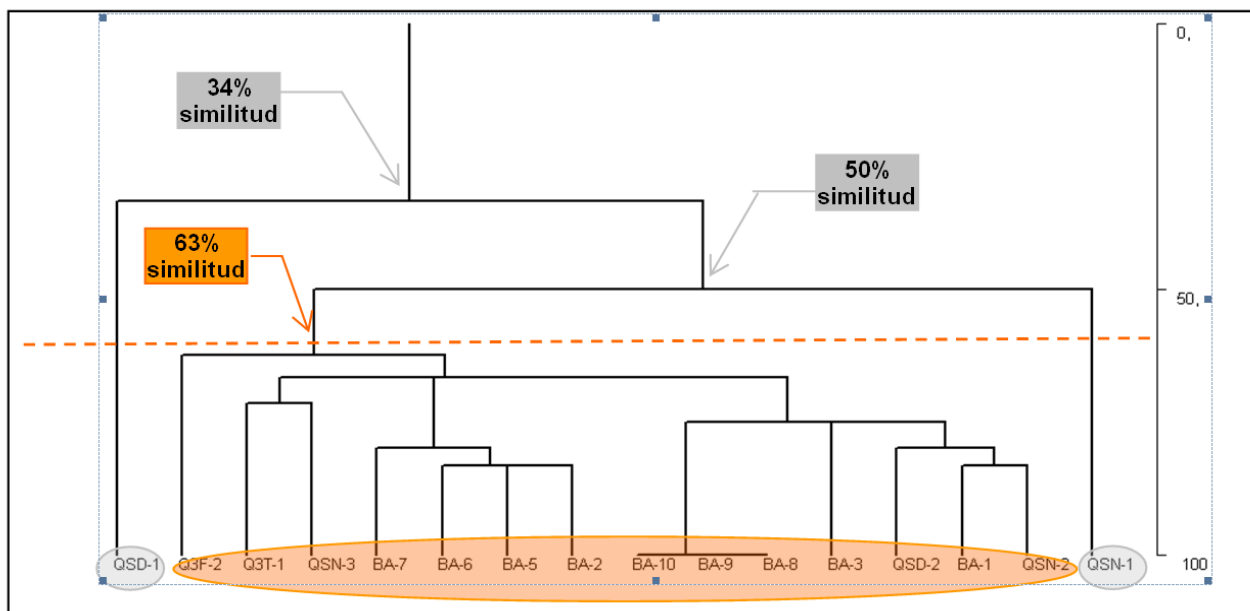


e) Clasificación de los sitios: El análisis de clasificación de las sitios de quebradas naturales y bofedal artificial (Jaccard: Bray-Curtis) según su composición taxonómica mostró que existió una alta similitud, en un 63%, de la mayoría de los sectores muestreados en las distintas quebradas naturales con la quebrada Chiclla, bofedal artificial (Q3T-2, Q3T-3, QSN-2, QSN-3, QSD-2).

Los sectores de las quebradas naturales QSD-1 y QSN-1 fueron las únicas que presentaron una menor similitud con el bofedal artificial en un 34% y un 50% respectivamente (Figura 10). Esto se debe principalmente, en el caso de la quebrada San Nicolás (QSN-1) por presentar taxa exclusivas (entre los lugares muestreados) como Tabanidae (Diptera), Limnoperla sp. (Plecoptera), Elmidae (Coleoptera), Metrichia sp. (Trichoptera). Inversamente, la quebrada San Daniel (QSD-1) presentó la menor similitud, por presentar esta quebrada sólo 1 taxa (Chironomidae indet.).

Un análisis aún más fino, nos muestra que los sitios ubicados en el bofedal artificial presentaron una mayor similitud, en aproximadamente un 70% con los sitios ubicadas en las quebradas QDS-2 y QSN-2.

Figura 11. Clasificación de las sitios según su composición taxonómica (Jaccard: Bray-Curtis) presentes en las quebradas naturales San Nicolás (QSN), San Daniel (QSD), Tres Tetas (Q3T) y bofedal Artificial (BA), quebrada Chiclla.



- Flora de microalgas bentónicas

o Estructura interna del Bofedal artificial de Chiclla

a) Riqueza taxonómica: La riqueza taxonómica total registrada en el bofedal artificial fue 26 taxa (Tabla 4). Los taxa menos frecuentes fueron *Achnanthes hungarita*, *Amphora acutiuscula*, *Amphora lineolata*, *Surirella sella*, *Navicula cincta*, *Navicula criptonella*, *Navicula paramutica* y *Navicula salinicola*, las cuales fueron detectadas en una de los 10 sitios de muestreo del bofedal artificial (Tabla 4). Los taxa más frecuentes entre los sitios de muestreo fueron *Fragilaria brevistriata* y *Nitzschia* spp., encontradas en 8 de los 10 sitios.

b) Abundancia total: La abundancia total promedio registrada en el bofedal artificial fue 2.393 cel/mm² (Tabla 4). 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*.

c) Diversidad biológica: 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 (Tabla 5).

Tabla 5. Abundancia por especie y total de microalgas bentónicas (cel/mm²) en el bofedal artificial. Mayo de 2005.

Taxa	BA1	BA2	BA3	BA4	BA5	BA6	BA7	BA8	BA9	BA10
<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>Achnantheidium minutissimum</i>		73,0				364,9				
<i>Amphora acutiuscula</i>										8757,8
<i>Amphora lineolata v calamae</i>				11677,0						
<i>Caloneis sp</i>						364,9		73,0		
<i>Encyonema 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	5108,7	8757,8
<i>Fragilaria capucina v gracilis</i>	218,9	36,5			60,8				1459,6	
<i>Fragilaria capucina v vaucheriae</i>		510,9				5838,5		36,5	11677,0	52546,6
<i>Fragilaria pinnata</i>	218,9			23354,0	12,2		437,9			
<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 spp</i>						364,9				4378,9
<i>Nitzschia linearis</i>			4378,9			364,9			2919,3	13136,7
<i>Nitzschia palea</i>								218,9	729,8	
<i>Nitzschia spp</i>		255,4	4378,9	11677,0		364,9	437,9	255,4	5108,7	4378,9
<i>Pinnularia microstauron</i>						1094,7			2189,4	
<i>Planothidium delicatulum</i>		146,0				729,8		73,0	1459,6	
<i>Planothidium lanceolatum</i>		36,5		11677,0		729,8			729,8	4378,9
<i>Surirella angusta</i>			4378,9			1824,5		109,5	2189,4	8757,8
<i>Surirella sella</i>										4378,9
<i>Synedra ulna</i>		182,5	8757,8							
Otras diatomeas		109,5	17515,5				437,9	182,5	2189,4	35031,1
Riqueza Taxa	4	10	7	4	2	13	6	12	12	13
Abundancia Total	6349	1533	56925	58385	73	17151	4598	1241	37221	192671
I. Divers. Sh-W	0,64	2,84	2,62	1,92	0,65	2,97	2,20	3,28	3,09	3,22
I. Evenness	0,32	0,85	0,93	0,96	0,65	0,80	0,85	0,91	0,86	0,87

○ Comparación del bofedal artificial Chiclla con quebradas naturales

a) Riqueza taxonómica: La riqueza taxonómica total registrada en el área de estudio fue 30 taxa. La quebrada con mayor número de taxa fue la quebrada Tres Tetras, la cual en promedio presentó 13 taxa. Por el contrario, la quebrada con menor número de taxa fue la quebrada San Daniel, la cual en promedio presentó 2 taxa (Tabla 5). El análisis comparativo de las quebradas naturales del estudio con el bofedal artificial muestra valores coincidentes de riqueza taxonómica (8 taxa) (Tabla 5 y Figura 11a).

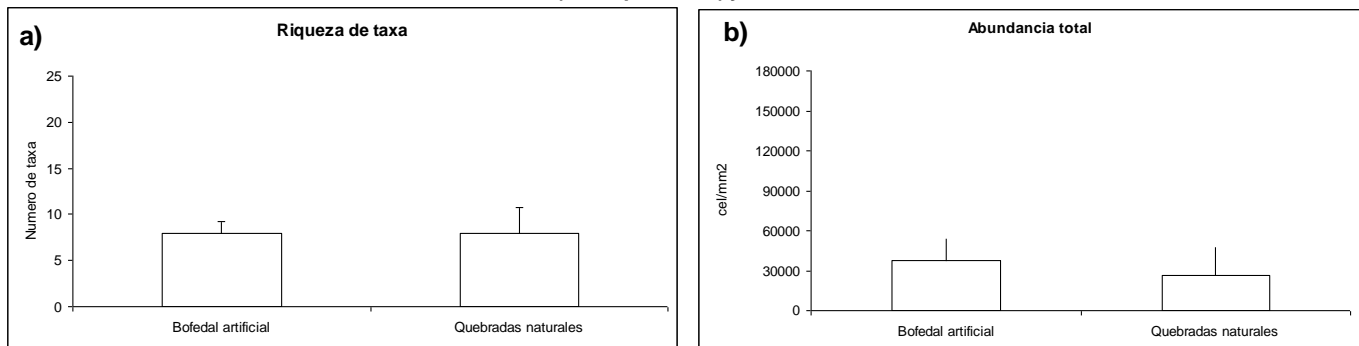
b) Abundancia total: La abundancia total promedio detectada entre las quebradas naturales fue 26.473 cel/mm², el cual en promedio varió entre 4.620 cel/mm² en la quebrada San Nicolas y 91.245 cel/mm² en la quebrada San Daniel (Tabla 6). El análisis comparativo de las quebradas naturales del estudio con el bofedal artificial muestra valores no significativamente diferentes entre ambas áreas (Kruskal-Wallis, U = 52,0; P = 0,508) (Tabla 5 y Figura 11b).

c) Diversidad: La diversidad promedio detectada entre las quebradas naturales fue 1,6 bits, el cual varió entre 0,8 bits en la quebrada San Daniel y 2,6 bits en la quebrada Tres Tetras (Tabla 5). El análisis comparativo de las quebradas naturales del estudio con el bofedal artificial muestra valores no significativamente diferentes entre ambas áreas (Kruskal-Wallis, U = 54,0; P = 0,213) (Tabla 5).

Tabla 6. Abundancia por especie y total de microalgas bentónicas (cel/mm²) en las quebradas naturales San Nicolás, San Daniel Fantasía y Tres Tetos. Mayo de 2005.

Taxa	Estaciones de Muestreo							
	QSN-1	QSN-2	QSN-3	QSD-1	QSD-2	QF-1	Q3T-1	Q3T-2
<i>Achnanthes exigua</i>							65,7	
<i>Achnanthes modestiformis</i>						73,0	131,4	
<i>Achnanthes submarina</i>							21,9	
<i>Achnanthidium minutissimum</i>		229,9	14,6			146,0	87,6	
<i>Amphora acutiuscula</i>						73,0		
<i>Amphora sp</i>			14,6				21,9	
<i>Cyclotella ocellata</i>			175,2					
<i>Cymbella naviculiformis</i>		153,3	14,6					
<i>Epithemia adnata</i>			146,0					
<i>Fragilaria brevistriata</i>		76,6			77846,8	146,0	1291,8	
<i>Fragilaria capucina v gracilis</i>		1532,6					569,3	
<i>Fragilaria capucina v vaucheriae</i>		153,3	14,6				87,6	
<i>Fragilaria pinnata</i>		76,6					525,5	
<i>Gomphonema pseudoaugur</i>						73,0	65,7	
<i>Gomphonema sp</i>		153,3					21,9	
<i>Meridion circulare</i>							65,7	1751,6
<i>Navicula atomus</i>							1773,4	
<i>Navicula cincta</i>			73,0					
<i>Navicula cryptotenella</i>		76,6	146,0					
<i>Navicula muticopsis</i>								1751,6
<i>Navicula sp</i>			29,2					
<i>Nitzschia gracilis</i>							43,8	
<i>Nitzschia palea</i>							766,3	
<i>Nitzschia pusilla</i>							43,8	
<i>Nitzschia spp</i>		1459,6	73,0			3868,0	547,4	
<i>Pinnularia sp</i>		153,3		6239,9		729,8	21,9	
<i>Planothidium delicatulum</i>			29,2				153,3	
<i>Planothidium lanceolatum</i>							65,7	
<i>Surirella angusta</i>							43,8	
<i>Synedra ulna</i>	8757,8						43,8	
Otras diatomeas		306,5		1094,7	97308,5	146,0	197,0	
Riqueza Taxa	1	11	11	2	2	8	23	2
Abundancia Total	8757,8	4371,6	729,8	7334,6	175155,3	5254,7	6678,9	3503,1
I. Divers. Sh-W	0,00	2,54	2,91	0,61	0,99	1,41	3,32	1,00
I. Evenness	0,00	0,73	0,84	0,61	0,99	0,47	0,73	1,00

Figura 12. Análisis comparativo de la abundancia total de microalgas bentónicas y de la riqueza de taxa entre quebradas naturales (otras quebradas) y el bofedal artificial.



- Vegetación terrestre

○ Estructura interna del Bofedal artificial de Chiclla

a) Riqueza de especies: La riqueza total de plantas vasculares del bofedal artificial es de 8 especies. La riqueza de especies encontrada en los transectos fluctúa entre cero y cuatro especies. Los taxa más representados en el sector, considerando el conjunto de transectos son *Festuca hypsophylla* (Poaceae) y *Oxychloe andina* (Juncaceae) (Tabla 7).

Tabla 7. Vegetación terrestre en el bofedal artificial. Mayo de 2005.

Taxa/Transectos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
<i>Festuca hypsophylla</i>	x	x			x	x	x
<i>Oxychloe andina</i>	x	x			x	x	x
<i>Lobelia oligophylla</i>					x		
<i>Poa sp.</i>	x				x		x
<i>Scirpus atacamensis</i>	x						
<i>Stipa sp</i>		x				x	x
<i>Lilaeopsis macloviana</i>					x		
<i>Werneria wedeli</i> (*)					x		
Total	4	3	0	0	6	3	4

b) Cobertura de vegetación verde y vegetación seca: La cobertura de la vegetación verde fluctuó entre el 0 (T3 y T4) y 59,64% (T5). Los transectos con mayor cobertura de vegetación verde se ubicaron hacia el final de la quebrada (T5 y T7). Los transectos T2 y T6 presentaron valores intermedios de cobertura (13.21% y 15.39% respectivamente) (Figura 12 y Tabla 8).

Tabla 8. Cobertura de vegetación verde y vegetación seca en siete transectos del bofedal artificial. Mayo de 2005.

Vegetación	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Vegetación verde	22.4	13.2	0.0	0.0	59.6	15.4	34.3
Vegetación seca	35.8	37.7	52.9	50	20.2	28.7	38.2
Suelo desnudo	41.8	49.1	47.1	50	20.2	55.9	27.5

Se registró la presencia de vegetación seca en todos los transectos. Los valores más altos se encontraron en los transectos T3 y T4, los que coincidentemente no presentan vegetación verde (Figura 13 y Tabla 8).

Figura 13. Porcentaje de cobertura absoluta de vegetación verde en el bofedal artificial. BA: bofedal artificial, T: Transecto.

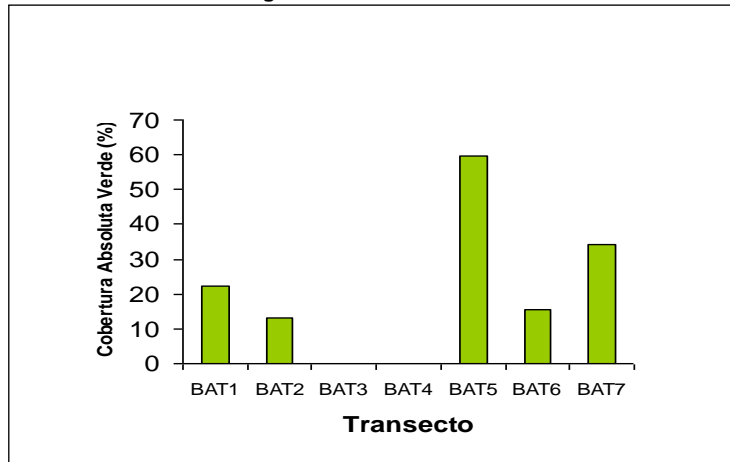
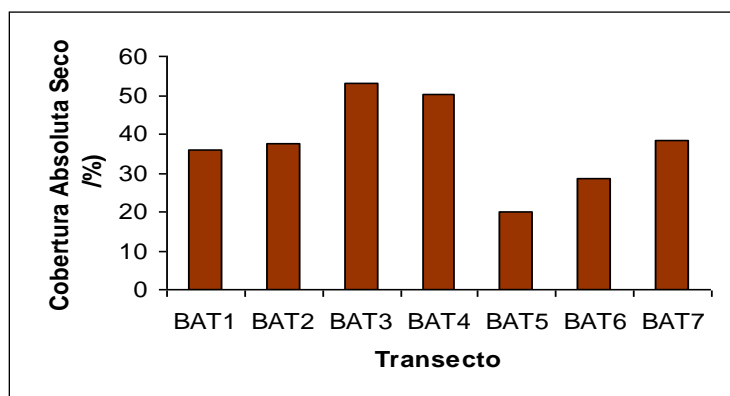
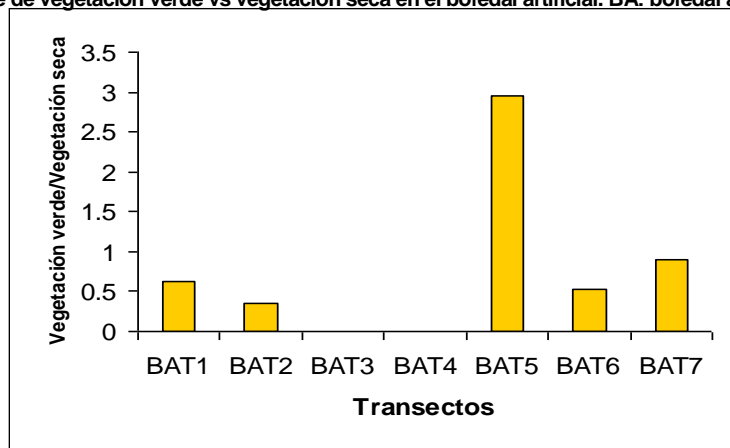


Figura 14. Porcentaje de cobertura absoluta de vegetación seca en el bofedal artificial. BA: bofedal artificial, T: Transecto.



El gráfico de la proporción de vegetación verde versus vegetación seca por transecto (Figura 19), muestra un notorio predominio de la vegetación verde en el transecto T5. Los demás transectos (T1, T2, T6 y T7), presentan un predominio de vegetación seca sobre vegetación verde (Figura 14).

Figura 15. Porcentaje de vegetación verde vs vegetación seca en el bofedal artificial. BA: bofedal artificial, T: Transecto.



○ Comparación del bofedal artificial Chiclla con quebradas naturales

a) Riqueza de especies: La riqueza de especies encontrada en el bofedal artificial se asemeja a la encontrada en otras quebradas del área (Figura 15). La riqueza de especies fluctúa entre 1 y 8 en las quebradas naturales de la zona y en el bofedal artificial fluctúa entre 3 y 6 especies.

b) Cobertura de vegetación verde y vegetación seca: El porcentaje de cobertura de vegetación verde en el bofedal artificial indicó valores más bajos en comparación con otras quebradas del área (Kruskal-Wallis; $U = 65,0$; $P = 0,016$). Cabe destacar también que este bofedal artificial es el único que presentó zonas con ausencia de vegetación verde (T3 y T4) en todas las quebradas (Figura 16).

En el bofedal artificial, la vegetación seca tiene valores relativamente altos en comparación con el resto de las quebradas. La excepción la constituye el transecto QSN1, en la quebrada San Nicolás, que tiene el valor más alto de vegetación seca, considerando el conjunto de Quebradas y transectos estudiados (Figura 17).

Finalmente, en la Figura 18, se observa que en el bofedal artificial, la mayoría de los transectos presentan una alta proporción de vegetación seca, mientras que esta situación es menos drástica en las otras quebradas.

Figura 16. Riqueza de especies en quebradas de la zona y en el bofedal artificial. BA: bofedal artificial, T: Transecto.

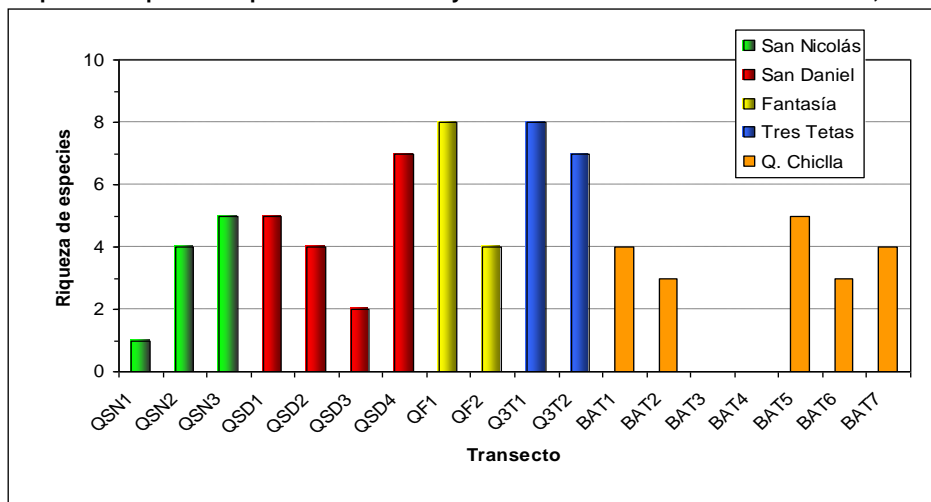


Figura 17. Porcentaje de cobertura absoluta de vegetación verde en las quebradas naturales muestreadas en Mayo 2005 y en el bofedal artificial muestreado en Mayo 2005. BA: bofedal artificial, T: Transecto.

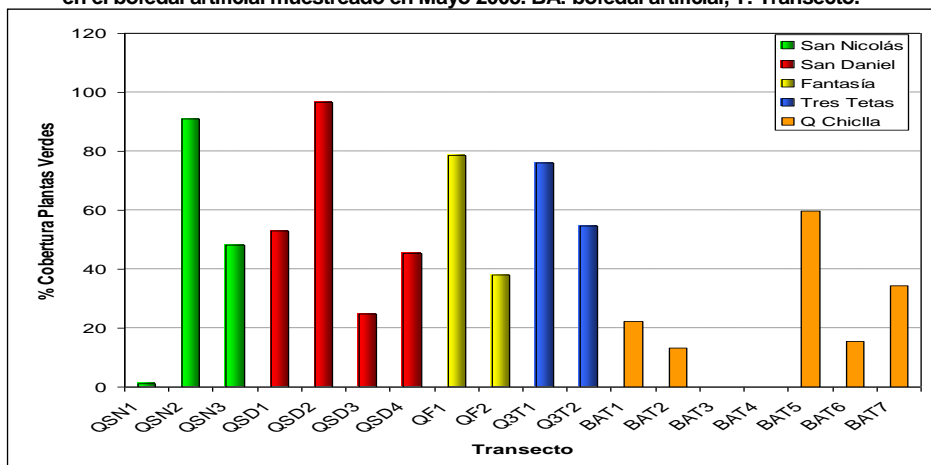


Figura 18. Porcentaje de cobertura absoluta de vegetación seca en las quebradas naturales y en el bofedal artificial. Mayo 2005. BA: bofedal artificial, T: Transecto.

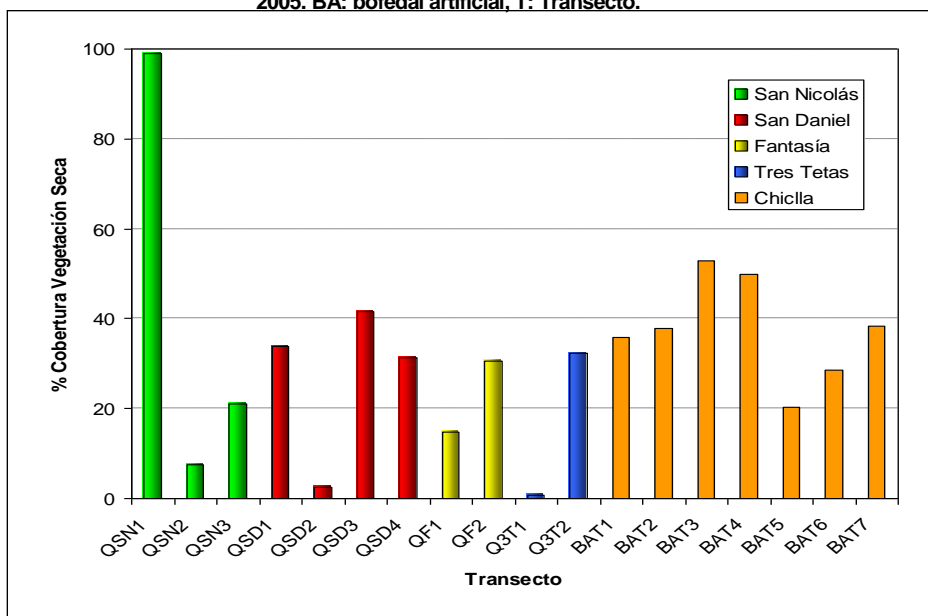
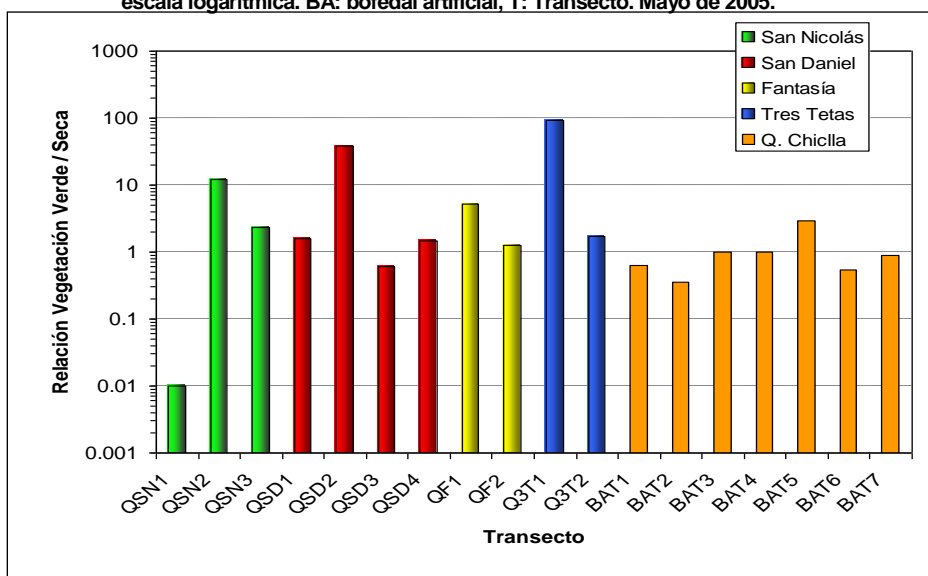


Figura 19. Proporción de vegetación verde vs. vegetación seca en las quebradas naturales San Nicolás, San Daniel, Fantasía y Tres Tetas y en transectos del bofedal artificial. El valor 1 en la ordenada representa igual proporción de vegetación verde y seca (valores menores que 1 indican predominancia de vegetación seca). Eje de las ordenadas está en escala logarítmica. BA: bofedal artificial, T: Transecto. Mayo de 2005.



c) Cobertura de vegetación a nivel de especies: En la Tabla 9 se muestran los datos de cobertura absoluta a nivel de cada especie registrada en los transectos muestreados. Cabe señalar que algunas especies fueron avistadas en los sitios de estudio, pero no fueron detectadas en los transectos (es decir no fueron interceptadas en ningún punto del transecto). Tales especies fueron consideradas como presentes en el sitio, pero no se incluyeron en el cálculo de la cobertura absoluta. Este es el caso de *Werneria wedeli* que se encontró en las inmediaciones del transecto T5 de la bofedal artificial.

Al igual que en las otras quebradas del área, la especie que presentó los mayores valores de cobertura fue *Oxychloe andina*, que alcanzó el 93,4; 81,8; 57,0 y 46,3% de cobertura en los transectos QSD-2, QSN-2, QF-1 y T5, respectivamente.

d) Similitud de los sitios de muestreo en función de la presencia y ausencia de taxa de vegetación terrestre: El análisis de similitud mostró que la composición taxonómica de la vegetación terrestre del bofedal artificial fue similar en un 60 % con la composición vegetacional de las quebradas naturales Tres Tetas, con el sitio 1 de la quebrada Fantasía (QF1) y los sitios 1 (QSD1) y 4 (QSD4) de la quebrada San Daniel (Figura 19). Los taxa que generaron esta agrupación fue la comparativamente alta abundancia de *Oxychloe andina* y *Festuca Hypsophylla* presente en estos lugares.

Figura 20. Análisis de agrupamiento de los sitios muestreados, considerando los datos de presencia / ausencia de especies vegetales y utilizando el coeficiente de similitud de Jaccard.

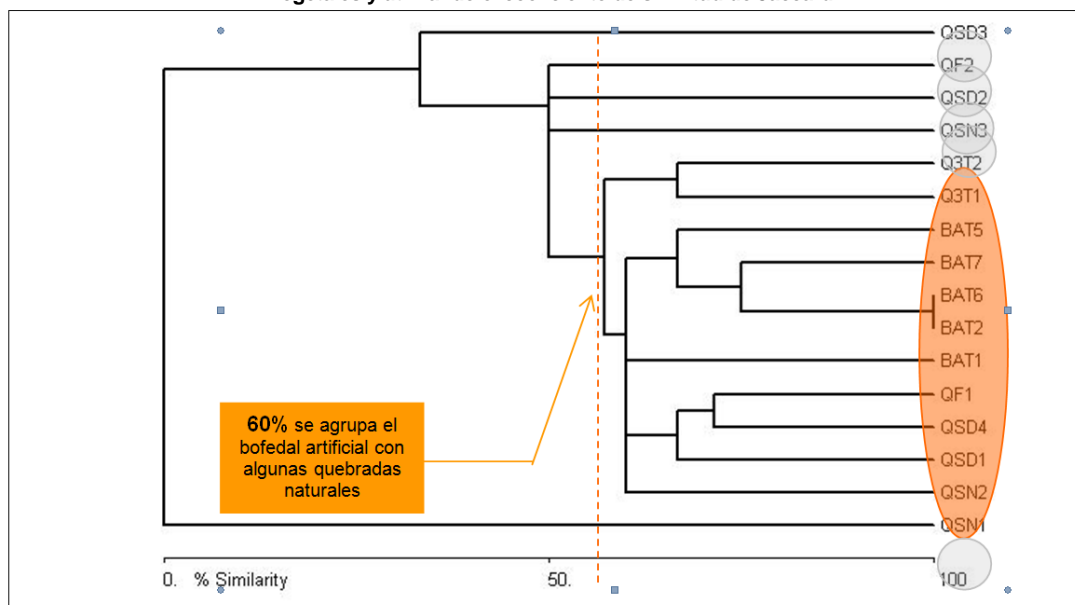


Tabla 9. Cobertura absoluta de las especies vegetales presentes en las quebradas muestreadas. Mayo de 2005.

TAXA	TRANSECTO															
	QSN-1	QSN-2	QSN-3	QSD-1	QSD-2	QSD-3	QSD-4	QF-1	QF-2	Q3T-1	Q3T-2	BA-T1	BA-T2	BA-T3	BA-T4	BA-T5
Briófita								0.8								
<i>Arenaria rivularis</i>				2.5			0.8	0.8								
<i>Carex sp.</i>		5.8		9.1	1.7		8.3	6.6		7.4	5.8					
<i>Deyeuxia sp.</i>			11.1													
<i>Festuca hypsophylla</i>		2.5	16.0	24.8		24.8	29.8	11.6	24.8	14.9	35.5	1.5	1.9			1.4
<i>Festuca sp.</i>	1.0															1.8
Indeterminada 1(*)										1.7						
Indeterminada 2(**)										5.8	10.7					
<i>Lilaeopsis mactloviana</i>																5.5
<i>Lobelia oligophylla</i>																3.2
<i>Oxychloe andina</i>		81.8	4.9	16.5	93.4		4.1	57.0		46.3	0.8	17.9	9.4			46.3
<i>Parastrephia lucida</i>			1.2						11.6							11.9
<i>Poa sp.</i>			14.8		1.7		1.7	1.7				1.5				1.8
<i>Scirpus atacamensis</i>		0.8										1.5				2.0
<i>Stipa sp.</i>									1.7				1.9			1.4
<i>Wermeria denticulata</i>																1.8
<i>Wermeria pigmaea</i>							0.8				1.7					
Suelo desnudo			30.86	13.22		33.63	20.66	6.61	31.40		12.4	41.8	49.1	47.1	50.0	20.2
Agua		1.65			0.83					23.1	0.83					55.9
Vegetación seca	99.01	7.44	20.99	33.88	2.48	41.59	31.40	14.88	30.58	0.83	32.2	35.8	37.7	52.9	50.0	20.2
Excremento							2.48									28.7

(*)Angiospermae

(**)Poaceae

- Estado actual

Los trabajos a lo largo de los años no han sido suficientemente efectivos para mantener la superficie inicial trasplantada, en cuanto el sitio se ha visto afectado en a lo menos en cuatro oportunidades por eventos de precipitaciones intensas entre los años 2001 al 2017. Esto genera un retroceso en los trabajos por sedimentación sobre las áreas de trabajo y destrucción año a año de los canales de riego y piscinas de acumulación. Sumado a esto, la estimación de caudal natural y afloramientos propuestos para la correcta y permanente irrigación del sistema no fue adecuado. No obstante existen esfuerzos continuos todas las temporadas estivales de direccionamiento de las aguas y protecciones para evitar o aminorar daños por escorrentías (anexo 8.2)

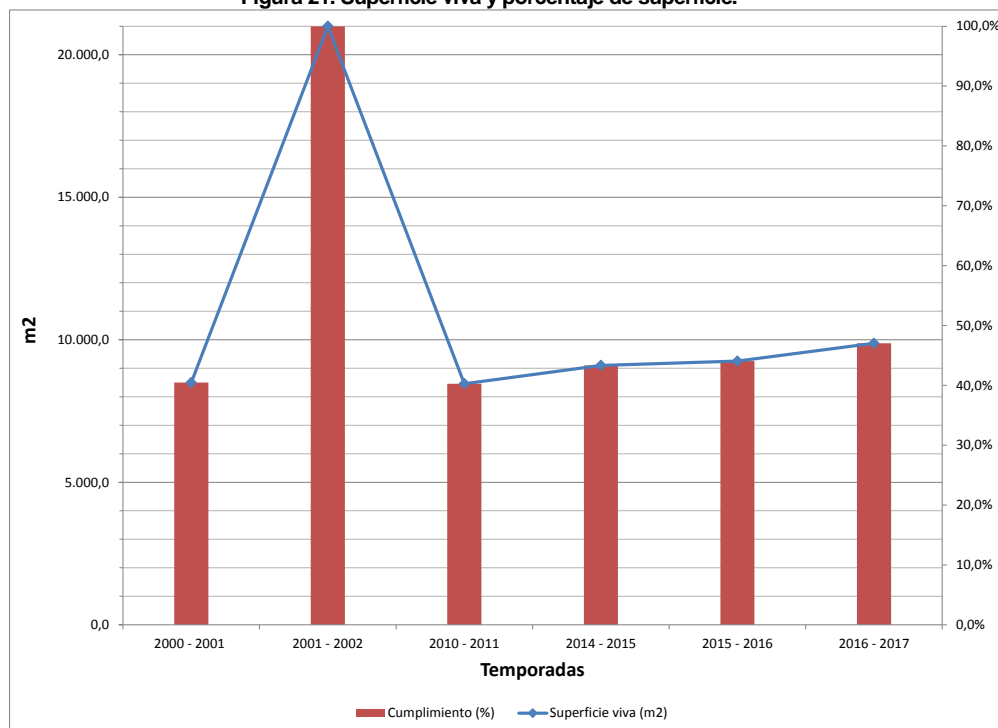
Los trabajos documentados por TeknoRiego Soluciones Ambientales inician en diciembre de 2012 y se extienden a la fecha. Se consideran trabajos de trasplante de champas, mejora en la canalización que año a año se ve afectada por las precipitaciones, se reciclan los residuos orgánicos propios del sector (champas muertas) y se ejecutan labores de propagación vegetativa de los mismos cojines a partir de la temporada 2014 – 2015 y hasta la fecha con resultados alentadores, siendo una alternativa nueva para lograr abarcar mayor superficie.

La condición general del bofedal es estable pero vulnerable en relación a las plantas que hoy están establecidas, sin embargo y considerando que este ecosistema se genera de forma artificial su viabilidad dependerá de lograr autosustentar el sistema mediante una mejora administración de los recursos (tecnología en riego, monitoreo, estabilización de cubierta vegetal, etc.), de modo de lograr una configuración que permita la sostenibilidad en el tiempo.

El estado del bofedal dependerá en gran medida del aporte de agua permanente (natural), su distribución y de los eventos de sedimentación causados por precipitaciones intensas. Ambos son claves en los retrocesos que se han documentado, dado el gran avance inicial logrado.

En figura 20 se presenta la evolución de la superficie y el porcentaje de superficie desde la temporada 2000 – 2001 a la temporada 2016 – 2017. Se debe considerar que avances que se realizan, son en parte mermados por escurrimientos superficiales y en otros casos por mortalidad de plantas.

Figura 21. Superficie viva y porcentaje de superficie.



4.2 Límites considerados en la evaluación

El límite considerado para esta medida corresponde al establecimiento del bofedal de Chiclla en relación a la superficie. Considerando los actuales avances en las actividades y teniendo presente la escasa información de este tipo de experiencias, los avances logrados a la fecha permiten definir este indicador.

5 DISCUSIÓN

Para el proceso de verificación de los trabajos ejecutados en la quebrada de Chiclla por parte de CMDIC, en relación a lo comprometido en el punto 6.4 de estudio de Impacto Ambiental y particularmente en el caso de los Bofedales en el punto 6.4.1 del mismo estudio, es posible señalar que existe información que da cuenta de estos esfuerzos, indicados en los acápites precedentes.

En Chile no se han efectuado trabajos de manejo con bofedales en forma sistemática y por lo tanto, lo ejecutado por CMDIC, es hoy una de las principales experiencias que tienen registro de éxito, logrando mantener un bofedal trasplantado vivo en un porcentaje no despreciable de cobertura respecto de la superficie original (1 ha aproximadamente).

Es prudente señalar en base a lo descrito anteriormente, estos trabajos son relevantes y de las principales experiencias que tienen registro de éxito, al lograr a lo largo de 17 años, mantener un bofedal trasplantado vivo en un porcentaje no despreciable de cobertura respecto de la superficie original.

El gran mérito o resultado de esta experiencia, radica en que se logra establecer este ecosistema, en un sitio con características de degradación considerables por la actividad minera antigua, que hoy sustenta no solo a esta vegetación sino que también a fauna que habita el sector.

Es tal este éxito, desde el punto de vista de la experiencia, que este trabajo ha sido citado para el plan de manejo de bofedales en el proyecto multipropósito de riego y agua potable para los municipios de Batallas, Pucarani y el Alto en Bolivia, en relación a los capítulos de mitigación como restauración, de modo que la ejecución de las obras consideren este tipo de técnicas.

6 CONCLUSIONES

A. Primera etapa (Estudio y Evaluación)

Para esta etapa no se cuentan con todos los antecedentes documentados relacionados a la investigación, sin embargo, si es posible indicar que de acuerdo a las pruebas pilotos de trasplante, los resultados positivos entregan información concreta y empírica de que es posible continuar con la programación del trasplante masivo en la quebrada de Chiclla.

Los resultados experimentales indican que no habría efecto de la herbivoría, así como tampoco de la edad del bofedal trasplantado.

B. Segunda etapa (Implementación del programa)

El principal factor del éxito del trasplante ha sido identificado como la evaluación y aseguramiento del recurso hídrico en superficie, el cual es dependiente de las precipitaciones.

La pendiente dada al terreno asegura un riego controlado sin producir arrastre de nutrientes, sedimentos, etc.

La calidad del agua no aparece como un factor limitante extremo.

Para grandes superficies de transplante (>0.1 ha.) se requiere de maquinaria pesada para nivelación.

Al respetar otros microhabitats como, lagunas o pozones, roqueríos cercanos, permiten incrementar la biodiversidad, con especies tales como patos, anfibios y roedores.

C. Tercera etapa (monitoreo de evaluación del programa)

Para el año 2005 se realiza la “Evaluación de la estructura y funcionamiento del Bofedal trasplantado (Chiclla)”, el cual tiene por objetivo determinar la efectividad de las obras y medidas adoptadas por CMDIC en el marco del proyecto de transplante de bofedales desarrollado para la mantención del funcionamiento químico y biológico del bofedal artificial, utilizando como referencia bofedales naturales del área de estudio (San Nicolás, San Daniel, Tres Tetas y Fantasía). Se desprenden del documento, las siguientes conclusiones:

- Hubo alta similitud de la función del bofedal artificial y la quebrada natural San Nicolás sobre la disponibilidad de nitrógeno y fósforo particulado. Por el contrario, hubo diferencias funcionales entre los sistemas sobre la fracción disuelta debido a que el bofedal artificial exportó fósforo disuelto a diferencia de la quebrada San Nicolás que no presentó un rol sobre la disponibilidad de fósforo disuelto para el ecosistema.
- No hubo diferencias de número de taxa y de abundancia y diversidad de macroinvertebrados bentónicos entre el bofedal artificial y las quebradas naturales San Daniel, San Nicolás, Tres Tetas y Fantasía.
- No hubo diferencias de número de taxa y de abundancia y diversidad de microalgas bentónicas entre el bofedal artificial y las quebradas naturales San Daniel, San Nicolás, Tres Tetas y Fantasía.
- El número de taxa de la vegetación en las quebradas naturales no fue diferente del número de taxa en la vegetación del bofedal artificial. Por el contrario, la cobertura de vegetación verde fue significativamente menor en el bofedal artificial respecto de las quebradas naturales, siendo este parámetro un indicador de bajo éxito del trasplante del bofedal artificial.
- En función del análisis de transporte de fósforo y nitrógeno particulado y de metales y de la riqueza, abundancia y composición de la flora y fauna bentónica, es posible plantear que la condición y funcionamiento actual del bofedal artificial no difiere del comportamiento presentado por bofedales naturales existentes en el área de estudio.
- Sin embargo, cabe señalar que a la fecha se detecta un menor arraigo de plantas terrestres en el bofedal artificial respecto de bofedales naturales comparables, lo cual puede estar explicando las diferencias funcionales detectadas entre el sistema natural y el sistema artificial sobre la disponibilidad de fósforo disuelto.
- En función de los resultados obtenidos a la fecha, el bofedal trasplantado estaría adquiriendo atributos en su estructura y funcionamiento similares a los sistemas naturales, y si se mantienen los canales de riego y la humectación en forma mecánica de las áreas que han sufrido deterioros por las heladas y estrés hídrico, sería posible conseguir un completo asentamiento de las champas transplantadas.

7 REFERENCIAS

- Fernandez H.R. Y E. Dominguez. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Tucumán. Serie: Investigaciones de la UNT, Subserie: Ciencias exactas y naturales. 282 pp.
- Gajardo, R. 1992. La vegetación natural de Chile. 52 págs. Dpto. Silvicultura. Universidad de Chile.
- Geotécnica Consultores. 1995. Estudio de Impacto Ambiental, Proyecto Minero Collahuasi. Santiago, Chile.
- Lopretto E.C. & G. Tell. 1995. Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio. Tomo III. Ediciones Sur, República Argentina.
- Merrit, R.W. & K.W. Cummins. 1996. An introduction to the Aquatic Insect of North America. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company. 862 pp.
- Pennak R. 1991. Fresh-water invertebrates of the United States. Protozoa to Mollusca. John Wiley & Sons, Inc. Third edition. 628 pp. MCCAFFERTY, WP. 1983. Aquatic Entomology. Jones & Bartlet Publ. Inc. Boston, USA. 412 pp.
- Quintanilla, V. 1993. Biogeografía. Tomo III, Colección Geografía de Chile. Instituto geográfico Militar, 225 págs. Santiago, Chile.
- Ruthsatz, B. 1993. Flora und ökologische Bedingungen hochandiner Moore Chiles zwidchen 18°00' (Arica) und 40°30' (Osorno) südl. Br Phytoecología. 23: 157 -199. Berlín – Stuttgart.
- Troncoso, R. 1983. Caracterización Ambiental del Ecosistema Bofedal de Parinacota y su relación con la vegetación. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Agrícolas. Escuela de Agronomía. Universidad de Chile. 25 págs. Santiago, Chile.
- Wetzel, R.G. & G.E. Likens. 1991. Limnological Analyses. II ed. Springer- Verlag Publication.

8 ANEXOS

8.1 Responsables a cargo del Estudio

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM.

8.2 Trabajos de mantención ejecutados

Los trabajos de mantención han sido ejecutados desde el inicio del traslado y establecimiento, sin embargo y de acuerdo a los antecedentes disponibles, se cuenta con información documentada de trabajos entre diciembre de 2012 y marzo de 2017. Los trabajos de mantención son estacionales y se ejecutan entre noviembre y marzo de cada año. Los documentos consultados son los siguientes:

- 02-04-2013 Informe Chiclla Fin de Temporada Rev 1-1 (Temporada 2012 – 2013).
- Informe Chiclla Fin de Temporada 2013-2014 r0 (Temporada 2013 – 2014).
- Informe Chiclla Temporada 2014-2015 r0 (Temporada 2014 – 2015).
- Informe cierre de temporada Chiclla 2015-2016 r0 (Temporada 2015 – 2016).
- Cierre de trabajos en Chiclla temporada 2016-2017 r0 (Temporada 2016 – 2017).

De acuerdo a levantamiento ejecutado en diciembre de 2010, se apreciaron sectores con una mortandad notoria alcanzando un 60% lo que se muestra en tabla 10.

Tabla 10. Estado bofedal verano 2010

Total m²	Vivo total m²	Muerto total m²
21.000	8.459,2	12.540,8
100%	40,3%	59,7%

Los datos muestran que solo un 40% del material trasplantado sobrevivió por los distintos acontecimientos que generaron condiciones poco favorables para el mantenimiento y desarrollo de los bofedales.

En visita inspectiva el 11 de Diciembre del 2012, se encontró en general el bofedal en malas condiciones. Se observó una gran cantidad de champas muertas (secas), amplias áreas de suelo cubiertos con sedimentos gruesos arrastrados debido al desborde de los canales de aguas lluvias, material removido, canales tapados y basura acumulada.

Esta evidencia indica que, a lo largo de los años, el arrastre de material y sedimentos ha sido constante. Materiales gruesos son desplazados por movimientos aluvionales de mayor intensidad que la sedimentación fina, propio del arrastre por precipitaciones y pendientes propios de la geomorfología del lugar.

En las fotografías 16 a 18 se muestra la situación descrita.

Fotografía 16. a), b) y c) Suelo cubierto con sedimento grueso, inhabilitado para transplante.



Fotografía 17. a), b) y c) Champas secas en bofedal.



Fotografía 18. a), b) y c) Canal evacuación aguas lluvias colmatado

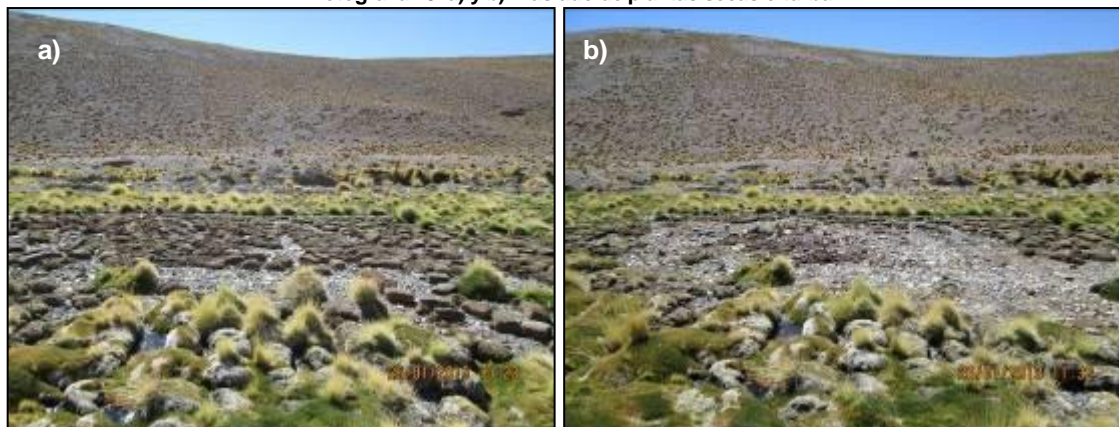


La mantención se ha realizado año a año considerando actividades generales y permanentes tales como:

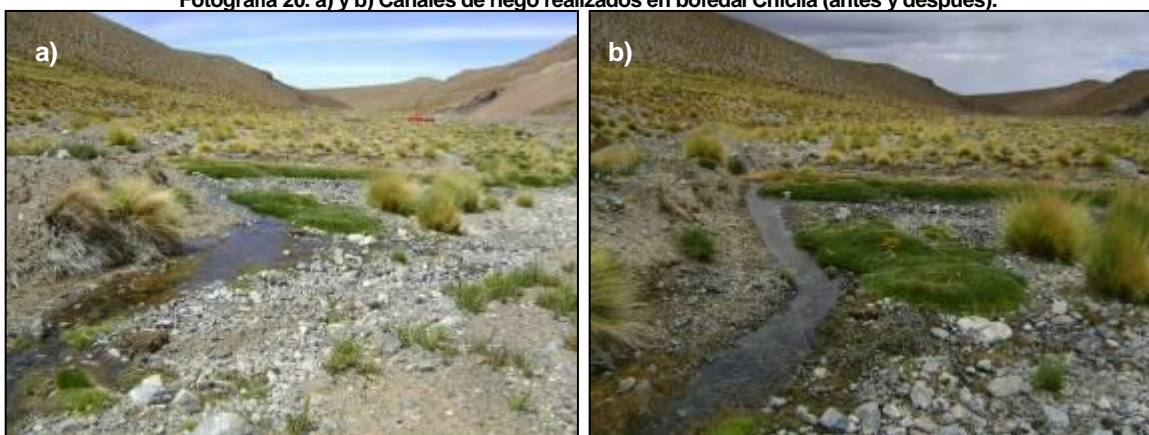
- Limpieza de canales de conducción de agua.
- Limpieza de basuras al interior del bofedal.
- Colecta de material vegetativo propio de la quebrada para transplante y propagación de este.
- Colecta de material orgánico para reutilización como sustrato.
- Colecta de semillas y siembra directa.
- Viverización para reproducción vegetativa.
- Trasplante de individuos (del mismo sitio y de los individuos propagados en vivero).

A continuación se presentan en imágenes, los trabajos que se ejecutan año tras año en cuanto a
mantención y manejo dentro del bofedal desde el año 2012 a la fecha (Fotografías 19 a 29).

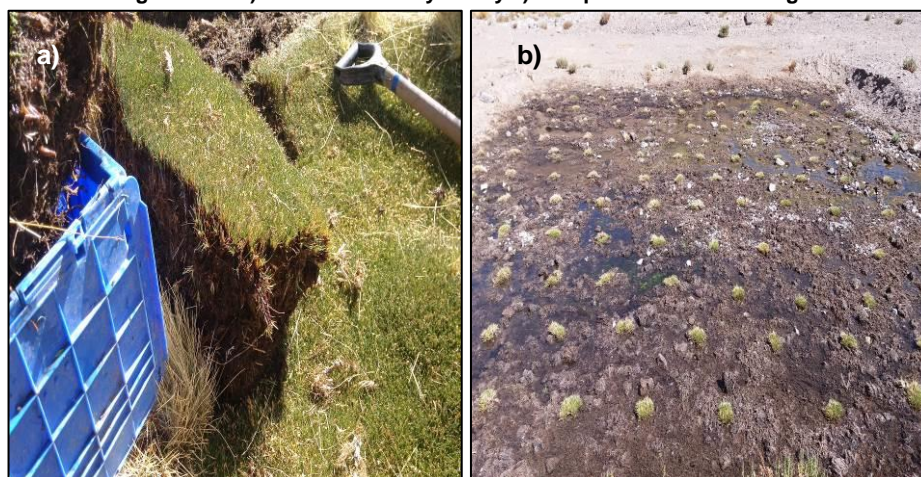
Fotografía 19. a) y b) Traslado de plantas secas o turba.



Fotografía 20. a) y b) Canales de riego realizados en bofedal Chiclla (antes y después).



Fotografías 21. a) Extracción de Oxychloe y b) transplante en líneas contiguas.



Fotografías 22. a) y c). Canal evacuación escurrimientos quebrada Chiclla antes de mantención; b) y d) Canal evacuación escurrimientos quebrada Chiclla después de mantención.



Fotografía 23. Proceso de aplicación de compost local. Se selecciona el sector de extracción, reducción de tamaño para transporte, carga y descarga del material, reducción a tamaño de aplicación, incorporación en parcela y resultado.

Selección



Reducción



Carga y transporte



Reducción para aplicación



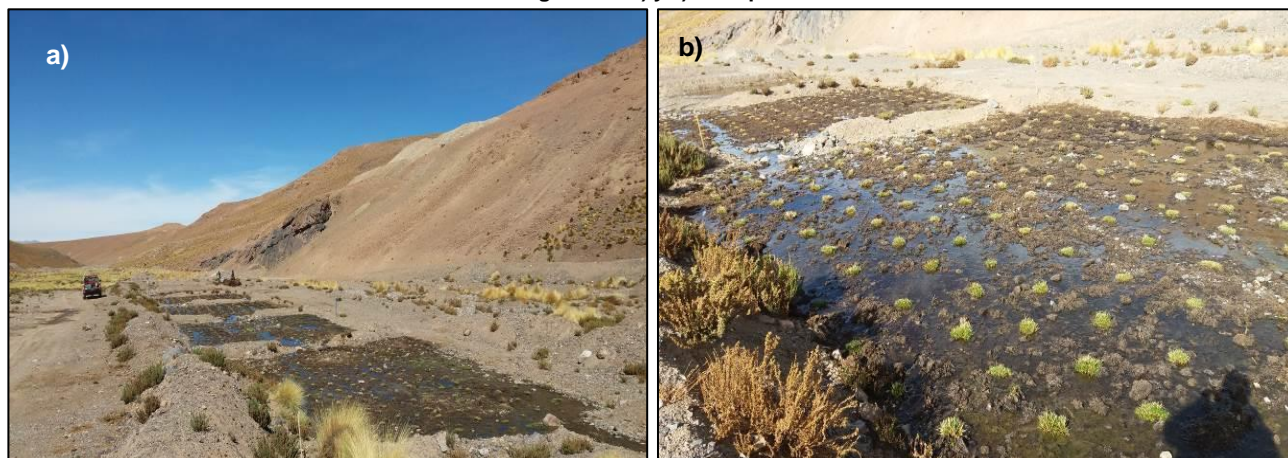
Incorporación



Parcela con aplicación de M.O.



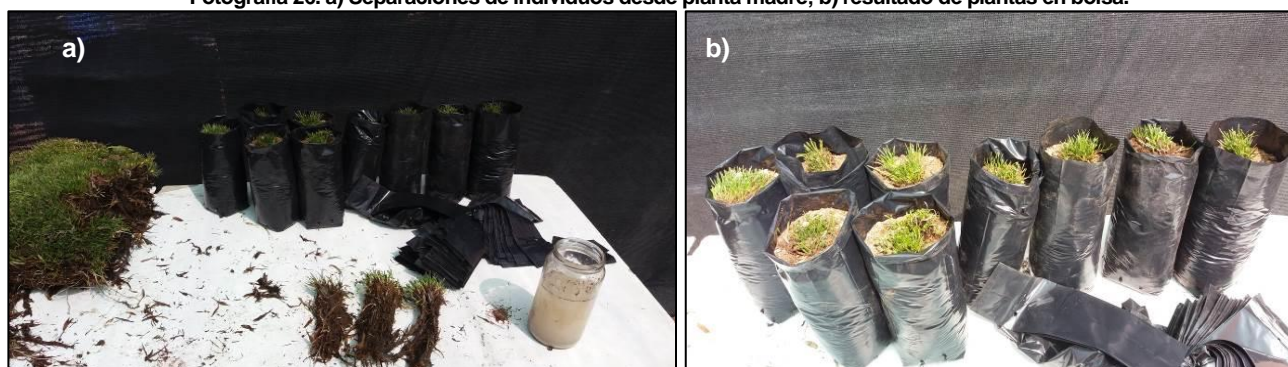
Fotografía 24. a) y b) Transplantes.



Fotografía 25. a) Colecta de frutos; b) pesaje; c) siembra al voleo; d) cobertura con materia orgánica.



Fotografía 26. a) Separaciones de individuos desde planta madre; b) resultado de plantas en bolsa.



Fotografía 27. Plantas propagadas en vivero.



Fotografía 28. a) Presencia de basura en bofedal; b) recolección en terreno; c) retiro de basuras.



Fotografía 29. Presencia de fauna permanente en el sector.



CMDIC a lo largo de estos años ha tomado un rol activo respecto del trabajo inicial de trasplante, ejecutando actividades para mantener la vegetación.