



SAG CENTRAL

División de Protección de Recursos Naturales

LICITACIÓN: ID: 612-73-LE13

“Análisis de la Tendencia Histórica de Vegetación Azonal Hídrica sector Ciénaga Redonda, Barros Negros y Pantanillo. Altiplano Región de Atacama”.



Autores: Roberto Castro Ríos; Ingeniero Forestal. Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental.

Tania V. Altamirano A; Bióloga con mención en Medio Ambiente.

NOVIEMBRE 2013



AGROSIG Ltda.



SAG CENTRAL

División de Protección de Recursos Naturales

**“Análisis de la Tendencia Histórica de Vegetación Azonal Hídrica sector
Pantanillo y Ciénaga Redonda, Altiplano Región de Atacama”.**



AGROSIG Ltda.

Autores: Roberto Castro Ríos; Ingeniero Forestal. Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental.

Tania V. Altamirano A; Bióloga con mención en Medio Ambiente.

NOVIEMBRE 2013

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo general.....	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
3. METODOLOGÍA.....	9
3.1 Recopilación de Antecedentes, Adquisición de Datos Satelitales y Espacialización de la Información.....	11
3.1.1 Cartografía base.....	12
3.1.2 Corrección de imágenes.....	12
3.1.3 Cartografía derivada de pendiente, exposición, altitud y cuencas...	13
3.1.4 Caracterización de las cuencas.....	13
3.2 Identificación, Análisis de Proyectos en Ejecución y Obras Existentes en el Area de Estudio.....	16
3.3 Análisis de Tendencia de la Disponibilidad de Agua en los Humedales.....	17
3.4 Levantamiento Vegetacional de Terreno.....	18
3.4.1 Revisión bibliográfica.....	18
3.4.2 Uso de imágenes satelitales y cartografía preliminar.....	18
3.4.3 Información en terreno.....	19
3.4.4 Codificación de vegetación.....	20
3.4.5 Codificación de flora.....	22
3.4.6 Clasificación taxonómica y estado de conservación.....	23
3.5 Elaboración de índices espectrales y análisis de tendencia y cambios anuales de la vegetación de los humedales.....	24

3.5.1 Índices	24
3.5.2 Análisis multitemporal y cambios entre años críticos.	26
3.6 Análisis de Vulnerabilidad.....	27
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	29
5. ANTECEDENTES SOBRE TRABAJOS EN EL ÁREA.	32
6 CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS	37
6.1 Cuenca Salar Maricunga.....	37
6.1.1 Precipitación.....	40
6.1.2 Superficie de nieve.	43
6.2 Cuenca Ciénaga Redonda.....	45
6.2.1 Características topográficas e hídricas.	47
6.3 Cuenca Pantanillo.....	49
6.3.1 Características topográficas e hídricas.....	51
7. CAUDALES ANUALES ESTIMADOS EN CIÉNAGA REDONDA Y BARROS NEGROS – PANTANILLO.	53
8 DESCRIPCIÓN VEGETACIONAL Y TENDENCIA DE LOS HUMEDALES.....	56
8.1 Ciénaga Redonda.....	59
8.1.1 Descripción vegetacional de terreno.....	59
8.1.2 Tendencia multitemporal de la vegetación del humedal entre el año1995 y - 2011.....	67
8.1.3 Cambios anuales	73
8. 2 BARROS NEGROS	80
8.2.1 Descripción vegetacional de terreno.....	80
8.2.2 Tendencia multitemporal de la vegetación del humedal entre el año 1986 y 2011.....	84

8.2.3 Índice de Decremento de la Serie	88
8.2.4 Cambios anuales	89
8.3 PANTANILLO	101
8.3.1 Descripción vegetacional de terreno.....	101
8.3.2 Tendencia multitemporal de la vegetación del humedal entre el año 1986 y 2011.....	106
8.3.3 Cambios anuales	108
9. VULNERABILIDAD DE LOS HUMEDALES	110
9.1 Vulnerabilidad Ciénaga Redonda.....	110
9.2 Vulnerabilidad Barros Negros.....	112
10. BASE DE DATOS Y SIG.....	114
11. ANALISIS Y CONCLUSIONES.....	117
REFERENCIAS.....	121
ANEXOS	124

1. INTRODUCCIÓN

Los humedales son subsistemas límnicos integrados a cuencas hidrográficas, incluidos pantanos, marismas, lagos, vegas, bofedales, salares, pastizales húmedos, turberas y estuarios. Entre estos, los humedales que son parte de los ecosistemas de páramo, jalca y puna, conocidos como los humedales andinos y altoandinos, mantienen una diversidad biológica única y se caracterizan por un alto nivel de endemismo, tanto de especies animales como vegetales, terrestres y acuáticas. Estos humedales, que son además, refugio y zonas de reproducción de una gran cantidad de especies que se encuentran con problemas de conservación, juegan un rol vital en el desarrollo de las cuencas andinas y de los sistemas hidrográficos que sostienen actividades de importancia económica y social.

La fragilidad de los humedales altoandinos, que constituyen los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT), está asociada a causas naturales, como el cambio en el régimen pluviométrico y también a causas antrópicas, como las actividades de extracción de agua para minería o pastoreo excesivo. El desconocimiento de la dinámica de estos humedales y su tendencia en el tiempo influyen en la fragilidad a que se encuentran expuestos. Sin embargo, en la actualidad se cuenta con tecnología y datos suficientes para avanzar en conocimiento para revertir esta pérdida de patrimonio natural, cultural y económico. En este sentido, la mayoría de estos sistemas, representan unidades pequeñas (en relación a los cuerpos de agua andinos), dispersas, asociadas a cursos de agua, los que son, en este sentido, un buen indicador de la estabilidad de los regímenes hídricos. Por lo anterior y por la biodiversidad que representan, toda superficie es relevante y significativa.

En este contexto, el presente estudio analiza el comportamiento vegetacional de tres humedales ubicados en la cuenca del Salar de Maricunga entre el año 1995 y 2013. Los humedales estudiados corresponden a Ciénaga Redonda, Barros

Negros y Pantanillo, los que se encuentran insertos en el Corredor Biológico Pantanillo Ciénaga Redonda, propuesto por CONAF como conexión entre las dos porciones que conforman el Parque Nacional Nevado Tres Cruces (PNNTC), Laguna Santa Rosa y Laguna del Negro Francisco.

2. OBJETIVOS.

Los objetivos del estudio son los que se plantean a continuación.

2.1 Objetivo general

Realizar un análisis desde el año 1995 al año 2012 de la tendencia de la condición hídrica de la vegetación y el estado actual de los humedales Ciénaga Redonda, Barros Negros y Pantanillo.

2.2 Objetivos específicos.

- a) Comparar y relacionar la tendencia y dinámicas de cambios naturales y artificiales en los humedales bajo estudio.
- b) Identificar zonas con mayor tasa de cambio (sea ésta positiva o negativa) asociado a superficie e índice de vigor o verdor de las diferentes formaciones vegetacionales.
- c) Analizar y zonificar, con base en imágenes satelitales anuales (entre el año 1995 y 2012), la actividad fotosintética de los humedales y describir la composición general de Unidades de Paisaje Homogéneas (UPH).
- d) Realizar un análisis de vulnerabilidad de las UPH del humedal.
- e) Espacializar los resultados en un SIG.

3. METODOLOGÍA

La metodología general aplicada en el estudio comprende tres etapas, una de recopilación y pre tratamiento de datos, la segunda correspondiente a terreno y una tercera, de procesamiento, las que se presentan en el diagrama de la Figura N° 1.

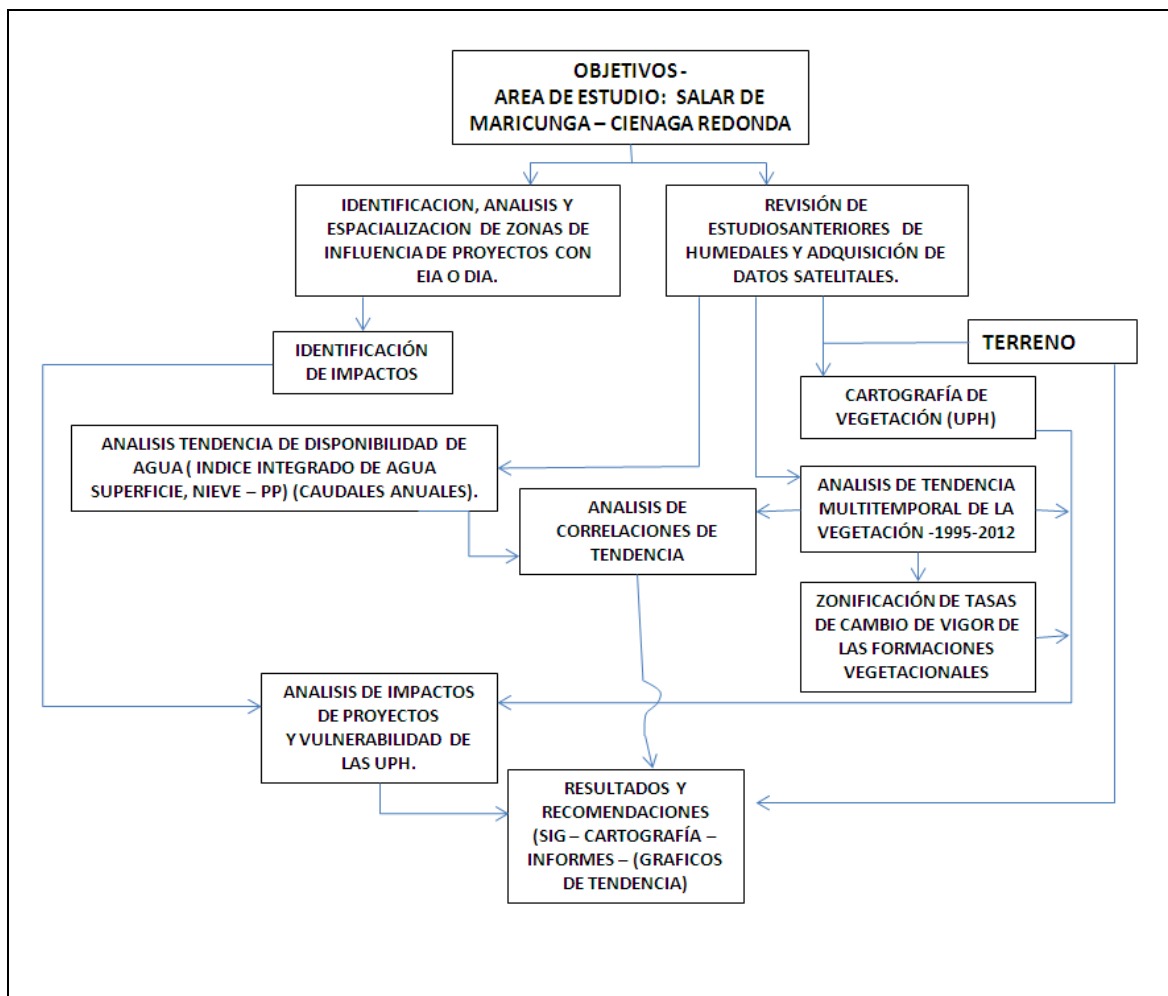


Figura N° 1. Diagrama metodológico general.

De acuerdo al área de estudio definida en las bases técnicas y en función de los objetivos, se procedió a la revisión de los estudios existentes y adquisición y pre-procesamiento de los datos satelitales, desde el año 1995 al año 2012, obteniendo una fecha de invierno con máxima superficie de nieve y una de verano.

Paralelamente se desarrolló la recopilación y análisis de los proyectos calificados por el Servicio de Evaluación Ambiental, existentes en el área de estudio, analizando la influencia de cada uno en el área de estudio (definida por los tres humedales), identificando los impactos, de acuerdo a lo que indican los EIA, DIA y RCA respectivos.

A partir de las imágenes satelitales y mediante una campaña de terreno, se definieron las muestras para realizar la cartografía de las formaciones vegetacionales de los humedales, definiéndose para cada uno y para los años críticos la cartografía vegetal correspondiente. De igual forma, a partir de estos datos de terreno, se analizaron los índices de vegetación y se determinó el más adecuado para discriminar las situaciones locales de los humedales. Posteriormente, se analizó la serie de imágenes correspondiente al periodo entre 1995 y 2011 y, se obtuvo la tendencia de los humedales y el comportamiento multitemporal de la vegetación.

De igual forma, a partir de la data satelital de invierno, datos de precipitación anuales y superficie de nieve caída, se analizó la disponibilidad de agua para establecer la correlación con los indicadores del estado hídrico de la vegetación azonal.

Con todo, se obtuvieron los resultados, los respectivos análisis y conclusiones en concordancia con los objetivos.

Finalmente se sistematizó la información digital procesada en formato vectorial y raster, disponible para consulta y análisis mediante herramientas de SIG.

En el contexto de la metodología general, los resultados del presente informe se desarrollaron de acuerdo a metodologías específicas que se detallan a continuación.

3.1 Recopilación de Antecedentes, Adquisición de Datos Satelitales y Espacialización de la Información.

El desarrollo de este punto comprendió la recopilación de los estudios de humedales existentes, el análisis de los estudios ingresados al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) tanto los EIA, los DIA y las respectivas RCA, los resultados obtenidos por el proyecto SITHA (CIREN, 2013) y los del “estudio de los sistemas azonales hídricos del altiplano” (SAG, 2007).

De la misma forma se adquirieron y procesaron datos satelitales históricos del sensor Thematic Mapper (TM) del satélite LANDSAT correspondientes a una serie del año 1995 a 2011, incluyendo por cada año una imagen de verano y otra de invierno.

La data satelital del TM utilizada (Anexo) para el estudio de la vegetación corresponde a las imágenes capturadas en la fechas que se indican en la Tabla N°01.

Se suman a la serie, la data correspondiente al sensor multiespectral del satélite RapidEye de fecha 12 de enero de 2012 y la imagen multiespectral del sensor OLI del LANDSAT 8 del 12 de abril de 2013. De igual modo se utilizó como línea base, para algunos análisis, la imagen del TM del 17 de marzo de 1986.

Tanto los datos del sensor OLI como los del RapidEye, por tener rangos espectrales distintos a los rangos de bandas del TM, no fueron incluidos en los análisis multitemporales de la serie, dado que los montos de reflectividad no son comparables, no obstante permitieron definir las Unidades Cartográficas de Vegetación para el año 2012 y 2013.

Tabla N° 01. Fechas de imágenes satelitales del sensor TM de la serie 1995 – 2011.

Año	día	mes
1995	26	3
1996	12	3
1997	11	2
1998	2	3
1999	17	2
2000	7	3
2001	10	3
2002	29	3
2003	8	3
2004	15	2
2005	5	3
2006	20	2
2007	11	3
2008	26	2
2009	16	3
2010	19	3
2011	6	3

Fuente: elaboración propia

3.1.1 Cartografía base.

La cartografía base se elaboró a partir de la data obtenida del DEM elaborado por la misión ASTER DEM, de donde se derivaron las curvas de nivel, la hidrografía y los caminos, en este caso con apoyo de la data del LANDSAT 8 del 12 de abril del año 2013. Toda la cartografía se desarrolló con base al DATUM WGS84, Huso 19.

3.1.2 Corrección de imágenes

Las imágenes satelitales fueron debidamente georreferenciadas en función de la base cartográfica y puestas en concordancia entre sí, de tal forma que cada celda quedó en correspondencia con la misma superficie de terreno, en toda la serie. Se realizaron también las debidas correcciones radiométricas, incluyendo la

corrección atmosférica de cada imagen y el paso de ND a reflectividad, de tal forma de hacerlas comparables. El algoritmo de re muestreo en estos procedimientos correspondió al vecino más cercano, para así no alterar la data radiométrica original correspondiente a cada objeto registrado. El tamaño de celda o pixel definido para todas las imágenes y cartografía raster fue de 25 metros cuadrados (5 * 5 m).

3.1.3 Cartografía derivada de pendiente, exposición, altitud y cuencas.

A partir del DEM se obtuvo en formato raster la cartografía de pendiente, expresada en porcentaje, la de exposición y la de rangos altimétricos.

3.1.4 Caracterización de las cuencas.

Debido a la directa relación entre las características de las cuencas y la vegetación azonal, se procedió a caracterizar las cuencas correspondientes a ambos humedales, que se definieron por los siguientes indicadores:

3.1.4.1 Parámetros de forma

La forma de una cuenca influye sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación dada. Así, en una cuenca de forma alargada, el agua escurre, en general, por un solo cauce principal, mientras que en otra, de forma ovalada, los escurrimientos recorren cauces secundarios hasta llegar a uno principal, por lo que la duración del escurrimiento es superior.

Los índices más empleados para representar esta característica es el coeficiente de Gravelius.

Coeficiente de Gravelius. Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra teórica circular, de la misma superficie. Su expresión es la siguiente:

$$C_g = \frac{P}{2\sqrt{\pi \times A}}$$

Donde:

- Cg: coeficiente de Gravelius;
 P: perímetro de la cuenca (en km);
 A: superficie de la cuenca en (km²).

El valor que toma esta expresión es siempre mayor que la unidad y crece con la irregularidad de la forma de la cuenca, estableciéndose la siguiente clasificación:

Cg	Forma
1,00 – 1,25	Redonda
1,25 – 1,50	Ovalada
1,50 – 1,75	Oblonga

3.1.4.2 Parámetros de relieve

La influencia del relieve sobre el hidrograma es aún más evidente. A una mayor pendiente corresponderá una mayor duración de concentración de aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal, influyendo directamente en la vegetación azonal asociada a los cursos de agua. Los parámetros a utilizar son los siguientes:

Altura Media. Entrega información de la torrencialidad que puede tener la escorrentía superficial. Se obtiene partir del DEM de cada cuenca.

Pendiente Media. Es otro parámetro que define al relieve. Se calcula como la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales (píxeles) a obtener del DEM en porcentaje.

Coeficiente de Masividad. Se representa por tga y fue establecido por Martonne (1940); su expresión es la siguiente:

$$tg \alpha = \frac{h}{A}$$

Donde:

h: altura media de la cuenca (m);

A: superficie de la cuenca (km²).

Este coeficiente permite diferenciar netamente cuencas de igual altura media y relieve distintos, aun cuando no es suficiente para caracterizar la proclividad de la erosión de una cuenca, pues da valores iguales en el caso de cuencas diferenciadas, como por ejemplo, cuando la altura media y superficie aumentan proporcionalmente.

Coeficiente Orográfico. Se define como:

$$CO = \bar{h} \, tg \alpha$$

Donde:

\bar{h} : altura media de la cuenca (m);

Tg α : coeficiente de masividad.

Este índice combina los dos parámetros del relieve que actúa en los procesos erosivos: la altura media, sobre la energía potencial del agua; y la inclinación característica de las laderas de la cuenca, sobre la energía cinética del flujo de la escorrentía superficial.

3.1.4.3 Parámetros relativos a la red hidrográfica natural.

La red hidrográfica superficial se analizó a través de:

Densidad de Drenaje. Se define, para una cuenca dada, como la longitud media de curso por unidad de superficie, mediante la expresión:

$$D = \frac{\sum L_i}{A}$$

Donde:

D: densidad de drenaje (km⁻¹);

ΣLi: suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca (km);

A: superficie de la cuenca (km²).

En un principio y, sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al ser la densidad de drenaje más alta, una gota deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad de escurrimiento es mayor; por lo tanto, los hidrogramas, en principio, tendrán un tiempo de concentración corto.

Forma de red hídrica, Para ello se analizó el conjunto de la red hídrica de cada cuenca, de acuerdo a los patrones de forma de drenaje que describen distintos autores.

Caudales. A partir de los datos existentes de caudales por cuenca (m³/s) elaborados por CPH y Asociados S.A (2012) se establecerá la relación con los resultados obtenidos de la tendencia de la vegetación.

3.2 Identificación, Análisis de Proyectos en Ejecución y Obras Existentes en el Area de Estudio.

Del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) se obtuvieron los proyectos aprobados desde el año 1994 al presente, desarrollados en el área de estudio y se analizaron los respectivos estudios (EIA, DIA) y RCA. (Figura N° 2)



Figura N° 2. Ubicación de proyectos con EIA y DIA desde el año 1994 (KMZ SEA. Google Earth).

3.3 Análisis de Tendencia de la Disponibilidad de Agua en los Humedales.

Para la cuenca de Maricunga y las subcuencas correspondientes a los humedales bajo estudio, se analizaron las coberturas de nieve mediante datos satelitales. De esta forma, se determinó el tiempo (meses) en que cada año la cuenca permaneció con nieve, considerando la fecha con máxima cobertura hasta el mes donde la cobertura de nieve llega al mínimo (menor a 2%). En el caso de años con más de una cobertura máxima se consideró la fecha más temprana.

Por otro lado, a partir de los datos de precipitación (media anual) se obtuvieron la tendencia de precipitación de lluvia en la serie de años.

3.4 Levantamiento Vegetacional de Terreno.

Con la finalidad de definir en terreno muestras que permitieran ajustar los índices y el estado y condición de las formaciones vegetacionales que integran los humedales, se realizó una campaña de terreno en el mes de octubre del presente año, la que cubrió los tres humedales en estudio.

3. 4.1 Revisión bibliográfica

Se elaboró una base de datos de Especies descritas para el área de estudio mediante revisión de líneas base para flora y vegetación de los proyectos asociados al área de influencia de sus actividades, a saber, documentación ingresada al SEIA de los proyectos Lobo-Marte, Volcán y el proyecto Refugio. Se considera además información generada por la Corporación Nacional Forestal, el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG y los resultados del Proyecto “Caracterización de Humedales Altoandinos para una Gestión Sustentable de las Actividades Productivas del Sector Norte del País” del Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN 2013, entre otros.

Previo a la campaña de terreno se consultó el herbario del Museo Nacional de Historia Natural para cotejar los listados de especies obtenidos de la revisión realizada.

3.4.2 Uso de imágenes satelitales y cartografía preliminar.

A partir de la data satelital obtenida para los humedales del año 1995 a 2013, se elaboró la cartografía preliminar e indicadores vegetacionales espectrales que permitieron verificar y ajustar los umbrales y la propia utilidad de ellos de cara a una mejor discriminación de la condición de la vegetación y de las distintas formaciones. Se utilizó, en forma preliminar el SAVI (ver punto 3.5.1) y composiciones Infrarrojo color Convencional.

3.4.3 Información en terreno

Se comprobaron las unidades de vegetación, se ajustaron y modificaron, según la realidad de terreno. Debido a que Octubre corresponde al periodo de mayor aridez para estos sistemas y al periodo de máxima intensidad de afloraciones salinas (Ahumada y Faúndez, 2009), no se realizó inventario florístico de los sitios visitados al no encontrarse la vegetación en las mejores condiciones (vegetación en receso, cubierta de nieve, en latencia, quemada o cubierta de sales), tal como se puede observar en la imagen del sensor OLI del Landsat 8 (Figura N° 3), donde se aprecia en color magenta la nieve, en color verde la vegetación muerta y/o seca, en color blanco zonas con vegetación muy abierta en suelo con afloramientos salinos y en color rojo oscuro los bofedales.

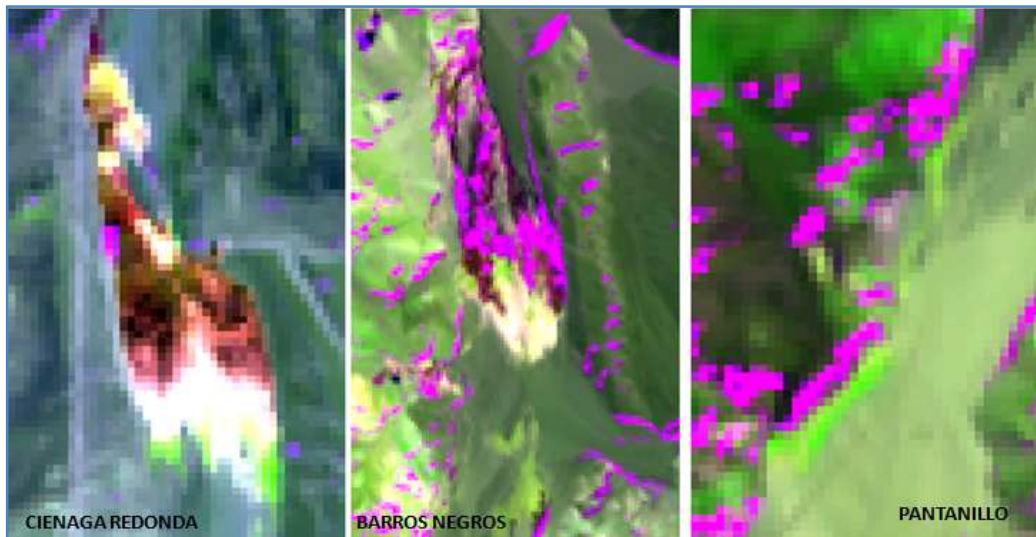


Figura N° 3. Imágenes del sensor OLI de octubre de 2013. RGB B452

Las visitas y evaluación del estado de la vegetación y formaciones dominantes se realizaron en compañía de personal del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Atacama. El chequeo consideró recorridos pedestres y toma de datos de modo de georreferenciar aquellas áreas con deterioro por desecación.

3.4.4 Codificación de vegetación

Dadas las condiciones, se realizó una caracterización de vegetación en el sector de Ciénaga Redonda, en función de características estructurales de las especies dominantes presentes, de acuerdo con la metodología de la "Carta de Ocupación de Tierras" (COT), adaptada para las condiciones ecológicas de Chile por Etienne & Contreras (1981) y Etienne & Prado (1982). Bajo esta metodología, se evaluó la vegetación en su estructura horizontal, es decir, el porcentaje de cubrimiento de cada uno de los estratos vegetacionales presentes y especies dominantes. La COT define 4 tipos biológicos básicos pero sólo dos son aplicables para el área de estudio: H (Herbáceo) y LB (Leñoso bajo) aunque este último sólo es aplicable a especies que componen la vegetación zonal. Esta metodología permite clasificar la estructura vertical de los estratos.

La codificación para altura y cobertura de los tipos biológicos presentes en los humedales se muestran en las Tablas N° 2 y 3 donde se presenta la simbología para identificar la estratificación del tipo biológico identificado junto a su índice de cobertura (n).

Tabla N°2. Codificación para alturas para tipos biológicos Leñoso Bajo y Herbáceo según metodología COT.

LEÑOSO BAJO (LB)			HERBÁCEO (H)		
SIMBOLOGIA	ALTURA	ESTRATO	SIMBOLOGIA	ALTURA	ESTRATO
$\overline{\text{LB}}$	<5cm	Extrem. Baja	$\overline{\text{H}}$	<5cm	Extrem. Baja
LB	5-25cm	Muy Baja	H	5-25cm	Muy Baja
$\underline{\text{LB}}$	25-50cm	Baja	$\underline{\text{H}}$	25-50cm	Baja
$\boxed{\text{LB}}$	50-100cm	Media	$\boxed{\text{H}}$	50-100cm	Media
$\textcircled{\text{LB}}$	100-200cm	Alta	$\textcircled{\text{H}}$	100-200cm	Alta
$\triangle \text{LB}$	>200cm	Muy Alta	$\triangle \text{H}$	>200cm	Muy Alta

Tabla N°3. Codificación para recubrimiento según Tipo Biológico de acuerdo a metodología COT

COBERTURA (%)	DENSIDAD	CODIGO	INDICE (n)
1 a 5	muy escasa	me	1
5 a 10	escasa	e	2
10 a 25	muy clara	mc	3
25 a 50	clara	c	4
50 a 75	poco densa	pd	5
75 a 90	densa	d	6
90 a 100	muy densa	md	7

Para este informe y de acuerdo a la Carta de Ocupación de Tierras, de Ettienne y Pardo, y a la Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestre de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT) del SAG, se definen los siguientes conceptos:

COT, como la representación cartográfica de la vegetación actual, expresada a través de su estructura (formaciones vegetales), composición florística (especies dominantes) e impacto del hombre sobre el medio.

Formación Vegetal, como aquella que describe la estructura de la vegetación clasificando sus comunidades en formaciones o tipos vegetacionales, a saber: Herbáceo (H), Leñoso Alto (LA), Leñoso bajo (Lb) y Suculento (S) y se basa en conceptos de estratificación y cobertura: Estratificación, como la disposición vertical de la vegetación.

Cobertura o Recubrimiento, como aquella proporción de terreno que ocupa la vegetación expresada en porcentaje.

Especies Dominantes, como aquellos tipos biológicos de mayor representatividad en cada formación vegetal.

Bofedal: como aquellas áreas que presentan dominancia de las especies con crecimiento en cojín, que forman cuerpos compactos y que se caracterizan por presentar dominancia de las especies *Oxychloe andina* y *Zameioscirpus*

atacamensis, asociados generalmente a niveles hídricos permanentes, cursos de agua corrientes o suelos sobresaturados. Estos pueden ser salinos o no salinos dependiendo de si el cubrimiento de sales superficiales es mayor o menor a un 5% (Ahumada, M. y Faúndez, L., 2009).

Vega: como aquellas áreas en que presentan dominancia las especies con crecimiento rizomatoso, capaz de formar un césped parejo o pequeños cojines herbáceos que no superan los 30 cm de altura. Es dominada por *Deyeuxia velutina* y *Deyeuxia eminens* acompañadas de *Calandrinia compacta*, *Arenaria rivularis* y *Nastanthus caespitosus*. Su cobertura varía entre un 30%, en suelos mas descubiertos, y sobre un 70% en sectores con mayor vegetación. El régimen hídrico se encuentra asociado a niveles freáticos superficiales o subsuperficiales. Se las puede clasificar como salinas si su porcentaje de sales es mayor al 20% de cubrimiento y como no salinas si es menor a ese porcentaje (Ahumada y Faúndez, 2009)

Pajonal Hídrico: Son áreas que presentan dominancia de especies con crecimiento cespitoso, donde el estrato varía entre 40 y 60 cm de altura. Las especies dominantes para este tipo corresponden a *Deyeuxia eminens* y *Deyeuxia velutina*, con coberturas que superan el 50% en sectores con altos porcentajes de cobertura vegetal. Asociados a este tipo de formación es frecuente encontrar la presencia de un musgo característico del género *Bryum*, además de especies hidrófilas como *Potamogeton strictus*, *Rupia marítima* y *Myriophyllum quítense*. Los aportes hídricos de esta formación son variados. Se encuentran asociados a suministros hídricos estables o permanentes y niveles freáticos medios o altos. Esta formación puede clasificarse en salina o no salina si su superficie de afloramiento de sales es menor a 30% o mayor a 30%.

3.4.5 Codificación de flora

De acuerdo con Etienne y Prado (1982), se codificaron las especies representativas de cada tipo biológico de acuerdo con las iniciales del nombre genérico y el nombre específico de la especie identificada. La utilización de

mayúsculas y minúsculas se encuentra relacionada con el tipo biológico identificado como se muestra en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4. Clave de codificación de especies según Metodología COT para los tipos biológicos presentes en el Área de Estudio

TIPO BIOLÓGICO	CODIGO		EJEMPLO	
	GENERO	ESPECIE	ESPECIE	CODIGO
Herbáceo	Minúscula	minúscula	Oxichloe andina	oa
Leñoso bajo	Mayúscula	minúscula	Adesmia echinus	Ae

3.4.6 Clasificación taxonómica y estado de conservación

Para la clasificación taxonómica de las especies presentes en el Área de Estudio y revisión de los Estados de Conservación de las mismas, se chequeó información bibliográfica especializada disponible, tanto física como digitalmente, así como los instrumentos legales vigentes. Esto incluyó revisión y chequeo de los estados de conservación de las especies descritas e identificadas para la zona en el Libro Rojo de la Flora Nativa y los Sitios Prioritarios Para su Conservación: Primera Región de Atacama, (Squeo et al, 2008), Clasificación de Especies del Ministerio del Medio Ambiente, Procesos 1° al 9°, Boletín N° 47 del Museo de Historia Natural, Lista Roja de la Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza (UICN), Bases de Datos del Instituto Darwinion y del Royal Botanical Garden, en sus versiones web, entre otros.

3.5 Elaboración de índices espectrales y análisis de tendencia y cambios anuales de la vegetación de los humedales.

3.5.1 Índices

Para efectos de estudiar los cambios vegetacionales, se procesaron en forma preliminar los índices de vegetación espectrales denominados NDVI, SAVI, los cuales fueron testeados en terreno y se procedió a crear un tercer índice que fue el denominado índice de humedad de la vegetación (IHUMV), el cual fue finalmente aplicado.

Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) (Huete, 1988). Es un índice de vegetación derivado del NDVI, cuya intención es incluir las variaciones radiométricas que induce la presencia de zonas con escasa cobertura vegetal, como las que se dan en ambientes semiáridos, mediante una constante (L) dependiente de la densidad del suelo, en el denominador, cuyo valor recomendado, para una amplio rango de coberturas, es 0.5. Para que este índice varíe en el mismo rango que el NDVI, se multiplica por "1 + L", correspondiente a la siguiente expresión:

$$SAVI = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R + L} (1+L)$$

Donde:

ρ_{IRC} : Reflectividad del píxel en la región del espectro correspondiente al infrarrojo cercano.

ρ_R : Reflectividad del píxel en la región del espectro visible rojo.

L: 0,5

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Tucker, 1979) es el índice de vegetación que estima la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Además, se puede relacionar con el contenido de calcio y el magnesio en la vegetación (Berta Gil, 2004). Se basa en la diferencia entre la absorción del rojo por la

clorofila y la máxima reflexión en el infrarrojo cercano debida al estado de la estructura celular de la planta.

$$NDVI = \frac{R845 - R665}{R845 + R665}$$

Donde:

R = Reflectancia

En coberturas vegetales fotosintéticamente activas y continuas se satura fácilmente, dificultando realizar distinciones dentro de ella misma, cuestión que es aplicable a los humedales.

Normalized Difference Water Index (NDWI) (Gao, 1996), modificado como IHUMV (Castro, 2012), es un índice cuyos valores varían por la cantidad de agua, tanto dentro de la vegetación como acumulada en el suelo. Utiliza las bandas del Infrarrojo cercano (IRC, 860nm) e infrarrojo medio (SWIR, 1240nm), esta última dentro del centro de la banda de absorción secundaria del agua a unos 1200 nm, por lo que varía en función del contenido de agua de la planta. Escribano (2009) observó que los valores bajos (negativos) estaban asociados a la vegetación seca, mientras que los altos (positivos) a la vegetación fotosintéticamente activa.

$$IHUMV = \left(\frac{\rho_{IRC} - \rho_{SWIR}}{\rho_{IRC} + \rho_{SWIR}} + 1 \right) * 100$$

Donde:

ρ_{IRC} : reflectividad Infrarrojo cercano

ρ_{SWIR} : reflectividad infrarrojo medio

En la Figura N° 4 se presenta una comparación de los tres índices para el humedal de Ciénaga Redonda.

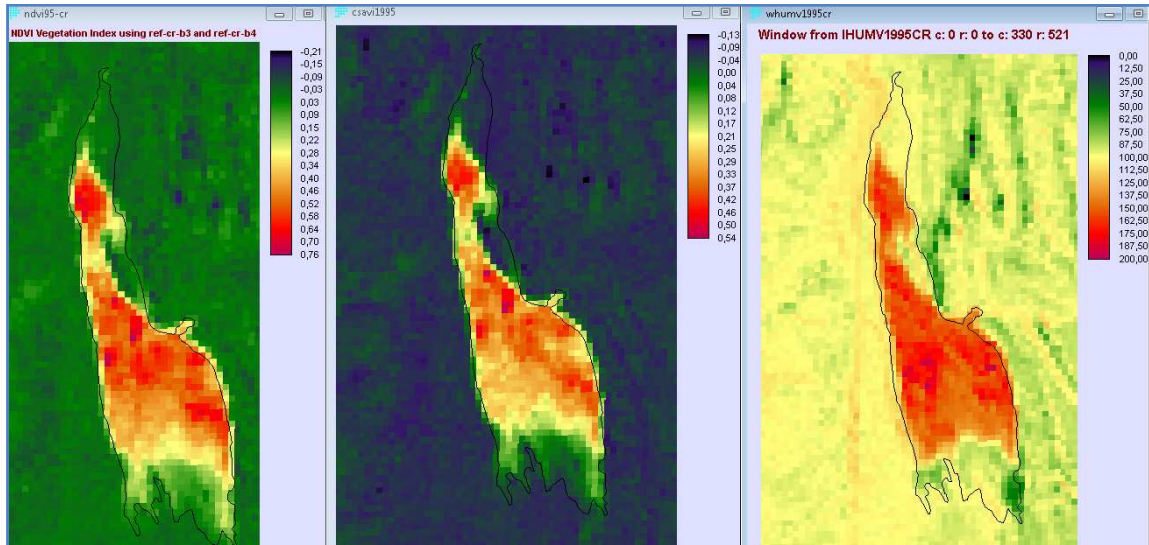


Figura N° 4. Índices espectrales: NDVI, SAVI e IHUMV año 1995.

Tanto el NDVI como el SAVI (izquierda y centro), se ven afectados por la reflectancia de fondo (suelo), aunque el SAVI en menor medida, no así el IHUMV el que al mismo tiempo, discrimina la vegetación muerta del humedal, cuyos restos en forma de cojinetes y coriáceos tienen baja reflectividad tanto en el IRC como en el IRM. También éste índice presenta una influencia de la humedad del suelo y las zonas con agua, discriminando de mejor forma los bofedales, formación que en el NDVI y en el SAVI se ven menos representadas.

3.5.2 Análisis multitemporal y cambios entre años críticos.

Los cambios de la vegetación azonal se obtuvieron a partir del análisis multitemporal del índice IHUMV, obteniendo un perfil temporal (PROFILE) de cambios y la tendencia (espacial) mediante la aplicación del Índice de Decremento Temporal (IDT):

$$IDT = \frac{\sum IHUMV_{ti} - IHUMV_{ti-1}}{ti - ti-1}$$

Donde, IHUMV es el índice de humedad vegetal.

Por consiguiente, el IDT del IHUMV da cuenta de condición de la vegetación del humedal a la fecha del último año de la serie analizada (2011) como producto de los cambios que ha experimentado en los 16 años que cubre la serie, condición que puede ser considerada como la vulnerabilidad de la vegetación, toda vez que representa la resiliencia a los procesos naturales y antrópicos que han sucedido en el tiempo.

Consecuentemente con lo anterior, se definieron las Unidades Cartográficas Homogéneas (UCH) para los años 1986 (como línea base), 1995 (inicio de la serie), 2011 (final de la serie), 2012 y 2013 y se realizaron los análisis de cambios entre estos años, basados en técnicas de tabulación cruzada.

3.6 Análisis de Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se entiende como la susceptibilidad del humedal a ser alterado o dañado (por una amenaza interna o externa que produce impacto) y perder las características naturales propias, tanto biológicas, como físicas, como ecosistema acuático y por ende, las funciones que realiza en relación a la biodiversidad y conservación de la vegetación, fauna y como sistema socio ecológico altoandino.

Las aproximaciones, por consiguiente, para determinar la vulnerabilidad, son complejas e incorporan múltiples variables, tal como lo propone el propio SAG (2006) que plantea la medición del grado de vulnerabilidad en base a medir los flujos de materia orgánica de origen antrópico, la heterogeneidad espacial, la vegetación riparia, existencia de zona buffer, inundaciones, conectividad intersistémica y naturalidad.

Sin embargo, considerando que lo central es tener un acercamiento al grado de resiliencia o de salud del humedal para efectos de enfrentar los impactos, en este

trabajo la aproximación al grado de vulnerabilidad del humedal será el resultado de la vulnerabilidad de las UCH, obtenida como el promedio IDT de la totalidad de las celdas que integra cada UCH (celdas de 25 metros cuadrados), de tal forma que el humedal con mayor superficie de UCH en grado mayor de vulnerabilidad, resulta ser más vulnerable.

Por consiguiente, la cartografía de vulnerabilidad de las UCH de los humedales Ciénaga Redonda y Barros Negros se determinaron a partir del promedio del decremento del IHUMV obtenido entre los años 1995 y 2011. En el caso de Pantanillo no se aplicó por las características actuales del humedal que se encuentra en un 98% seco y/o muerto.

En el caso del humedal Ciénaga Redonda se escaló el resultado (para evitar valores negativos) sumando 2 y multiplicando por 100, de tal forma que 200 representa el umbral de las UCH (mayor o igual) no vulnerables. En el caso de Barros Negros el factor de escalamiento se obtuvo sumando tres y multiplicando por 100, siendo 300 el umbral de vulnerabilidad.

4. ÁREA DE ESTUDIO.

Los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT) son humedales dependientes de un aporte hídrico constante, sean provenientes de aguas subterráneas cercanas a la superficie o fuentes superficiales de agua (Ahumada y Faúndez, 2009) y básicamente dependen del régimen de precipitaciones de los meses estivales provenientes del anticiclón Atlántico y/o nevadas, principalmente invernales, provenientes del anticiclón Pacífico. Un ejemplo de esta vegetación se encuentra en los humedales ubicados en la cuenca del salar de Maricunga, entre los que se encuentran el humedal Ciénaga Redonda, Barros Negros y Pantanillo que son el objeto del presente trabajo (Figura N° 5).



Figura N° 5. Ubicación de humedales en área de estudio (Imagen Google)

Los Humedales se encuentran insertos en el altiplano de la III Región de Atacama en la Provincia de Copiapó, Comuna de Copiapó, por sobre los 4000 msnm. Están ubicados en el sector del Corredor Biológico Pantanillo Ciénaga Redonda, propuesto por CONAF como conexión entre las dos porciones que conforman el Parque Nacional Nevado Tres Cruces (PNNTC), Laguna Santa Rosa y Laguna del Negro Francisco. Dadas las condiciones, este sector permite la movilidad, resguardo y alimentación de avifauna altoandina y mamíferos camélidos y por el que corre uno de los principales afluentes y aportadores de agua de las lagunas, el río Astaburoaga (CONAF, 2011). EL PNNTC pertenece al Sistema Nacional de Áreas Protegidas por el Estado, SNASPE, y es administrado por CONAF desde el año 1994 (D.S.N°947 del Ministerio de Bienes Nacionales que crea el PNNTC).

Las zonas que comprende el PNNTC, y zonas aledañas, están incluidas desde el año 1996, en la lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención Ramsar. Estos sectores están incluidos en la propuesta de Sitio Prioritario “Nevado Tres Cruces” para la Conservación de la Biodiversidad en la Región de Atacama según el Libro Rojo de la Flora Nativa y los Sitios Prioritarios para su Conservación, Región de Atacama (Squeo et al, 2008), El corredor Biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda (Tabla N°5) comprende, en su totalidad al 17,7% del total del Sitio Ramsar Nevado Tres cruces con 11.057 ha (CONAF, 2011).

Los humedales que comprenden el área de estudio corren paralelos al Este de la ruta C-607 que une las dos áreas que conforman el PNNTC y se encuentran en la zona de influencia de los proyectos mineros Refugio (Minera Maricunga), Lobo-Marte y Volcán, de Mineras Lobo Marte S.A. y Andina Minerals Chile Ltda. respectivamente.

Tabla N°5. Coordenadas de los sectores que comprenden el Corredor Biológico Pantanillo-Ciénega Redonda propuesta por CONAF y extraída de la Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (CONAF, 2011).

SECTOR	ALTITUD	COORDENADAS
Bofedal Ciénega Redonda	3.946 msnm	27°09'S 69°00'O
Bofedal Quebrada Villalobos	4.030 msnm	27°12'S 69°01'O
Vega Barros Negros	4.089 msnm	27°16'S 69°00'O
Vega Pantanillo	4.172 msnm	27°21'S 69°00'O

La Figura N°6 muestra la ubicación de los sitios que comprenden el Área de Estudio dentro del Sitio Prioritario Nevado Tres Cruces.

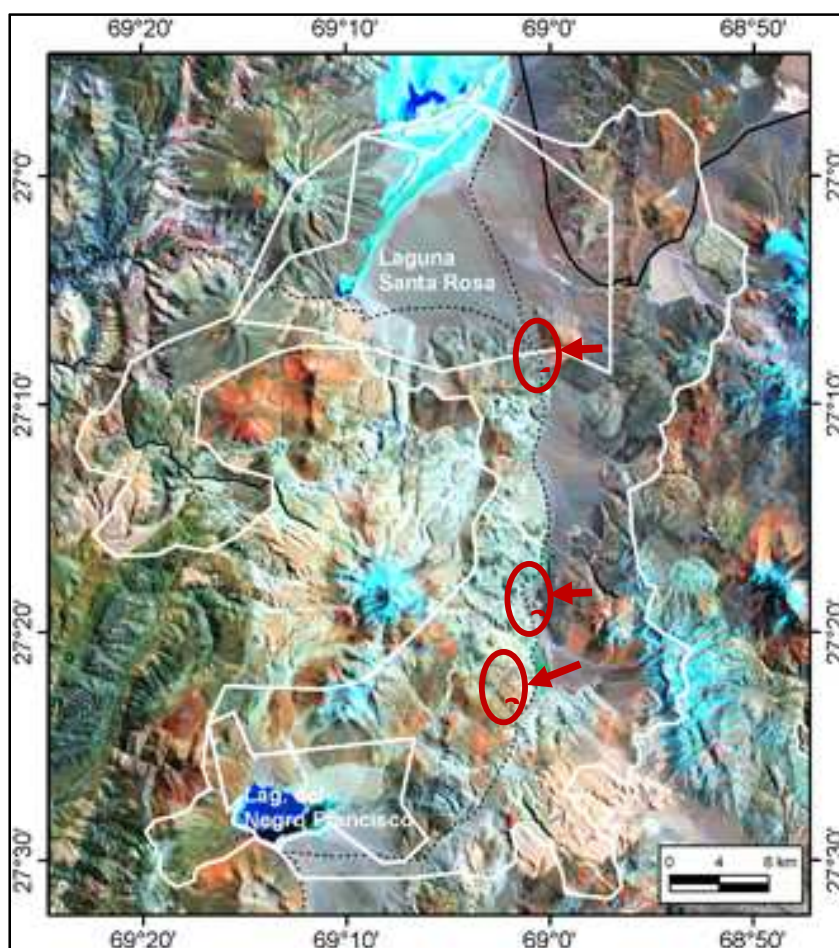


Figura N° 6. Del Libro Rojo de Atacama, Sitio Prioritario Nevado Tres Cruces que incluye las dos áreas que conforman el PNNTC. De Norte a Sur, la ubicación aproximada de los Humedales Ciénega Redonda (1), Barros Negros (2) y Pantanillo (3).

Los humedales en estudio forman parte a un conjunto de humedales altoandinos prioritarios de conservación de la Zona de Puna, caracterizados por una baja precipitación, en este caso del orden de 100 mm/año a los 4.000 msnm, con un promedio en la cuenca de Maricunga de 133 mm/año. La vegetación que caracteriza estos humedales son básicamente formaciones vegetacionales que corresponden a Bofedal Hídrico de *Zameioscirpus atacamensis*, Pajonales hídricos y Vegas en menor medida.

5. ANTECEDENTES SOBRE TRABAJOS EN EL ÁREA.

El área de estudio, correspondiente a los humedales de Ciénaga Redonda, Barros Negro y Pantanillo, cuenta con diversos estudios, realizados recientemente para el SEA, de las empresas mineras que se encuentran operando en el sector. Entre ellos se destacan el estudio del proyecto Minero Volcán correspondiente al “Modelo Hidrogeológico de Barros Negros- Ciénaga Redonda”, cuyos resultados permiten tener los caudales anuales por subcuencas de proyección de los acuíferos existentes, lo que entrega la base para relacionar el comportamiento productivo de los humedales del área de estudio.

De igual forma, el “Estudio Exploración Minera del Distrito Pantanillo” (Gamonal 2007), permite la ubicación de sitios de exploración en el área de Pantanillo y relacionarlos con el estado de los humedales. Un aporte similar lo constituyen los estudios del proyecto Minero Lobo Marte (AMEC, 2011), que entrega para Ciénaga Redonda, la ubicación de las obras y la caracterización de los acuíferos y el estudio hidrológico de la minera Santa Rosa, Minera Mantos Blancos y TECK (MDO, 1998).

Los proyectos relacionados con el área de estudio, en orden cronológico, según fecha de calificación son los siguientes:

Nombre: Proyecto Minero Refugio

Tipo de proyecto: EIA

Titular: Compañía Minera Maricunga

Fecha de calificación: **17-oct. 1994**

Ubicación.: 954499 468726 PSAD 56

Comuna: Copiapó

Nombre: Proyecto Minero Aldebarán

Tipo de proyecto: EIA

Titular: Compañía Minera Casale

Fecha de calificación: **31-ene-02**

Ubicación: 6924000 473000 DATUM No especificado

Comuna: Tierra Amarilla

Nombre: Optimización Proceso Productivo Proyecto Refugio

Tipo de proyecto: DIA

Titular: Compañía Minera Maricunga

Fecha de calificación: **10-nov-09**

Ubicación.: 954499 468726 PSAD 56

Comuna: Copiapó

Nombre: Proyecto Explotación de Minerales Can-Can (e-seia)

Tipo de proyecto: DIA

Titular: Compañía Minera Mantos de Oro

Fecha de calificación: **18-may-10**

Ubicación: 7035702 472902 WGS84

Comuna: Copiapó

Nombre: Prospección Minera Lobo Marte Etapa II

Tipo de proyecto: DIA

Titular: Minera Santa Rosa SCM

Fecha de calificación: **23-dic-10**

Ubicación: 6994567 497294 WGS 84

Comuna: Copiapó

Nombre: Proyecto de Prospección Minera Sierra La Sal

Tipo de proyecto: DIA

Titular: Fortune Valley Resources Chile S.A.

Fecha de calificación: **28-feb-11**

Ubicación: 6966207 492591 WGS 84

Comuna: Tierra Amarilla

Nombre: Modificación Sondajes de Prospección, Proyecto Volcán

Tipo de proyecto: DIA

Titular: Andina Minerals Chile Ltda.

Fecha de calificación: **06-ene-12**

Ubicación. 6973650 487807 WGS 84

Comuna : Tierra Amarilla

Proyecto Minero Refugio

Corresponde a una explotación minera que data del año 1994 y operó del año 1996 al año 2002, el año 2002 se aprobó una modificación al Proyecto, el 30 de diciembre del 2003 se aprobó Nuevo campamento, el 16 de enero de 2004 se aprobó una modificación y nuevas instalaciones y se autorizó una extracción de agua máximo de 95 l/s. El año 2009 se aprueba DIA para optimización de proceso productivo. La empresa reporta consumos del orden de 93 l/s. Los pozos de extracción se encuentran en el humedal de Pantanillo de donde conducen el agua hasta el Proyecto (Figura N°7).

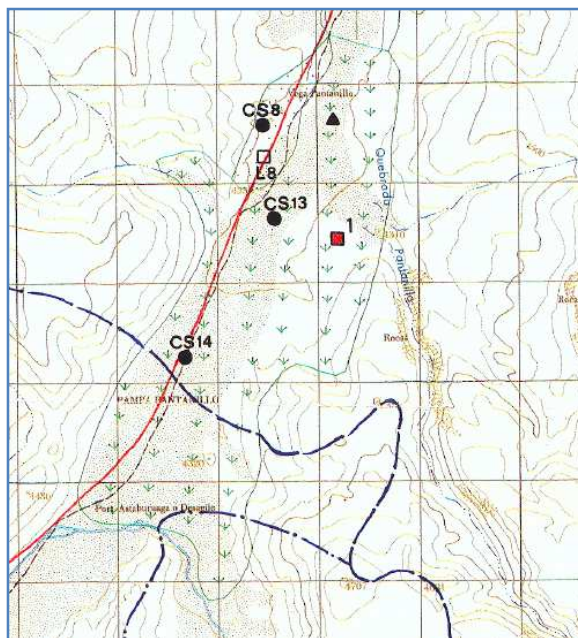


Figura N°7. Ubicación de pozos del Proyecto Refugio en humedal Pantanillo (CS8, CS13 y CS14) (EIA, 1994).

Proyecto Volcán

Los Sondajes de Prospección Proyecto Volcán fueron aprobados en el año 2008, el año 2012 se aprobó una modificación y actualmente se encuentra en proceso de calificación.

Proyecto Explotación de Minerales Can-Can

Corresponde a una explotación del proyecto aprobado el año 2010. Consiste en la explotación de un yacimiento de oro y plata, a rajo abierto. El abastecimiento de agua para el proyecto se realiza desde la cuenca del salar de Maricunga.

Proyecto Minero Aldebarán

Este proyecto se aprobó el año 2002 y se explotó por 12 años la mina a rajo abierto. En la actualidad se encuentra en proceso de calificación ambiental la optimización del proyecto Minero Cerro Cásale. El abastecimiento de agua lo realiza desde pozos (12) ubicados en el Llano de Piedra Pómez.

Proyecto de Prospección Minera Sierra La Sal

Este proyecto fue aprobado el año 2011 y está autorizado para realizar prospecciones en zonas con actividades mineras previas.

Proyecto Lobo-Marte

Prospección fue aprobada en el año 2009. En el año 2010 se aprobó el proyecto "Optimización Prospección Minera Lobo Marte", que aumentó el número de sondajes en 35 pozos de prospección adicionales. Luego en una segunda etapa (aprobada en el mismo año 2010) en el área Lobo Marte, se aumento a 196 sondajes adicionales. En la actualidad se encuentra en proceso de calificación ambiental la explotación de los rajos correspondientes.

6 CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS

6.1 Cuenca Salar Maricunga.

Los humedales Ciénaga Redonda, Barros Negro y Pantanillo forman parte de la cuenca del Salar Maricunga, siendo a su vez ambos humedales parte de la subcuenta denominada Quebrada Ciénaga Redonda, cuya delimitación se muestra en la Figura N° 8 y tuvo como base la imagen satelital del LANDSAT 8 del 12 de abril del año 2013 y la data correspondiente a las curvas de nivel con equidistancia de 50 metros (Figura N° 9).



Figura N° 8. Ubicación de humedales en valle de la Cuenca Quebrada Ciénaga Redonda.

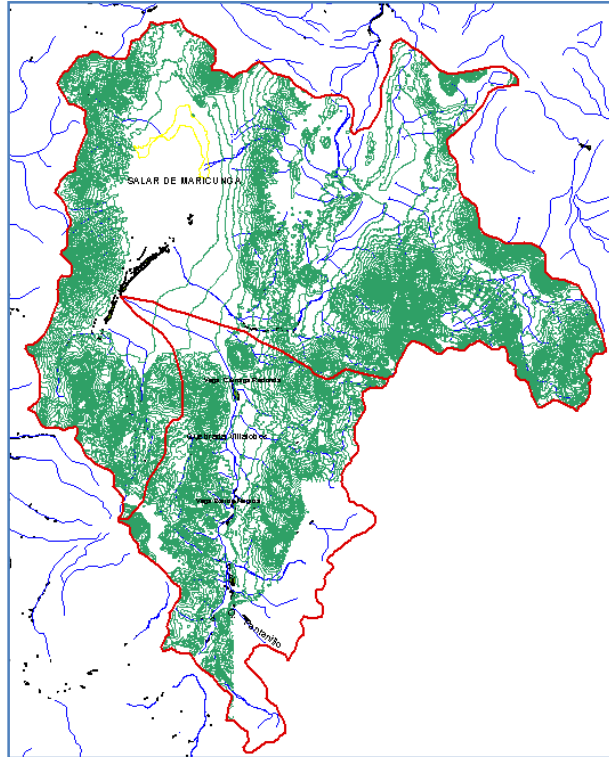


Figura N° 9. Curvas de nivel Cuenca Maricunga

Se asocia a la cuenca de Maricunga, una base de datos correspondiente a las curvas de nivel, red hídrica natural general de la cuenca, caminos y senderos existentes, humedales identificados en la cuenca, entre ellos los correspondientes a este estudio (Ciénaga Redonda, Barros Negros y Pantaniño), pisos vegetacionales, ubicación de faenas mineras, puntos de caudales, puntos con ubicación de los proyectos ingresados al SEA e imagen satelital (LANDSAT 8) del 12 de abril del 2013 (se adjuntan archivos en formato shp, ubicados en carpeta con nombre “cca-maricunga”) (Figura N° 10).

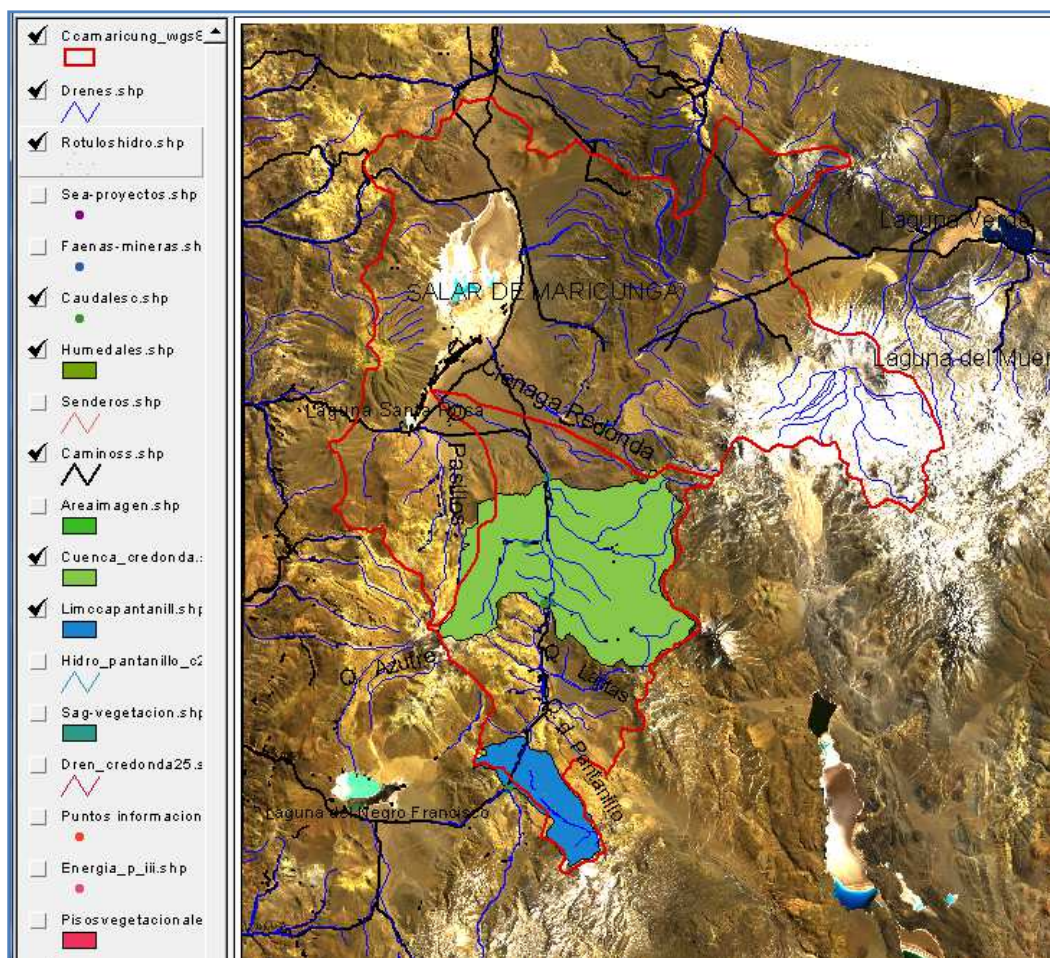


Figura N° 10. Ubicación de humedales en cuenca Quebrada Ciénaga Redonda.

La cuenca del Salar de Maricunga es la segunda cuenca cerrada más grande de la Tercera Región después de Pedernales y corresponde a la cabecera norte del sistema Ciénaga Redonda y representa el término de esta misma. Sus afluentes principales corresponden al río Lamas, que escurre de este a oeste, y a la quebrada Ciénaga Redonda, que escurre de sur a norte. El aporte más significativo lo entrega la quebrada Ciénaga Redonda con una componente total (subterránea y superficial) de 614 l/s como promedio anual (CPH, 2012).

La superficie calculada para la cuenca del Salar de Maricunga, de acuerdo a la cartografía que se adjunta, corresponde a 308.694,4 hectáreas y la subcuenca correspondiente a Quebrada Ciénaga Redonda es de 91.454,9 hectáreas. La

altitud máxima de la cuenca es de 6.750 msnm en el sector ubicado al sur de la Laguna el Muerto y la mínima es de 3.750 ubicada en el Salar, lo que entrega una diferencia y define la altura de 3.000 metros.

En el valle de la cuenca Quebrada Ciénaga Redonda, se ubican una serie de humedales, la mayoría pajonales hídricos, siendo los principales, siguiendo la dirección sur – norte, los siguientes (Figura N° 9):

- Humedal sector Pantanillo
- Humedal sector Quebrada Las Lajitas.
- Vegas Barros Negros
- Humedal Quebrada Villalobos.
- Humedal Ciénaga Redonda.

6.1.1 Precipitación

Los humedales bajo estudio, insertos en la cuenca del Salar de Maricunga, se caracterizan por un clima de Tundra por Efecto de altura, el cual presenta características desérticas y una oscilación térmica amplia entre el día y la noche. El origen de las precipitaciones es principalmente frontal ocurriendo en invierno (de mayo a agosto). Los meses de verano (de octubre a marzo) son secos, con tormentas ocasionales correspondientes al “Invierno Altiplánico”.

El área presenta precipitaciones nivales de origen frontal abundantes, que se producen entre los meses de mayo a agosto. Esta precipitación sólida provee el recurso hídrico que alimenta a los cursos superficiales de la zona. Con respecto a las precipitaciones líquidas, éstas resultan escasas.

El área de estudio no cuenta con información local de precipitaciones, salvo la reportada para los años 1997 y diciembre 1998 en la estación meteorológica “Proyecto Lobo Marte” ubicada a 4.090 msnm, datos reportados en la línea base

de la EIA (Golder Associate, 2011), siendo las estaciones meteorológicas existentes más cercanas las correspondientes a Las Vegas y a Pastos Grandes, ubicadas a 88 km al NO y a 57 Km al O del área de estudio respectivamente (Figura N° 11).

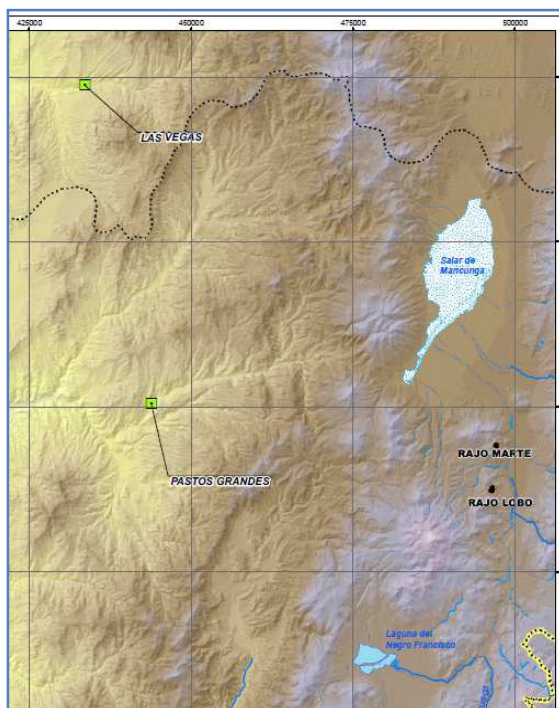


Figura N° 11. Ubicación de estaciones meteorológicas. (Fuente: Modificada de línea base KINROSS, 2011).

Los datos de precipitación media anual de ambas estaciones se presentan en la Tabla N° 5 y la gráfica correspondiente en la Figura N° 12.

Tabla N° 5. Precipitaciones anuales de estaciones meteorológicas Las Vegas y Pastos Grandes.

Año	Las Vegas	Pastos Grandes	Promedio
1995/96	26,1	19,5	22,8
1996/97	21,5	42,2	31,85
1997/98	87,1	130	108,55
1998/99	14	10	12
1999/2000	21	20	20,5
2000/01	63,5	46,5	55
2001/02	0	9,5	4,75
2002/03	47	76	61,5
2003/04	0	0	0
2004/05	27	11	19
2005/06	27	32	29,5
2006/07	28	26	27
2007/08	0	20	10
2008/09	13	3,5	8,25

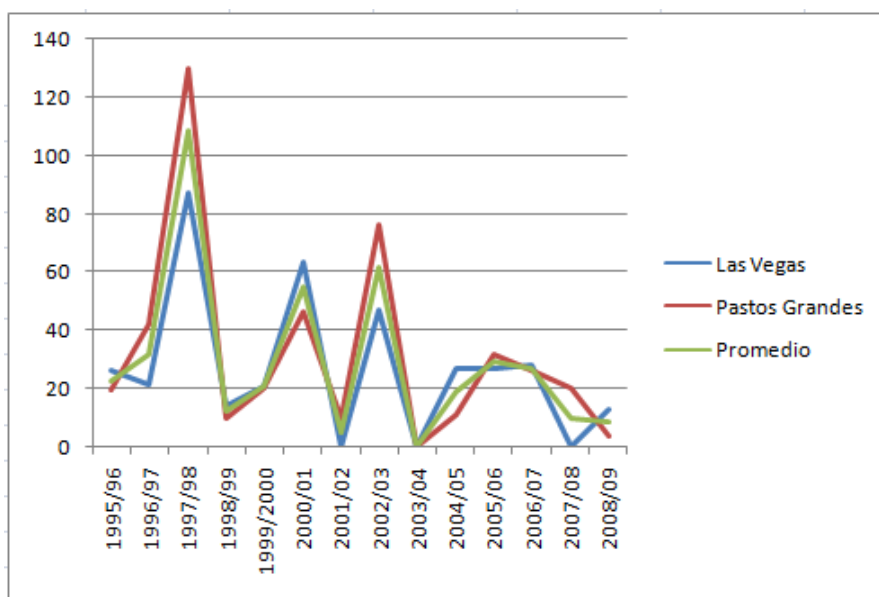


Figura N° 12. Distribución de precipitaciones en periodo 1995 a 2009. (Fuente propia).

La tendencia de la precipitación media anual es claramente a disminución, pasando en promedio de 108 mm/año a 8,5 mm/año entre el año 1995 a 2009.

6.1.2 Superficie de nieve.

Considerando la cobertura de nieve anual de la cuenca Maricunga, analizada de acuerdo a la data satelital (Figura N° 13), se tienen los resultados que se indican en la Tabla N° 6.

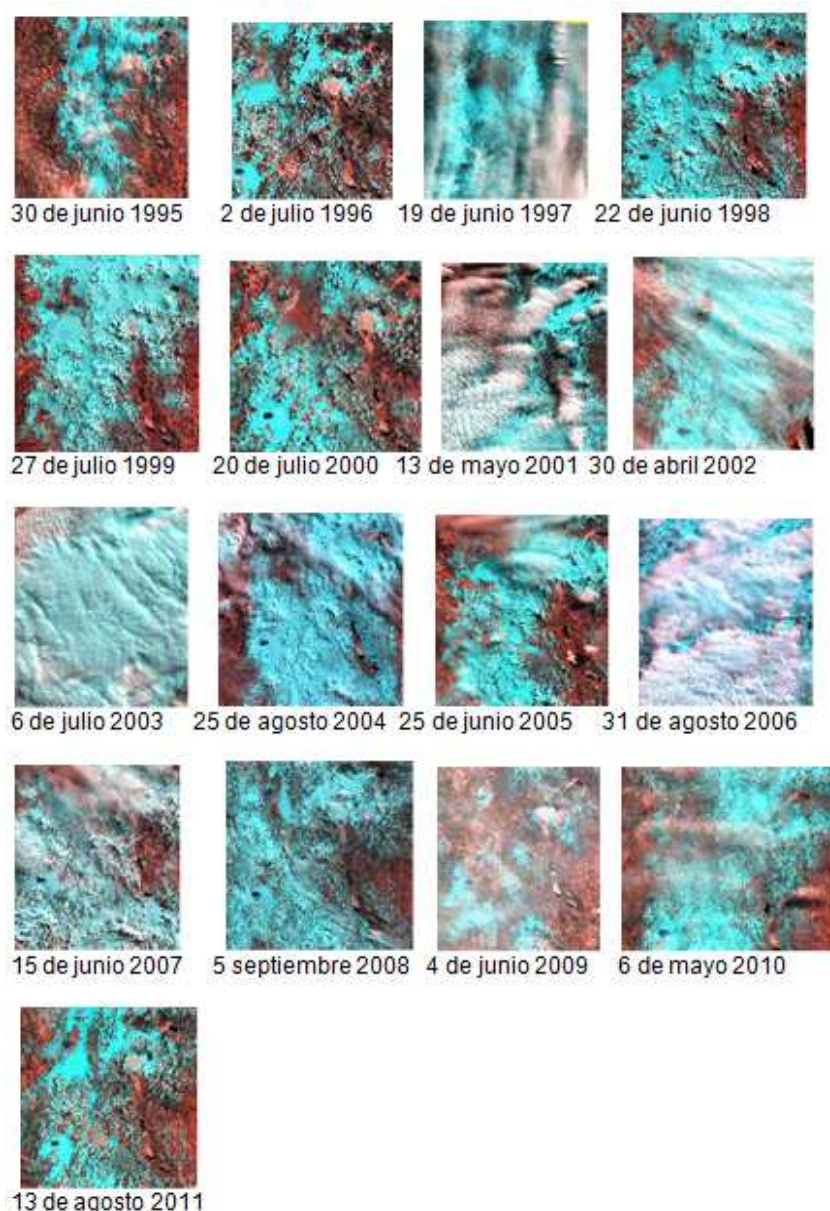


Figura N°13. Distribución de cobertura nival en periodo 1995 a 2011. (Fuente propia).

Tabla N° 6. Meses con nieve en la cuenca Maricunga.

Año	Mes de Inicio	Máximo	Término	Total de meses	meses desde el máx
1995	30-jun	30-jun	octubre	4	4
1996	20-abr	02-jun	septiembre	5	3
1997	19-jun	19-jun	diciembre	6	6
1998	22-jun	22-jun	octubre	4	4
1999	27-jul	27-jul	septiembre	2	2
2000	27-abr	20-jul	septiembre	5	2
2001	28-mar	13-may	agosto	5	3
2002	30-abr	30-abr	septiembre	5	5
2003	30-abr	06-jul	octubre	6	3
2004	08-jul	25-ago	octubre	3	2
2005	08-may	08-05-2013 y 25-jun	octubre	5	5
2006	11-may	31-ago	octubre	5	2
2007	28-abr	15-jul y 20- sept	octubre	6	3
2008	05-sep	05-sep	octubre	1	1
2009	30-jun	24-ago	septiembre	3	1
2010	06-may	06-may	julio	2	2
2011	09-may	13-ago	septiembre	4	1

El máximo, corresponde a la fecha con mayor cobertura de nieve caída, de acuerdo a captura de la data satelital.

La estimación de los meses con presencia de nieve en la cuenca se consideraron a partir de la fecha de mayor cubierta, se indican en la columna “meses desde máx”, cuyo resultado se presenta el gráfico de la Figura N° 14.

Los años con mayor número de meses con caída de nieve (total de meses) corresponden a los años 1997, 2003 y 2007, mientras los años con menos meses fueron 199, 2008 y 2010.

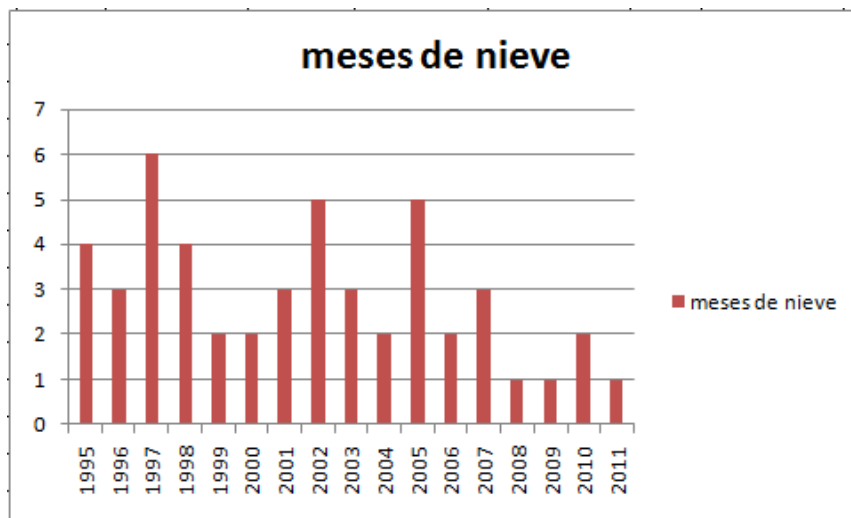


Figura N° 14. Meses con nieve a partir del mes de mayor caída de nieve en la cuenca.

Con excepción de los años 1997, 2002 y 2005, la tendencia de la serie es a una disminución de los meses con nieve caída desde el mes de máxima cobertura.

6.2 Cuenca Ciénaga Redonda.

La cuenca Ciénaga Redonda fue definida considerando la línea divisoria de las aguas desde el punto de salida de (aguas abajo) de la vega Barros Negros, tal como se muestra en la Figura N° 17.

La base de trabajo de la definición de la cuenca se realizó mediante la data obtenida del DEM ASTER versión 2, del cual se derivó al mismo tiempo las curvas de nivel con equidistancia de 25 m. Sumado a lo anterior se contó con la imagen satelital del LANDSAT 8 (15 metros de resolución espacial) e imagen RapidEye de 5 metros. El DEM y las curvas obtenidas se muestran en la Figuras N° 15 y 16.

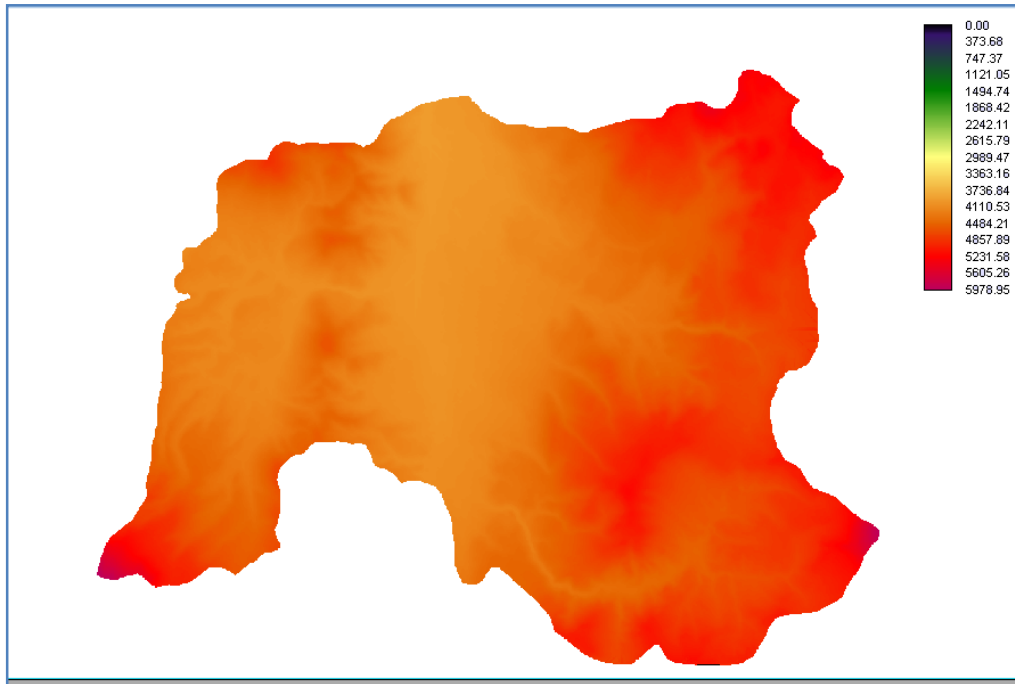


Figura N° 15. DEM correspondiente a la Cuenca del Ciénaga Redonda.

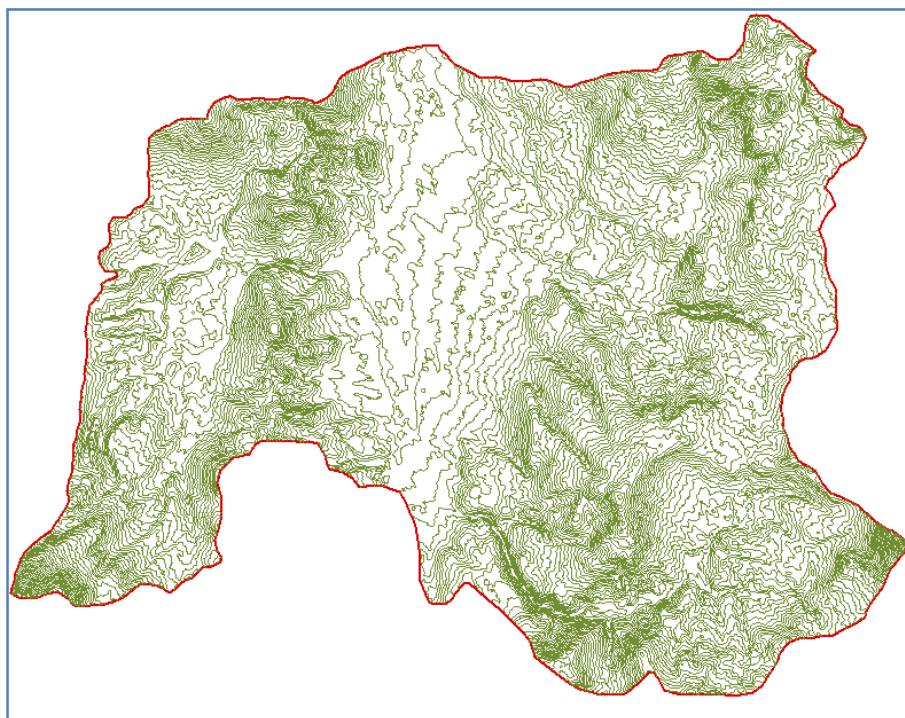


Figura N° 16. Curvas de nivel con equidistancia de 5 m. Cuenca del Ciénaga Redonda.

6.2.1 Características topográficas e hídricas.

La cuenca tiene una superficie de 42.669,7 hectáreas, tiene un perímetro de 107,8 km, lo que entrega un coeficiente de forma de 1,48 que dice relación con una forma ovalada, lo que implica una rápida concentración de la escorrentía superficial desde los sectores altos al valle central de la cuenca, lo que está en correspondencia con el tipo de estructura dendrítica que tiene la cuenca, caracterizada por drenes que convergen, mayoritariamente en el eje longitudinal del valle, tal como se puede apreciar en la Figura N° 17.

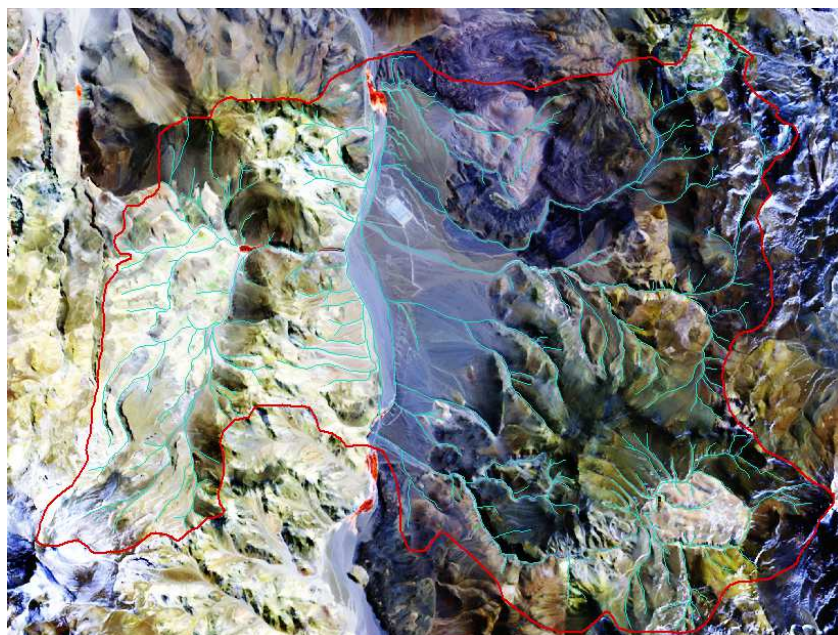


Figura N° 17. Cuenca Humedal Ciénaga Redonda

De igual forma, la densidad del drenaje es 1,1 lo que representa una densidad media, con escurrimientos superficiales sean también medios al igual que la infiltración.

En relación a la topografía de la cuenca, está definida mayoritariamente por el distrito ondulado inclinado con una superficie de 13.533,5 ha (31,7%) y una

superficie de valle con distritos plano y plano inclinado con un total de 12.349,3 ha (28,9%) (Tabla N° 7 y Figura N° 18).

Tabla N° 7. Pendiente y superficie.

Pendiente (%)	Distrito	Superficie (ha).
0 -4,5	Plano	5063,7
4,5-10,5	Plano inclinado	7285,8
10,5 - 17,5	Ondulado	7902,9
17,5 - 34,5	Ondulado inclinado	13533,5
34,5 - 47,5	Cerranía	5325,4
47,5 - 66,5	Cerranía inclinada	2918,2
66,5-95,5	Montano	480,6
> 95,5	Montano inclinado	159,6
Total		42669,7

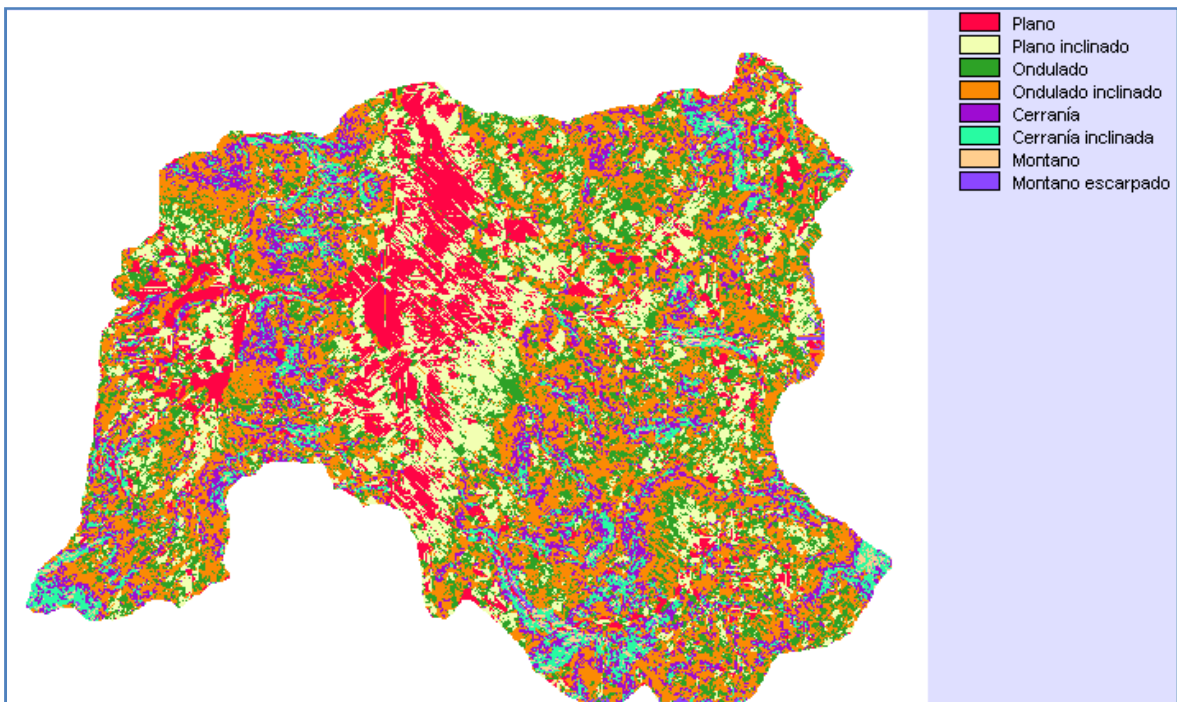


Figura N° 18. Distribución de distritos de pendiente en la cuenca.

La pendiente media de la cuenca es de 22.8%, con un altura media de 549 metros, un coeficiente de masividad bajo (1,2) y orográfico (658,8) lo que la caracteriza como una cuenca de montaña de bajo riesgo de erosión.

6.3 Cuenca Pantanillo.

En este caso la cuenca fue definida a partir de la divisoria de aguas de todos los drenes que alimentan directamente el humedal (Figura N° 19).

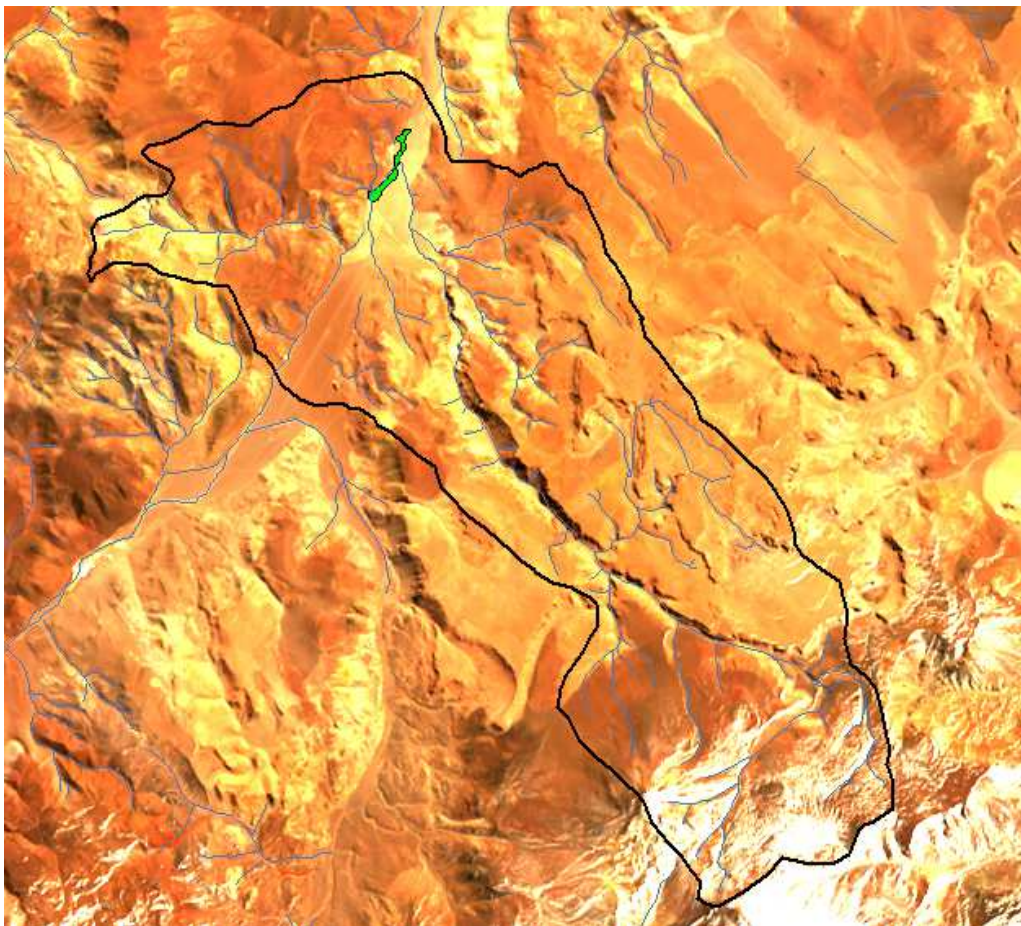


Figura N° 19. Cuenca humedal Pantanillo.

En este caso la cartografía de curvas de nivel obtenida del DEM-ASTER se presenta en la Figura N° 20 y el DEM la Figura N° 21.



Figura N°20. Curvas de nivel derivadas del DEM, equidistancia 25 m.

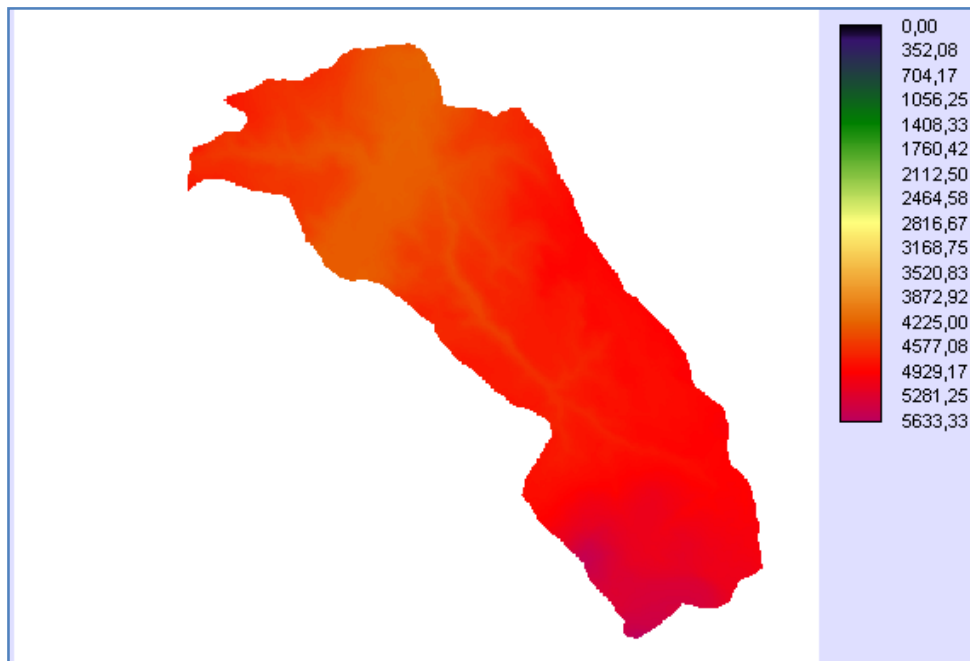


Figura N° 21. DEM Humedal Pantanillo.

6.3.1 Características topográficas e hídricas.

La cuenca tiene una superficie de 8.260,2 hectáreas, un perímetro de 49,3 Km. lo que determina un coeficiente de forma de 1,5 lo que define una cuenca de forma oblonga, lo que define una escorrentía media a lenta hacia el punto de salida, en relación a cuencas con formas más ovaladas, como es el caso de Ciénaga Redonda, esto también se relaciona con la forma del sistema de drenaje que corresponde a un sistema dendrítico, tal como se aprecia en la Figura 20.

La densidad de drenes es del orden de 1,4 lo que permite una media a alta infiltración y una disminución de la escorrentía superficial.

La topografía de la cuenca se caracteriza por una pendiente de 22,9%, una altura media de 712 m, con un coeficiente de masividad de 8,6 y orográfico muy alto (6123), lo que implica un alto poder erosivo.

Las pendientes predominantes dan cuenta (Figura N° 22) de la presencia mayoritariamente de los distritos ondulado y ondulado inclinado con 2.845,7 y 1.693,3 respectivamente, lo que representa el 55% de la superficie de de los ocho distritos (Tabla N° 8).

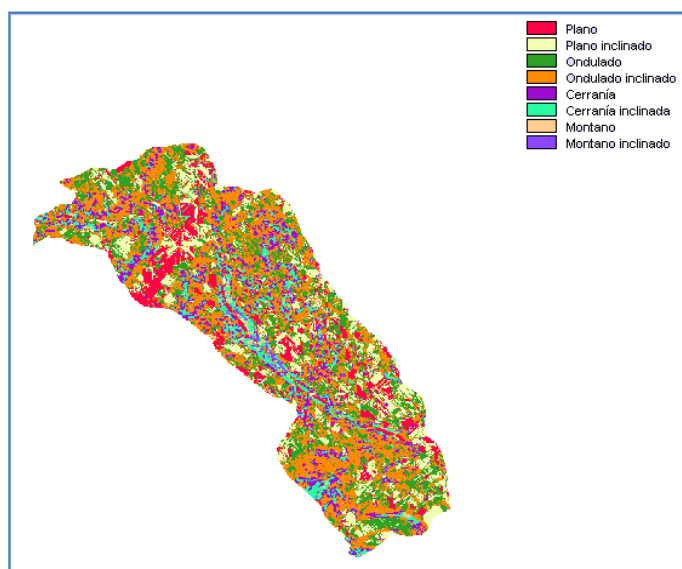


Figura N° 22. Distritos de pendientes. Cuenca humedal Pantanillo.

Tabla N° 8. Superficies en hectáreas de la cuenca Pantanillo.

Pendiente (%)	Distrito	Superficie (ha).
0 -4,5	Plano	794,3
4,5-10,5	Plano inclinado	1264,5
10,5 - 17,5	Ondulado	1693,3
17,5 - 34,5	Ondulado inclinado	2845,7
34,5 - 47,5	Cerranía	931,5
47,5 - 66,5	Cerranía inclinada	599,3
66,5-95,5	Montano	93,5
> 95,5	Montano inclinado	37,9
Total		8260

7. CAUDALES ANUALES ESTIMADOS EN CIÉNAGA REDONDA Y BARROS NEGROS – PANTANILLO.

Los datos de caudales estimados para ambas cuencas en estudio, de acuerdo a reciente trabajo de la empresa CPH y Asociados S.A (2012), parte del Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Minero Volcán. Capítulo 4. Evaluación de Impactos y Riesgos Ambientales Anexo 4.7 Hidrogeología, los resultados obtenidos son los siguientes (Tabla N° 9), lo que se expresan en el gráfico de la Figura N° 23.

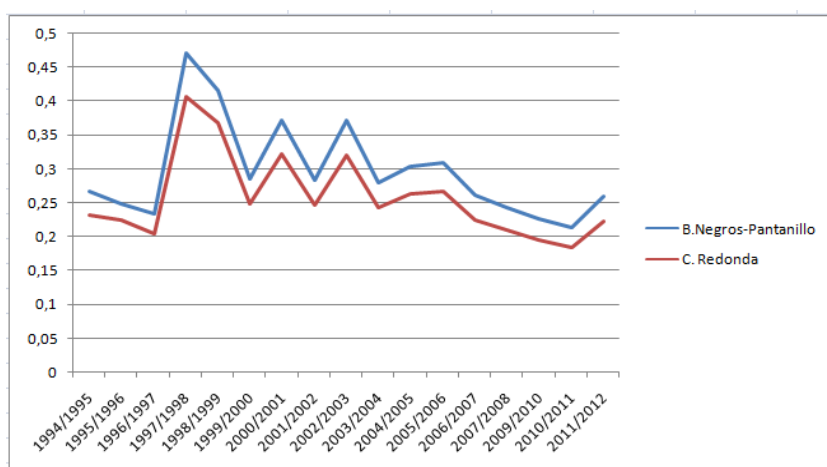


Figura N° 23. Caudales medios anuales en m³/s. (Fuente propia).

Tabla N°9. Caudales medios para las Cuencas de C. Redonda y B. Negros-Pantaniillo.

Año	B. Negros-pantaniillo	Credonda
1994/1995	0,268	0,232
1995/1996	0,249	0,224
1996/1997	0,235	0,204
1997/1998	0,471	0,406
1998/1999	0,416	0,367
1999/2000	0,285	0,248
2000/2001	0,371	0,321
2001/2002	0,284	0,246
2002/2003	0,371	0,319
2003/2004	0,281	0,243
2004/2005	0,304	0,263
2005/2006	0,309	0,266
2006/2007	0,261	0,225
2007/2008	0,243	0,209
2009/2010	0,226	0,195
2010/2011	0,214	0,184
2011/2012	0,259	0,223

Fuente: CPH y Asociados S.A (2012).

Las cuencas definidas para Ciénaga Redonda y Barros Negros-Pantaniillo, en este caso corresponden a las que se visualizan en la Figura N° 24.

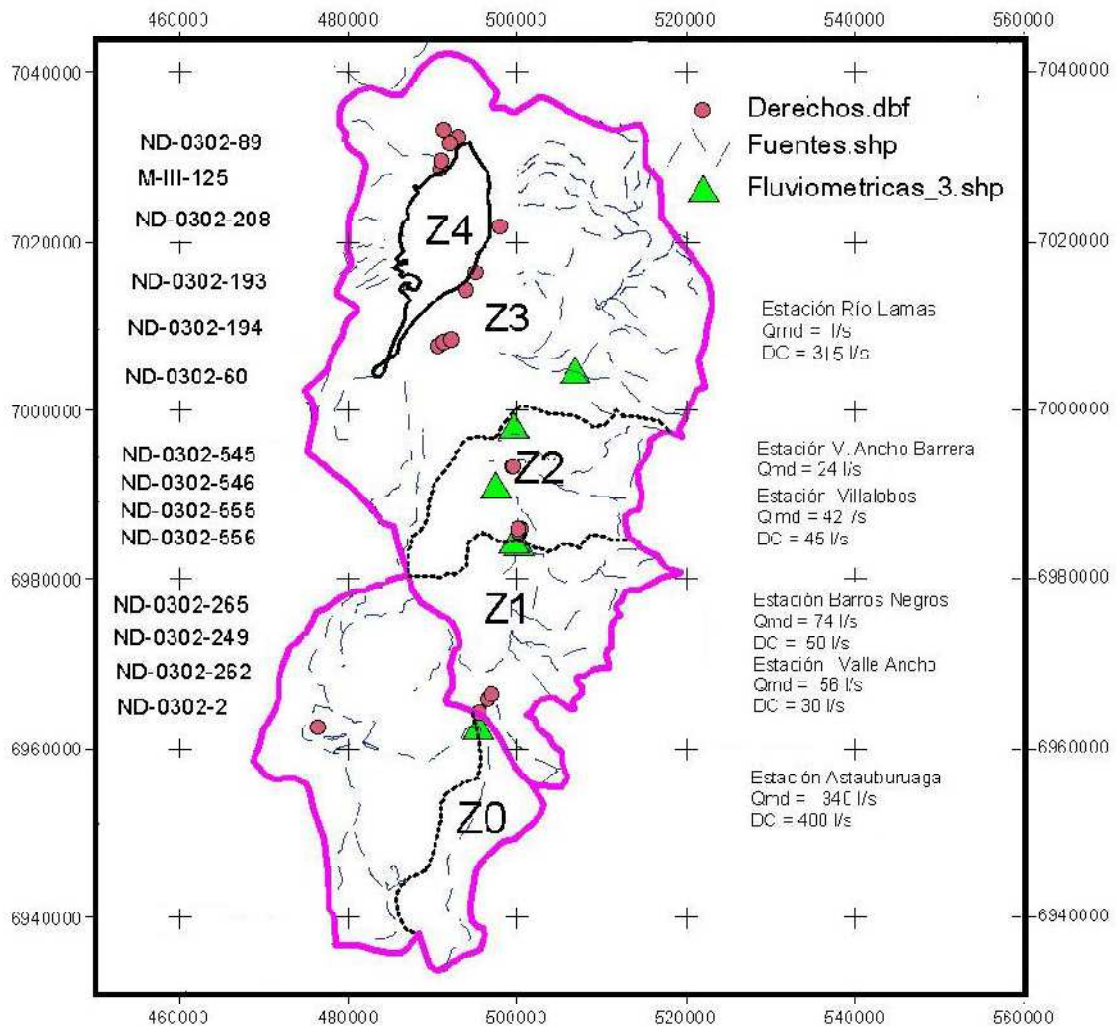


Figura N° 24. Cuencas definidas para la estimación de caudales por CPH Asociados S.A (2012).

Comparativamente la cuenca Z2 es de menor superficie que la cuenca Z1, siendo Z2 la correspondiente a Ciénaga Redonda, lo que hace coherente los datos de caudales estimados (Tabla N° 9).

La tendencia, en ambas cuencas, indica que partir del año 1998/1999 comienza a descender el caudal, produciéndose un descenso brusco el año 1999/2000, manteniéndose desde esa fecha una tendencia de descenso. Entre el año 1997/1998 y el año 1999/2000 el descenso fue de $0,186 \text{ m}^3/\text{s}$ para llegar al 2012 con un descenso de $0,212 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo el año 2010/2011 el punto más bajo, correspondiente a un descenso de $0,257 \text{ m}^3/\text{s}$, en la cuenca del B. Negros-Pantanillo, mientras que en C. Redonda, entre los mismos años es de $0,183 \text{ m}^3/\text{s}$.

Considerando que los datos fueron estimados, para la cuenca de Barros Negros que incluye la subcuenca de Pantanillo, siendo esta última aproximadamente el 20% del total de la superficie de la cuenca, se puede estimar que el caudal de la cuenca propia de Pantanillo se puede estimar en torno del 20% de los caudales anuales estimados para el total de la cuenca Barros N.-Pantanillo, lo que hace más significativo el descenso de caudal en la cuenca de Pantanillo.

8 DESCRIPCIÓN VEGETACIONAL Y TENDENCIA DE LOS HUMEDALES.

Como resultado de la revisión de antecedentes para flora y vegetación presentes en el Área de Estudio, se recopiló información de 57 especies (Tabla N° 10) existentes en corredor biológico Pantanillo-Ciénaga. De estas, 25 especies tendrían distribución azonal, 2 de las cuales constituyen vegetación acuática. De las 57 especies, 8 corresponden a especies arbustivas.

La representatividad de familias para el sector del corredor biológico y sistemas azonales se muestran en las Figuras N° 25 y 26.

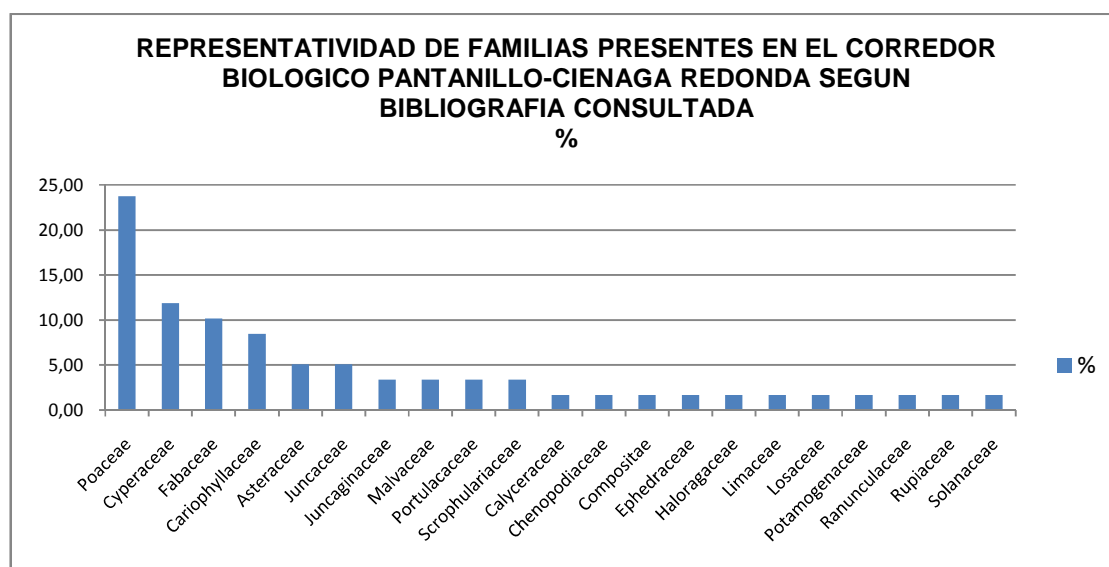


Figura N° 25. Representatividad de familias presentes en el corredor biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda

De las 25 especies descritas con distribución azonal, sólo 15 se encuentran identificadas para la zona de estudio. De ellas y dada la época de la visita, sólo 6 fueron identificadas en terreno: *Oxichloe andina*, *Zameioscirpus atacamensis*, *Deyeuxia velutina*, *Deyeuxia curvula* y *Deschampsia caespitosa*. *Deyeuxia crisophylla* fue identificada en terreno pero no se encontró en las bases de datos revisadas. De acuerdo con éstas, predominan en el corredor biológico especies

del la familia de las poáceas, del género *Deyeuxia* lo que se pudo constatar visualmente durante las actividades de terreno.

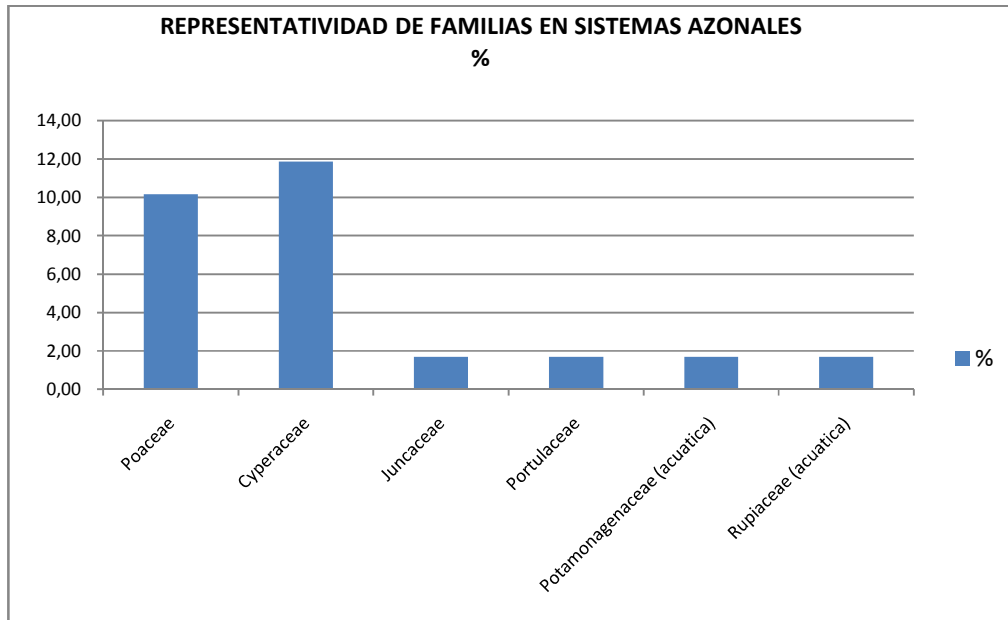


Figura N° 26. Representatividad de familias presentes en sistemas azonales.

Por otro lado, la actualización de los Estados de Conservación de las especies descritas para todo el sector arrojó que 36 de ellas se encuentran Fuera de Peligro según el Libro Rojo de Atacama (Squeo et al, 2008), 17 Sin Información, 1 Vulnerable y 3 en categoría Insuficientemente Conocida (IC (FP?), IC (V?) y (E?), IC (FP?) (Tabla N° 10). Por su parte, la UICN (Tabla N° 11) identifica solo 3 especies en categoría Poco Conocida (LC) donde una de ellas se corresponde con vegetación azonal (*Zameioscirpus atacamensis*) y dos zonales. La revisión de los procesos 1 al 9 del Estado de Clasificación de Especies del MMA, en cambio, no identifica ninguna especie para el sector ni para el área de estudio con problemas de Conservación en sus listas.

Tabla N° 10. Listado de especies para la zona del Corredor Biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda, clasificación y estado de conservación según bibliografía consultada.

ESPECIE	TIPO BIOLÓGICO	FAMILIA	Libro Rojo de Atacama	UICN	MMA
<i>Perezia purpurata</i> Wedd.	H	Asteraceae	FP	SI	SI
<i>Chaetanthera sphaeroidalis</i> (Reiche) Hicken	H	Asteraceae	FP	SI	SI
<i>Senecio volkmanii</i> Phil.	H	Asteraceae	FP	SI	SI
<i>Nastanthus caespitosus</i> (Phil.) Reiche (*)	H	Calyceae	FP	SI	SI
<i>Arenaria rivularis</i> Phil. (*)	H	Cariophyllaceae	FP	SI	SI
<i>Colobanthus quitensis</i> (Kunth.) Bartl.	H	Cariophyllaceae	FP	SI	SI
<i>Arenaria serpens</i> Kunth	H	Cariophyllaceae	SI	SI	SI
<i>Stellaria debilis</i> Brandt.	H	Cariophyllaceae	SI	SI	SI
<i>Stellaria stenopetala</i> Phil.	H	Cariophyllaceae	SI	SI	SI
<i>Sarcocornia pulvinata</i> (R.E.Fries) A.J. Scott	H	Chenopodiaceae	SI	SI	SI
<i>Senecio eriophyton</i> Remy	A	Compositae	SI	SI	SI
<i>Carex gayana</i> Desv.	H	Cyperaceae	FP	SI	SI
<i>Carex malmei</i> Kalela	H	Cyperaceae	FP	SI	SI
<i>Zameioscirpus atacamensis</i> (Phil) Dhooge & Goetgh	H	Cyperaceae	FP	LC	SI
<i>Carex maritima</i> , Gunnerrus	H	Cyperaceae	SI	SI	SI
<i>Carex sp</i>	H	Cyperaceae	SI	SI	SI
<i>Zameioscirpus gaimardioides</i> (E.Desv.) Dhooge & Goetgh.	H	Cyperaceae	SI	SI	SI
<i>Eleocharis atacamensis</i> Phil.	H	Cyperaceae	SI	SI	SI
<i>Ephedra breana</i> Phil	A	Ephedraceae	FP	LC	SI
<i>Adesmia aegiceras</i> Phil.	A	Fabaceae	FP	LC	SI
<i>Adesmia echinus</i> C. Presl (*)	A	Fabaceae	FP	SI	SI
<i>Adesmia frigida</i> Phil.	H	Fabaceae	FP	SI	SI
<i>Adesmia spuma</i> Wederm ex Burkart Cav (*)	H	Fabaceae	FP	SI	SI
<i>Adesmia subterranea</i> Clos. (*)	A	Fabaceae	FP	SI	SI
<i>Adesmia histrix</i> Phil.	A	Fabaceae	FP	SI	SI
<i>Myriophyllum quitense</i> Kunth	H	Haloragaceae	FP	SI	SI
<i>Oxichloe andina</i> (Phil) (*)	H	Junceae	FP	SI	SI
<i>Juncus articus</i> Willd.	H	Junceae	FP	SI	SI
<i>Patosia clandestina</i> (Phil) Buchenau	H	Junceae	FP	SI	SI
<i>Triglochin maritima</i> L. = (Triglochin concinna Burttt Davy)	H	Juncaginaceae	FP	SI	SI
<i>Triglochin palustre</i> (sin. Triglochin fonticola Phil., Triglochin andinum Phil.	H	Juncaginaceae	FP	SI	SI
<i>Kurzamya pulchella</i> Kuntze (sin: Soliera pulchella Clos, Micromeria pulchella (Clos) Wedd.)	H	Limaceae	VU	SI	SI
<i>Caiophora coronata</i> (Giles ex Arn.) Hook. & Arn	H	Losaceae	FP	SI	SI
<i>Cristaria andicola</i> Gay (*)	H	Malvaceae	FP	SI	SI
<i>Nototriche clandestina</i> (Phil.) A. W. Hill (*)	H	Malvaceae	IC (FP?)	SI	SI
<i>Deschampsia caespitosa</i> (L) P Beauv. Var. <i>Caespitosa</i>	H	Poaceae	FP	SI	SI
<i>Deyeuxia curvula</i> Wedd. (sin. Calamagrostis curvula (Wedd.))	H	Poaceae	FP	SI	SI
<i>Puccinellia frigida</i> (Phil) I.M. Johnst.	H	Poaceae	FP	SI	SI
<i>Stipa chrysophylla</i> E. Desv. = (<i>Jarava chrysophylla</i> (E. desv.) Peñail.)	H	Poaceae	FP	SI	SI
<i>Stipa frigida</i> Phil. = (<i>Jarava frigida</i> (Phil) F Rojas)	H	Poaceae	FP	SI	SI
<i>Festuca deserticola</i> Phil.	H	Poaceae	FP	SI	SI
<i>Hordeum comosum</i> J. Presl.	H	Poaceae	FP	SI	SI
<i>Jarava frigida</i> (Phil.) F. Rojas	H	Poaceae	FP	SI	SI
<i>Calamagrostis cabrerai</i> Parodi	H	Poaceae	IC (V?)	SI	SI
<i>Deyeuxia eminens</i> J. Presl	H	Poaceae	SI	SI	SI
<i>Deyeuxia eminens</i> J. Presl var. <i>fulva</i> (Griseb.) Rugolo	H	Poaceae	SI	SI	SI
<i>Deyeuxia velutina</i> Ness & Meyen var. <i>velutina</i> (*)	H	Poaceae	SI	SI	SI
<i>Festuca orthophylla</i> (sin:Festuca orthophylla Pilg.)	H	Poaceae	SI	SI	SI
<i>Jarava chrysophylla</i> (Desv.) Peñail. (IBDarwinion: <i>Stipa chrysophylla</i> Desv. var chrysophylla)	H	Poaceae	SI	SI	SI
<i>Calandrinia compacta</i> Barnéoud. (sin.Calandrinia occulta Phil., Calandrinia ameriifolia Phil.)	H	Portulacaceae	FP	SI	SI
<i>Lenzia chamaepitys</i> Phil.	H	Portulacaceae	FP	SI	SI
<i>Stuckenia filiformis</i> (Pers.) Boehm. subsp. <i>alpina</i> (Blytt) R.R. Haynes, Les & M. Král (= <i>Potamogeton strictus</i> Phill.)	H	Potamogetonaceae	(E?), IC (FP?)	SI	SI
<i>Ranunculus cymbalaria</i> Pursh. (Halerpestes cymbalaria Pursh.)	H	Ranunculaceae	SI	SI	SI
<i>Ruppia maritima</i> L. var. <i>maritima</i>	H	Rupiacae	SI	SI	SI
<i>Mimulus depressus</i>	H	Scrophulariaceae	FP	SI	SI
<i>Calceolaria pinifolia</i> Cav.	A	Scrophulariaceae	SI	SI	SI
<i>Fabiana bryoides</i> Phil. (*)	A	Solanaceae	FP	SI	SI

Festuca nardifolia y Deyeuxia chrysophylla no aparecen en la documentación revisada pese a que fueron identificadas en terreno

Tabla N° 11. Criterios de especies amenazadas UICN.

CRITERIO PARA ESPECIES AMENAZADAS DE LA UICN	CRITERIO CLASIFICACIÓN DE ESPECIES MMA
NE: No Evaluada	CR = En peligro crítico
DD: Datos Insuficientes	DD = Datos insuficientes
LC: Poco Conocida	EN = En Peligro
NT: Casi amenazada	EW= Extinta en estado silvestre
VU: Vulnerable	EX = Extinta
EN: En Peligro	FP = Fuera de Peligro
CR: En Peligro Crítico Especie	IC = Insuficientemente Conocida
EW: Extinta en la vida silvestre	LC = Preocupación menor
EX: Extinta	NT = Casi amenazada
	R = Rara
	VU = Vulnerable

SI: Sin Información.

8.1 Ciénaga Redonda

8.1.1 Descripción vegetacional de terreno.

Ciénaga Redonda es el primer humedal que se encuentra al acceder por el sector norte del Corredor Biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda, al Este de la ruta C-607. Dada la fecha de la visita (Octubre), este se puede observar con tonalidades que pasan del amarillo-dorado a tonos café en toda su extensión. En algunos sectores aún se observan manchones de nieve, hielo y vegetación quemada por el frío la que comienza a abrirse paso tras el invierno (Figura N° 27)



Figura N°27. Vista del bofedal de Ciénaga redonda (vista tomada desde oeste hacia sur-este). Fecha: 10-10-2013.

La mayor parte de la vegetación observable, corresponde a especies vegetales de crecimiento cespitoso y desarrollo de follaje aéreo principalmente del género *Deyeuxia* (Figura N°28). La parte central del humedal se observa con presencia de especies vegetales de crecimiento en cojines compactos, de forma semiglobosa, mayoritariamente compuestos por las especies *Oxichloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis* cuya cobertura aumenta hacia el centro del humedal así como la presencia de zonas inundadas y lagunas interconectadas.



Figura N° 28. Vista del pajonal hídrico que se forma en el centro del humedal (A). Bajo este se observa la presencia de formaciones semiglobosas de los géneros *Oxichloe* y *Zameioscirpus*. En algunos sectores estas se encuentran con una cubierta salina (B). La imagen C muestra la misma zona del humedal en Enero de 2013 (Proyecto SITHA). Las 3 fotografías fueron tomadas desde el borde oeste del humedal.

Debido a que la visita se realizó en el mes de Octubre, periodo de mayor aridez (Ahumada y Faúndez, 2009), los afloramientos salinos temporales no sólo se observan hacia los bordes del humedal (ecotono) si no que también están presentes sobre la vegetación del bofedal, aunque en menor proporción.

La Figura N° 29 muestra los puntos identificados en terreno y los respectivos polígonos. De acuerdo con ella, los polígonos 3A, 5A y 5B corresponden a zonas de bofedal con lagunas interconectadas mezcladas con sectores de pajonal hídrico de *Deyeuxia*, mientras que los polígonos 2E y 2F corresponden a sectores de pajonal salino. Por su parte, los sectores 1A, 6A y 6B se encuentran completamente secos con vegetación muerta no identificable y donde es posible observar mineralización del suelo.

Los polígonos 4A, 4B y 4C, corresponden a formaciones de pajonales hídricos que se encuentran secas y/o muertas, cuya característica es mantillo, suelo mineralizado y zonas con rastros de vegetación no identificable y que se desintegra tras la manipulación.

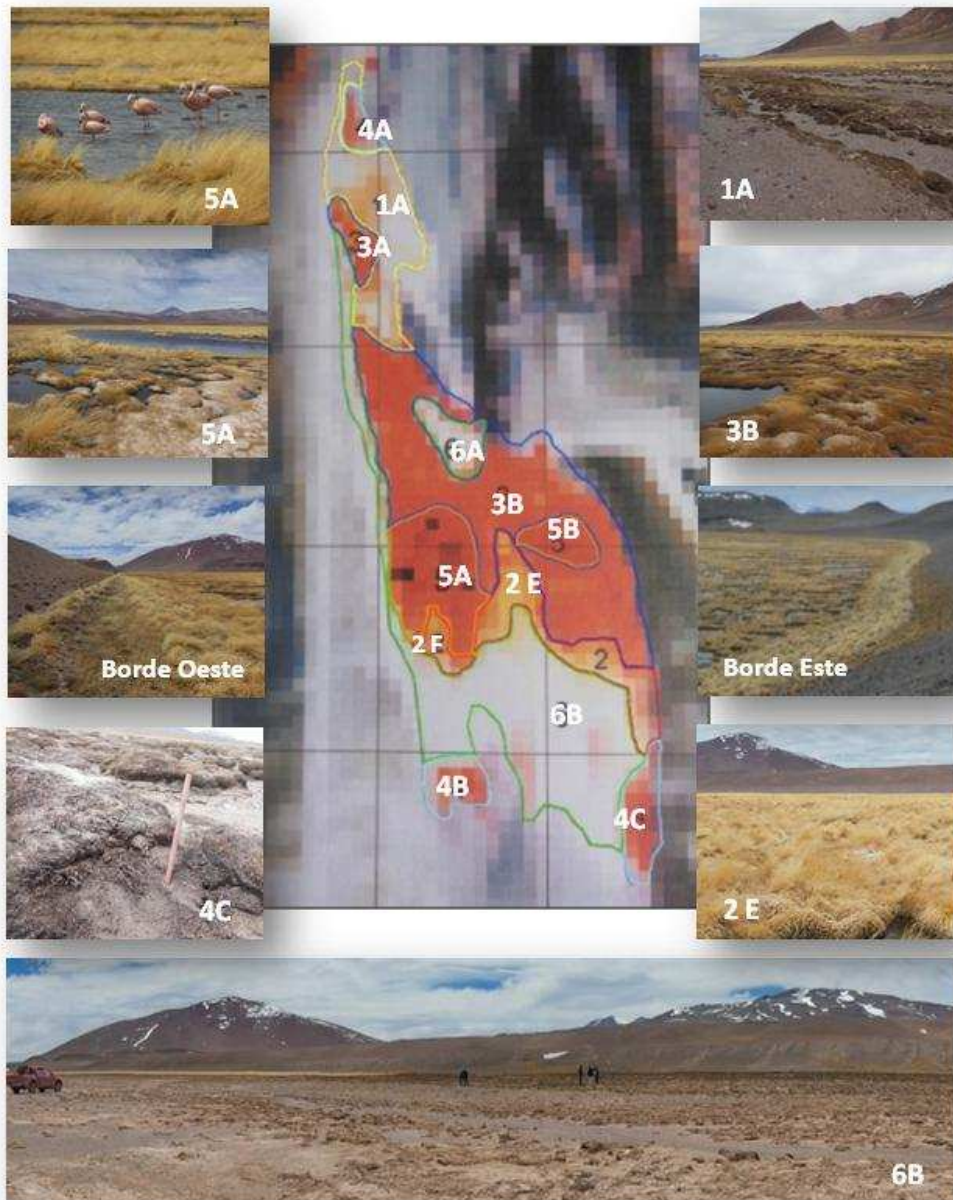


Figura N° 29. Identificación en terreno de polígonos de vegetación del humedal Ciénaga Redonda.

El sector sur del humedal (Figura N° 29) es el que presenta mayor impacto por estrés hídrico. Las imágenes satelitales muestran este sector como suelo desnudo al no detectar actividad fotosintética en el área. Aquí fue posible encontrar zonas con mantillo, sin presencia de rastrojo con vegetación que pudiera ser identificable y que se desintegra completamente al manipularlo (Figura N° 30). En todo el sector se observa mineralización del mantillo (Figura N°31) por desecamiento de la vegetación y aparición de vegetación tipo coirón.



Figura N° 30. Sector sur de Ciénaga Redonda. Se observa una gran superficie con vegetación muerta.

A medida que se avanza por el centro hacia el norte, se observan formaciones vegetacionales del tipo pajonal, con coberturas muy claras y donde el suelo expuesto se presenta cubierto de sales. En esta zona se observan poáceas del género *Deyeuxia*, *Deschampsia* y *Puccinellia* cuya cobertura aumenta a medida que se avanza hacia el centro del humedal para ir dando paso a las formaciones en cojín típicas del bofedal hídrico y donde es posible reconocer las especies de *Oxichloe andina* y *Zameioscirpus atacamensis*, las que protegen y dan forma a lagunas que comienzan a recibir algunas especies de aves (Figura N° 32). Se advierte la presencia de pozos de monitoreo en el sector. De acuerdo al EIA del proyecto Refugio (1994) en este humedal se cuenta con la existencia de tres pozos de extracción.



Figura N° 31. Vista del mantillo en el sector sur de Ciénaga Redonda. Se observan zonas con evidencias de mineralización.

En el sector es posible encontrar guaneras con distintos estados de desecación de fecas lo que indica la presencia y/o tránsito de fauna, específicamente camélidos. También se observa la presencia de pozos de monitoreo.



Figura N° 32. Sector suroeste de Ciénaga Redonda.

El punto de observación noreste es frente al polígono 6A y desde el cual se observa vegetación y formaciones secas y muertas hacia el extremo norte del humedal por el cual se ingresó. En este sector también se pueden observar zonas con mantillo expuesto y fácilmente desintegrable (Figura N° 33 y 34).

Distinto es lo observado en los bordes sureste y suroeste donde la franja ocupada por *poáceas* podría estar relacionada con la disminución gradual de aportes hídricos (lluvias, deshielos) que generan cambios establecidos por la propia dinámica de este tipo de ambientes y a variaciones dadas por la estacionalidad y

condiciones extremas. Esta disminución gradual se evidencia con la presencia de sales sobre la vegetación la que se observa como afloramientos salinos.



Figura N° 33. Vista panorámica desde punto de observación noreste de Ciénaga Redonda hacia el sur.



Figura N° 34. Presencia de pozos, vegetación seca, muerta y quemada. Formaciones en cojín con superficie quemada tras el invierno. Se observaron Poáceas de los géneros *Deyeuxia* (*D. velutina*, *D. curvula*), *Deschampsia* y *Puchinelia* además de Juncáceas y

Ciperáceas. También se observaron especies zonales como *Adesmia spuma* y *Adesmia echinus*.

Dadas las condiciones de la vegetación y accesibilidad a los distintos puntos, sólo se aplicó metodología COT en el polígono 2E con dos parcelas de 10x10m, superficie definida como unidad mínima cartografiable según la misma metodología y cuyas fichas se presentan a continuación (Figuras N°35-1 y 35-2)

FICHA TERRENO		PARCELA N°1			
Nombre Vega / Bofedal:		VEGA CIENAGA REDONDA			
Visitado por:	R.CASTRO, T.ALTAMIRANO	Coordenadas			
Fecha:	10.10.2013	Este	499955,79		
Nombre del Sector o Lugar:	VEGA CIENAGA REDONDA	Norte	6996196,86		
N° Polígono:	2E	Altitud	3.956,8 msnm		
Ocurrencia de Agua:	SIN PRESENCIA DE AGUA				
Características Vegetacionales					
Formación Vegetal	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura	Codificación
PAJONAL	Poáceas del género Deyeuxia	Herbáceas	Muy Baja y Baja	COBERTURA 7% ESCASA (e) (índice 2)	H ₂ y H ₂
% suelo desnudo	93% SALINO				
% Piedras	NO				
% de materia seca (rastrajo):	NO				
Fotografía Número					
Observaciones					
PARCELA CON FORMACIÓN HERBACEA TIPO PAJONAL DE ESTRATO BAJO A MUY BAJO, CON SUELO INTERCOIRONAL SALINO, SIN PRESENCIA DE COJINES SEMIGLOBOSOS COMPACTOS.					
Características de Suelos					
Formación	Tipo	Color	Pendiente%		
PAJONAL	HERBACEO	AMARILLO/DORADO	0%		
% Suelo desnudo	93%	% Piedras	0%	% Mat. Organica	0%
Observaciones					
Presencia de una guanera al centro de la parcela, lo que indica presencia de mamíferos camélidos en e sector. La coberura es muy escasa. El suelo expuesto se encuentra cubierto en su totalidad por una capa salina.					
Características Antrópicas					
Uso:					
Sector destinado a conservación. Humedal inserto en sitio RAMSAR y en Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad. El sector está inserto en el Corredor Biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda que comunica los sectores lacustes Santa Rosa y Negro Francisco que constituyen el Parque Nacional Nevado Tres Cruces administrado por Conaf.					
Otras Observaciones					
El sector actúa como refugio de especies silvestres, especialmente aves migratorias. Cumple con funciones de alimentación y bebedero. Se observa grupo de Flamencos chilenos, patos jergones y aves pequeñas en el lugar (observación directa). Las guaneras indican la presencia de vicuñas.					
Fotografía Número					
Observaciones artificialización					
Presencia de al menos 7 pozos de monitoreo. Se observan en los bordes este, oeste y hacia el norte del humedal. Se observan huellas de vehículos y rutas definidas en los 4 bordes del humedal que indicarían acceso frecuente al sector. Hacia el sur, al oeste de la ruta C-607 se encuentra el acceso al Proyecto minero Lobo-Marte. Por el Este es posible observar una zon de acumulación de escombros y productos de lixiviación.					



Figura N° 35-1. Parcela de terreno 1

FICHA TERRENO		PARCELA N°2			
Nombre Vega / Bofedal:		VEGA CIENAGA REDONDA			
Visitado por:	R.CASTRO, T.ALTAMIRANO	Coordenadas			
Fecha:	10.10.2013	Este	499955,79		
Nombre del Sector o Lugar:	VEGA CIENAGA REDONDA	Norte	6996196,86		
N° Poligono:	2E	Altitud	3.956,8 msnm		
Ocurrencia de Agua:	SIN PRESENCIA DE AGUA				
Características Vegetacionales					
Formación Vegetal	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura	Codificación
PAJONAL	Poáceas del género Deyeuxia	Herbáceas	Muy Baja y Baja	COBERTURA 25% MUY CLARA (me) (índice 3)	H ₃ y H _B
% suelo desnudo	75 % SALINO				
% Piedras	NO				
% de materia seca (rastrajo):	NO				
Fotografía Número					
Observaciones					
PARCELA CON FORMACIÓN HERBACEA TIPO PAJONAL DE ESTRATO BAJO A MUY BAJO, CON SUELO INTERCOIRONAL SALINO, SIN PRESENCIA DE COJINES SEMIGLOBOSOS COMPACTOS.					
Características de Suelos					
Formación	Tipo	Color	Pendiente%		
PAJONAL	HERBACEO	AMARILLO/DORADO	0%		
% Suelo desnudo	93%	% Piedras	0%	% Mat. Organica	0%
Observaciones					
La cobertura es mayor que en la primera parcela. Las champas son mas densas y vigorosas. La totalidad del suelo expuesto esta cubierto por una capa salina suelo					
Características Antrópicas					
Uso:					
Sector destinado a conservación. Humedal inserto en sitio RAMSAR y en Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad. El sector está inserto en el Corredor Biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda que comunica los sectores lacustes Santa Rosa y Negro Francisco que constituyen el Parque Nacional Nevado Tres Cruces administrado por Conaf.					
Otras Observaciones					
El sector actúa como refugio de especies silvestres, especialmente aves migratorias. Cumple con funciones de alimentación y bebedero. Se observa grupo de Flamencos chilenos, patos jergones y aves pequeñas en el lugar (observación directa). Las guaneras indican la presencia de vicuñas.					
Fotografía Número					
Observaciones artificialización					
Presencia de al menos 7 pozos de monitoreo. Se observan en los bordes este, oeste y hacia el norte del humedal. Se observan huellas de vehículos y rutas definidas en los 4 bordes del humedal que indicarían acceso frecuente al sector. Hacia el sur, al oeste de la ruta C-607 se encuentra el acceso al Proyecto minero Lobo-Marte. Por el Este es posible observar una zon de acumulación de escombros y productos de lixiviación.					



Figura N° 35-2. Parcela de terreno 2.

8.1.2 Tendencia multitemporal de la vegetación del humedal entre el año 1995 y -2011.

Los resultados, de acuerdo a la metodología descrita, basada en el estudio del Índice de Humedad de la vegetación (IHUMV) entregan para cada año las imágenes que se presentan en el anexo 1, cuyos valores promedios anuales se resumen en perfil temporal de la Figura N° 36.



Figura N°36. Comportamiento anual promedio de la humedad de la vegetación de Ciénaga Redonda.

El comportamiento general del humedal de acuerdo al IHUMV (que entrega una respuesta de la vegetación entre 100 a 200), si lo clasificamos entre clases

iguales, se encuentra en la clase baja (limite alto de esta clase) con una tendencia leve a bajar entre el año 1995 y 2011, siendo los años críticos 1997 y 2006 y el año con mayor humedad (que da cuenta de la mayor actividad vegetacional) el año 2007.

El mismo análisis para las Unidades Cartográficas Homogéneas (UCH) correspondientes a las clases de vegetación seca- muerta, la de pajonal hídrico y bofedal, todas definidas en terreno (2013) e identificadas en la imagen del año 2011, se analizan a continuación.

8.1.2.1 Tendencia multitemporal de la UCH de vegetación seca y/o muerta.

La UCH de vegetación seca y/o muerta corresponde a la definida como clase 2. (Figura N° 36-1) y la tendencia del IHUMV de la serie se muestra en el gráfico de la Figura N° 37.

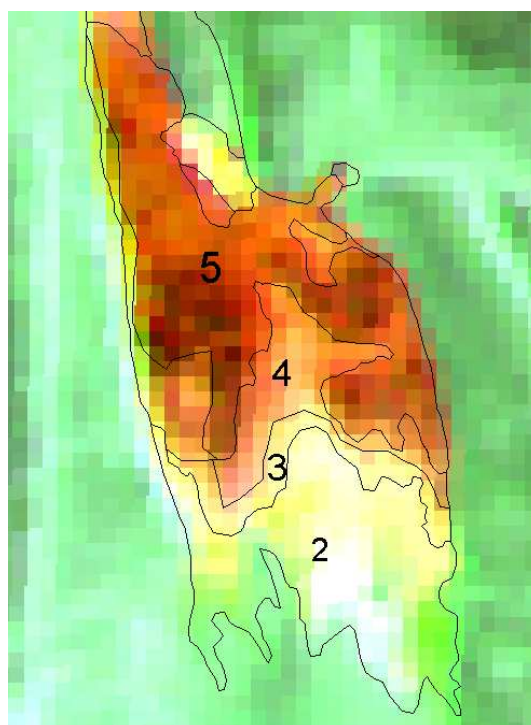


Figura N° 36-1. Ubicación de UCH Vegetación seca y/o muerta (2) y pajonal hídrico (3,4) y bofedal (5). Unidades sobre imagen TM5 en composición 453, donde el color amarillo indica las zonas con vegetación semi seca, la verde intensa la vegetación muerta y la

blanca la vegetación seca, los colores rojos y naranjos la vegetación de bofedal y pajonal hídrico activo.

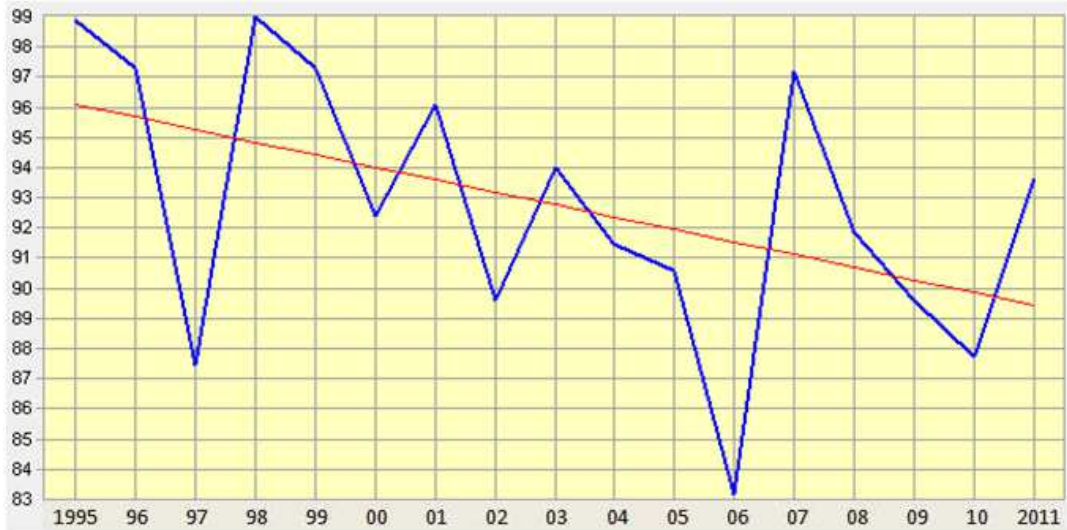


Figura N° 37. Perfil temporal del promedio del IHUMV de la clase de vegetación seca y muerta.

La vegetación seca y muerta se caracteriza por un IHUMV menor a 115 (100 a 115 vegetación seca, menor de 100 muerta) siendo los años críticos 1997 y 2006. La tendencia de la curva de acuerdo a modelo lineal es a una pendiente moderada a la baja, desde el año 1995 al 2011, lo que da cuenta que el proceso de general de secado de la vegetación es continuo desde el año 1995.

8.1.2.2 Tendencia multitemporal del pajonal hídrico.

Se incluye la clase de pajonal activo y la semi seca (Figura N°37-1 y 38)



Figura N°37-1. Tendencia del IHUMV promedio del pajonal hídrico.



Figura N° 38. Perfil pajonal hídrico, valor mínimo anual.

La tendencia promedio del pajonal hídrico es moderadamente al aumento, partiendo de un IHUMV de 142 y llegando a 145, hecho que se relaciona con vegetación de un nivel bajo de actividad y la tendencia de los valores mínimos indica que existe una tendencia a secarse, por cuanto existen valores bajo el umbral de 115, siendo 100 el límite de la vegetación activa.

8.1.2.3 Tendencia multitemporal del bofedal

La actividad vegetacional del bofedal, expresada mediante el IHUMV (Figura N° 38) es media (se encuentra entre 155 y 157 de un máximo de 200 y es al mismo tiempo creciente pero con una pendiente baja de aumento. Los años críticos son 1997, 2003, 2005 y 2009, mientras que los años con mayor aumento son 1998 y el más significativo 2007 donde el promedio llega al valor 171.



Figura N° 39. Tendencia de la vegetación del bofedal

8.1.3 Distribución espacial de de la tendencia de decremento de la vegetación entre 1955 y 2011.

El Índice de Decremento Temporal (IDT) tal como se indico en la metodología corresponde al promedio de los cambios anuales de cada celda que integra la data espacial (Figuras N° 40 y 41).

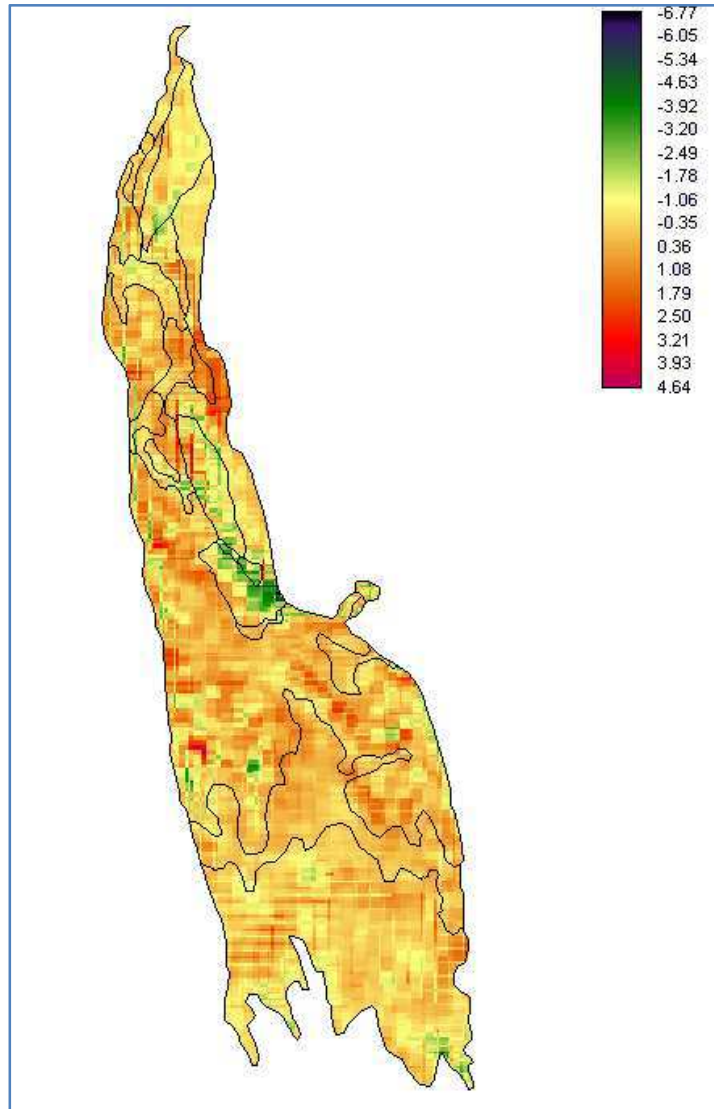


Figura N° 40. Distribución espacial de la tendencia del índice de Decremento del IHUMV.

Los resultados que entrega el Índice de Decremento indican en amarillo y verde las zonas donde la vegetación tiene una tendencia a secarse entre el año 1995 y 2011, zonas que concentran en la parte sur y en la zona centro-este del humedal. En naranja las zonas estables. El detalle para estas zonas se aprecia en la Figura N° 41.

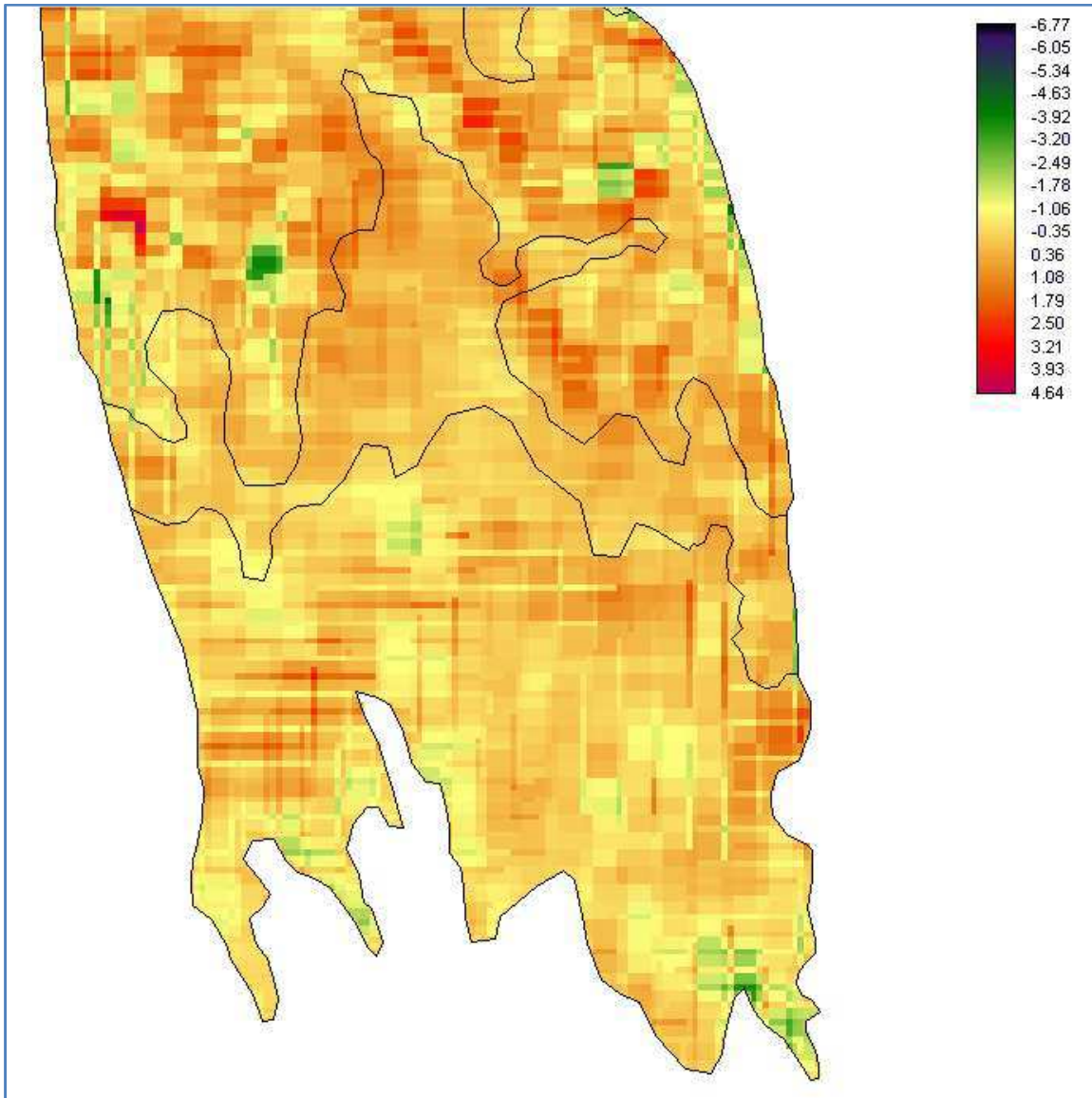


Figura N° 41. Distribución espacial del índice de Decremento.

8.1.3 Cambios anuales

A partir de los resultados obtenidos del análisis de la serie, se analizan a continuación los resultados de cambios anuales, obtenidos a partir de la definición y determinación de las Unidades de Cartografía Homogéneas (UCH), según las clases vegetacionales definidas, para los años 1995, 2011, 2012 y 2013.

En las Figuras N° 42 y 43, se presentan los resultados cartográficos de las formaciones vegetacionales, de cuyos resultados se desprende la Tabla N° 12.

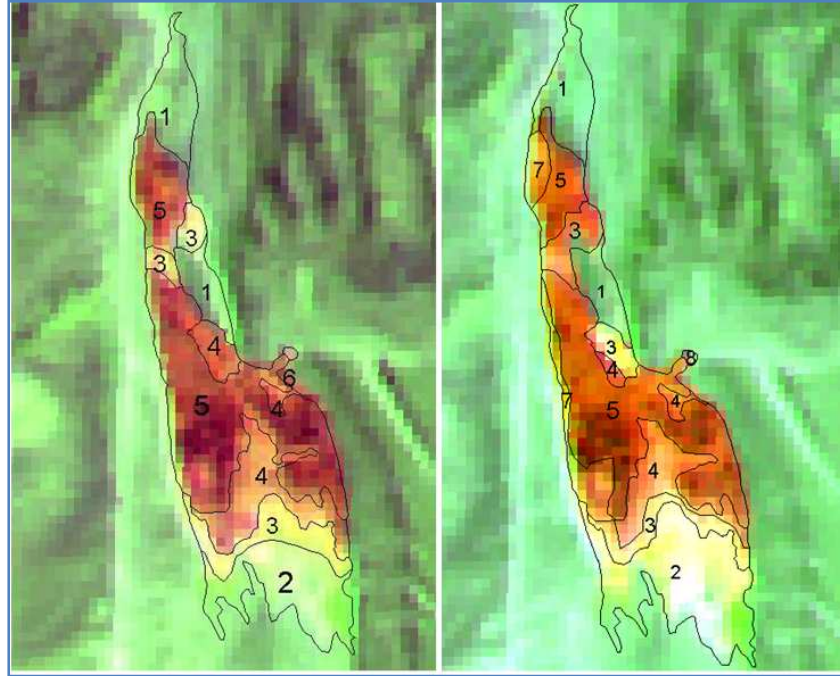


Figura N° 42. UCH 1995 y 2011. Imagen TM RGB B453.

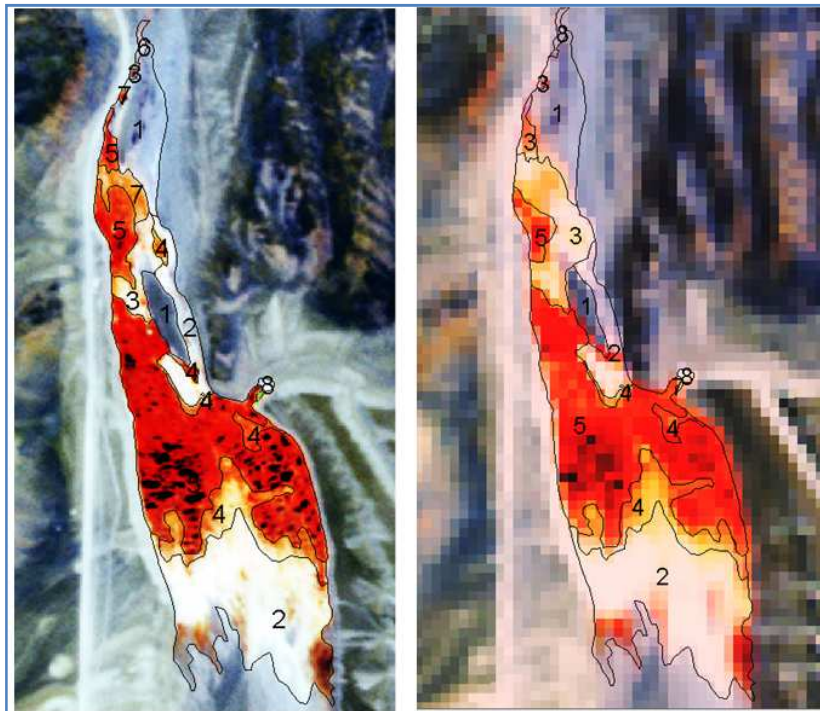


Figura N° 43. UCH 2012 y 2013. Imagen RE RGB B543 y L7 B542

El resumen de superficies por clases para cada año analizado se resume en la Tabla N° 12

Tabla N° 12. Superficies (hectáreas) por clases para los años 1995, 2011, 2012 y 2013.

Clases	Código	Año			
		1995	2011	2012	2013
Sin vegetación (suelo desnudo).	1	9,01	9,01	7,90	7,83
Vegetación seca o muerta, suelo salino.	2	11,36	16,95	24,33	24,05
Pajonal hídrico semi seco.	3	7,89	8,27	2,58	7,07
Pajonal hídrico activo	4	11,75	7,23	7,54	6,99
Bofedal activo	5	32,68	25,82	28,35	26,36
Vega activa	6	0,17	0,00	0,34	0,00
Bofedal semi seco	7	0,00	5,41	1,65	0,05
Vega seca.	8	0,00	0,17	0,17	0,51
		72,86	72,86	72,86	72,86

Un primer análisis de la Tabla N° 12, indica que en el año 1995 la zona sur del humedal se encuentra con vegetación seca y muerta (de acuerdo al análisis del índice de humedad de la vegetación y la corroboración realizada en terreno) lo que corresponde a una superficie de 11,36 hectáreas, zona que continua hacia el norte en la unidad de pajonal hídrico semi seco. En el año 2011 la unidad de vegetación seca y muerta aumento a 16,95 hectáreas, es decir 5,59 ha de aumento real, la mayor parte de este aumento corresponde a la disminución de la unidad de pajonal hídrico semi seco.

8.1.4.1 Cambios entre el año 1995 y 2011.

La tabulación cruzada realizada entre los años 1995 y 2011 entrego como resultado la Tabla N°13. y la distribución de cambios de la Figura N° 44

Tabla N° 13. Superficies de cambios entre los años 1995 y 2011 (hectáreas).

Clases	Clases 1995							Total
	1	2	3	4	5	6		
1	9,01							9,01
2		11,36	5,59					16,95
3			2,30	5,19	0,78			8,27
4				6,56	0,68			7,23
5					25,82			25,82
7					5,41			5,41
8							0,17	0,17
Total	9,01	11,36	7,89	11,75	32,68	0,17	72,86	

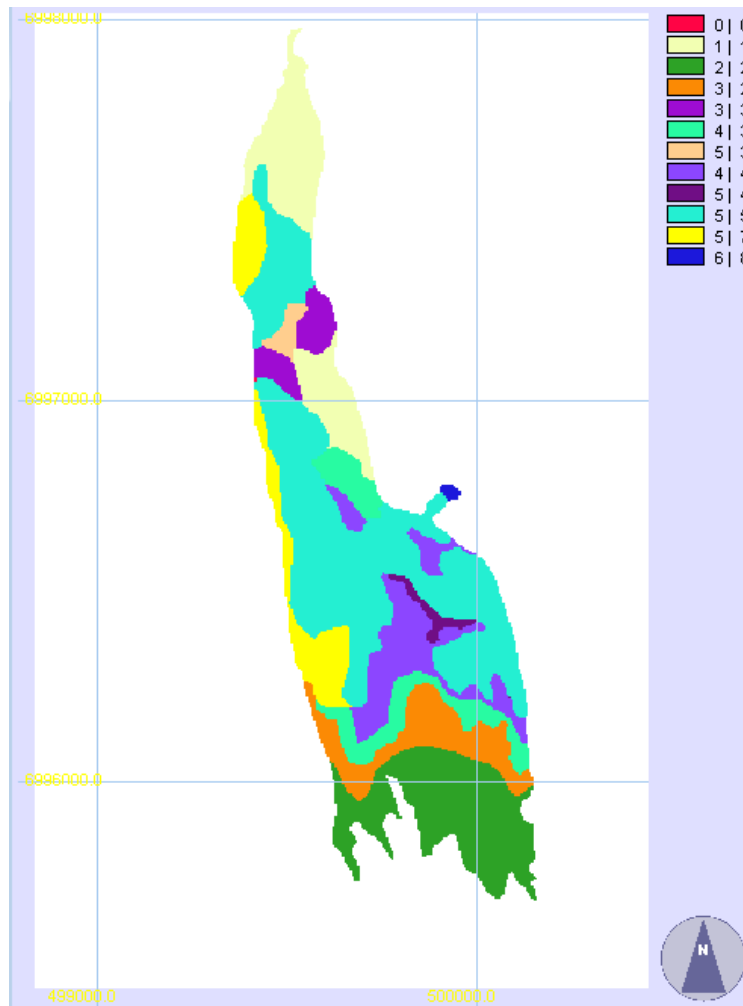


Figura N° 44. Cambios entre los años 1995 y 2011. Primera columna corresponde a las clases de 1995 y la segunda al año 2011.

La dirección de los cambios producidos en el humedal entre el año 1995 y 2011 (Tabla N° 13) indica que el aumento de la superficie de la clase 2 (vegetación seca y/o muerta) proviene de la clase 3 (pajonal hídrico semi seco) con 5,59 ha. Produciéndose también, una superficie importante de disminución de la clase 4 (pajonal hídrico activo) la que en el año 1995 era de 11,75 ha, de las cuales 5,19 se degradaron a Pajonal hídrico semi seco (clase 3). Por otro lado, también es importante la disminución de la superficie de la clase de bofedal activo (5), que el año 1995 era de 32,5 ha, de las cuales en el año 2011, 5,41 ha se encuentran en la clase de bofedal semi seco (clase 7) y un total de 1,46 ha en las clases 3 y 4.

En general, los cambios en el humedal se encuentran asociados al sector norte y al borde oeste y en el centro (lado este) del humedal, donde se produce una disminución de la humedad del pajonal hídrico pasando de la clase 4 a la 3 (Figura N°44).

8.1.4.2 Cambios entre el año 2011 y 2012.

Siguiendo la misma metodología, los cambios entre el año 2011 y 2012 se presentan en la Tabla N° 14 y la distribución espacial de ellos en la Figura N° 45.

Tabla N° 14 Superficies de cambios entre los años 2011 y 2012 (hectáreas).

	Clases 2011								Total
		1	2	3	4	5	7	8	
C l a s e s 2 0 1 2	1	6,56		0,18	0,00	1,16	0,00	0,00	7,90
	2	1,67	16,88	4,48	1,25	0,06	0,00	0,00	24,33
	3	0,00	0,00	1,85	0,00	0,74	0,00	0,00	2,58
	4	0,00	0,07	1,45	5,28	0,02	0,73	0,00	7,54
	5	0,27	0,00	0,31	0,70	22,96	4,11	0,00	28,35
	6	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
	7	0,17	0,00	0,00	0,00	0,90	0,58	0,00	1,65
	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17
	9,01	16,95	8,27	7,23	25,82	5,41	0,17	72,86	

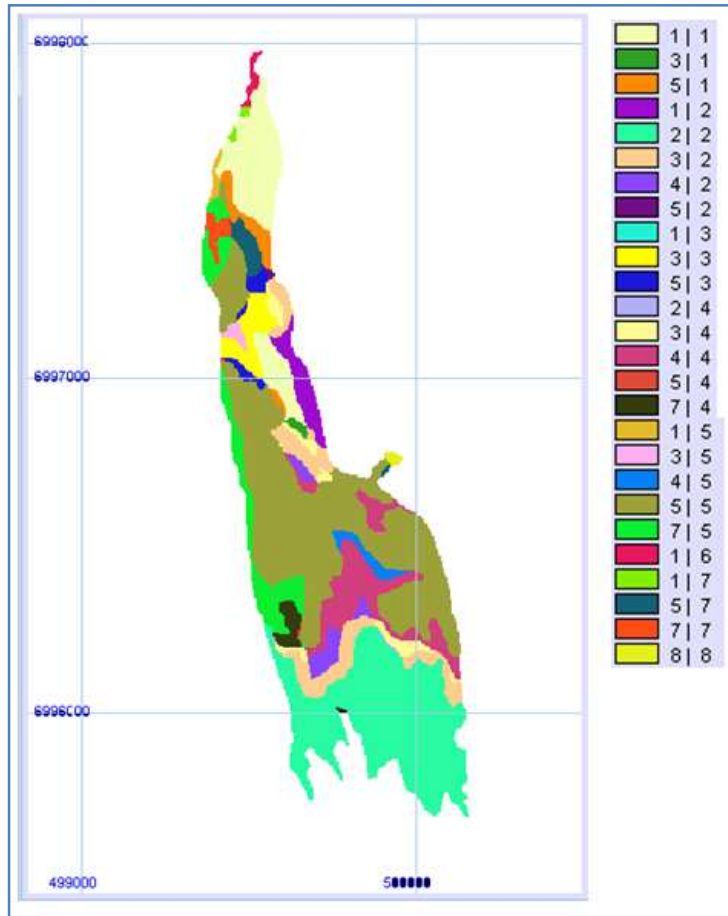


Figura N° 45. Cambios entre los años 2011 y 2012. Primera columna corresponde a las clases de 2011 y la segunda al año 2012.

Entre el año 2011 y 2012 la superficie de vegetación seca y muerta es de 24,33 ha, produciéndose un aumento de 7,35 ha. cifra mayor a la que se produjo en los 16 años de la serie analizada, correspondiendo a las clases de pajonal semi seco, pajonal activo y bofedal activo del año 2011. En este año también se secaron 1,16 hectáreas de bofedal activo. Con todo, los cambios que se producen entre el año 2012 y 2011 acentúan la tendencia de cambios que se produjeron entre el año 95 y 2011.

Los cambios se producen y se acentúan en el sector sur y en el centro este del humedal (Figura N° 45).

8.1.4.3 Cambios entre el año 2012 y 2013.

Finalmente, los cambios que se produjeron entre el año 2012 y 2013 se indican en la Tabla N° 15 y la representación de ellos en la Figura N° 46.

Tabla N° 15 Superficies de cambios entre los años 2012 y 2013 (hectáreas).

		Clases 2012								
		1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Clases 2013	1	7,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	7,83
	2	0,01	23,80	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	24,05
	3	0,15	0,54	2,58	0,31	1,99	0,00	1,51	0,00	7,07
	4	0,00	0,00	0,00	6,99	0,00	0,00	0,00	0,00	6,99
	5	0,00	0,00	0,00	0,00	26,36	0,00	0,00	0,00	26,36
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05
	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,17	0,51
	Total	7,90	24,33	2,58	7,54	28,35	0,34	1,65	0,17	72,86

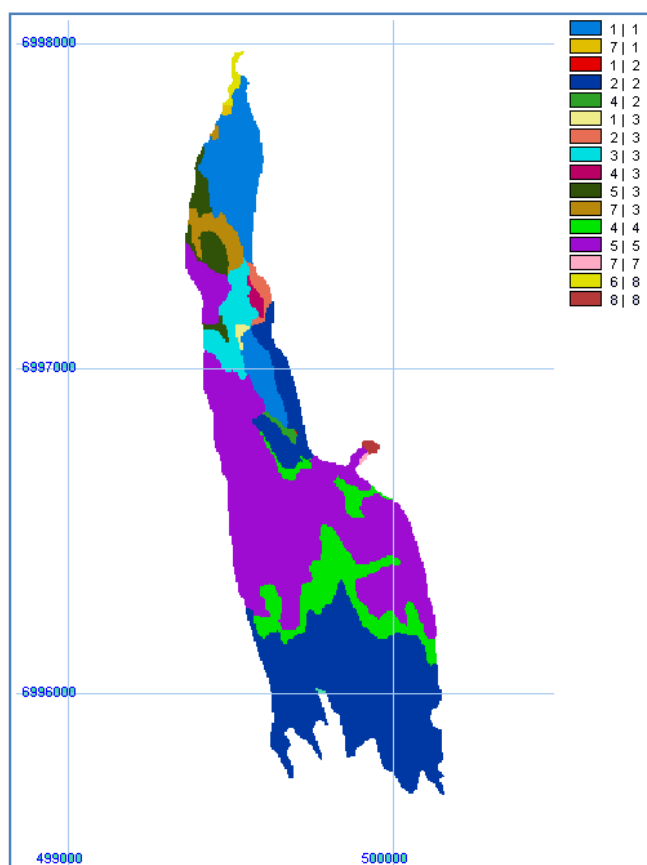


Figura N° 46. Cambios entre los años 2012 y 2013. Primera columna corresponde a las clases de 2012 y la segunda al año 2013.

Entre el año 2012 y 2013 los cambios son menores en el sector sur del humedal, no así en el sector norte (Figura N°45), donde el bofedal activo cambia del orden de 2 hectáreas a una predominancia de pajonal semi seco y en el centro este del humedal se secan 0,25 hectáreas de pajonal activo.

8. 2 BARROS NEGROS

8.2.1 Descripción vegetacional de terreno.

Barros negros corresponde a pajonal hídrico cuyas especies principales son: *Deyeuxia eminens* J. Presl, *Deyeuxia velutina* Nees et Meyen, *Puccinellia frigida* (Phil.) Johnst y *Zameioscirpus atacamensis* (Phil.) Dhooge & Goetgh. La Figura N° 47 indica la distribución de la vegetación en el año 2013 (12 de abril), muestra en color verde vegetación muerta, en color magenta vegetación seca, en blanco vegetación semi seca con fondo de suelo salino y en color rojo la vegetación activa.



Figura N°47. Humedal Barros Negros, pajonal hídrico (Imagen L8 composición RGB-B564). Puntos de muestreo de terreno en color amarillo

Las clases vegetacionales determinadas para este humedal son las siguientes:

Clases	Código	
Sin vegetación	1	Zonas de suelo desnudo, rocas, arenas y gravas.
Vegetación seca o muerta, suelo salino.	2	Zona con restos de vegetación (muerta y seca).
Pajonal hídrico semi seco.	3	Pajonal hídrico con valores de índice de humedad vegetacional (IHUMV) entre 100 y 135.
Pajonal hídrico activo	4	Pajonal hídrico con valores de índice de humedad vegetacional (IHUMV) mayores 135.

Se visitó el sector sur de Barros Negros por ser este el que presentaba mayor evidencia de modificaciones temporales en las imágenes satelitales. Se realizó un recorrido hacia el sur del humedal lo que permitió comprobar en terreno la existencia de una gran extensión de vegetación muerta que ha dado paso a la mineralización del suelo y en la que fue posible observar la presencia de vegetación zonal de forma intermitente y pequeñas champas o coirones del género *Festuca* (Figuras N° 48, 49)



Figura N° 48. Vista del humedal Barros Negros (19-010-2013).

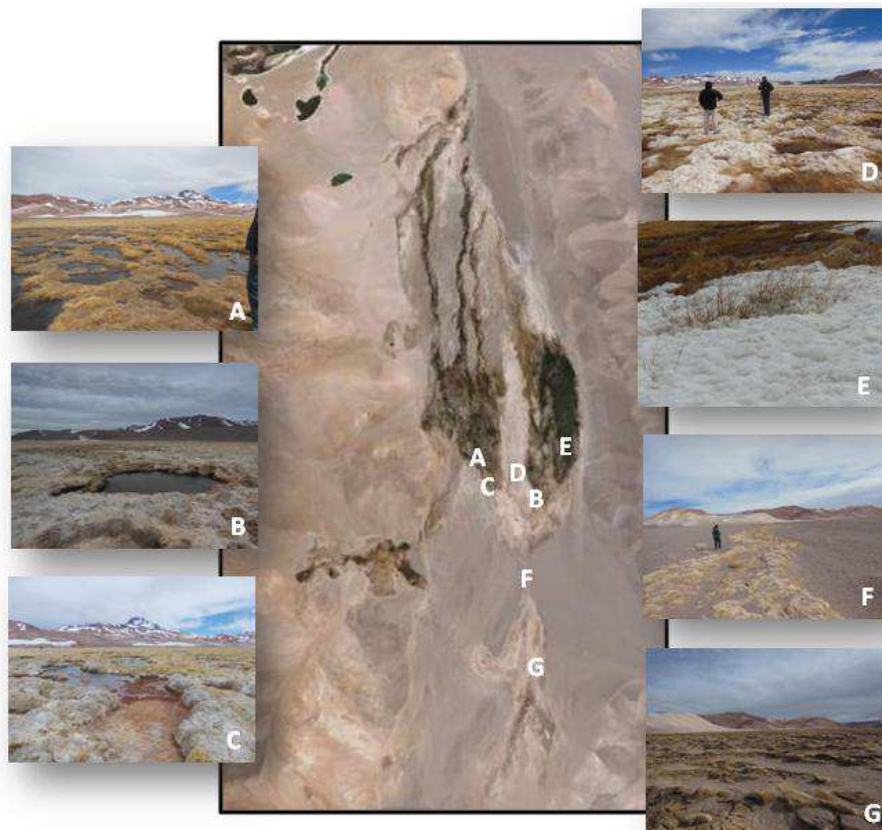


Figura N°49. Identificación en terreno de polígonos de vegetación del sector Barros Negros.

Imagen A: Vista al N: Vegetación en receso y muerta en forma intermitente y entre las que se observan gramíneas del género *Deyeuxia*. De acuerdo a los antecedentes (Proyecto Volcán)) se reconocen para esta área las especies en primavera: *Deyeuxia sp*, *O. andina* y *Z. atacamensis*, en verano: *Deyeuxia sp*, *D. velutina*, *D. eminens*, *O. andina*, *A. atacamensis* y *Stukenia filiformis* (agua), en ambas épocas con afloramientos salinos.

Imagen B: Vista hacia el NE. Vegetación muerta en primer plano cubierta por afloramiento de sales. Hacia el fondo, aparecen manchones con vegetación en receso. No se observan formaciones que pudieran identificarse como de cojines cespitosos de los géneros *Oxichloe* o *Zameioscirpus*. Lo observado podría corresponder a formaciones vegetacionales rizomatosas características de vegas según la clasificación de los SVATH. En primavera se identificaron (Proyecto

Volcán): *Deyeuxia* sp. En verano: *Triglochin concinna*, *Ranunculus elixis*, *Puchinellia frígida* y *Carex marítima*, en ambas épocas con afloramientos salinos

Imagen C: Vista hacia el NO: Vegetación muerta en primer plano cubierta por afloramiento de sales. Hacia el fondo, vegetación en receso.

Imagen D: Vista hacia el N: Vegetación muerta en primer plano cubierta por afloramiento de sales. Hacia el fondo, manchones de vegetación en receso. En primavera las especies identificadas es (Proyecto Volcán): *Deyeuxia* sp y en verano : gramíneas y *Puchinellia frígida*. En ambos periodos con afloramientos salinos.

Imagen E: Vegetación en receso con cubierta de nieve (gramíneas: *D. eminens*)

Imagen F: Hacia el sur: Vegetación muerta y presencia de pequeñas champas del género *Festuca* que aparecen de forma intermitente. Vegetación cubierta por afloramientos salinos.

Imagen G: Vista al S: Vegetación muerta no identificada.

En el humedal se observa una gran superficie hacia el noreste cubierta por nieve y hielo entre las que es posible identificar vegetación en receso. Todo el sector sur del humedal se encuentra seco con evidencias de mineralización de mantillo y rastrojo sin vegetación identificable.

Pese a la presencia de nieve, hielo y a la superficie cubierta por afloramientos salinos, se pudo constatar la presencia de especies del género *Deyeuxia* y con presencia de un césped muy bajo y blando. No se observó, sin embargo, la presencia de estructuras ni formaciones compactas constituidas por pastos duros de *Oxichloe andina* ni *Zameioscirpus atacamensis* en el recorrido realizado (Figura N° 50).



Figura 50. Vegetación seca y muerta en el sector sur de Barros Negros. Hay mineralización del mantillo y rastrojo con vegetación no identificable. Hacia el norte se observan formaciones en cojín con superficie quemada tras el invierno y la presencia de poáceas del género *Deyeuxia*, como *D. velutina*.

8.2.2 Tendencia multitemporal de la vegetación del humedal entre el año 1986 y 2011.

Al igual que en el caso del humedal de Ciénaga Redonda, Barros Negros se analizó mediante el Índice de Humedad de la Vegetación (IHUMV), obtenido para todos los años de la serie y cuyos datos resultantes se presentan en el ANEXO y los respectivos perfiles multitemporales analizados en las Figuras N° 51, 53, 55.

8.2.2.1 Tendencia del promedio de IHUMV del humedal.

La superficie considerada corresponde a lo que se indica Figura N° 50.



Figura N° 50. Superficie de humedal Barros Negros

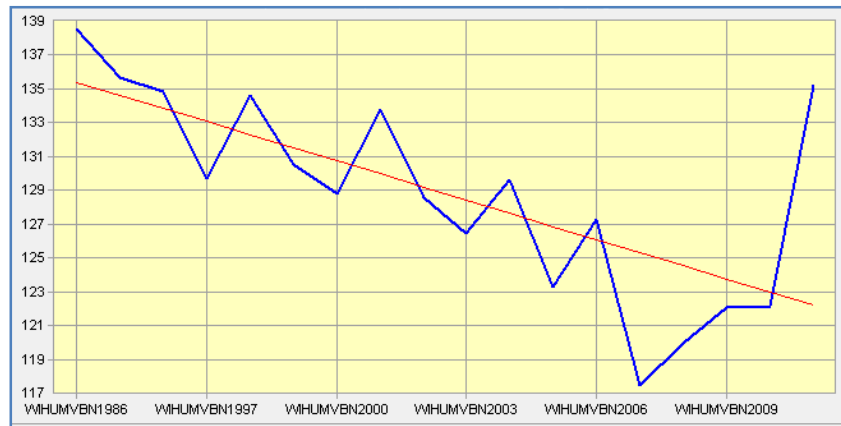


Figura N° 51. Tendencia del promedio de IHUMV (1986 a 2011).

El conjunto del humedal presenta una tendencia clara a disminuir su actividad vegetacional desde el año 1986, donde el promedio se sitúa en un valor medio de actividad para llegar el año 2007 a un valor crítico, para posteriormente empezar a recuperarse. El promedio del año 2007 está en un nivel mínimo de actividad,

próximo a secarse (valor límite del umbral es 100), al menos una superficie importante del humedal se encuentra en esa condición en ese año.

8.2.2.2 Tendencia del promedio de IHUMV de la zona correspondiente a vegetación seca o muerta.

La zona se ubica en el sector sur del corredor biológico, conectado al humedal del pantanillo, de donde recibe aporte de agua, en los años de excedencia (Figura N° 52).



Figura N° 52. Superficie de zona con vegetación seca y/o muerta

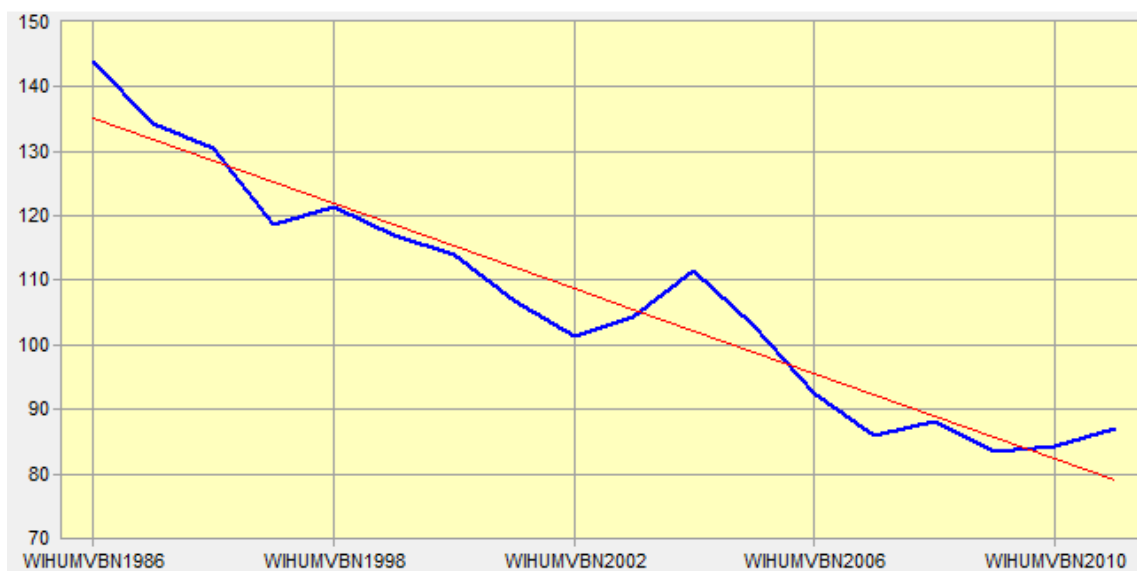


Figura N° 53. Perfil zona con vegetación seca y/o muerta.

Tal como indica el gráfico entre el año 1986 y 1996 la baja de actividad vegetacional, especialmente de los contenidos de agua, es poco significativa (145 a 135) manteniendo un buen nivel de actividad, posterior al año 1996 la gradiente es mayor, hasta llegar al año 2002 donde se produce el secamiento y muerte de la totalidad de la zona, recuperándose levemente hasta el año 2004, para posteriormente secarse completamente, situación que se mantiene hasta el año 2013, tal como se puede visualizar en la imágenes del anexo.

8.2.2.3 Tendencia del promedio de IHUMV de la zona correspondiente a vegetación de Pajonal Hídrico semi seco.

Esta zona (Figura N° 54) es la continuación de la zona anterior, hacía el norte del humedal, comprende una superficie de 18,8 hectáreas, corresponde a pajonal hídrico con vegetación en general semi seca y en sectores con sectores muertos. Se suma a lo anterior una creciente salinización del suelo, lo que aprecia en tonos blancos en la composición satelital de la Figura N° 47.



Figura N°54. Zona con vegetación semi seca.

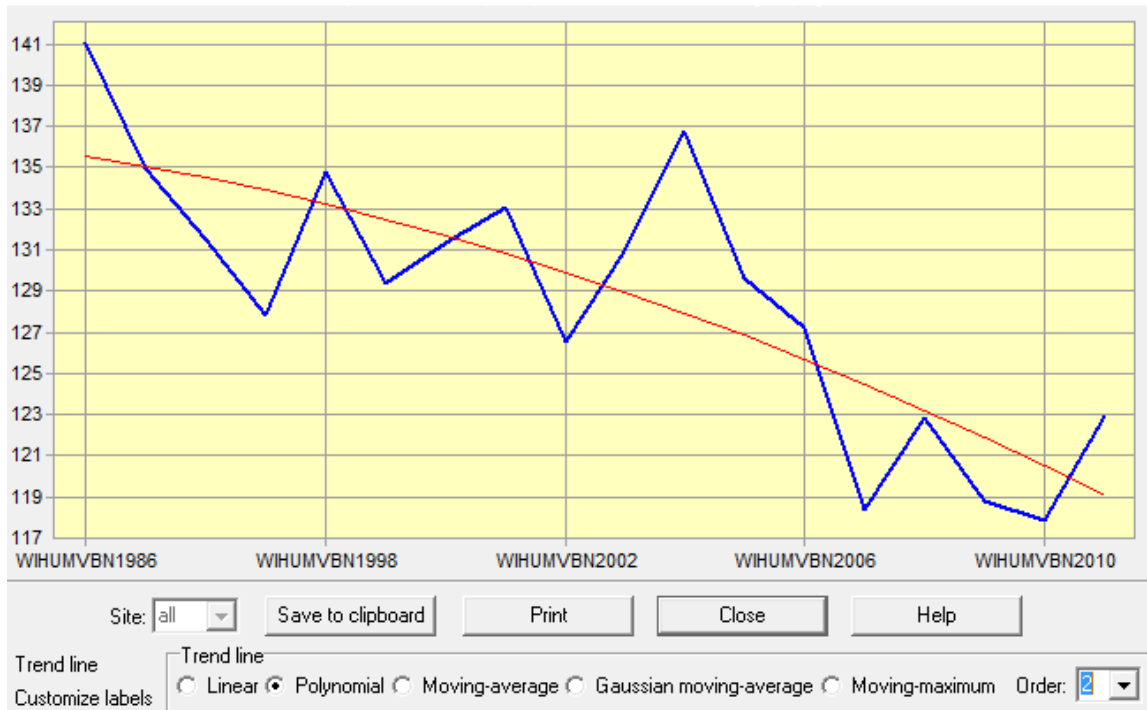


Figura N° 55. Perfil zona de vegetación de pajonal hídrico semi seca.

La tendencia de la zona es decreciente, no obstante se aprecia una estacionalidad entre el año 1986 y 2004, siendo el año 2002, al igual que en la zona anterior, un año crítico. Las variaciones anuales en este periodo da cuenta que esta zona se mantiene en un IHUMV de actividad media, pero a partir del año 2006 se marca una clara tendencia a secarse, con valores menores a 123 de IHUMV.

8.2.3 Índice de Decremento de la Serie.

El Índice Decremento Temporal (IDT) calculado entre el año 1995 y 2011 indica en verde las zonas cuya tendencia es a secarse, siendo la zona de mayor superficie la ubicada en el sector sur del humedal, dando cuenta claramente de la zona

muerta y/o seca y una zona de menor tamaño ubicada en el sector este (Figura N° 56)

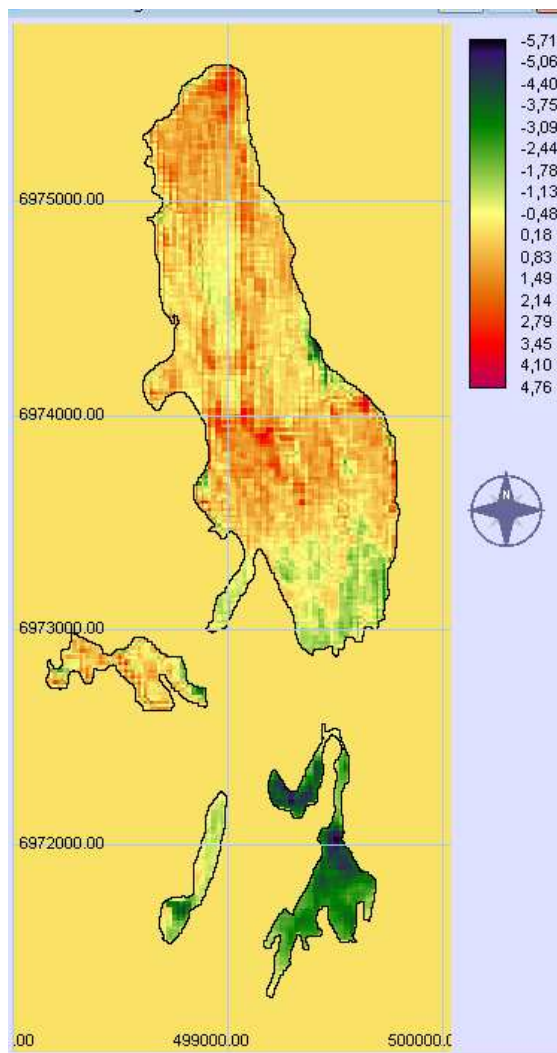


Figura N° 56. Índice de decremento temporal del Barros Negros.

8.2.4 Cambios anuales

De acuerdo a las clases descritas (ver punto “descripción de vegetación existente”) e identificadas para los años 1986, 1996, 2011, 2012 y 2013, cuyos resultados se muestran en las Figuras N° 57, 58 y 59 se desarrollan a continuación los análisis de cambios entre los respectivos años.

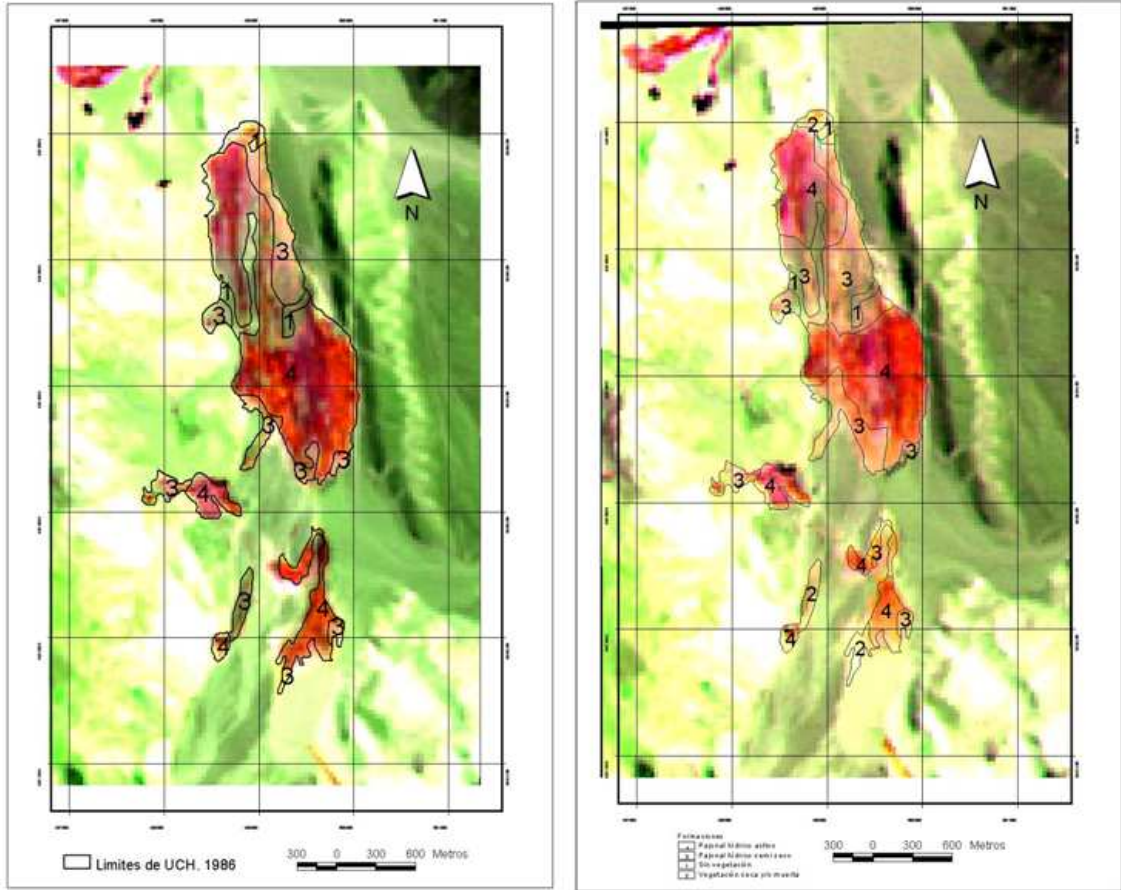


Figura N° 57. Unidades Cartográficas Homogéneas 1986 y 1996.

Las UCH se presentan sobre imágenes Thematic Mapper, composiciones RGB-B453. Los colores rojos indican vegetación activa, con células turgentes, colores magenta indican vegetación poco activa, en proceso de secado o vegetación muy abierta, con alta reflectancia del suelo, como reflectividad de fondo. En verde suelo desnudo.

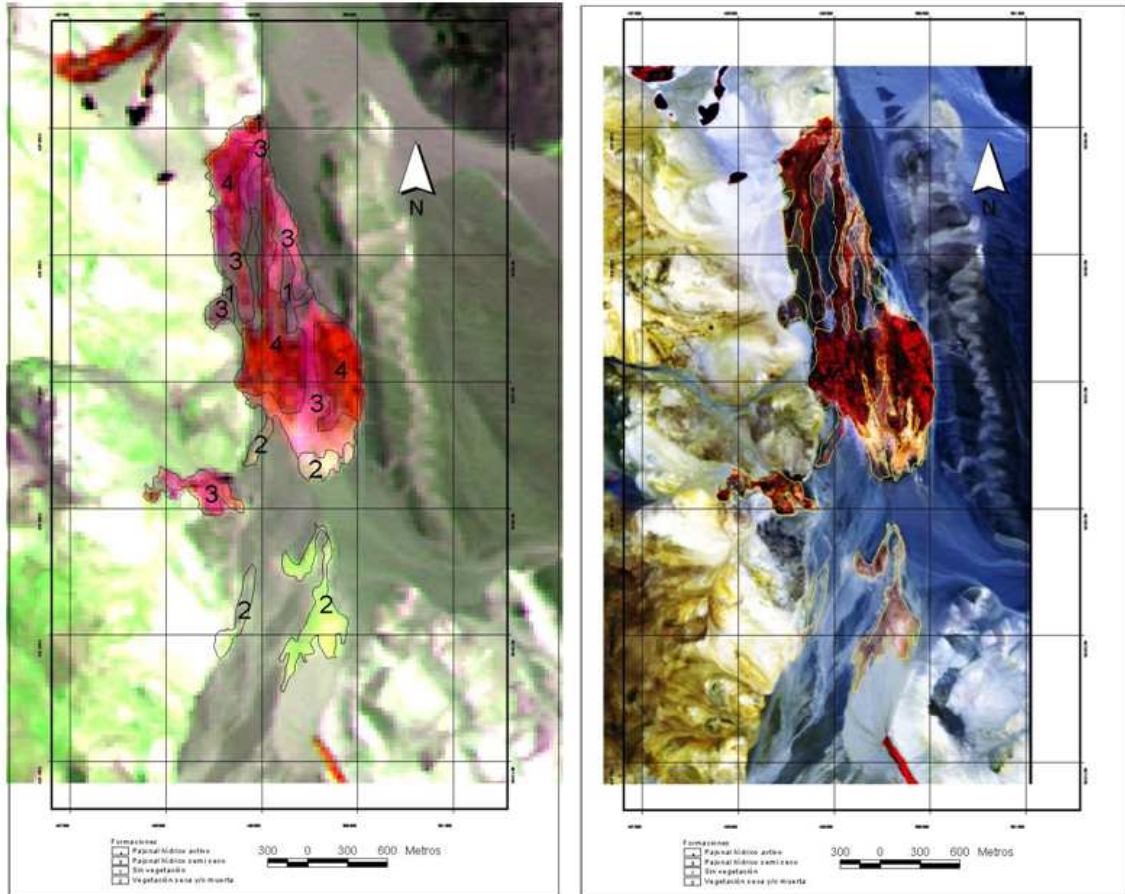


Figura N° 58. Unidades Cartográficas Homogéneas 2011 y 2012.

La imagen TM del 2011 muestra en color verde y blanco las zonas con vegetación muerta, en el sector del humedal, produciéndose claramente una diferencia con la imagen del año 1996. En color magenta las zonas con vegetación en vías de secarse (semi seca) del pajonal hídrico.

En la imagen del año 2012 (derecha) correspondiente al sensor multiespectral del satélite RapidEye (sensor no tiene detectores del infrarrojo medio), composición RGB B532 (infrarrojo convencional) presenta las mismas zonas en color rojo claro, debido a que los restos muertos de la vegetación del pajonal refleja un monto bajo del IRc, especialmente por el tipo de estructura lignificada de la vegetación, la

zona de color blanco responde a la reflectancia del suelo, específicamente a los contenidos de sal y a una vegetación muy abierta (cobertura bajo el 25%).

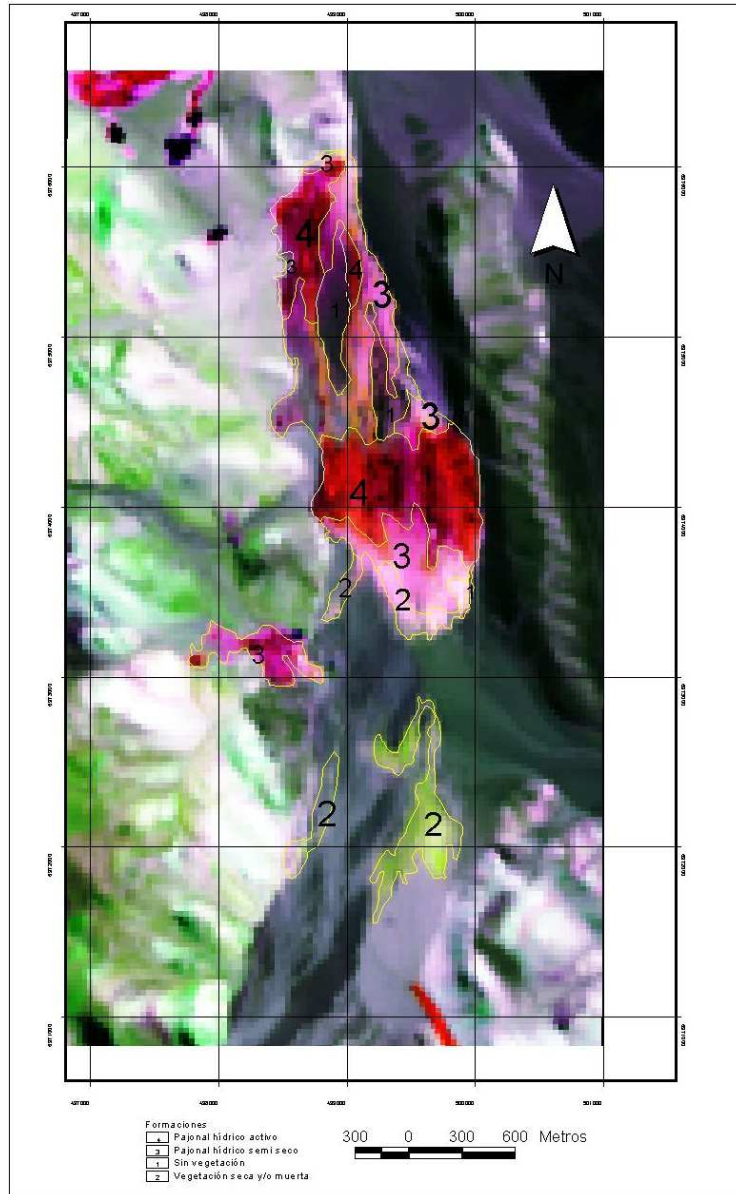


Figura N°59. Unidades Cartográficas Homogéneas 2013.

La imagen del año 2013 TM, al igual que la del 2012 muestra la acentuación de las zonas muertas (en color verde) y la expansión de la zona semi seca, evidenciando un proceso que se acelera en los últimos tres años, tal como se evidencia en las cifras de cambio que se presentan a continuación.

Los resultados obtenidos a partir de las tabulaciones cruzadas de la cartografía elaborada para los años indicados y la respectiva cartografía asociada a dichos años indican tanto la clase que cambio, cuanto cambio y a donde cambio entre los respectivos años analizados.

8.2.4.1 Cambios entre el año 1986 a 1996.

Las siguientes tablas (Tabla N° 16 y 17) relaciona los cambios entre el año 1986 (columnas) y 1996 (filas).

Tabla N° 16. Superficies (ha) que cambiaron por clases

Clases 1996		Clases 1986			Total
		1	3	4	
1 9 9 6	1	12,12	0,00	0,00	12,12
	2	0,00	8,46	3,07	11,53
	3	0,00	36,81	36,16	72,96
	4	0,00	2,71	113,48	116,18
	Total	12,12	47,97	152,70	212,78

Tabla N° 17. Situación proporcional de cambios.

	1	3	4	Total
1	0.0569	0.0000	0.0000	0.0569
2	0.0000	0.0397	0.0144	0.0542
3	0.0000	0.1730	0.1699	0.3429
4	0.0000	0.0127	0.5333	0.5460
Total 	0.0569	0.2254	0.7176	1.0000

En el año 1986, el humedal comprendía 12,2 hectáreas de suelo sin vegetación (5,69%), 47,97 ha (22,54%) de pajonal hídrico semi seco y 152,7 ha (71,76%) de pajonal hídrico activo, situación que en el año 1996 (una década después) paso a ser 12,12 ha sin vegetación (mantuvo su superficie), 11,53 ha (5,4%) de vegetación seca o muerta (clase 2), 72,96 ha de pajonal hídrico semi seco (34,29%) y 116,18 ha (54,6%) de pajonal hídrico activo. Los cambios más significativos fueron en la clase 4 que paso 36,16 ha a la clase 3 y la clase 3 paso

8,46 ha a vegetación seca o muerta (clase 2), con porcentajes de cambios del orden de 16,99 y 3,9 % respectivamente. En resumen, en la década del año 86 al 96 el humedal perdió el 3,97 % de superficie de vegetación y experimento una tendencia a secarse en un 16,99% de la superficie. Se puede inferir que la tasa anual de pérdida de vegetación es de 0,8 ha/año (resultado de dividir la vegetación pérdida (8,46 ha) por 10 (número de años entre 1986 y 1996)).

Estos cambios se localizan en color naranja y verde en Figura N°60.

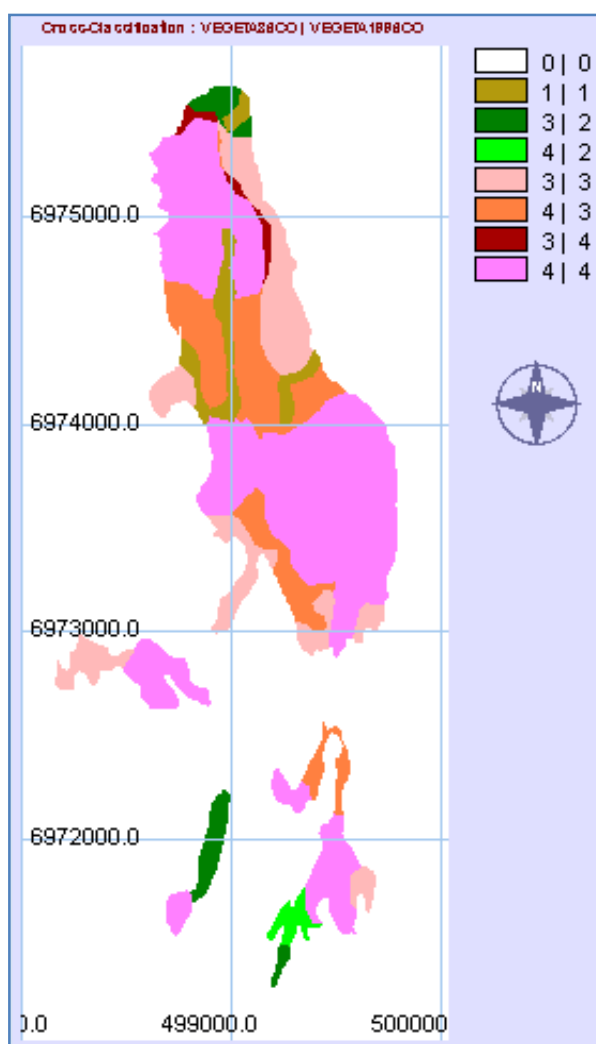


Figura N° 60. Cambios entre 1986 y 1996. Primera columna año 1986, segunda columna año 1996.

8.2.4.2 Cambios entre el año 1996 – 2011

Las tablas siguientes (Tabla N° 18, 19) presentan los cambios en quince años (entre 1996 y 2011).

Tabla N° 18. Superficies (ha) que cambiaron por clases.

Clases	Clases 1996				Total
	1	2	3	4	
1	11,04	1,49	3,22	0,00	15,74
2	0,00	8,22	12,46	15,32	36,00
3	1,06	1,75	42,62	30,90	76,33
4	0,02	0,07	14,66	69,96	84,71
Total	12,12	11,53	72,96	116,18	212,78

Tabla N° 19. Situación proporcional de cambios.

	1	2	3	4	Total
1	0.0519	0.0070	0.0151	0.0000	0.0740
2	0.0000	0.0386	0.0586	0.0720	0.1692
3	0.0050	0.0082	0.2003	0.1452	0.3587
4	0.0001	0.0003	0.0689	0.3288	0.3981
Total	0.0569	0.0542	0.3429	0.5460	1.0000

En este caso, los mayores cambios se producen en la clase 4 (pajonal hídrico activo) que de 116,18 hectáreas en el año 1996 pasa a 84,71 hectáreas en el año 2011, es decir pasa de 54,6% a 39,81% de superficie en el humedal, pasando 30,9 hectáreas a la clase 3 (pajonal hídrico semi seco y 15,32 hectáreas a la clase 2 (vegetación seca y/o muerta). También la clase 3 pierde en este período 12,46 hectáreas que se secan o mueren. La tasa anual de pérdida de vegetación fue de 1,98 ha/año, más del doble que en la década anterior.

Los cambios se visualizan en color rojo y naranja en la Figura N° 61.

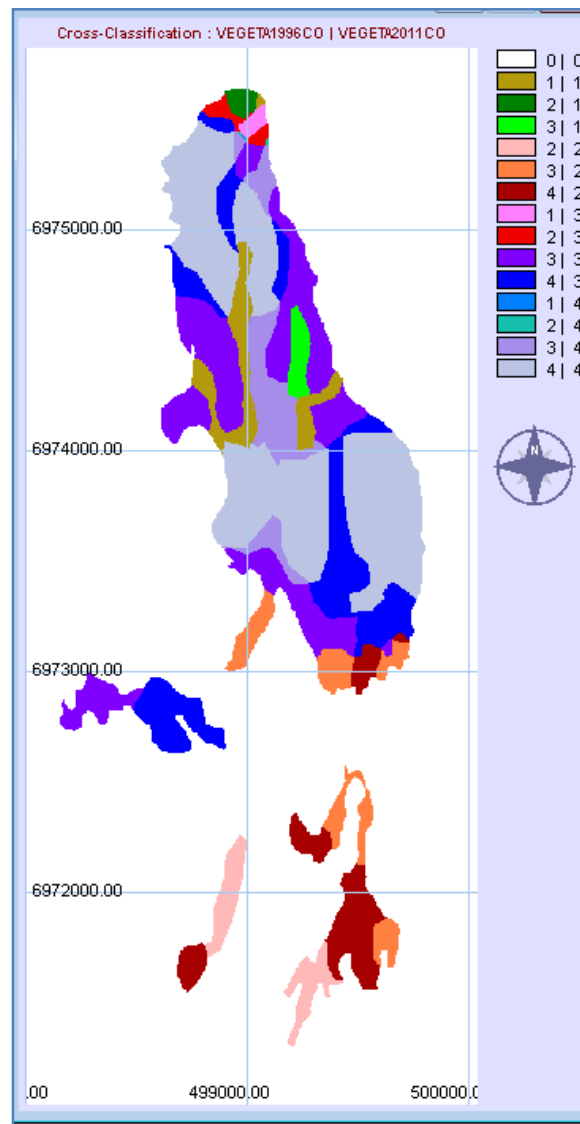


Figura N° 61. Cambios entre 1996 y 2011. Primera columna año 1996, segunda columna año 2011.

En este periodo se produce el secamiento y muerte total del sector sur del humedal y un avance en la zona sur del cuerpo central del humedal, evidenciando la tendencia de degradación de la clase de pajonal semi seca.

La pérdida de la superficie sur del humedal se produce en forma drástica entre el año 2003 y 2006 según el análisis de tendencia (Figura N° 51) y las imágenes del IHUMV que se adjunta en el anexo.

8.2.4.2 Cambios entre el año 2011 – 2012

Las tablas siguientes (Tabla N°20, 21) presentan los cambios entre el año 2011 y 2012.

Tabla N° 20. Superficies (ha) que cambiaron por clases.

C l a s e s	Clases 2011				Total
	1	2	3	4	
1	12,64	0,35	6,95	5,94	25,89
2	0,49	30,26	5,89	0,52	37,15
3	1,29	5,39	33,96	4,85	45,49
4	1,32	0,01	29,53	73,41	104,26
Total	15,74	36,00	76,33	84,71	212,78

Tabla N° 21. Situación proporcional de cambios.

	1	2	3	4	Total
1	0.0594	0.0017	0.0327	0.0279	0.1217
2	0.0023	0.1422	0.0277	0.0024	0.1746
3	0.0061	0.0253	0.1596	0.0228	0.2138
4	0.0062	0.0000	0.1388	0.3450	0.4900
Total 	0.0740	0.1692	0.3587	0.3981	1.0000

Los cambios entre el año 2011 y 2012 están dados por la disminución importante (16,8%) de la superficie de la clase 3 (pajonal hídrico semi seco) cuya superficie en el 2011 de 76,33 hectáreas, se secan y/o mueren y pasan a suelo sin vegetación un total de 12,84 hectáreas. De la misma forma, la clase 4 pierde 6,46. En total, entre el año 2011 y 2012 se produce una pérdida de 19,3 hectáreas, lo que es una tasa muy superior a la histórica.

Sin embargo, también se debe considerar una dinámica de recuperación del pajonal activo, a cuya clase se suman en este año 29,53 hectáreas del pajonal semi seco.

Los cambios se visualizan espacialmente en color rojo y rosado en la Figura N°62.

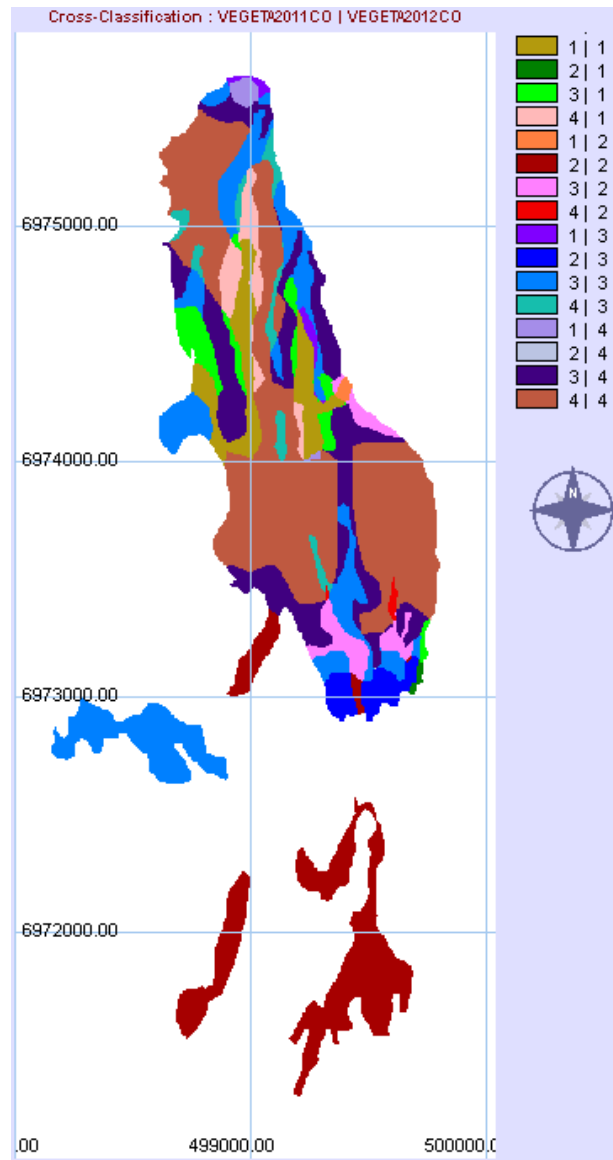


Figura N° 62. Cambios entre 2011 - 2012. Primera columna año 2011, segunda columna año 2012.

Las pérdidas de vegetación se ubican en la zona sur del humedal y en la zona centro y centro- este del mismo.

8.2.4.3 Cambios entre el año 2012 – 2013

Las tablas siguientes (Tabla N° 22, 23) presentan los cambios entre el año 2012 y 2013).

Tabla N° 22. Superficies (ha) que cambiaron por clases.

Clases	Clases 2012				Total
	1	2	3	4	
1	18,10	0,81	0,00	1,38	20,29
2	0,00	30,89	5,52	1,03	37,44
3	7,79	5,25	38,56	31,91	83,50
4	0,00	0,20	1,41	69,95	71,56
Total	25,89	37,15	45,49	104,26	212,78

Tabla N° 23. Situación proporcional de cambios.

	1	2	3	4	Total
1	0.0851	0.0038	0.0000	0.0065	0.0954
2	0.0000	0.1452	0.0259	0.0048	0.1759
3	0.0366	0.0247	0.1812	0.1499	0.3924
4	0.0000	0.0009	0.0066	0.3288	0.3363
Total 	0.1217	0.1746	0.2138	0.4900	1.0000

Entre el año 2012 y 2013 sigue la tendencia de pérdida del pajonal hídrico semi seco (clase 3), perdiéndose 5,52 hectáreas de esta clase y una pérdida de 2,41 hectáreas de pajonal hídrico activo (clase 4), lo que hace una pérdida total de 7,93 hectáreas en el año, cifra que es menor a la del año 2011-2012. La espacialización de estos cambios se visualiza en la Figura N° 63.

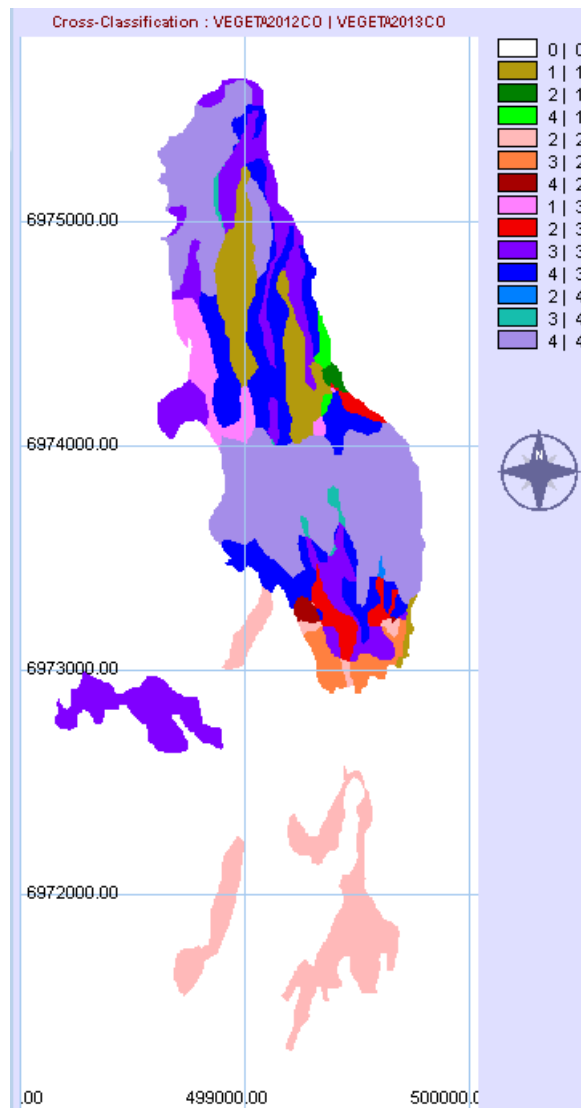


Figura N° 63. Cambios entre 2012 - 2013. Primera columna año 2012, segunda columna año 2013.

Las pérdidas de vegetación, al igual que la tendencia histórica, se sitúan en el sector sur del cuerpo central del humedal y la pérdida de actividad vegetacional, paso de la clase 3 a 4 se ubica (color azul) en el centro del humedal en dirección sur norte.

8.3 PANTANILLO

8.3.1 Descripción vegetacional de terreno.

El humedal de Pantanillo (Figura N° 64) comprende una superficie de 16,1 hectáreas, clasificado en la línea base de sistema biológico del estudio de impacto ambiental (EIA) del Proyecto Refugio de la Minera Maricunga (1991) como vega con densa cobertura de gramíneas, cuyas especies principales eran *Deyeuxia eminens* J. Presl y *Deyeuxia velutina* Nees et Meyen, *Deyeuxia rigescens*, *Puchinellia oresignea*, *Myriophyllum aquaticum* Senecio *rosmarinus*, *Senecio rahmeri*, algas y hierbas acuáticas como *Potamogeton strictus* y *Myriophyllum aquaticum*, tal como se muestra en la foto de la Figura N°63 (EAI, 1991), lo que contrasta con la situación actual que se presenta en la foto de la Figura N° 65 (de la misma área).



Figura N° 64. Vega Pantanillo 1991. EIA proyecto Refugio.



Figura N° 65. Vega Pantanillo 2013. (Octubre)

De éste humedal, en la actualidad, sólo se encuentra activa una pequeña zona de Vega, ubicada en la parte baja de la ladera al lado oeste del humedal (Figura N° 66)

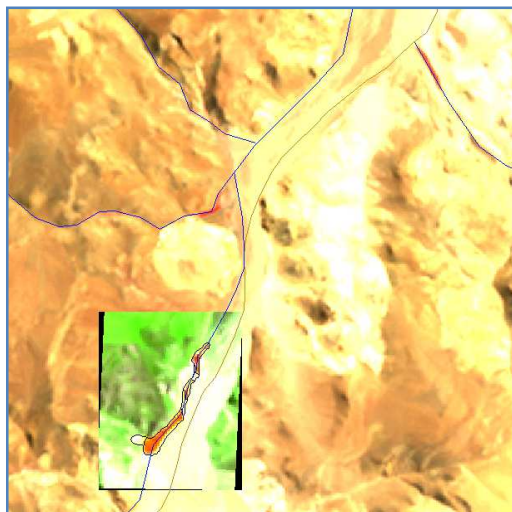


Figura N° 66. Ubicación humedal Pantanillo, situado en la parte alta de la cuenca del Salar de Maricunga, parte del corredor biológico (Pantanillo C. Redonda).



Figura N° 67. Sector activo de la vega Pantanillo 2013. (Octubre) ubicado en la baja ladera al oeste lado oeste (496201,6966314; WGS84-H19S).

Pantaniillo es de los humedales estudiados el que reviste mayor gravedad por el estado actual de la vegetación (Figura N° 67 y 72). Este se encuentra con vegetación muerta en toda su extensión y se evidencia la drástica disminución del aporte hídrico en el sector, lo que se hace evidente por las estructuras semiglobosas que se mantienen de la vegetación que existió. Es posible observar además, la profundidad de la capa de materia orgánica que sustentaba la vegetación de este lugar (30 cm aprox) (Figuras N° 68 y 69) y que también se encuentra completamente seca. Se observa mineralización del mantillo y rastrojo sin vegetación identificable (Figura 68).



Figura N° 68. Vista general del humedal Pantaniillo.

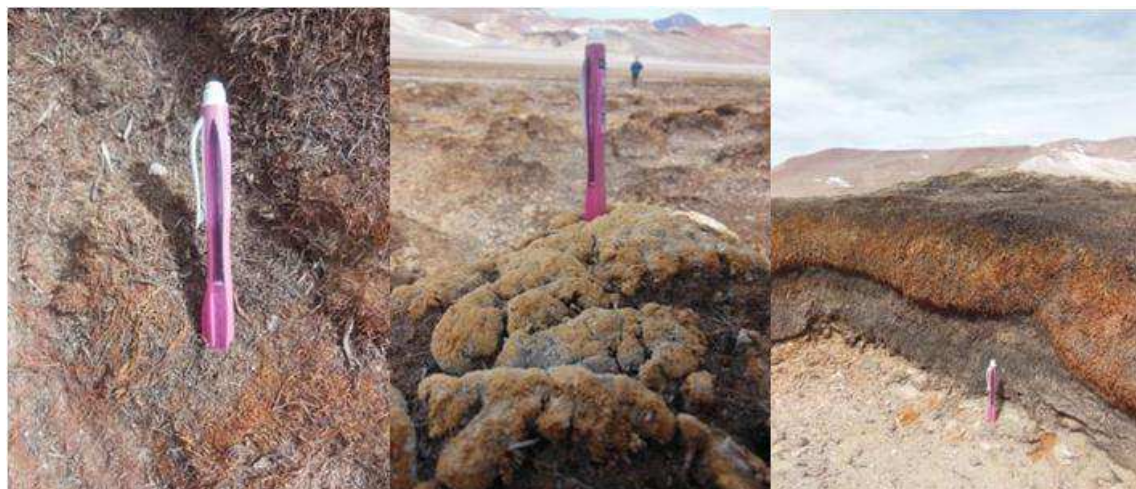


Figura N° 69. Vegetación muerta. Se observa mineralización del mantillo (fotografía de en medio). La fotografía de la derecha muestra la profundidad que tenía la cubierta vegetal antes de secarse.



Figura N° 70. Evidencia de lo que fue el curso de agua que corría por el sector de norte a sur. Hacia el fondo de la segunda fotografía (hacia el oeste) se encuentra un pequeño sector identificado como vega el que se encontraba cubierto por nieve en un 50%.

Hacia el sur se observa una larga tubería sobre lo que constituía el humedal (Figura N° 71). Se advierte la presencia de pozos en el lado sur y hacia el norte (Figura 13), paralelos a la ruta C-607, así como instalaciones hacia el lado SE de la ruta. También se observan nuevas instalaciones cercadas frente al humedal. Hacia el norte la situación es idéntica.



Figura N°71. De izquierda a derecha, tubería y pozos.

Un resumen de la situación visitada en terreno se identifica en la Figura N° 72.

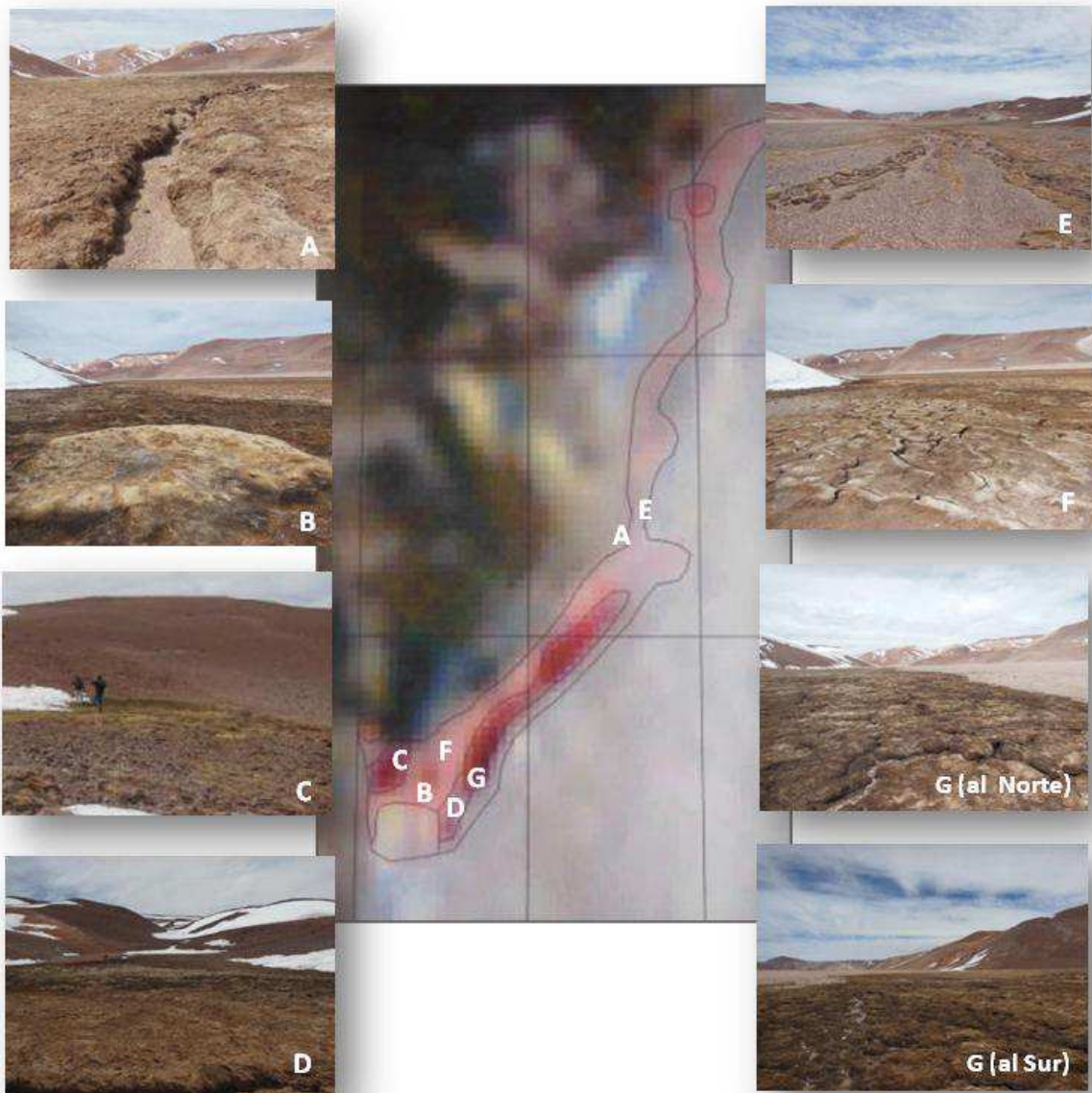


Figura N° 72. Identificación de polígonos de vegetación del sector Pantanillo.

8.3.2 Tendencia multitemporal de la vegetación del humedal entre el año 1986 y 2011.

El análisis de los promedios del IHUMV para todos los años (imágenes resultantes se presentan en el ANEXO) de la serie de datos entre 1986 y 2011 para el humedal de Pantanillo entrega como resultado el perfil de la Figura N°73 y los valores máximos anuales se grafican en la Figura N°74.



Figura N°73. Perfil de los valores promedio del IHUMV de Pantanillo.



Figura N°74. Perfil de la desviación estándar de los promedios del IHUMV.

Los datos indican que el humedal baja su actividad vegetacional en forma significativa el año 1997 y desde el año al año 2011 permanece la mayor parte de su superficie seca y/o muerta. Tal situación se corrobora con las imágenes del IHUMV que se presentan en la Figura N° 75.

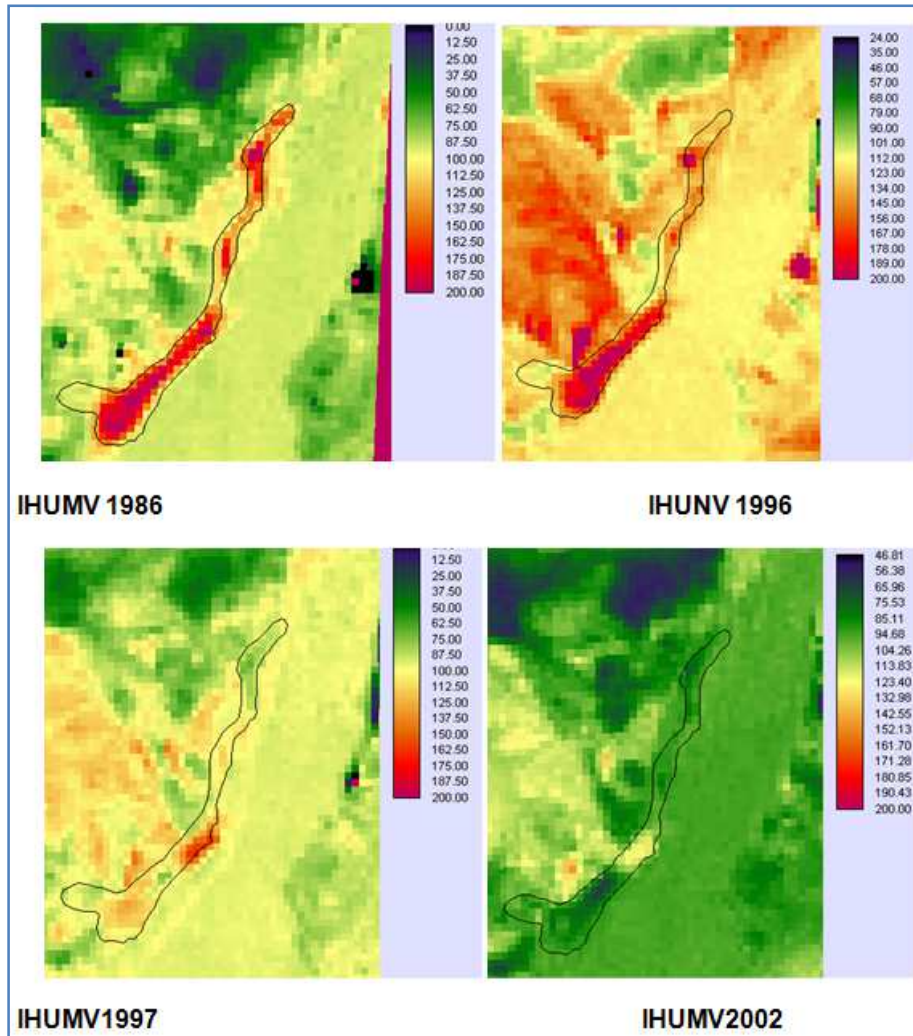


Figura N° 75. Imágenes correspondientes al IHUMV de los años 1986, 1996, 1997 y 2002.

Se parte en el año 1986 con una vega activa donde los valores predominantes del IHUMV están sobre los 150 (colores rojos), en 1996 la situación es similar. En 1997 predominan valores bajo los 120, con la excepción de la zona central, donde

aún queda vegetación, la que desaparece totalmente el año 2002. Lo que concluye en que el humedal se seco gran parte de entre el año 1996 y 1997.

8.3.3 Cambios anuales

En este caso, la superficie de cambios entre el año 1986 (Figura N° 76) y el año 2011 (Figura N° 77), situación que se mantiene hasta el 2013, tal como se demuestra en punto 8.3.1 corresponde al total del humedal (Vega) situado en la planicie, que es de 14,4 hectáreas, de las cuales 12,4 ha son Vegas activas con alto vigor.

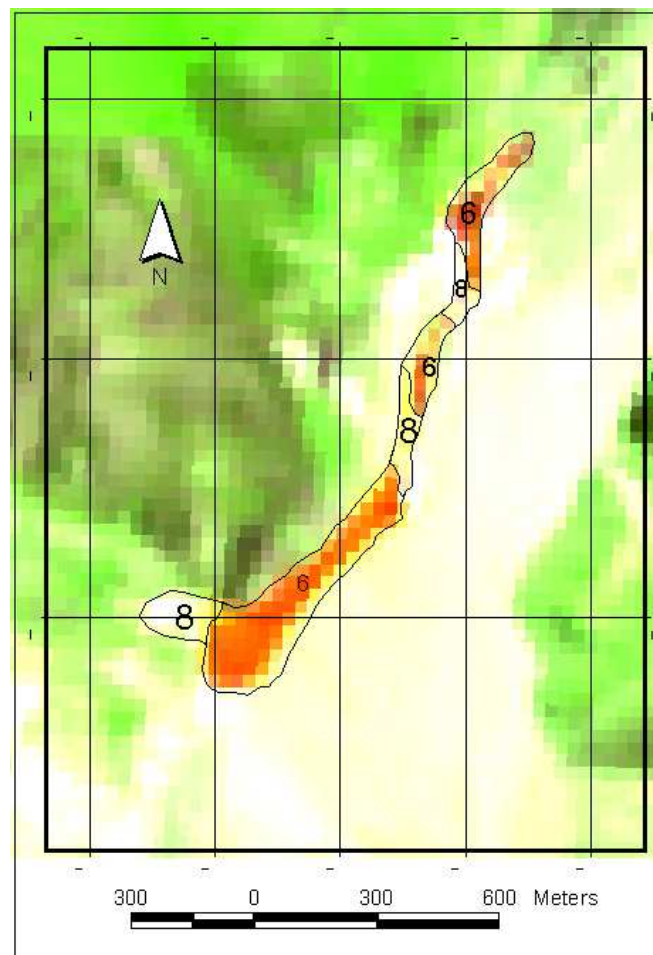


Figura N° 76. Unidades cartográficas 1986. Vega Pantanillo. Vega activa densa (6), Vega abierta semi seca (8). Imagen TM B453 – RGB.

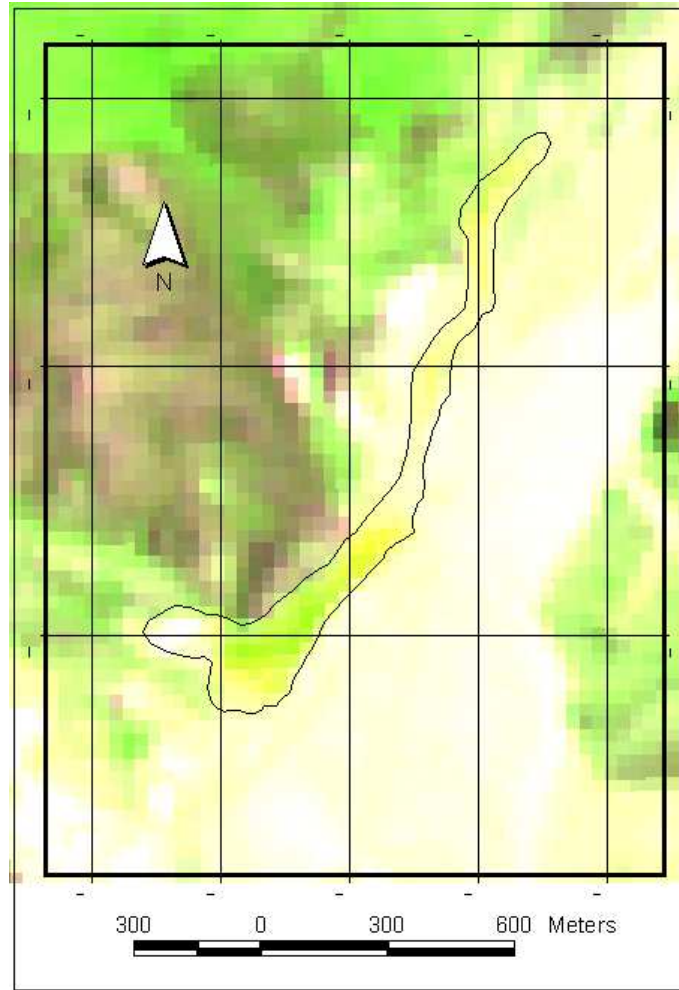


Figura N° 77. Vega Pantanillo 2011. Vega con vegetación seca y/o muerta (color verde y amarillo). Imagen TM B453 – RGB.

9. VULNERABILIDAD DE LOS HUMEDALES

Tal como se planteo en la metodología, el índice de vulnerabilidad obtenido a partir de la sumatoria de los decrementos anuales de la vegetación permitió determinar para el humedal de Ciénaga Redonda y Barros Negros la superficie con mayor vulnerabilidad en cada caso, a partir de la vulnerabilidad de las UCH que integran cada humedal (Figura N° 78 y 79).

9.1 Vulnerabilidad Ciénaga Redonda.

Los resultados obtenidos para cada UCH (promedio del IDT) se indican en la Tabla N° 24 (IHUMV PROM), el cual, en este caso fue escalado (sumando 2 y multiplicando por 100) y obtener así un indicador en enteros positivos, donde los valores de menores de 200 son vulnerables y los mayores de 200 no vulnerables.

Tabla N°24. Vulnerabilidad Ciénaga Redonda

UCH	IND-VULNE	IHUMV PROM
1	197,4385	-0,025615
2	84,494	-1,15506
3	173,17754	-0,2682246
4	218,5811	0,185811
5	185,21639	-0,1478361
6	160,1006	-0,398994
7	168,96707	-0,3103293
8	185,66492	-0,1433508
9	157,05028	-0,4294972
10	212,5139	0,125139
11	112,39436	-0,8760564
12	214,92887	0,1492887
13	210,70527	0,1070527
14	102,30983	-0,9769017
15	149,84947	-0,5015053

Para efectos de graficar los resultados se determinaron 4 clases de vulnerabilidad definidas de la siguiente forma (Figura N° 77), según criterio estadístico de quiebres naturales:

Vulnerabilidad baja: 200 a 218

Vulnerabilidad media: 174 – 198

Vulnerabilidad alta: 113-173

Vulnerabilidad muy alta: 84 - 113

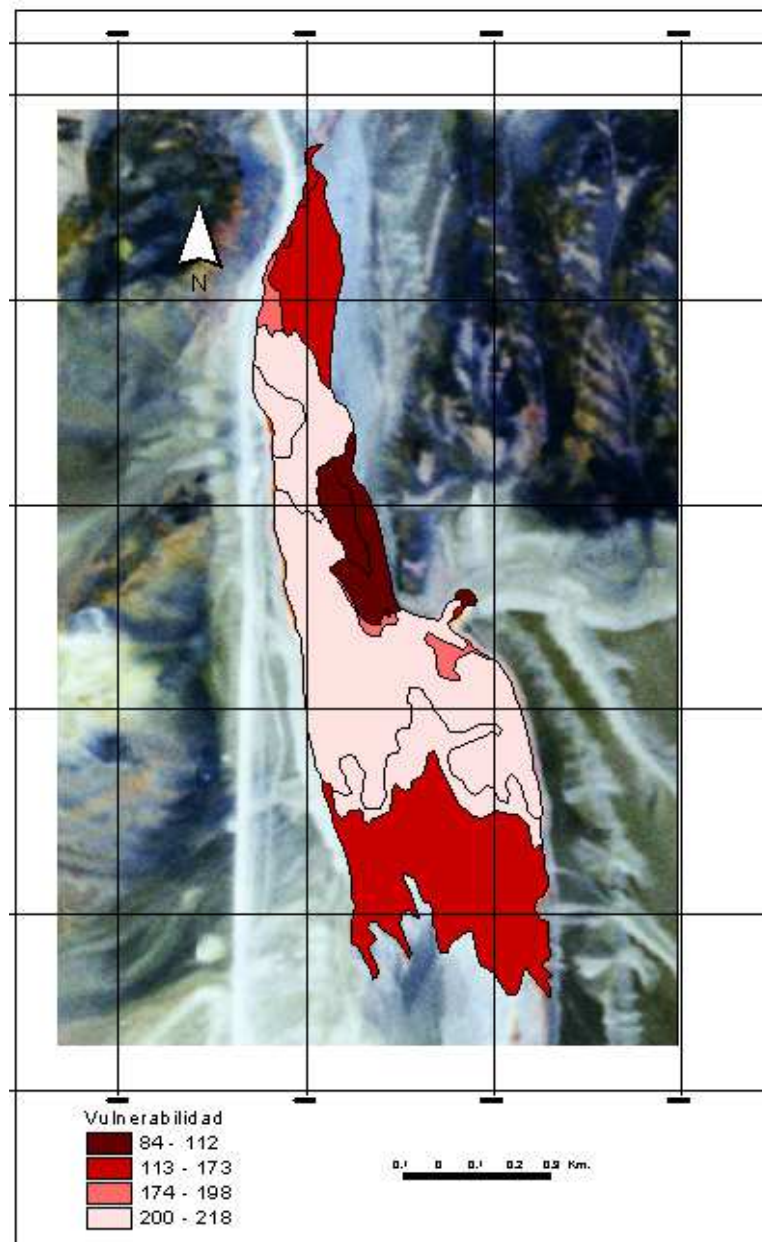


Figura N° 78. Vulnerabilidad de Ciénaga Redonda

Ciénaga Redonda comprende dos zonas de alta vulnerabilidad y una de muy alta, ubicadas en el sur, norte y centro del humedal. El total es una superficie de 32,7 hectáreas. Porcentaje total de superficie vulnerable es de 44,8%.

9.2 Vulnerabilidad Barros Negros.

En este caso, los resultados obtenidos para cada UCH (promedio del IDT) se indican en la Tabla N° 25 (IHUMV PROM), el cual fue escalado (sumando 3 y multiplicando por 100) y obtener así un indicador en enteros positivos, donde los valores de menores de 300 son vulnerables y los mayores de 300 no vulnerables.

Tabla N° 25. Vulnerabilidad Barros Negros

UCH	IND-VULNE	IHUMV PROM
1	184,7693	-1,15230700
2	7,42481	-2,92575190
3	304,88281	0,0488281
4	220,17357	-0,7982643
5	324,5718	0,245718
6	156,69051	-1,4330949
7	370,95096	0,7095096
8	284,68738	-0,1531262
9	420,92701	1,2092701
10	376,86502	0,7686502
11	263,47691	-0,3652309
12	189,87116	-1,10128840
13	289,87116	-0,1012884
14	394,78424	0,9478424
15	275,39152	-0,2460848
16	351,60238	0,5160238

Para efectos de graficar los resultados se determinaron 4 clases de vulnerabilidad definidas de la siguiente forma (Figura N° 79):

Vulnerabilidad baja: 300 -5420

Vulnerabilidad media: 221-300

Vulnerabilidad alta: 8 -220

Vulnerabilidad muy alta: 7

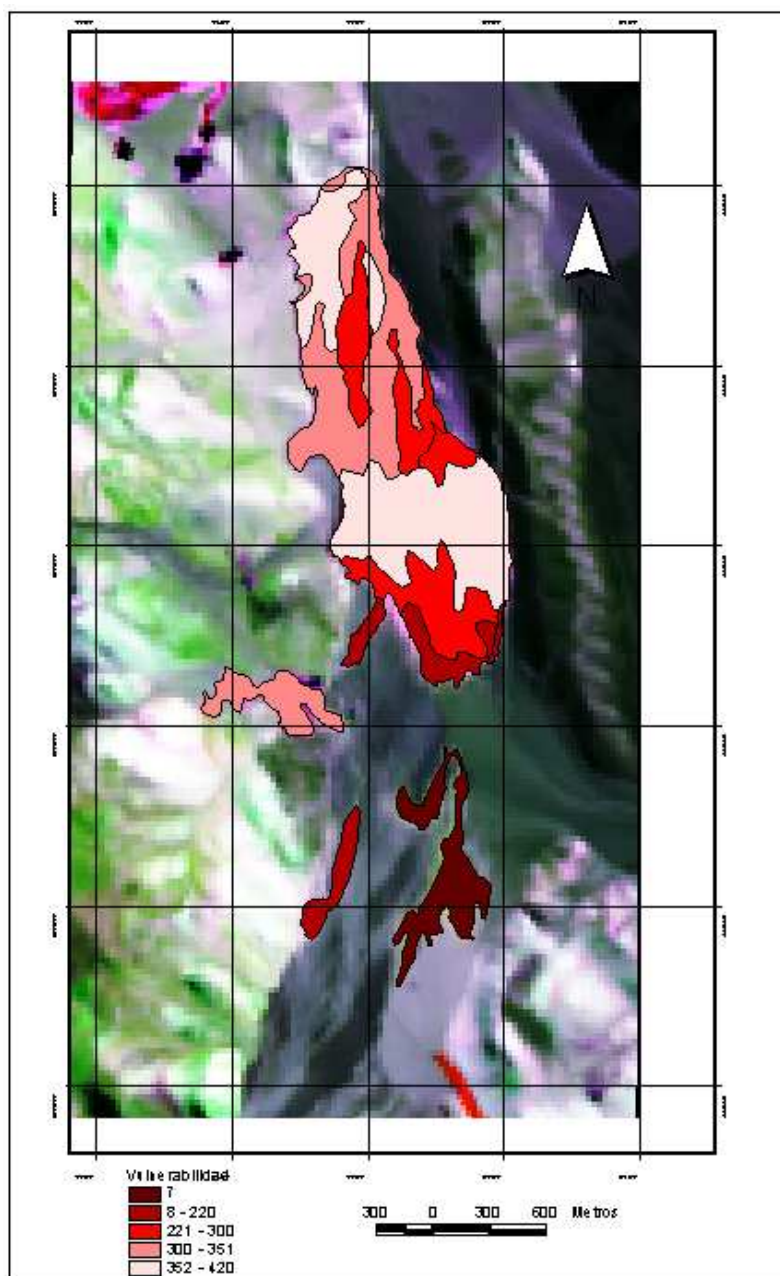


Figura N° 79. Vulnerabilidad de Barros Negros.

Barros Negros tiene una superficie con vulnerabilidad muy alta y alta de 82,3 hectáreas, de las cuales 29,6 se encuentran con vegetación seca y/o muerta. El porcentaje de superficie vulnerable respecto del total de superficie del humedal (212,78 ha) es de 38,6%.

10. BASE DE DATOS Y SIG

Se adjunta proyectos para desplegar la información en ARCVIEW, de acuerdo a archivos y estructura que se detalla a continuación. En las carpetas “ima-credonda, imabnegros, imapanta2” se adjuntan la data satelital e imágenes correspondientes a cada humedal, en formato ERDAS e IDRISI.



📁 cca_credonda

- ✓ L8b12345_12042013_credonda.img
- ✓ Corl8b12345eq.img
- ✓ Corl8b12345_12042013_credonda.img
- ✓ Uph2013credon.shp

- ✓ Uph2012boredon.shp

- ✓ Uph2011credon.shp

- ✓ Up1995credon.shp

- ✓ Puntosterreno.shp

- ✓ Obras.shp

- ✓ Marco_credonda.shp

- ✓ Humedales.shp

- ✓ Dren_credonda25.shp

- ✓ Curoca-25.shp

- ✓ Cur25_credonda.shp

- ✓ Cuenca_credonda.shp

- ✓ Caminos.shp


cca_pantaniillo

- ✓ Hidro_pantaniillo_c25.shp 
- ✓ Cur25_cpantaniillo_wgs84.shp 
- ✓ Faenas-mineras.shp 
- ✓ Humedal1986.shp 
- ✓ Cur50_wgs8419h.shp 
- ✓ Drenes.shp 
- ✓ Caminos.shp 
- ✓ Uphantaniillo2013.shp 
- ✓ Humedal pantaniillo 1995.shp 
- ✓ Humedalpanta2013.shp 
- ✓ Uchpan1986.shp 
- ✓ Uph2012-reye.shp 
- ✓ Limocapantaniillo.shp 
- ✓ Drenespanta2.shp 
- ✓ Curocapanta.shp 
- ✓ Eqpantaniillo-reye.png
- ✓ Cor06032011pantaniillo.png
- ✓ Cor12042013pantaniillo.png
- ✓ Cortm 1986.png
- ✓ Cortm 1995.png
- ✓ Subcapantaniillo2013.png

11. ANALISIS Y CONCLUSIONES.

De los datos expuestos se pueden obtener las siguientes consideraciones y conclusiones.

- 1) En general, el área de estudio (los tres humedales estudiados), forma parte del Corredor Biológico Pantanillo Ciénaga Redonda, propuesto por CONAF como conexión entre las dos porciones que conforman el Parque Nacional Nevado Tres Cruces (PNNTC), Laguna Santa Rosa y Laguna del Negro Francisco, función que la hace relevante del punto de vista de la conservación. El corredor constituye una unidad conectada por el curso principal que define la subcuenca del estero Ciénaga Redonda que es el curso principal de la cuenca del Salar Maricunga.
- 2) Los antecedentes de flora y vegetación indican que se encuentran en este corredor 57 especies, de las cuales 25 especies tendrían distribución azonal, 2 de las cuales constituyen vegetación acuática y 8 corresponden a especies arbustivas.
- 3) Por otro lado, convergen en el área de estudio una fuerte presencia de actividad minera, que data a lo menos del año 1994 con el Proyecto Refugio y en la actualidad con la presencia de siete grandes proyectos, lo que se evidencia en terreno a través de intervenciones de caminos, pozos, movimiento de tierra y tránsito vehicular en los entornos de los humedales.
- 4) Las cuencas y subcuencas donde se encuentran los humedales poseen índices de baja infiltración, alto y medio nivel de escurrimiento superficial, que en el caso de la subcuenca relacionada con el humedal de Pantanillo, zona alta de la cuenca del Salar Maricunga, es de una superficie pequeña (menos de 10 mil hectáreas), lo que limita las posibilidades de recarga de los acuíferos.

- 5) El ingreso de agua a las cuencas (lluvia y nieve), de acuerdo a los datos analizados desde el año 1995, tiene una gradiente negativa, caso de las aguas lluvias corresponde a una disminución de 100 mm en un periodo de 14 años. De igual forma, se manifiestan los caudales medios anuales cuyo año crítico es 1999-2000, que marca un aceleramiento de la disminución hasta el año 2012 del orden de 0,186 metros cúbicos por segundo.
- 6) El humedal de Pantanillo sin duda representa la situación de mayor gravedad, los antecedentes indican que el año 1986 constituía una Vega con una superficie de 16,1 hectáreas, de las cuales 12,4 hectáreas eran densas y activas, superficie que en la actualidad se encuentra seca y muerta, salvo un pequeño sector (1 hectárea) situado en la baja ladera del sector sur-oeste que sobrevive con escasa vegetación.

El año crítico de cambio brusco de las condiciones de éste humedal es el año 1996-1997, secándose completamente el año 2002. Por otro lado, tal como se indica en los antecedentes, en este humedal se encuentran en operación tres pozos que proveen de agua al Proyecto Minero Refugio, cuya RCA del estudio de EIA del año 1994 le permitía extraer agua de dichos pozos, proyecto que se amplió en el año 2002 (modificación del 16 de mayo), luego el año 2003 (RCA, 30 diciembre) y el año 2004 se le autoriza a extraer un total de 95l/s, declarando un consumo del orden de 93,68 l/s.

- 7) Humedal Ciénaga Redonda, los resultados obtenidos indican que comparativamente es más vulnerable que el humedal Barros Negro, aunque en este último las superficies degradadas son mayores.

El humedal presenta una fuerte intervención en el sector sur, centro y norte, disminuyendo 5,59 hectáreas, entre el año 1995 y 2011, por muerte de una parte del pajonal hídrico, también 5,19 se degradaron a la categoría de pajonal semi seco. Hecho similar ocurrió con el bofedal en un

total de 5,41 hectáreas. La degradación se manifiesta con mayor fuerza entre el año 2011 y 2012, en cuyo año aumento la vegetación seca y muerta en 7,35 ha provenientes de pajonal hídrico. Entre el año 2012 y 2013 los cambios son menores y se focalizan en el sector centro y norte del humedal.

El humedal tiene una superficie vulnerable de 72,85 ha y en estado de alta y muy alta vulnerabilidad existen 32,7 ha. correspondiente al 44,8% del total de superficie del humedal.

- 8) Humedal Barros Negros. Los datos indican que el humedal y los sectores críticos tienen una tendencia de la actividad vegetacional a degradarse. Así, entre el año 1986 y 1996 la tasa anual de pérdida de la vegetación fue de 0,8 ha/año, mientras que entre el año 1996 y 2011 la tasa fue de 1,9 ha/año. En este periodo se produce el secamiento y muerte total del sector sur del humedal y un avance en la zona sur del cuerpo central del humedal, evidenciándose la tendencia de degradación de la clase de pajonal semi seca.

La pérdida de la superficie en el sector sur del humedal se produce en forma drástica entre el año 2003 y 2006 según el análisis de tendencia (Figura N° 50) y las imágenes del IHUMV que se adjuntan en el anexo.

Entre el 2011 y 2012 la tendencia continúa y se produce la pérdida de 19,3 hectáreas, principalmente de la clase de pajonal hídrico y bofedal y entre el año 2012 y 2013 se perdieron 7,93 hectáreas de pajonal hídrico.

Todo lo anterior, se resumen en una vulnerabilidad alta y muy alta para un total de 82,3 hectáreas, de las cuales 29,6 se encuentran con vegetación seca y/o muerta. El porcentaje de superficie vulnerable respecto del total de superficie del humedal (212,78 ha) es de 38,6%.

- 9) En general, se concluye que los tres humedales estudiados tienen una clara tendencia a degradarse y a perder superficie de vegetación activa a tasas cada año mayor, lo que no se explica tan sólo en función del cambio climático, si no por la extracción permanente de agua de los acuíferos a través de los pozos existentes en todos los humedales, siendo clara la relación entre el estado del humedal de Pantanillo y la extracción de agua por parte del Proyecto Minero el Refugio. Todo lo anterior permite inferir en la urgencia de medidas que permitan ajustar los permisos de extracción a los requerimientos ecológicos de los humedales.
- 10) Los resultados obtenidos responden a los objetivos planteados y resultan ser coherentes con los datos de terreno y los reportes obtenidos de los estudios existentes, validándose las metodologías aplicadas, especialmente el seguimiento y análisis de tendencia realizado en función del Índice de Humedad de la Vegetación.

REFERENCIAS

AHUMADA, M. Y FAÚNDEZ, L. 2009. Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestre de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero, 118 p.

AHUMADA, M. Y FAUNDEZ, L., 2007. Guía Descriptiva de las Praderas Naturales de Chile. Departamento de Protección de los Recursos Naturales Renovables. Servicio Agrícola y Ganadero.

ANDINA MINERALS CHILE LTDA, 2012. EIA Proyecto Minero Volcán, GHD Consultores Ambientales.

BIOTA, 2006. Estudio de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos del Altiplano. Informe 2.

CONAF, Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de Humedales Altoandinos.

CONAF, 1999. Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Proyecto CONAF-CONAMA-BIRF.

CONAF (Sin Fecha). Flora Terrestre, Cartilla de Reconocimiento, Parque Nacional Nevado Tres Cruces, Región de Atacama. CONAF, MINAGRI, Andina, GHD.

CLAYTON, W.D., VORONTSOVA, M.S., HARMAN, K.T. AND WILLIAMSON, H. (2006 onwards). GrassBase - The Online World Grass Flora.<http://www.kew.org/data/grasses-db.html>. [accessed 08 November 2006; 15:30 GMT]*

CPH y Asociados SA. Informe Integrado Hidrología e Hidrogeología - Andina Minerals. Modelo hidrogeológico Barros Negros – Ciénaga Redonda. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Minero Volcán. Capítulo 4 Evaluación de Impactos y Riesgos Ambientales.

ETIENNE, M. Y PRADO, C., 1982. Descripción Vegetacional Mediante la Cartografía de Ocupación de Tierras, Conceptos y Manual de Uso Práctico. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Universidad de Chile.

GAJARDO, R.1994. La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria. 165 p.

GOLDER ASSOCIATES INC. Jun 2011. Proyecto Reinicio Y Expansión Del Proyecto Lobo Marte. Línea Base Hidrogeológica e Hidrológica Lobo Marte y Modelo Hidrogeológico Ciénaga Redonda. Elaborado para KINROSS GOLD CORPORATION.

GOLDER ASSOCIATES INC. 2011. Modelo de Flujo Subterráneo- Lobo Marte. Elaborado para KINROSS GOLDCORPORATION.

LUEBERT, F. Y PLISCOFF, P., 2004. Clasificación de Pisos de Vegetación y Análisis de Representatividad de Áreas Propuestas Para la Protección en Chile. Informe 3. Pisos de vegetación de la Zona Norte de Chile (I-III).

MINERA LOBO MARTE S.A., 2011. EIA Reinicio y Expansión Proyecto Lobo-Marte, IAL Ambiental.

RIEDERMANN, P., ALDUNATE, G. Y TEILLIER, S., 2008. Flora Nativa de Valor Ornamental, Rutas y Senderos. Chile Zona Cordillera de los Andes.

SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG). 2009. Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ahumada, Mario. & Faúndez, Luis. división de Protección de Recursos Naturales Renovables (eds). Primera Edición. 118 p. Santiago, Chile.

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL. 2011. Calificación Ambiental "Proyecto de Prospección Minera Sierra La Sal " Resolución Exenta N° 037. Copiapó, 16 de Febrero.

SQUEO, F., ARANCIO, G., GUTIERREZ J., 2008. Libro Rojo de la Flora Nativa y los Sitios Prioritarios Para su Conservación: Primera Región de Atacama. Primera Edición.

FICHA INFORMATIVA DE LOS HUMEDALES RAMSAR, 2011, Home Page,

http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1368205055FichaSitioRamsar_ComplejoLacustreLagunaNegroFrancisco_y_LagunaSantaRosa_2011.pdf

LIBRO ROJO DE ATACAMA, SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL CONTROL DE PLANTAS, Home Page,

http://www.biouls.cl/lrojo/lrojo03/public_html/sp/index.php?cadena=fabaceae&filtro=1#,

THE UICN RED LIST OF THREATENED SPECIES, Home Page,

<http://www.iucnredlist.org/search>,

KEW, ROYAL BOTANIC GARDENS, Home Page,

<http://www.kew.org/data/grasses-db/cite.htm>

INSTITUTO DE BOTANICA DARWINION, Home Page,

<http://www2.darwin.edu.ar/>

MUSEO NACIONAL DE HISTORIA NATURAL, BOLETIN N 47, Home Page,

http://issuu.com/mnhn_cl/docs/boletin-047

SISTEMA DE INFORMACION DE BIODIVERSIDAD, Home Page,

<http://www.sib.gov.ar>

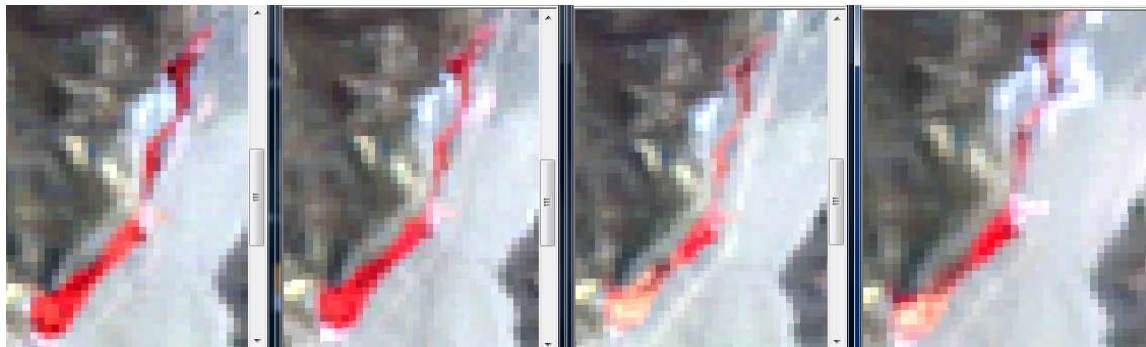
ENCICLOPEDIA DE LA FLORA CHILENA, Home Page,

<http://www.florachilena.cl/especies.php?id=651>

ANEXOS

Humedal Pantanillo.

Imágenes TM RGB-B432

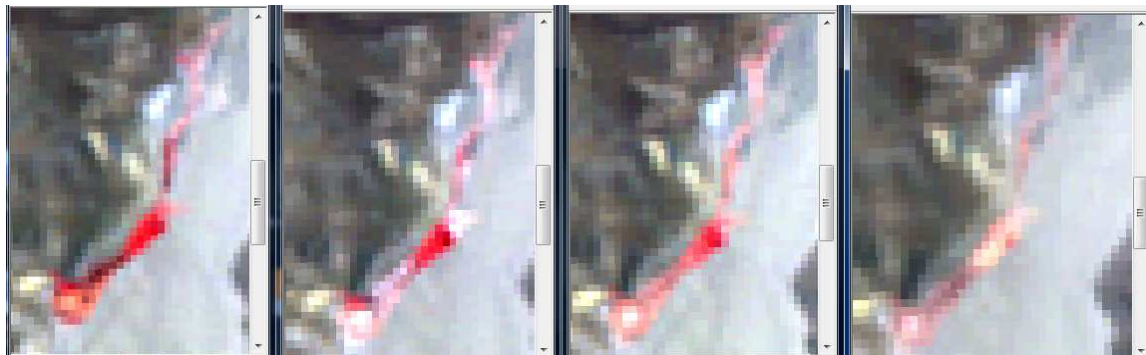


1995

1996

1997

1998



1999

2000

2001

2002

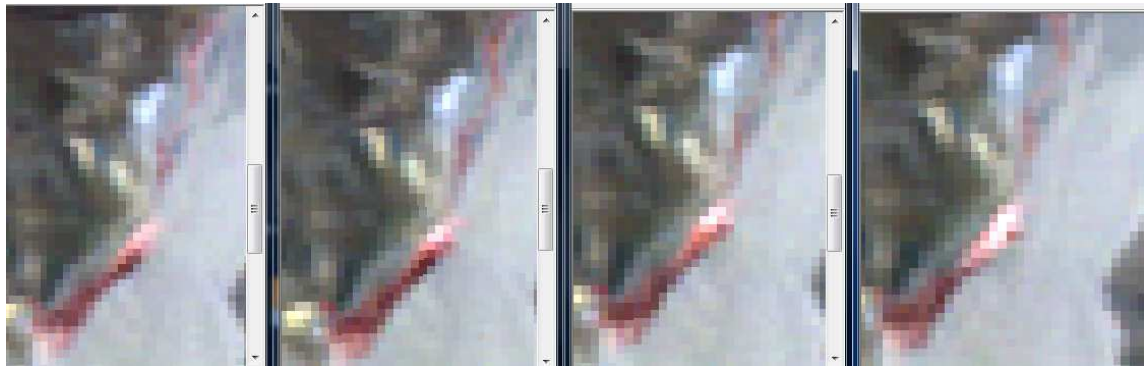


2003

2004

2005

2006

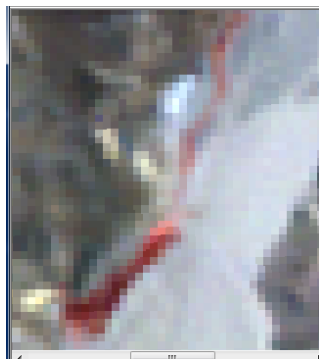


2007

2008

2009

2010



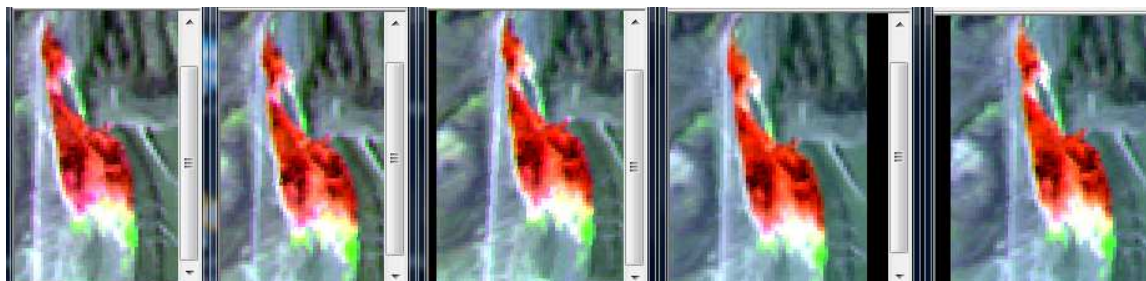
2011



2012 (Rapid Eye RGB B542)

Humedal Ciénaga Redonda.

Imágenes LANDSAT combinación RGB-B453



1995

1996

1997

1998

1999



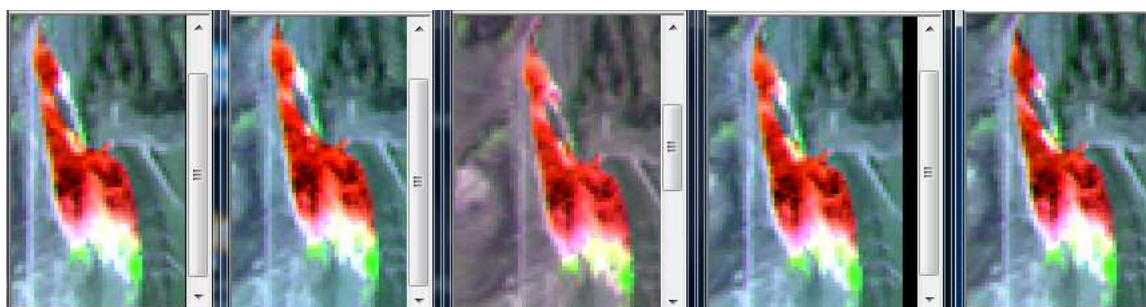
2000

2001

2002

2003

2004



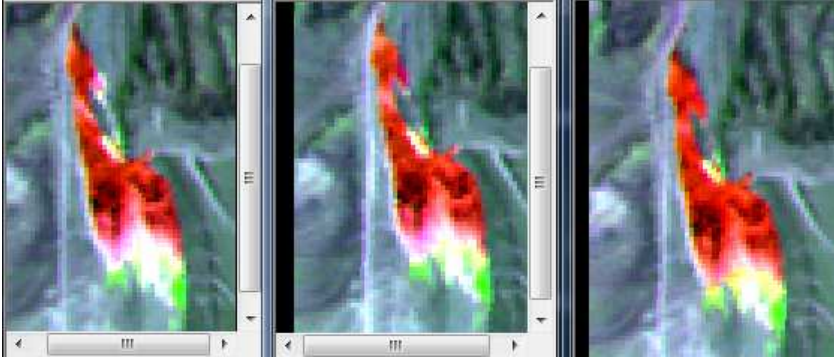
2004

2005

2006

2007

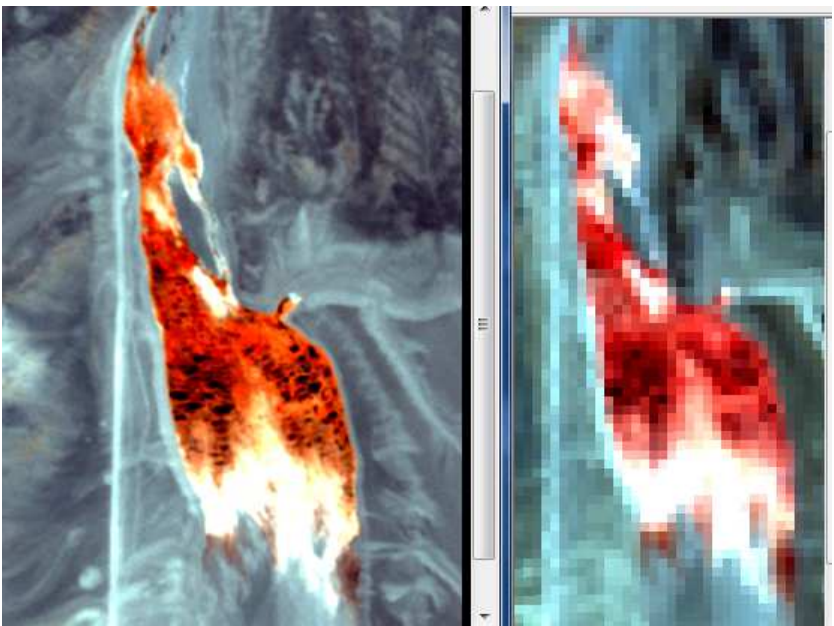
2008



2009

2010

2011

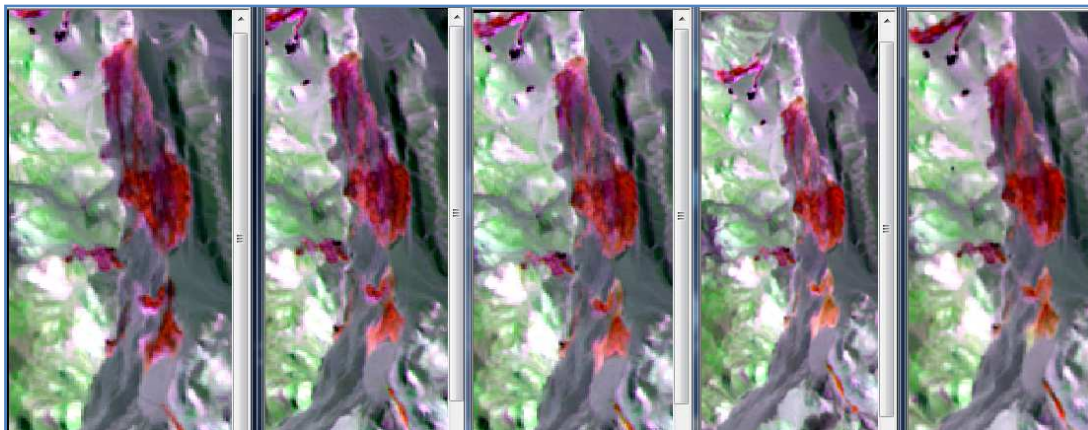


2012 (Rapid Eye RGB B542)

2013 LANDSAT 8. RGB-B543

Humedal Barros Negros.

Imágenes LANDSAT combinación RGB-B453



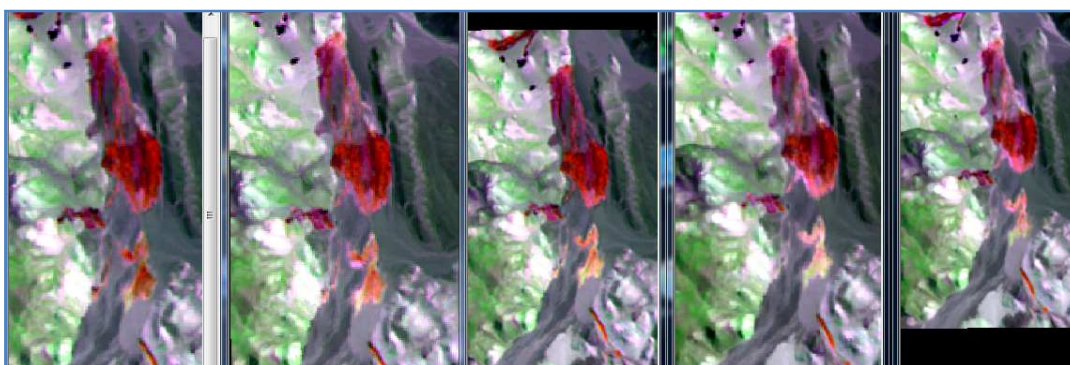
1986

1995

1996

1997

1998



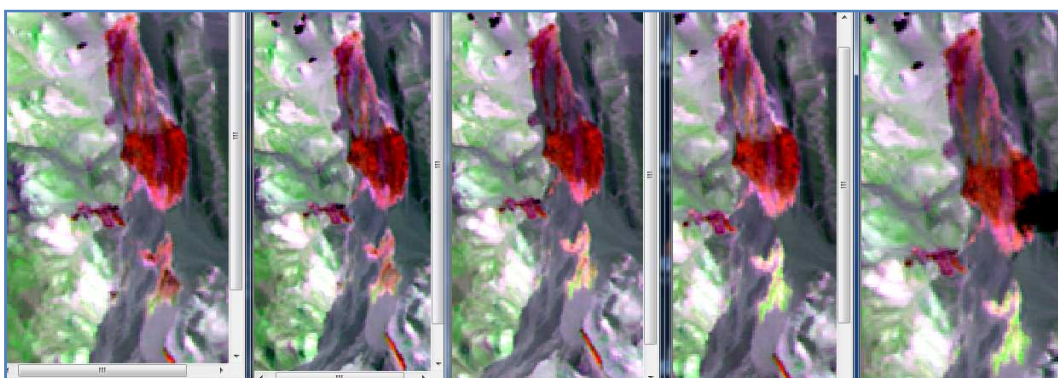
1999

2000

2001

2002

2003



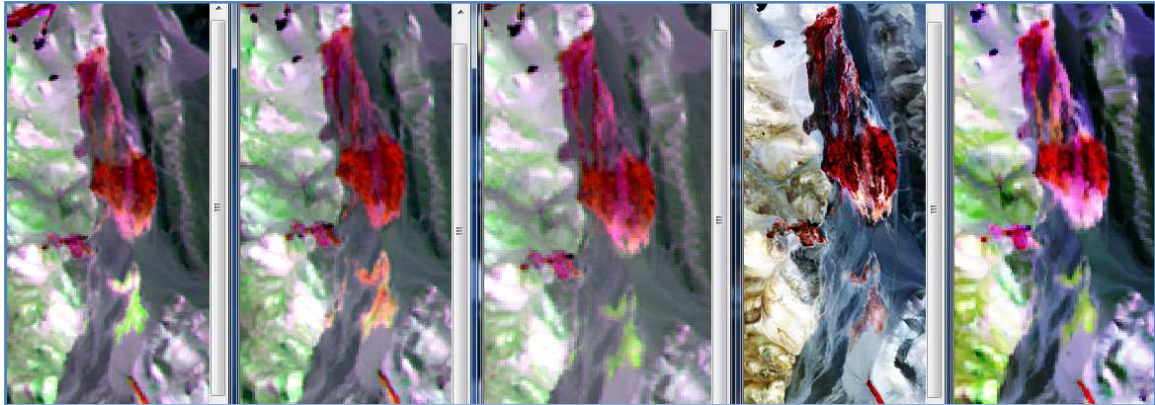
2004

2005

2006

2007

2008



2009

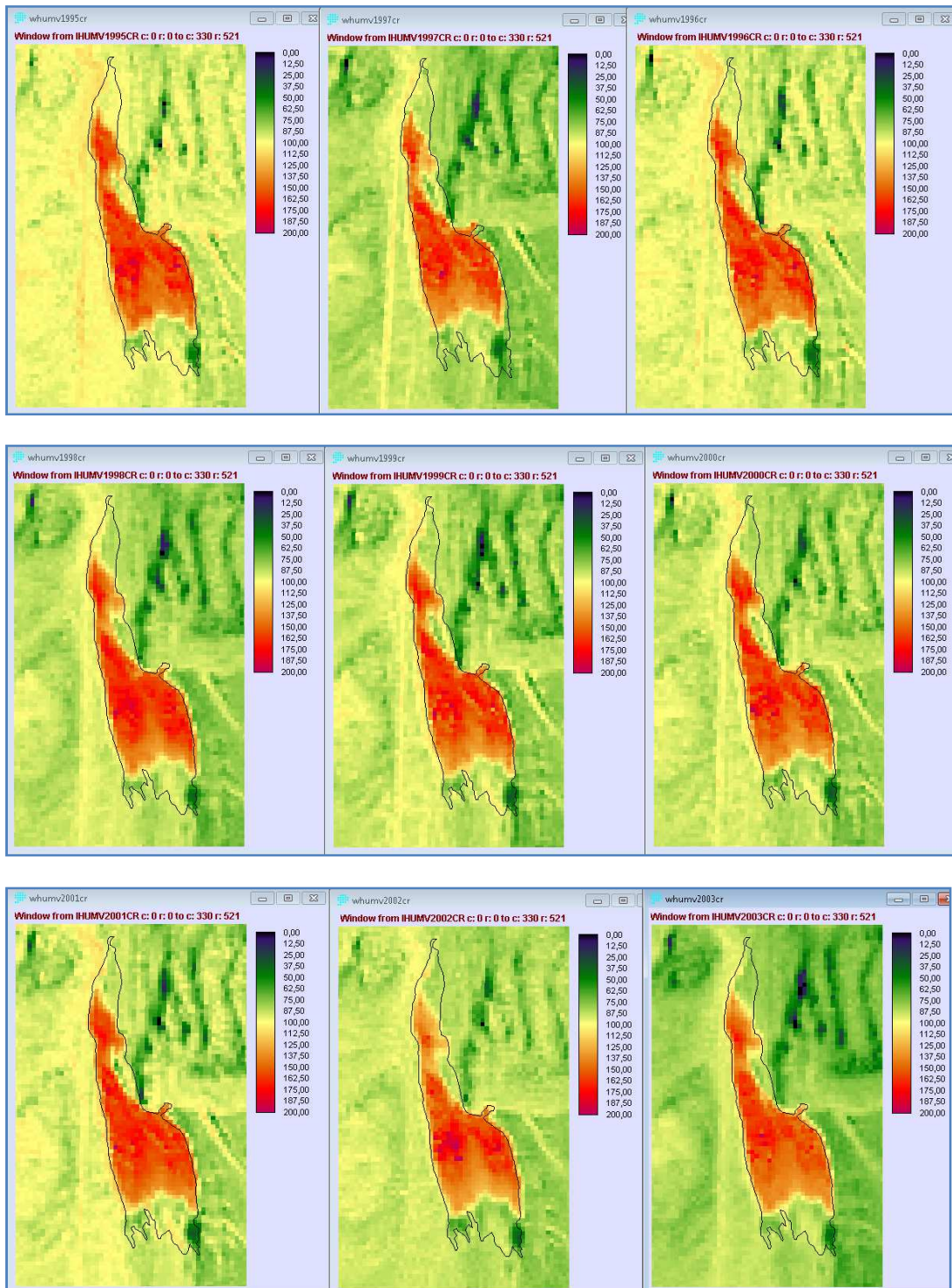
2010

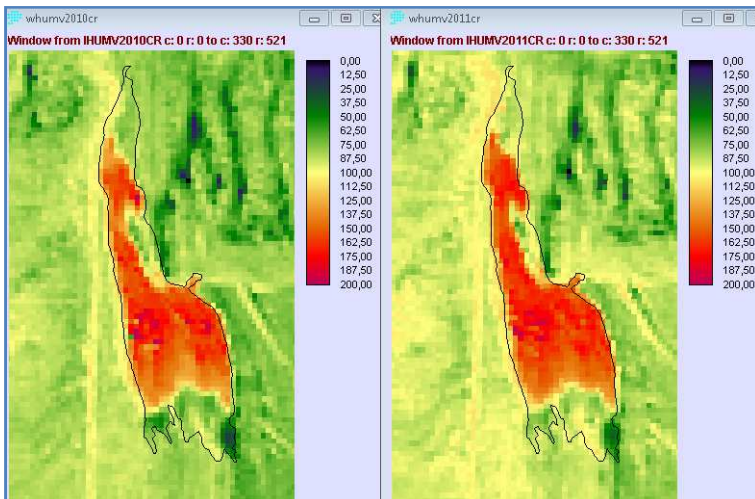
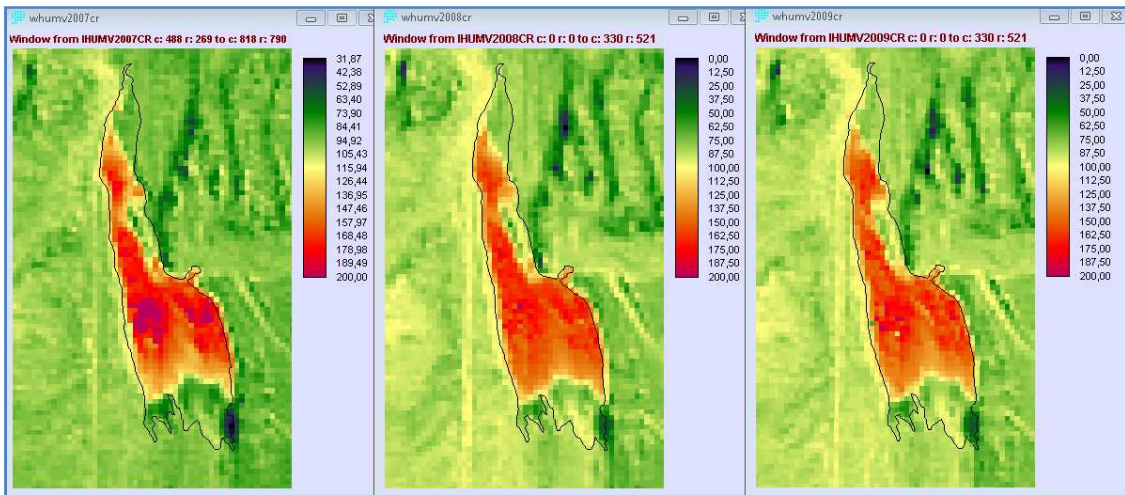
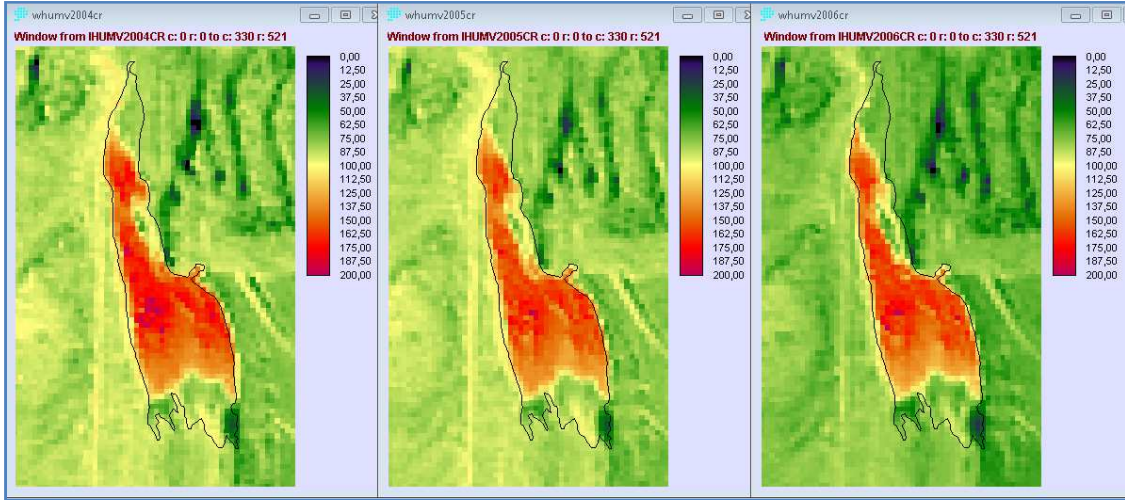
2011

2012

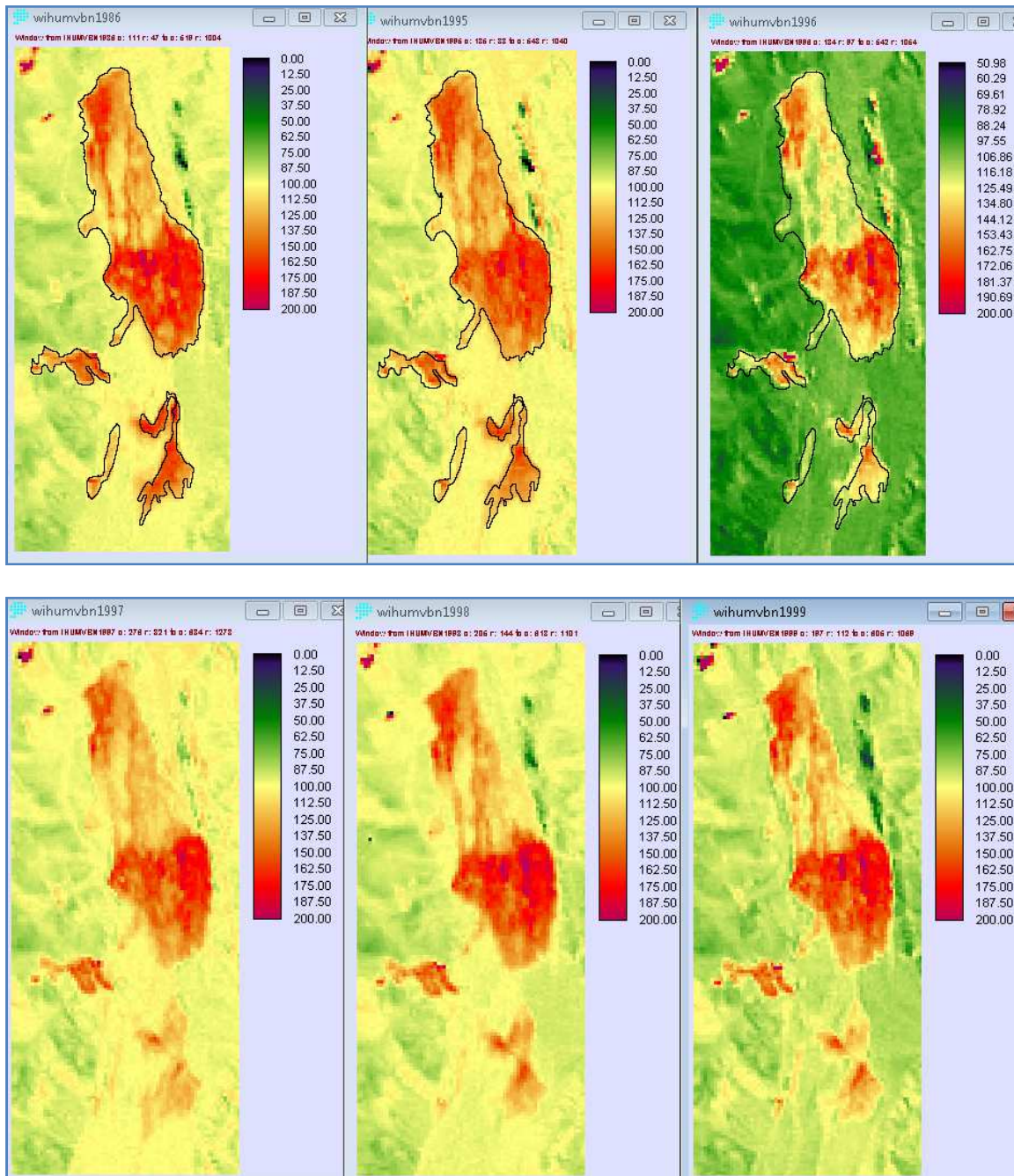
2013

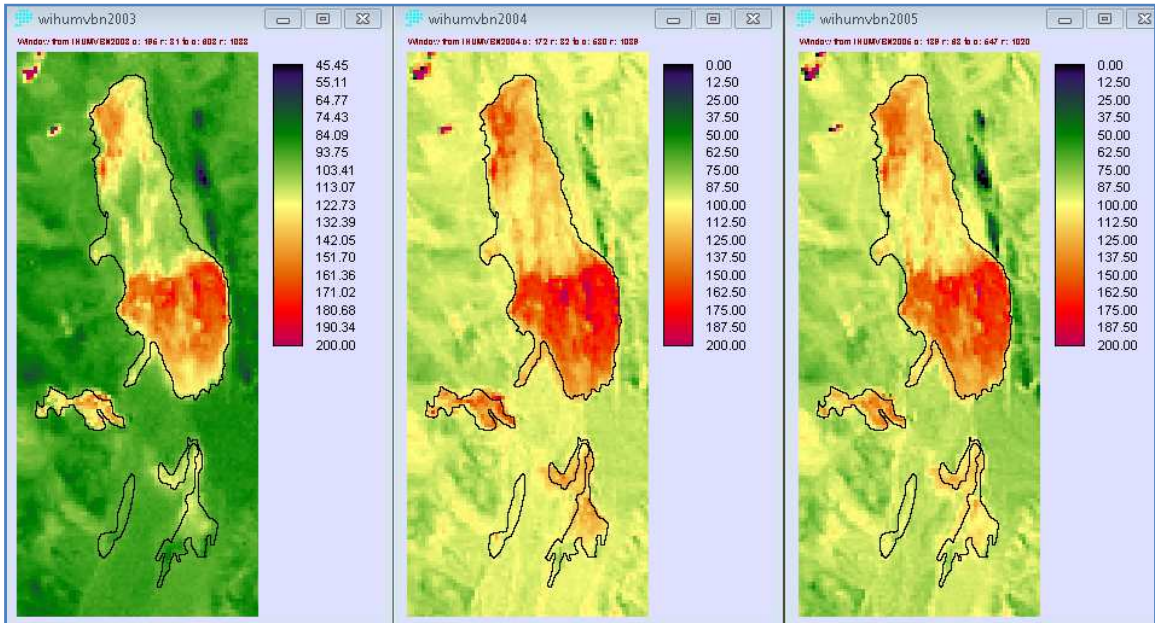
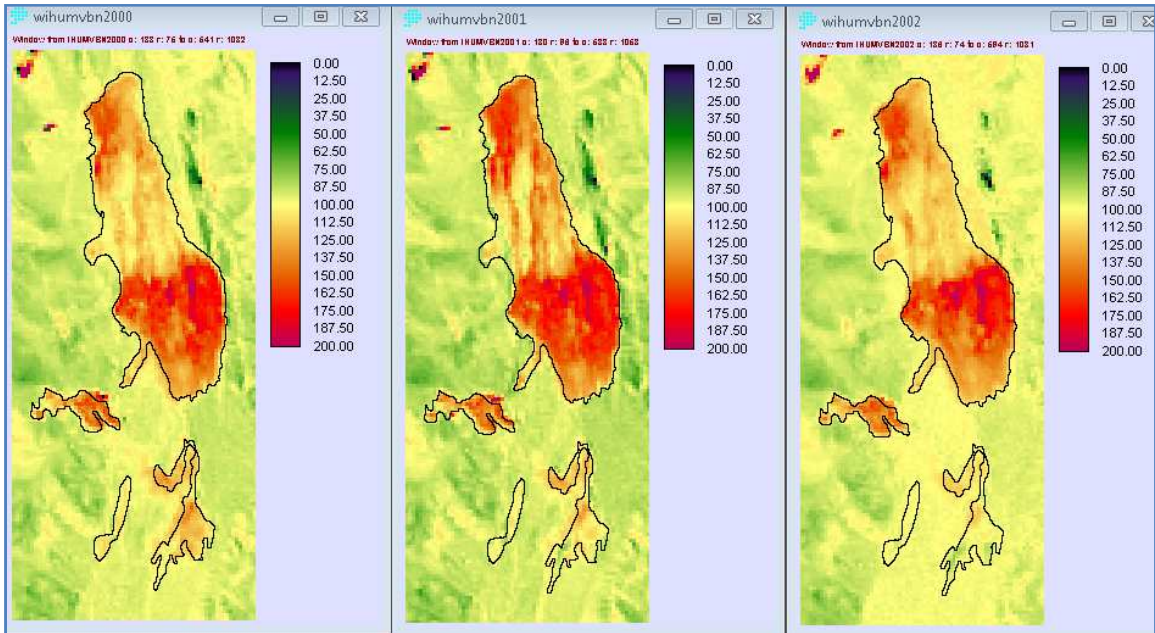
Índice de humedad vegetalación Ciénaga Redonda 1995 a 2011.

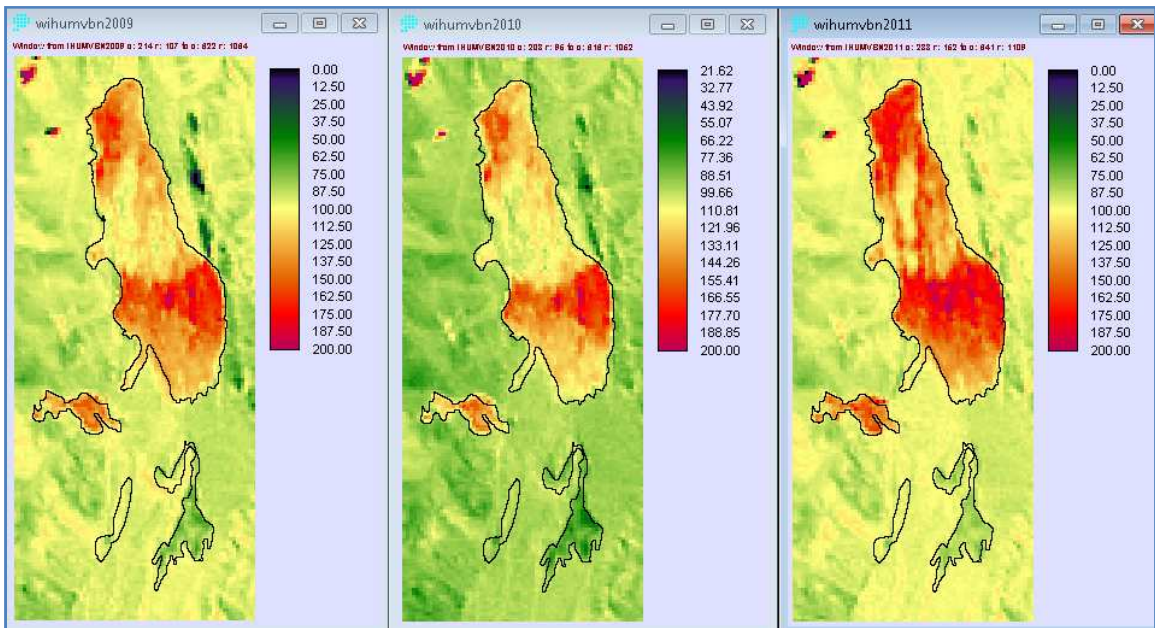
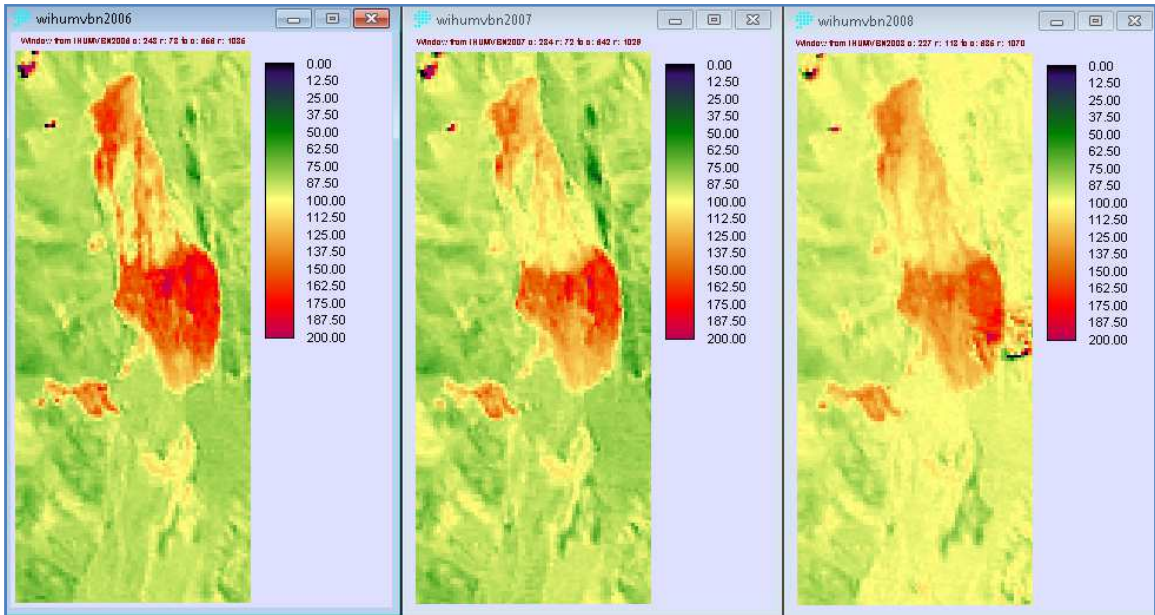




Índice de humedad vegetal Barros Negros 1986 a 2011.







Índice de humedad vegetal Pantanillo 1986 a 2011.

