



**SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO  
DIVISIÓN DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES (DIPROREN)**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS SISTEMAS VEGETACIONALES AZONALES  
HÍDRICOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAIPO**



**INFORME FINAL**

**Proyecto: 612-575-SE17**



AGROSIG Ltda.  
**CONSULTORA AMBIENTAL**

**Noviembre 2017**

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	- 4 -
2. OBJETIVOS.....	- 6 -
2.1 Objetivo General.....	- 7 -
2.2 Objetivos Específicos .....	- 7 -
3. METODOLOGÍA GENERAL.....	- 7 -
4. ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN.....	- 12 -
4.1 Antecedentes Climáticos.....	- 14 -
4.1.1 Precipitación.....	- 14 -
4.1.1.1 Precipitación anual acumulada (promedio mensual).....	- 14 -
4.1.2 Temperatura.....	- 17 -
4.2 Red Hídrica, Subcuencas y Fluviometría .....	- 18 -
4.3 Geomorfología, Topografía e Hipsometría.....	- 24 -
4.4 Accesibilidad y Actividades. ....	- 28 -
4.5 Uso de la Tierra y Cobertura Vegetacional .....	- 36 -
4.6 Propiedades.....	- 40 -
5. HUMEDALES.....	- 42 -
6. PRIORIDAD DE GESTIÓN DE CUENCAS .....	- 46 -
6.1 Índice Hídrico - Topográfico (IHT). ....	- 46 -
6.1.1 Densidad de drenes.....	- 46 -
6.1.2 Pendiente Media.....	- 47 -
6.1.3 Factor de compacidad.....	- 48 -
6.1.4 Modelos y resultado.....	- 49 -
6.2 Índice Ganadero-Humedal (IGH).....	- 50 -
6.2.1 Superficie ganadera.....	- 51 -
6.2.2 Superficie de humedales.....	- 51 -
6.2.3 Modelos y resultado.....	- 51 -
6.3 Índice de Artificialización (IA). ....	- 53 -
6.4 IPG resultante.....	- 54 -
7. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE HUMEDALES.....	- 56 -
7.1 Adquisición de Datos Satelitales .....	- 57 -
7.2 Procesamiento de Datos Satelitales .....	- 62 -
7.3 Tendencia del Estado de los Humedales.....	- 72 -
8. HUMEDALES PRIORITARIOS PARA GESTIÓN Y SEGUIMIENTO. ....	- 80 -

9. CARACTERIZACION VEGETACIONAL HUMEDALES SELECCIONADOS.....	- 84 -
9.1 Levantamiento de Terreno.....	- 84 -
9.2 Humedal Lo Encañada.....	- 92 -
9.2.1 Descripción general.....	- 92 -
9.2.2 Caracterización de vegetación.....	- 95 -
9.3 Humedal El Plomo.....	- 100 -
9.3.1 Descripción general.....	- 100 -
Vega el Plomo, vista general de la vega con abundante agua en superficie.....	- 103 -
9.3.2 Caracterización de vegetación.....	- 103 -
9.4 Humedal La Engorda.....	- 115 -
9.4.1 Descripción general.....	- 115 -
9.4.2 Caracterización de la vegetación.....	- 117 -
9.5 Caracterización y Análisis Conjunto de la Vegetación de los Humedales Seleccionados.....	- 129 -
10. ANALISIS DE RIESGO.....	- 133 -
10.1 Índice de Vulnerabilidad.....	- 133 -
10.1.1 Lo Encañada.....	- 135 -
10.1.2 El Plomo.....	- 136 -
10.1.3 La Engorda.....	- 139 -
10.1.4 Resumen de vulnerabilidad.....	- 143 -
10.2 Índice de Amenaza.....	- 145 -
10.2.1 Análisis de Amenazas Vega La Engorda.....	- 147 -
10.2.2 Análisis de Amenazas Vega El Plomo.....	- 149 -
10.3 Riesgo de Humedales.....	- 152 -
11. ANALISIS DE CAMBIOS DE LOS HUMEDALES EN FUNCION DE LAS VARIABLES AMBIENTALES.....	- 153 -
12. CONCLUSIONES.....	- 158 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 163 -
ANEXO. BASES DE DATOS.....	- 165 -

## ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS SISTEMAS VEGETACIONALES AZONALES HÍDRICOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAIPO

### 1. INTRODUCCIÓN

Los humedales altoandinos forman parte de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT), los cuales tienen una alta relevancia por los servicios ambientales que entregan (purificación del agua, alimento para fauna, refugio y sustento de aves, conservación de la biodiversidad, regulación de curso de agua, paisaje, etc). A su vez, son sistemas frágiles dependientes del régimen pluviométrico y de la intervención antrópica, como las actividades de extracción de agua para minería y/o pastoreo excesivo, entre otras.

De acuerdo a las definiciones adaptadas a partir de la Convención RAMSAR, los humedales son “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. Comprenden también sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal”. La definición considera todos los cursos y cuerpos de agua.

Los humedales son considerados subsistemas límnicos integrados a la cuenca hidrográfica, de régimen natural, permanentes o temporales, con aguas estancadas o corrientes, dulces, salobres o salados<sup>1</sup>

Así, los humedales localizados en cuencas exorreicas se alimentan de aguas de diferente origen (glacial, precipitaciones, aportes temporales), constituyendo un buen indicador de la condición ecológica-ambiental de la cuenca y de los cambios que en ella ocurren.

---

<sup>1</sup> Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos (MMA, MINAGRI, 2011).

Los humedales de la zona de estudio, incluida en la parte alta de la cuenca de río Maipo, en total 188 unidades correspondientes a vegas, constituyen un recurso vital, tanto por los servicios ambientales indicados como por la importancia que representa la cuenca del río Maipo para la región Metropolitana como abastecedora de agua de consumo y de riego, así como también de los ecosistemas de veranadas utilizados para ganadería.

Las vegas son un tipo de humedal, que se caracteriza por poseer presencia de agua gran parte del año, ya sea en estado de nieve o en forma líquida, mientras que la vegetación asociada a ella (típicamente coironal) no tiene condición de anegamiento.

Las vegas junto a los coironales y formaciones de matorrales bajos forman parte de las veranadas de la Zona Andina, las cuales constituyen zonas donde se realiza una de las principales actividades productivas como es la ganadería de trashumancia, que consiste en movilizar el ganado desde las zonas bajas a dichas zonas, normalmente desde comienzos del mes de noviembre hasta fines de mes de abril. Esta actividad permite la mantención anual de la ganadería, disminuyendo la presión sobre las praderas costeras e intermedias, pero al mismo tiempo, dada la falta de supervisión del pastoreo, tiene como contrapartida un impacto directo en los humedales constituidos por vegas, disminuyendo la productividad y las superficies<sup>2</sup>.

La zona de estudio, también se caracteriza por otras actividades económicas, como la minera, el turismo de intereses especiales (andinismo, recreacional, rafting, entre otros), proyectos de producción de energía eléctrica y de almacenamiento (embalses) y conducción de agua, todas las cuales impactan directa o indirectamente en los humedales.

En este contexto, el presente estudio, desarrolla un análisis multitemporal de una parte de la cuenca alta del río Maipo, identificando en ella los sistemas vegetacionales

---

<sup>2</sup> Lailhacar, S. y C. Torres. 2000. Papel de los arbustos forrajeros en la ganadería del secano árido de la zona centro-norte. Santiago de Chile. Universidad de Chile, Departamento de Producción Animal, Publicación técnico ganadera, N° 26. 3p.

azonales hídricos terrestres, conocidos normalmente como vegas o mallines, definiendo la tendencia de la condición de vigor en el tiempo y relacionando dicho comportamiento con las variables ambientales y antrópicas que caracterizan la zona. Para ello, se aborda la caracterización del área de estudio y la descripción de las principales variables, la artificialización (principales actividades) que se realizan en las distintas cuencas que integran el área de trabajo, el análisis y procesamiento de la data satelital (índices espectrales) disponible desde el año 2000 al año 2017, definición de humedales relevantes por la superficie y condición, la caracterización de ellos, el riesgo y propuesta de seguimiento.

El presente documento corresponde al Informe Final del estudio descrito.

## **2. OBJETIVOS.**

El Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) ha desarrollado en los últimos años seguimiento de diferentes humedales, que son sustento para la alimentación de ganado doméstico y a su vez lugar de hábitat y refugio para la fauna silvestre. Una de las características asociada a la vegetación que se desarrolla en estos humedales es su alta dependencia de las condiciones específicas de sitio, especialmente del nivel de hidromorfismo. Las presiones de uso por parte de diferentes actividades productivas, sumado a cambios paulatinos de las condiciones de clima, determinan una dinámica de cambio con diferentes intensidades, según sea la presión que se ejerce sobre estos ecosistemas.

Las presiones por el uso territorial en el área de estudio han venido en aumento en la última década, provocando una dinámica de impactos directos e indirectos en las variables ambientales bióticas, acrecentadas también por variables climáticas.

Reconociendo que las formaciones vegetacionales azonales del área de estudio constituyen recursos que permiten la regulación y sostenimiento del recurso hídrico, es posible, a través del monitoreo en el tiempo, conocer la tendencia de la condición y estado de ellos en los últimos años.

## 2.1 Objetivo General

El presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis multitemporal de la cuenca alta del río Maipo, identificando como elementos sensibles para realizar el seguimiento de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres, conocidos normalmente como vegas o mallines y que tienen una alta relevancia en la ganadería de trashumancia y como fuente de biodiversidad para flora y fauna.

## 2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos a lograr con el análisis multitemporal en el área de estudio son los siguientes:

- a) Realizar un análisis de imágenes satelitales a partir del año 2000 que permita determinar las tendencias de cambio, a través del uso de índices de vegetación y/o humedad de la vegetación azonal hídrica presente en el área de 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) Asociar tasas de cambio con variables de clima o diferentes presiones de uso histórico del territorio.
- d) Identificar las zonas de mayor sensibilidad actual a los impactos de las actividades de proyectos desarrollados en su conjunto y uso actual del territorio en la zona definida como área de estudio, usando como indicadores la condición de los humedales.
- e) Analizar espacialmente en las zonas sensibles las tendencias multitemporal de la vegetación azonal y la caracterización actual de las principales unidades que se identifiquen como sensibles.
- f) Realizar un análisis de vulnerabilidad y riesgo de los recursos vegetacionales hídricos terrestres considerando las variables geofísicas, hidrografía y uso histórico del territorio en los humedales definidos como representativos.
- g) Espacializar los resultados en un SIG y proponer medidas de mitigación si fuere el caso.

## 3. METODOLOGÍA GENERAL

La metodología general desarrollada incluye tres etapas generales:

La primera etapa comprende la recopilación y adquisición de antecedentes y registros satelitales y de información espacial del área de estudio.

La segunda incluye el análisis multi-temporal del área de estudio aplicando el índice espectral de vigor-humedad de la vegetación (IHUM) que entrega el estado de los humedales en el tiempo.

La tercera etapa apunta a definir y caracterizar los sitios sensibles y una propuesta de seguimiento o monitoreo para estos sitios, indicando parámetros y propuesta de umbrales de éstos para considerar que el sistema se mantiene estable.

De acuerdo a lo anterior el diagrama metodológico desarrollado se indica en la Figura N°1, cuyo desarrollo permitirá responder a los objetivos específicos.

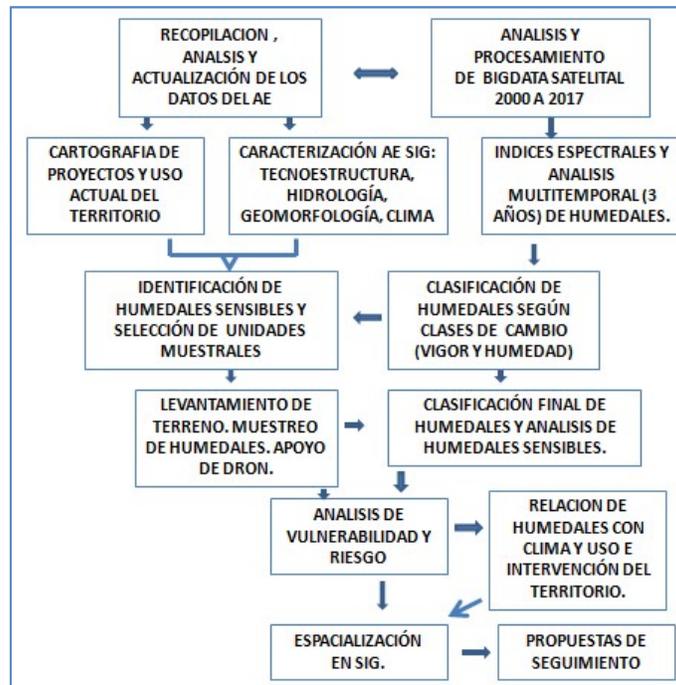


Figura N°1. Diagrama metodológico.

La descripción general de las actividades son las siguientes:

a) **RECOPIACION, ANALISIS Y ACTUALIZACIÓN DE LOS DATOS DEL ÁREA DE ESTUDIO (AE).** Se recopilaron los datos existentes que dicen relación con los proyectos que se desarrollan en él, que permiten su caracterización y espacialización en el AE, el uso actual del suelo, cartografía de humedales y de cobertura vegetal, geomorfología y suelo, red hídrica (cuencas y subcuencas), caracterización climática (temperatura, precipitaciones), topografía y población.

b) **ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE BIGDATA SATELITAL 2000 A 2017.** Se analizaron y procesaron los datos satelitales de los sensores del LANDSAT 8 y 5 (OLI y TM), del ASTER y los datos espectrales de las bandas ópticas del SENTINEL 2 disponibles, así como los productos disponibles ya corregidos (corrección atmosférica y geométrica). Para ello se utilizó la plataforma de búsqueda y procesamiento de bigdata denominada Google Engine, Se utilizaron los algoritmos de procesamiento disponibles en los softwares específicos como ERDAS, IDRISI SELVA, ENVI y PCI y con ello, se determinó la data representativa para cada año (2000 a 2017) entre los meses de marzo y primera semana de abril, fecha de mayor crecimiento de los humedales andinos.

c) **INDICES ESPECTRALES Y ANALISIS MULTITEMPORAL DE HUMEDALES.** Con la data seleccionada y debidamente calibrada se procedió a determinar la tendencia multitemporal de los humedales y los cambios de los humedales, con base en el índice espectral seleccionado (IHUM).

d) **CARTOGRAFIA DE PROYECTOS Y USO ACTUAL DEL TERRITORIO.** A partir de la información recopilada se definió la cartografía de proyectos y uso actual del territorio del AE como insumo para explicar y definir los humedales críticos representativos del total de humedales analizados.

e) **CARACTERIZACIÓN AE SIG: TECNOESTRUCTURA, HIDROLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, CLIMA.** Al igual que la actividad anterior se procedió a caracterizar el AE elaborando la base cartográfica en SIG con las capas de las capas de tecno estructura (Caminos y obras relevantes), divisiones prediales, hidrología, cuencas y subcuencas, curvas de nivel y cobertura vegetal, con la cual se procedió a caracterizar las subcuencas relacionadas con la existencia de los humedales identificados.

f) **CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES SEGÚN CLASES DE CAMBIO (VIGOR Y HUMEDAD).** A partir del índice espectral IHUM se clasificaron los humedales en clase de tendencia positiva, negativa y estable.

g) **IDENTIFICACIÓN DE HUMEDALES SENSIBLES Y SELECCIÓN DE UNIDADES MUESTRALES.** Con los datos de la clasificación y la caracterización de las cuencas y las actividades involucradas, más la consideración del tamaño de los humedales, se seleccionaron dos humedales con tendencia negativa del IHUM y un humedal en condición estable entre el año 2000 y 2017 para efectos de la caracterización vegetal en terreno.

h) **LEVANTAMIENTO DE TERRENO. MUESTREO DE HUMEDALES. APOYO DE DRON.** El levantamiento de terreno se realizó en aquellos humedales previamente seleccionados y se determinó la composición, estado y condición, actividad que se realizó mediante muestreo clásico (transectos) y con apoyo de imágenes obtenidas desde un UAV (DRON).

i) **CLASIFICACIÓN Y ANALISIS DE HUMEDALES SENSIBLES.** Con los resultados de terreno y la tendencia multitemporal se obtuvo la caracterización de los humedales seleccionados.

j) **ANALISIS DE RIESGO.** Para los humedales seleccionados se determinó el riesgo, con base a la definición previa de índices de vulnerabilidad y amenaza.

k) **RELACION DE HUMEDALES CON CLIMA.** Se estableció la relación entre la condición de los humedales seleccionados y las variables climáticas (precipitación de agua, nieve, precipitación total) y temperatura, utilizando para ello los datos de la serie de tiempo estudiada (2000 a 2017).

l) **ESPACIALIZACIÓN EN SIG.**

La cartografía base y la resultante, tanto raster como vectorial se sistematizó en archivos formatos shp, disponibles para ser analizados en SIG.

m) **PROPUESTAS DE SEGUIMIENTO.** A partir de los resultados obtenidos se proponen actividades de seguimiento.

#### 4. ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN.

El área de estudio se encuentra definida de acuerdo a los TDR entre las siguientes coordenadas (WGS84-UTM Huso 19S):

Vertice	X	y
Superior izquierdo	388.319	6.293.983
Inferior derecho	421.052	6.254.184

Las coordenadas anteriores definen el área que se presenta en la Figura N°2.

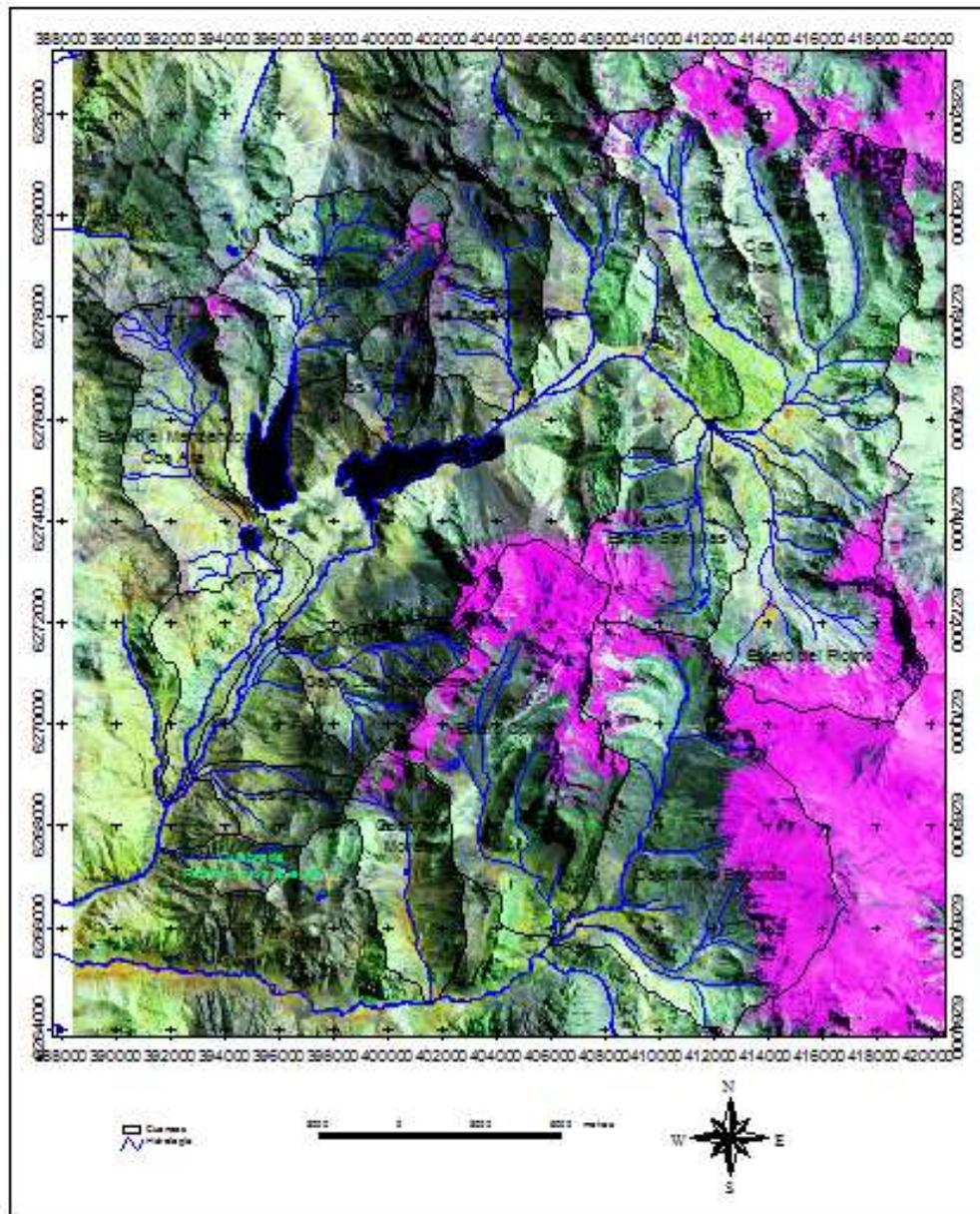


Figura N° 2. Área de estudio identificada en la imagen del sensor OLI del año 2017.

El área comprende casi la totalidad de la cuenca del río el Yeso y las cuencas del estero Colina, estero de La Engorda y quebrada Morales. En total corresponde a una superficie de 973 Km<sup>2</sup>.

La ubicación del área de estudio se puede apreciar en la Figura N°3.



Figura N°3. Ubicación Área de Estudio. Base de imagen: datos Google Earth.

El área, tal como se muestra en la Figura N°3 corresponde a la parte alta de la cuenca del río Maipo, definida principalmente por la subcuenca del río El Yeso, subsidiario al río Maipo. Contiene tres cuerpos de agua relevantes (por ser fuentes de agua potable para Santiago) que son el embalse El Yeso, Laguna Negra y Laguna Lo Encañada.

La distancia desde la desembocadura del río Yeso y parte sur-oeste del área de estudio, al inicio del casco urbano de Santiago (ubicado en el sector de Las Vizcachas), es de 48,2 km, por camino pavimentado El Volcán.

La zona es representativa de la zona alta de la Cordillera de Los Andes, donde uno de los principales elementos en la configuración es la geomorfología, caracterizada por la presencia de cordones montañosos de fuertes pendientes, intersectados por cursos de agua, con permanentes afloramientos rocosos a lo largo de toda la zona. La altitud

máxima se encuentra asociada al límite con Argentina, específicamente al cerro Marmolejo con 6.180 msnm, mientras que la altitud menor se encuentra próxima a la desembocadura del río El Volcán al río Maipo con 1.350 msnm.

## 4.1 Antecedentes Climáticos

De acuerdo a la Clasificación de las Ecoregiones<sup>3</sup> el área de estudio se caracteriza por presentar en las partes bajas (menos de 4.500 msnm) un clima "Mediterráneo" (Reino Templado. Dominio Secoestival), que se caracteriza por presentar escasa lluvia en verano, inviernos húmedos y moderados, y veranos secos y calurosos, mientras que en las zonas altas predomina el Reino Nevado. Dominio Nival, donde la temperatura de todos los meses es inferior a 0°C, con acumulación de nieve. Este tipo de clima no permite la presencia de vegetación.

### 4.1.1 Precipitación

#### 4.1.1.1 Precipitación anual acumulada (promedio mensual).

La precipitación en general tiene un comportamiento ascendente en la medida que se sube en altitud. Para la representación del área se tomó como estación representativa la ubicada en el embalse El Yeso correspondiente a la Dirección General de Aguas (DGA), estación que se caracteriza por la siguiente ubicación:

---

<sup>3</sup> Gastó, J., F. Cosío y D. Panario. 1993. Clasificación de las ecoregiones y determinación de sitio y condición. Manual de aplicación a municipios y predios rurales. Red de Pastizales Andinos, Santiago, Chile. 254p.

<b>Código BNA</b>	05703008-9
<b>Estación</b>	EL YESO EMBALSE
<b>UTM Este</b>	399083
<b>UTM Norte</b>	6273104
<b>Altitud</b>	2475
<b>Latitud</b>	33° 40' 36"
<b>Longitud</b>	70° 05' 19"
<b>Vigencia</b>	VIGENTE
<b>Fecha Inicio</b>	01/07/1963
<b>Cuenca</b>	57
<b>Subcuenca</b>	570
<b>SubSubcuenca</b>	5703
<b>Región</b>	METROPOLITANA
<b>Provincia</b>	CORDILLERA
<b>Comuna</b>	SAN JOSE DE MAIPO

De la estación, la DGA entregó (vía solicitud pública) los siguientes datos de precipitación anual acumulada (Figura N° 4).

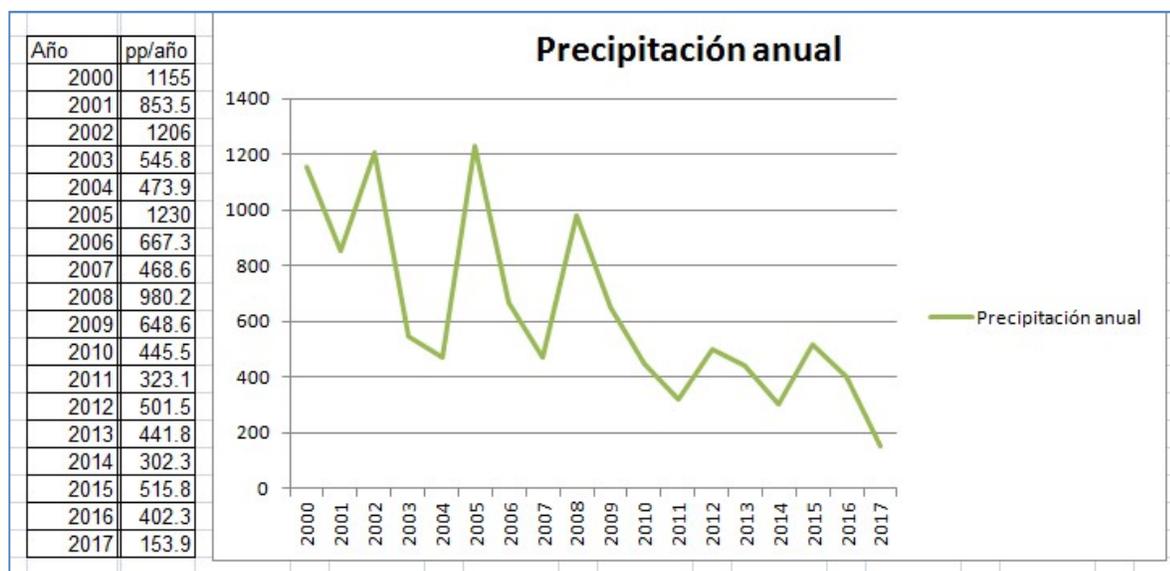


Figura N° 4. Precipitaciones anuales (acumuladas en milímetros). Año 2017 los datos corresponden sólo a los meses de enero a mayo. La expresión gráfica es elaboración propia.

La tendencia que presenta el gráfico de precipitaciones es a un descenso, que en promedio es del orden de 700 milímetros desde el año 2000 hasta el año 2016, descenso que se hace significativo a partir del año 2010.

#### 4.1.1.2 Índice de Precipitación Estandarizado (IPE).

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI; McKee 1993<sup>4</sup>) es el número de desviaciones estándar que la precipitación acumulada se desvía del promedio climatológico. Esto indica que valores por debajo de un valor -1 indican condiciones de déficit significativos, mientras que valores mayores que +1 indican condiciones más húmedas que lo normal, según la siguiente Tabla N°1.

Tabla N°1. Rango del Índice de Precipitación Estandarizada

Valor	Categoría
mayor que 2	Extremadamente lluvioso
entre 1.5 y 2	lluvioso
entre 1 y 1.5	Moderadamente lluvioso
entre 0.5 y 1.0	Ligeramente lluvioso
entre 0 y 0.5	Normal
entre 0 y -0.5	Normal
entre -0.5 y -1	Ligeramente seco
entre -1 y -1.5	Moderadamente seco
entre -1.5 y -2	Seco
menor que -2	Extremadamente seco

De acuerdo a lo anterior el IPE para la zona de estudio se muestra en el siguiente gráfico (Figura N°5).

---

<sup>4</sup> McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kliest, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA*. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-184

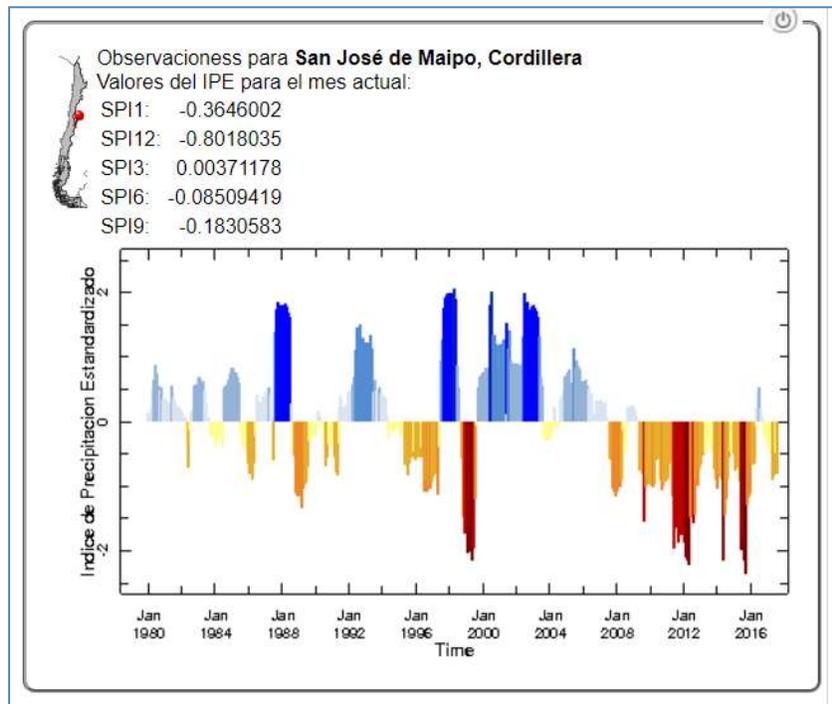


Figura N° 5. Índice acumulado ara los meses de enero de cada año.

El gráfico de la Figura N°5, coincide con las precipitaciones anuales, marcando desde el año 2008 una tendencia hacia un clima seco a muy seco hasta la fecha.

#### 4.1.2 Temperatura.

Para la misma estación indicada en el punto anterior (Embalse El Yeso) las temperaturas promedio para el mes de enero de cada año se presenta en la Figura N°6 y en la Figura N°7 se presenta el promedio anual.

La tendencia que muestran ambos gráficos, a diferencia de la precipitación, es a un comportamiento ascendente desde el año 2000 al año 2017, con una diferencia de tres grados en el caso de enero y de 1,5 grados en el caso del promedio anual.

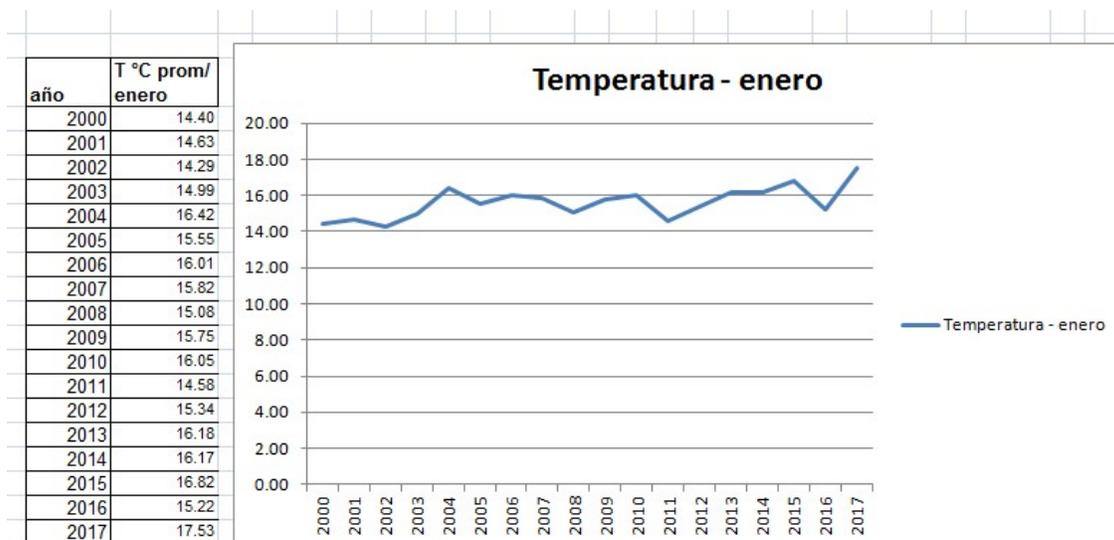


Figura N° 6. Temperaturas en grados celsius, promedio del mes de enero.

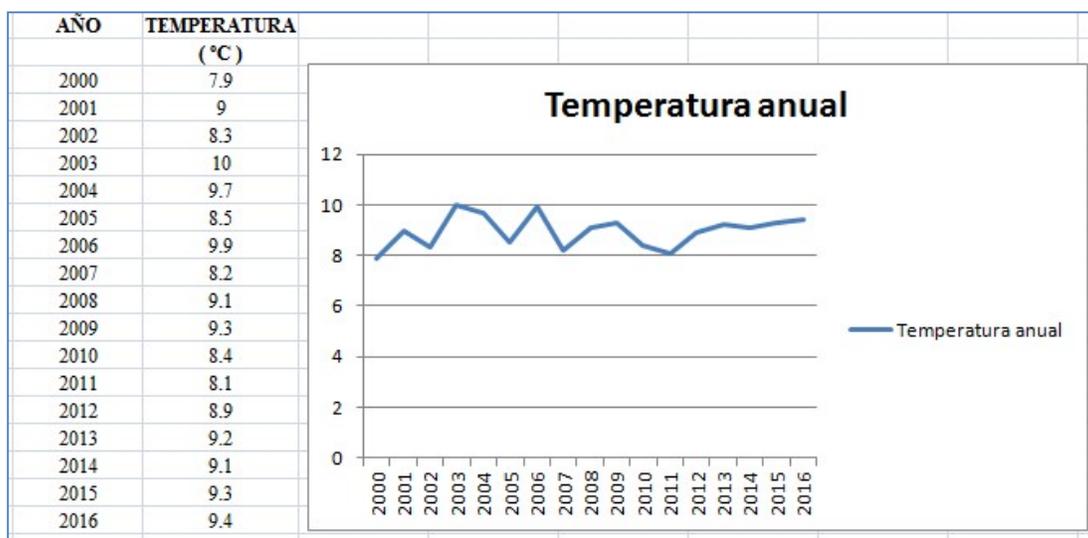


Figura N° 7. Temperatura promedio anual

#### 4.2 Red Hídrica, Subcuencas y Fluvimetría

La red hídrica del área de estudio está comprendida principalmente por los afluentes del río el Yeso y el río El Volcán. Los principales cursos, afluentes del río el Yeso son: el estero del cajón Bello, estero del Plomo, estero Salinillas, estero La Casa de Piedra, estero Cajón Los Pajaritos, estero Laguna Negra, estero el Manzanito, estero Cajón Las Cortaderas, estero Los Chacayes y quebrada Rodeo Los Bueyes. Los principales

cursos del río el Volcán que se encuentran en el área son: estero Cajón de la Engorda, estero Colina, quebrada Morales y quebrada Colorada (Figura N°8).

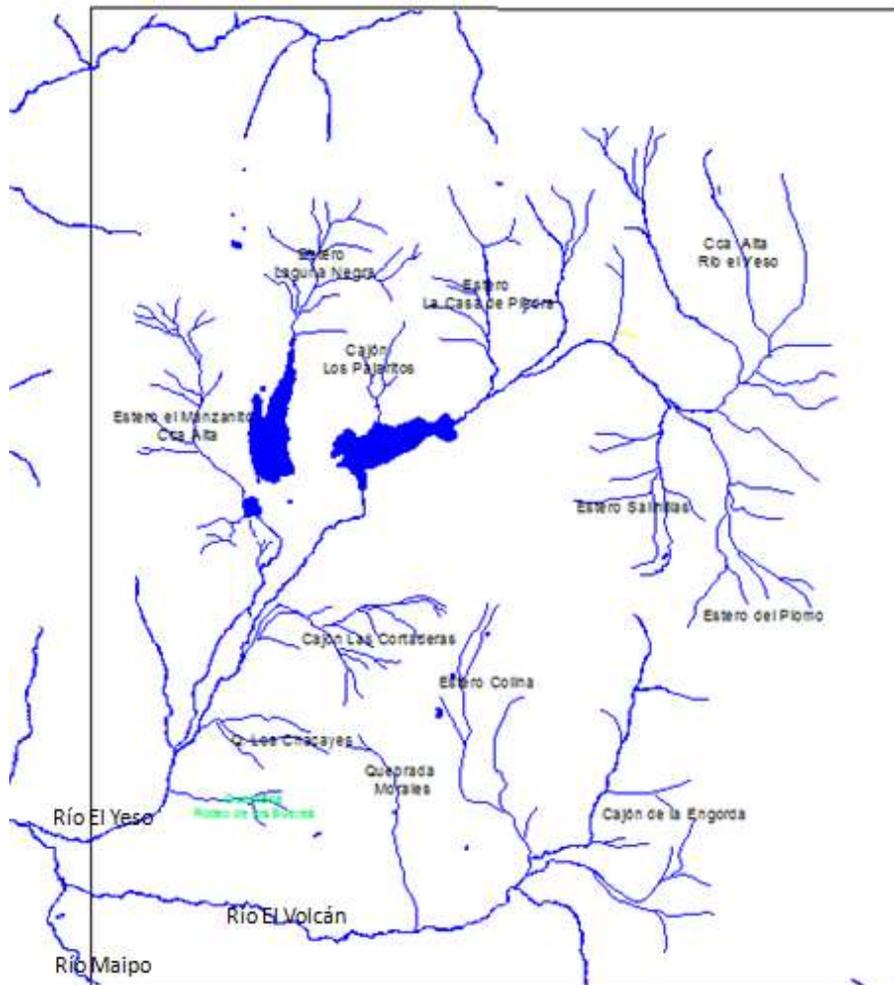


Figura N° 8. Red hídrica general del Área de Estudio.

### Subcuencas

En concordancia con la existencia de humedales y con base en la data satelital (Sentinel 2) y el Modelo de Elevación Digital correspondiente al SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission, NASA/NGA/USGS) se determinaron los límites de las subcuencas, las cuales se muestran en la Figura N°9, correspondientemente se elaboró la cartografía hídrica de detalle (Figura N°10).

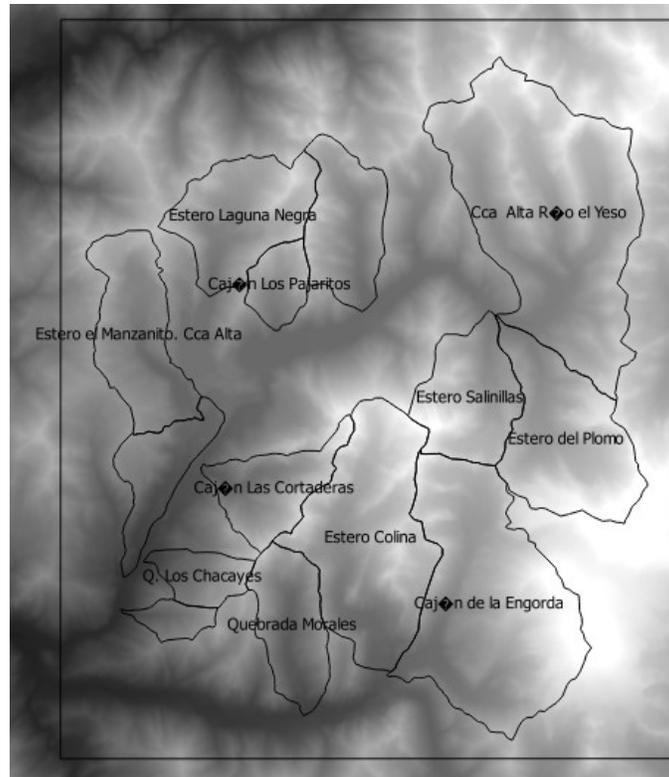


Figura N° 9. Delimitación de subcuencas del Área de Estudio. Fondo: DEM – SRTM3.

Las subcuencas corresponden a las que cuentan con humedales y son las que se presentan en la Tabla N° 2.

Tabla N°2. Subcuencas en Área de Estudio

ID	ÁREA (ha)	NOMBRE
1	2708.2	Quebrada Morales
2	9556.8	Cajón de la Engorda
3	3879.2	Estero el Manzanito. Cca Alta
4	677.7	Q. Rodeo de los Bueyes
5	1241.7	Q. Los Chacayes
6	2450.9	Cajón Las Cortaderas
7	5076.9	Estero del Plomo
8	11932.5	Cca Alta Río el Yeso
9	3051.9	Estero La Casa de Piedra
10	1199.8	Cajón Los Pajaritos
11	3893.5	Estero Laguna Negra
12	7256.3	Estero Colina
13	2149.4	Estero el Manzanito. Cca Baja
14	3264.4	Estero Salinillas



cuenca las mediciones de caudal en la desembocadura de éste río al cauce del río Maipo.

El régimen hidrológico que alimenta este embalse, es de origen nival y glacial, controlando aproximadamente 20,4 Km<sup>2</sup> de glaciares, entre los que destacan “El Yeso”, “Bello”, “Del Pirámide” y parte del “Marmolejo”. Lo anterior se traduce en un aumento de caudal hacía el embalse durante los meses de noviembre a marzo y una disminución del mismo durante los meses invernales, definiendo un caudal medio anual de 8.4 (m<sup>3</sup>/seg) (DGA, 2006).

Para efectos de la obtención de los caudales anuales de referencia (Tabla N°3), se considera como base la estación vigente de la DGA correspondiente a San Alfonso, definida por los datos que se indican a continuación:

<b>Estación:</b>	RIO MAIPO EN SAN ALFONSO				
<b>Codigo BNA:</b>	05704002-5	<b>Altitud</b>	1092	<b>UTM Norte (mts):</b>	6266439
<b>Cuenca:</b>	RIO MAIPO	<b>Latitud S:</b>	33° 44' 05"	<b>UTM Este (mts):</b>	379489
<b>SubCuenca:</b>	Rio Maipo Alto (hasta despues junta Rio Colorado)	<b>Longitud W:</b>	70° 18' 03"	<b>Área de Drenaje (km2):</b>	2850.00

Tabla N°3. Registros de caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s) del río Maipo.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	85.23	64.43	48.14	37.03	36.18	40.15	47.83	37.41	37.52	81.86	130.69	299.40
2001	252.00	160.68	85.53	58.24	49.70	50.47	51.26	54.99	55.60	90.62	138.62	311.32
2002	168.68	104.06	73.74	55.60	49.09	54.81	48.65	78.13	71.28	95.92	197.43	295.06
2003	311.45	218.82	133.82	77.47	53.09	49.97	48.63	41.24	50.80	90.95	114.27	116.84
2004	115.57	85.84	64.26	48.35	37.39	36.64	35.75	35.11	44.03	58.81	71.24	100.64
2005	93.64	67.47	52.81	42.46	36.89	55.80	54.51	64.25	65.43	93.71	204.67	317.39
2006	348.19	225.64	106.09	68.46	46.58	42.81	58.01	47.50	50.19	89.54	155.80	205.55
2007	191.13	101.35	70.65	46.59	37.28	34.81	35.30	32.15	37.61	62.85	92.57	86.27
2008	81.96	86.71	41.43	36.17	53.19	53.31	38.99	44.65	71.94	88.87	227.10	241.48
2009	197.00											
2010	149.68	97.91	74.41	50.52	39.78	37.77	32.72	33.97	36.79	51.41	66.16	64.29
2011	57.22	51.29	43.00	34.82	30.03	27.81	25.91	26.25	31.84	53.09		
2012	51.74	42.49	43.05	34.74	37.51	28.54	28.88	26.70	35.64	42.18	97.45	102.79
2013	117.95	69.28	48.98	38.57	33.65	32.13	27.27	31.95	39.67	56.39	79.92	88.77
2014	61.60	46.15	42.55	36.71	31.55	29.15	26.15	26.68	25.93	49.26	67.55	64.85
2015	57.55	41.91	33.07	31.49	28.03	24.20	21.94	25.09	30.63	38.46		
2016				60.01	49.97	48.11	42.59	43.61	50.32	59.90		

Si bien esta estación recoge los caudales de los ríos de toda la Cuenca Alta del Río Maipo, incluyendo el área de estudio, entrega la dinámica fluviométrica global.

Complementariamente, se presentan a continuación (Tablas 4 a 6) los caudales determinados para algunos cursos del área de estudio por el Grupo de Investigación en Procesos de Transporte y Flujos Ambientales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile para la línea base del EIA del proyecto Alto Maipo.

Tabla N°4. Serie de caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s]. Estero Colina.

ANO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	QMA
2000 / 01	0.90	1.65	3.59	8.01	11.09	8.66	4.31	2.28	1.36	1.00	0.97	1.09	3.74
2001 / 02	1.16	1.60	3.74	8.03	10.23	7.88	4.11	2.28	1.43	1.05	1.10	1.43	3.67
2002 / 03	1.33	1.66	3.91	7.41	11.55	9.15	4.76	2.52	1.46	1.14	1.01	0.98	3.91
2003 / 04	1.03	1.52	3.46	5.69	8.16	6.74	3.82	2.09	1.17	0.77	0.78	0.80	3.00
2004 / 05	0.98	0.93	2.83	5.82	7.89	6.33	3.40	1.97	1.17	1.12	1.10	1.14	2.89
2005 / 06	1.24	1.68	4.20	7.92	12.67	9.50	4.38	2.43	1.49	1.12	1.19	1.15	4.08

Tabla N°5. Serie de caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s]. Estero La Engorda.

ANO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	QMA
2000 / 01	0.33	0.61	1.10	2.51	3.52	2.70	1.31	0.67	0.45	0.36	0.36	0.40	1.19
2001 / 02	0.43	0.59	1.16	2.52	3.17	2.38	1.23	0.67	0.48	0.38	0.41	0.54	1.16
2002 / 03	0.50	0.62	1.23	2.27	3.71	2.89	1.50	0.77	0.49	0.42	0.37	0.36	1.26
2003 / 04	0.38	0.56	1.04	1.57	2.33	1.91	1.11	0.59	0.38	0.27	0.28	0.29	0.89
2004 / 05	0.36	0.32	0.79	1.62	2.22	1.74	0.94	0.54	0.38	0.41	0.41	0.42	0.85
2005 / 06	0.46	0.63	1.35	2.47	4.17	3.04	1.34	0.73	0.50	0.41	0.44	0.43	1.33

Tabla N°6. Serie de caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s]. Cajón del Morado.

ANO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	QMA
2000 / 01	0.57	1.08	1.90	4.36	6.12	4.68	2.27	1.16	0.79	0.64	0.63	0.71	2.07
2001 / 02	0.76	1.05	2.00	4.38	5.50	4.11	2.13	1.15	0.84	0.67	0.72	0.96	2.02
2002 / 03	0.88	1.09	2.13	3.92	6.46	5.03	2.60	1.33	0.87	0.73	0.65	0.63	2.19
2003 / 04	0.67	0.99	1.80	2.68	4.00	3.28	1.91	1.02	0.66	0.47	0.49	0.50	1.54
2004 / 05	0.63	0.56	1.35	2.77	3.80	2.98	1.61	0.93	0.65	0.72	0.72	0.75	1.46
2005 / 06	0.82	1.10	2.34	4.29	7.27	5.28	2.32	1.27	0.88	0.72	0.78	0.76	2.32

Los esteros La Engorda, Colina, Morado y Las Placas (efluente del estero Colina) presentan un régimen nival con crecidas de caudal máximo durante los meses de deshielo, siendo alimentados básicamente por las nieves de las altas cumbres de los nevados existentes en el sector del Volcán San José y del Glaciar Marmolejo.

Los cursos de agua presentan el aspecto característico de torrentes cordilleranos: lechos pedregosos con materiales de granulometría diversa, arenas gruesas, gravas y bloques con preponderancia de estos últimos, en general presentan balances de disección negativos.

Los cauces son en general erráticos, escasamente definidos o poco encajonados, con desniveles entre lo más hondo del cauce y los bordes superiores de las orillas, variando desde un máximo de 2 m. hasta menos de un metro.

En general las laderas presentan pendientes de hasta 100%, con materiales sueltos dispuestos sobre las laderas de distintos diámetros, en estado de equilibrio frágil, que se rompe ante movimientos sísmicos o por el peso de la nieve durante el invierno, originando acumulaciones en los pies de las laderas y en los valles.

#### **4.3 Geomorfología, Topografía e Hipsometría**

El área de estudio, así como toda Cuenca Alta del río Maipo, los efectos de la erosión glacial produjeron las principales características del relieve actual en que se destacan las abruptas laderas de empinados cerros al lado de profundos cajones glaciales, donde las laderas tributarias de los ríos principales son valles colgantes ubicados hasta más de cien metros encima de los fondos de los valles mayores; el acceso a algunos de los valles se hace difícil pero en algunas áreas, las llanuras aluviales de los principales ríos, como el yeso por ejemplo son anchos y con declive de moderado a suave.

En el área de estudio, la geomorfología se caracteriza por la presencia de depósitos no consolidados, entre los que se cuentan depósitos coluviales y conos de deyección, los cuales se ubican en las laderas con pendientes entre 20 a 25%, con espesores variables, pero siempre mayores en las zonas bajas de las laderas.

En torno de los cauces de los ríos y esteros y algunas quebradas se encuentran depósitos fluviales y en forma de terrazas, los que llegan en algunos casos a formar planicies y llanuras aluviales ubicadas sobre el nivel de los cursos de agua, en general

están constituidos por gravas y arenas, así como rocas desgastadas por el arrastre de los caudales y que forman parte de la matriz de los depósitos. También existen en forma asociada depósitos aluviales, como los ubicados en el estero el Manzanito y el río el Yeso.

También se encuentran en determinados lugares como es el caso del sector Lo Encañado depósitos lacustres, característicos por una matriz de grano fino de limo-arcilla e incluso con depósitos salinos, se suman en sectores similares depósitos de deslizamiento en bloques y de deslizamiento de rocas desde las laderas.

En la zona correspondiente a las subcuencas de los esteros el Morado, Colina y La Engorda, donde se ubican cumbres relevantes como el Volcán San José y el cerro Marmolejo, en torno a los 5900 msnm, existe una geomorfología derivada de procesos de remoción en masa, deslizamientos, derrumbes y flujos aluvionales, con predominio de rocas, areniscas, conglomerados brechas sedimentarias que forman cuñas que suelen desprenderse por presión de la fusión de la nieve y fenómenos sísmicos de hace unos 10 mil años.

En toda el área de estudio predominan procesos erosivos, con laderas que llegan al 100% de pendiente y material rocoso en equilibrio frágil.

La hipsometría (Figura N° 11) en el área de estudio se encuentra entre los 1.350 msnm y los 6.150 msnm, en la parte baja del río el Volcán y en la zona del volcán Tupungato respectivamente.

Las principales cumbres corresponden al cerro Pirámide (5.520 m.), Nevado del Plomo (6.050 m), Nevado de los Piuquenes (6.150) m, Cerro Marmolejo (6.108) m y El Volcán San José (5.856 m).



Al interior del conjunto orográfico que forma el macizo andino se distinguen alineamientos encadenados en dirección N-S, uno de ellos sigue la posición del cerro Plomo y continúa hacia el sector meridional con los cerros Parva (4.670 m.s.n.m), Gruca (4.124 m.s.n.m) y el cordón de los Quempos, al norte del sector El Alfalfal. Rodeando por el norte a la laguna Negra, se levanta el cerro Pico Negro (4.520 m.s.n.m) y entre los ríos Yeso y Volcán, la divisoria de aguas está determinada por el cerro Morado (4.150 m.s.n.m).

Las características de diferencia altimétrica y los profundos y extensos valles determinan una topografía abrupta que configuran un distrito montano escarpado, así se puede apreciar en la Figura N°12, donde se puede apreciar que en las serranías predominan pendientes sobre 65% y sólo en los valles las pendientes son menos pronunciadas.

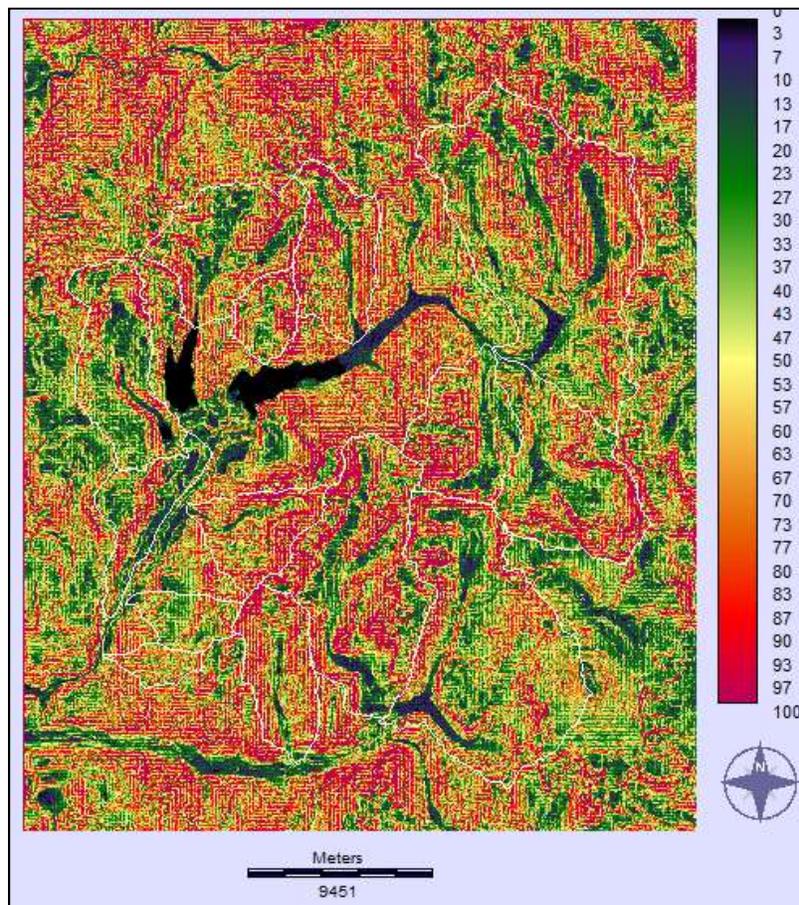


Figura N°12. Cartografía de pendiente, derivada del Modelo de Elevación SRTM3.

Sobresale el valle del río el Yeso, el cual en la zona bajo el embalse el Yeso se caracteriza por un valle que se amplía donde predominan pendientes medias a bajas es decir en torno a 20 % o menores. Igual situación presenta la cuenca del estero Manzanito, tanto en su parte baja como alta.

La topografía es importante dado que es el principal factor que influye en el régimen de humedad relativa es la topografía, es así como en las laderas de exposición norte los montos de humedad son menores que las laderas de umbría. En general la humedad relativa más baja se registra en verano y la humedad relativa más alta en invierno, en otoño y primavera se observan valores promedio, tal como se muestra en la Figura N°13.



Figura N°13. Humedad relativa mensual. Embalse el Yeso.

En las cercanías del embalse El Yeso, las variaciones de humedad son bajas, con una humedad relativa media que alcanza el 40% en el mes de Marzo y una máxima, en el mes de Julio, de 48%.

#### 4.4 Accesibilidad y Actividades.

La accesibilidad al área de estudio está dada por los caminos principales que se conectan al camino el Volcán (ruta G25), tal como se muestra en la Figura N°14, a lo que se suma las rutas de arrieros y de tracking.

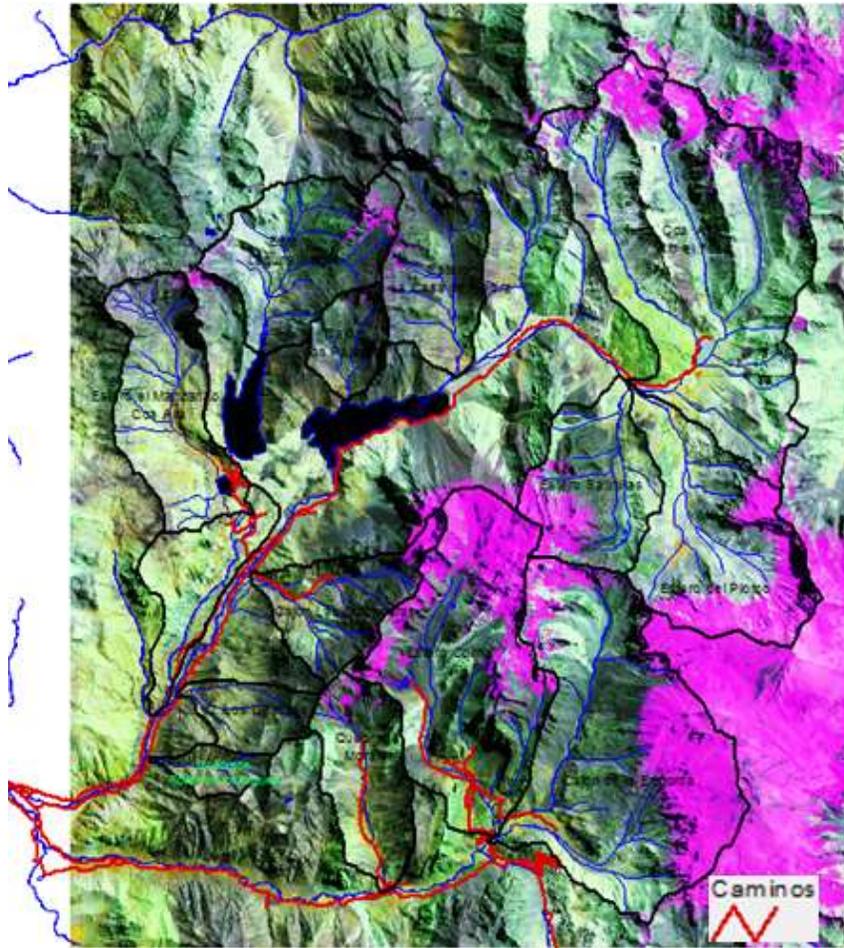


Figura N°14. Caminos principales en el área de estudio.

En la parte baja camino El Volcán (G25) al cual se conecta la ruta G455 (camino al Embalse El Yeso (G455), que se inicia en cruce ubicado a unos 1,7 Km desde el poblado de San Gabriel. A la ruta G455 se une camino secundario que une el sector de Lo Encañada, conectando la subcuenca del estero el Manzanito.

Por el camino el Volcán, se une camino secundario que conecta la subcuenca del estero Morales y siguiendo hacia el éste se conecta camino secundario que conecta la subcuenca del estero Colina y la Engorda.

Las rutas descritas conectan las subcuencas del área de estudio, base para la conexión de senderos para actividades turísticas, de pastoreo, mineras y de construcción de obras asociadas al proyecto Alto Maipo.

### **Ganadería**

Las actividades ganaderas están asociadas a distintas rutas, relacionadas con la ganadería de trashumancia, el cual se basa en llevar el ganado, a partir del mes de octubre o noviembre hasta marzo o abril, desde las zonas bajas del valle central y de la Costa hacia las praderas naturales de la Cordillera de los Andes, sectores denominados veranadas. De ésta forma se descongestiona o disminuye la presión de pastoreo de los pastizales del secano costero e interior durante los meses estivales en que escasea, aumentando a su vez la presión sobre la capacidad de carga de la vegetación andina y especialmente sobre los humedales.

Las veranadas se encuentran conformadas, básicamente, por vegas, coironales y matorrales bajos, palatables, que se ubican en las distintas subcuencas andinas. Las vegas son un tipo de humedal cuyo proceso de crecimiento vegetativo están directamente relacionado con las condiciones de disponibilidad de agua y temperatura, asociándose la escasez de pasto a la sequía, a los inviernos extremadamente fríos y al sobrepastoreo.

Las vegas se localizan en suelos saturados de agua en su interior (higromórficos), los cuales se originan por procesos de sedimentación y depositación de valles fluvio-glaciales (valles formados por ríos y glaciares) y son derivados de coluvios, con pendientes suaves a fuertemente inclinadas, presentando en algunos casos suelos moteados férricos por su condición de anegamiento semi-permanente o suelos moteados grises por anegamiento temporal, y un alto contenido de materia orgánica.

Uno de los puntos de partida de la ganadería en el área de estudio es desde Baños Morales, cuyas rutas se encuentran entre las subcuencas o “cajones” de los esteros El Morado y estero Las Placas, veranadas que pertenecen al fundo Quebrada de Morales,

donde los ganaderos pagan talaje, de igual modo utilizan las zonas estero La Engorda que pertenece al fundo de la familia Covarrubias, residentes en Queltehue. También por el Río Del Volcán se internan los “costinos”, hasta arribar a los cajones de Nieves Negras, El Azufre y Carreño, con un volumen aproximado de 500 vacunos. En el caso de algunos grupos, realizan escalas intermedias en el sector de La Arena y El Clarillo durante el primer mes de la veranada (Octubre), para posteriormente continuar hacia los sectores más altos.

Otras rutas, utilizadas por los ganaderos de la localidad del Volcán son hacia el sector El Yesillo y desde la bocatoma El Volcán hacia el Sur, luego estero El Morado y estero Colina.

Por otro lado, la ganadería del sector camino río Yeso los desplazamientos son al estero De la Engorda y Baños Morales, sector de la bocatoma Volcán, donde llegan en camiones y desde ahí continúan con el arreo hasta las vegas de estero La Engorda. Al río el Yeso también llega el ganado de los “costinos”, provenientes de Curacaví, Colliguay y Melipilla, normalmente se desplazan unos 2.200 animales, que siguen por la cuenca del río El Yeso.

Otro punto es el poblado de San Gabriel, de donde la ruta tropera se desplaza hacia el estero San Nicolás, cercanías del cerro San Lorenzo y proximidades de la Laguna Negra.

Todo lo anterior configura una actividad que en forma anual presiona sobre la vegetación del área de estudio y especialmente sobre los humedales, lo que es crítico en los años de baja precipitación, condición que propicia el sobrepastoreo y, de las vegas y como consecuencia, de acuerdo a las observaciones de los propios propietarios de los predios, se produce la degradación de la composición hacia especies menos palatables.

## Minería

Las actividades de extracción minera en el área de estudio, están relacionadas con la explotación de yacimientos de yeso y caliza, las actividades más importantes por su extensión, se localizan principalmente, en la parte superior de los ríos Volcán y Yeso (Figura N° 15).

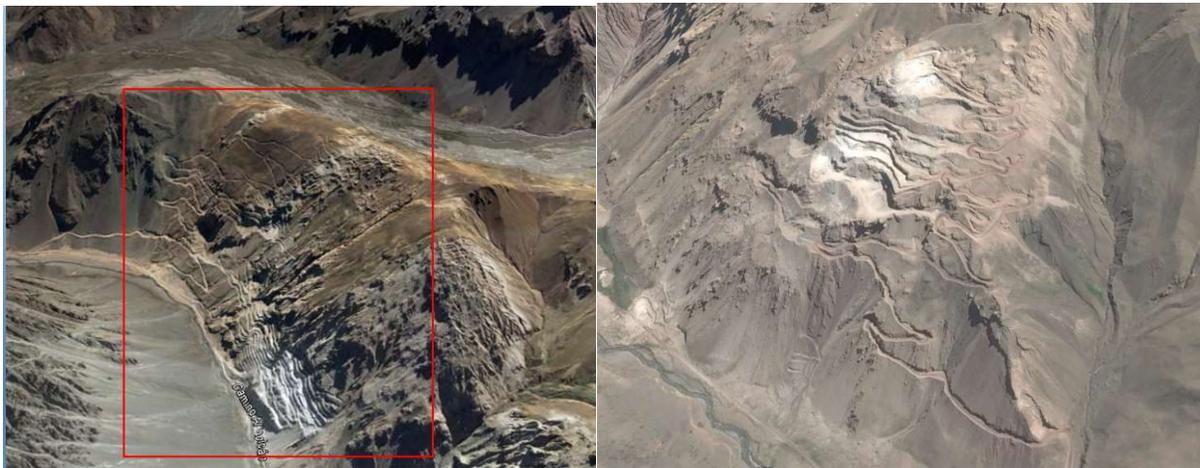


Figura N° 15. Explotación de caliza (izq.) y yeso (der.), superficie intervenida 178 y 69 hectáreas respectivamente. Imágenes corresponden Digital Globe de Google Earth del 15 de marzo de 2017.

La imagen izquierda corresponde a explotación de caliza ubicada en ladera de exposición sur-oeste de la parte alta del río el Volcán, la cual deslinda con la subcuenca del estero De la Engorda, explotación que corresponde a Minera Lo Valdés Ltda. y a la derecha explotación de yeso en ladera sur-oeste de la cuenca del río El Yeso, sector superior al embalse El Yeso, correspondiente a la Sociedad Industrial El Romeral, ambas activas.

De igual forma, se ubican otras cuatro faenas mineras correspondientes a la empresa el Volcán S.A, Tocología el Yeso Santiago y a SM Cristo rey Limitada.

### Obras del Proyecto Alto Maipo

En este caso se trata de las actividades que desarrolla el proyecto Alto Maipo, en el área de estudio, en su etapa de construcción, relacionadas principalmente con aperturas de túneles, instalación de campamentos, nuevos caminos o mejoramiento de los existentes, depósitos de marina, sitios de operación y almacenamiento.

Entre las obras que intervienen humedales se encuentran las ubicadas en el cajón La Engorda que corresponden a bocatomas de agua, las cuales se presentan en las Figuras N° 15.1 y 15.2



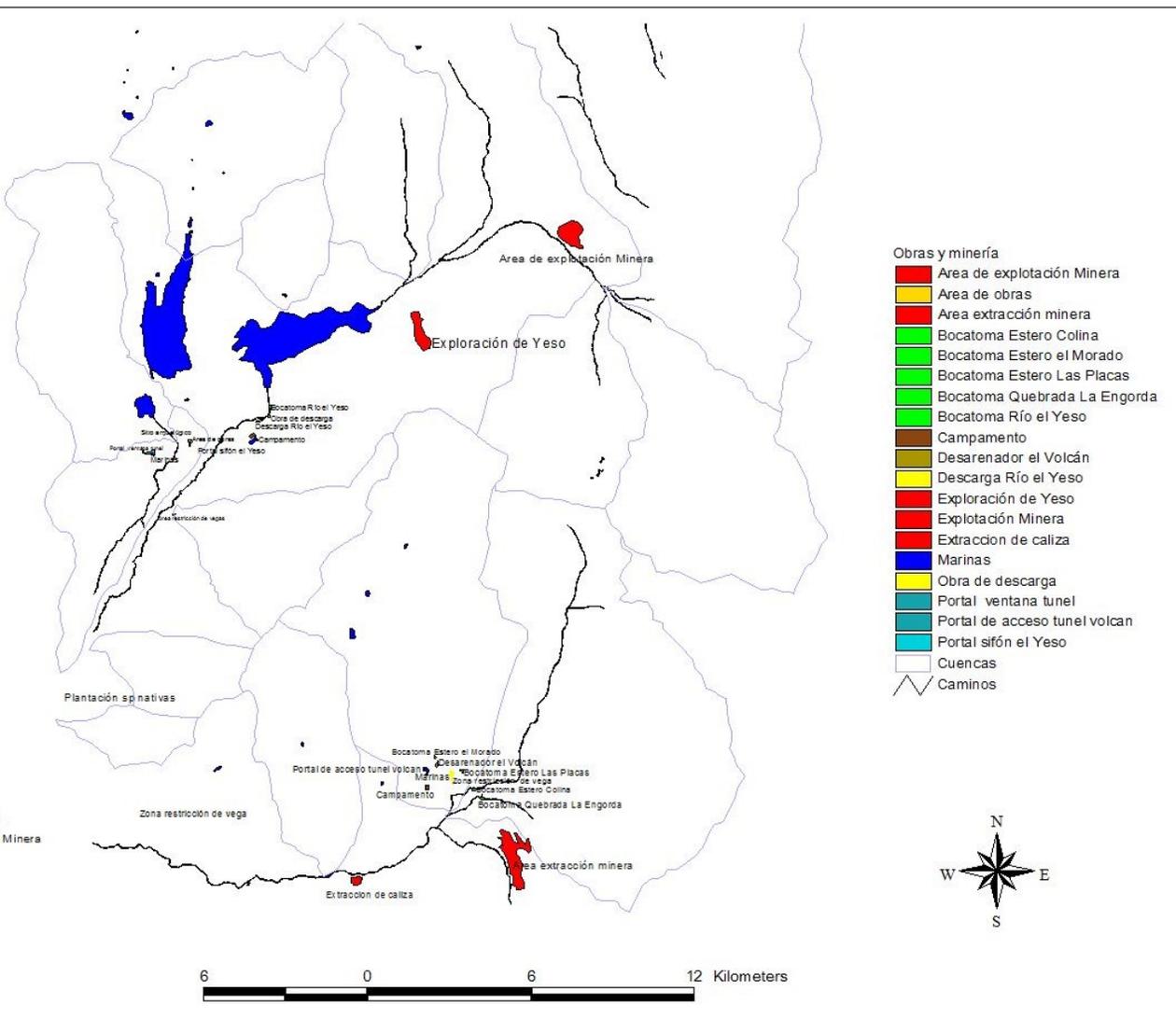
Figura N°15.1. Bocatomas estero La Engorda. Izquierda situación año 2013, derecha obras en febrero año 2017. (Fuente: Digital Globe. Google Earth).



Figura N°15.2. Bocatoma estero Colina (parte superior de la figura anterior).

Tanto las actividades mineras como las del Proyecto Alto Maipo se presentan en la cartografía de la Figura N° 15, las que en conjunto permiten estimar el grado de artificialización de las subcuencas que albergan humedales.

En resumen, las principales obras en los humedales se ubican principalmente entorno del camino del río Yeso hasta su término en el sector del Parque El Yeso, en la subcuenca del estero Manzanito (parte baja) y en la subcuenca del estero La Engorda y estero Colina, mientras que las actividades mineras están asociadas a laderas de la zona alta del río el Volcán y del río el Yeso.



## 4.5 Uso de la Tierra y Cobertura Vegetacional

Lo usos principales de la tierra y la cobertura vegetal del área de estudio se presentan en la cartografía de la Figura N°16

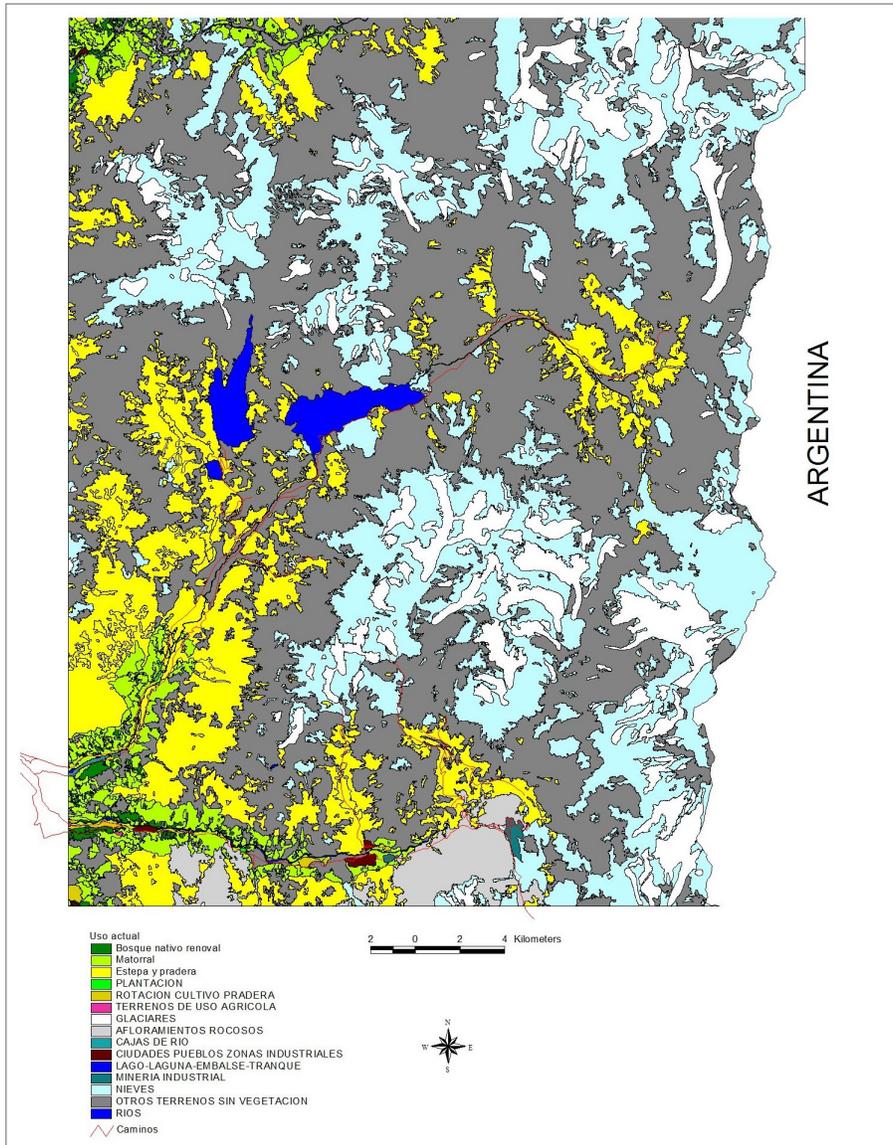


Figura N°16. Cartografía de uso de la tierra y cobertura de vegetal.

Fuente: CONAMA-CONAF. Catastro Nacional de Vegetación Nativa (2011).

De acuerdo a la cartografía del Catastro Nacional de Vegetación Nativa, el área de estudio comprende las siguientes superficie de uso y cobertura vegetal (Tabla N° 7).

Tabla N°7. Superficie por uso de la tierra y cobertura vegetal

USO DE LA TIERRA Y COB. VEGETAL	UNIDADES	SUP (ha)	%
Bosque nativo renoval	149	503.3	0.42
Matorral	398	4603.1	3.83
Estepa y pradera	522	19108.1	15.89
PLANTACION	4	20.7	0.02
ROTACION CULTIVO PRADERA	6	117.2	0.10
TERRENOS DE USO AGRICOLA	2	7.0	0.01
CAJAS DE RIO	2	59.0	0.05
OTROS TERRENOS SIN VEGETACION	292	51792.2	43.07
LAGO-LAGUNA-EMBALSE-TRANQUE	4	1459.6	1.21
MINERIA INDUSTRIAL	2	111.3	0.09
GLACIARES	189	10960.2	9.11
NIEVES	271	28676.8	23.85
RIOS	5	169.6	0.14
CIUDADES PUEBLOS ZONAS INDUSTRIALES	5	108.1	0.09
AFLORAMIENTOS ROCOSOS	18	2553.5	2.12
	1869	120249.6	100.00

Tal como se muestra en la tabla precedente, la cobertura vegetal con mayor superficie corresponde a “Estepa-pradera” que se encuentra en una extensión de 19.108 hectáreas y las plantaciones exóticas la cobertura con menor presencia, siendo los terrenos sin vegetación los de mayor presencia en el área de estudio.

Ahora, si se sigue, la zonificación en pisos de altitud de acuerdo a algunos autores (Cavieres *et al* (1999) y Muñoz *et al* (2000) ésta sería la siguiente: entre 1500 y 2000 m se encontraría el piso del Matorral Subandino; entre 2000 y 2600 m, el del Matorral Andino; entre los 2700 y los 3300 el de la Estepa Altoandina y sobre los 3300 m el Desierto Alto Andino

Respecto de la cobertura de la vegetación en la gradiente de altitud, se señala que disminuye a medida que aumenta la altitud, sin embargo, esta reducción depende de las características específicas de sitio. Los mismos autores señalan que existen diferencias en la delimitación del rango de altitud de los pisos, siendo muy improbable distinguir límites aplicables a zonas extensas o a toda la cordillera de Santiago, ya que

los pisos poseen variaciones locales. No obstante existen patrones constantes de distribución de las especies, según la altitud, concordantes con la influencia de factores climáticos.

Pisano (en Fuenzalida 1965), considera a la zona andina de Chile Central, en cuanto a su vegetación, en la de la Zona Mesomórfica, señalando que la formación de las áreas de altura corresponde a la Formación Xeromórfica Andina, un tipo de vegetación formado por pequeños arbustos, pastos en champas y plantas en cojín. Los principales arbustos que cita Pisano son: *Fabiana imbricata*, *Nardophyllum lanatum* (*N. revolutum*), *Chuquiraga oppositifolia*, *Ephedra chilensis* (*E. andina*), *Anarthrophyllum cumingii* y *Junellia* (*Verbena*) *spathulata*, entre otros; en cuanto a los pastos en champas, señala como dominantes a *Stipa chrysophylla*, *Hordeum chilense* y varias especies de *Festuca*.

Gajardo (1994) propone, a su vez, que la vegetación andina de Chile Central debe incluirse en la de la Región de la Estepa Alto-andina, Sub-Región de los Andes Mediterráneos, con la formación de la Estepa Alto-Andina de la Cordillera de Santiago. Las asociaciones propuestas, determinadas por gradientes de altitud y humedad, corresponderían a las de: *Mulinum spinosum*-*Chuquiraga oppositifolia*, *Azorella madreporica*-*Laretia acaulis*; *Chuquiraga oppositifolia*-*Guindilia trinervis*.

La vegetación subandina, incluiría las asociaciones de la formación del Matorral Esclerófilo Andino como el bosque abierto de *Kageneckia angustifolia* (franjel)-*Guindilia trinervis* y el matorral de *Tetraglochin alatum*-*Colliguaja integerrima*. Para este tipo de formación se destaca, entre las especies en categorías de conservación, la presencia del franjel (*Kageneckia angustifolia*), *puya berteroniana* (chagual), las cactáceas *Austrocactus spiniflorus* y varias *Neoporteria*, el helecho *Pellaea ternifolia* y la bulbosa *Solaria miersioides* (Benoit, 1994; Baeza *et al*, 1998; Belmonte *et al* 1998 y Ravenna *et al* 1998).

Muñoz *et al* (2000) dan cuenta de la existencia de una zonación altitudinal de la vegetación, la que en la latitud del río Maipo se expresa en la existencia de pisos de vegetación que de abajo hacia arriba serían:

Piso del Matorral Subandino, que se extiende entre los 1.500 y 2.000 m.s.n.m, donde las especies dominantes son el árbol *Kageneckia angustifolia* y los arbustos *Guindilia trinervis* y *Colliguaja integerrima*. Sobre los 2000 m comienza el Matorral Andino, con dominancia de arbustos menores de 50 cm de altura, donde las especies dominantes son *Chuquiraga oppositifolia*, *Ephedra chilensis*, *Tetraglochin alatum* y *Mulinum spinosum*. La cobertura de la vegetación varía entre 20 y 40% y su distribución latitudinal estaría entre 31° y 35° S. El límite superior de este piso estaría cerca de los 2700 m. Sobre esta altitud se distribuye la vegetación correspondiente a la Estepa Altoandina; en ésta las plantas dominantes son los arbustos menores de 20 cm, frecuentemente en placas o cojines, las gramíneas y las hierbas perennes. La cobertura de la vegetación alcanza unos 25%. Las especies más frecuentes son *Poa holciformis*, *Hordeum comosum*, *Adesmia aegiceras* y *Laretia acaulis*.

Sobre los 3.300 m.s.n.m. la estepa da paso a un Desierto Altoandino, donde las especies dominantes son pequeños arbustos en cojín, hierbas perennes, entre las que se encuentran *Menonvillea spathulata*, *Azorella spp*, *Oxalis spp*, *Nassauvia spp*, entre otras.

También se encuentra presencia de vegas, tipo de vegetación azonal, que se desarrolla en los sitios con afloramientos de agua o en los márgenes de los esteros y las quebradas, donde predominan especies de *Carex*, *Patosia*, *Eleocharis*, entre otras.

En relación a la conservación de la flora, en el área de estudio se ubica el Monumento Natural El Morado lugar de conservación del piso del Bosque Esclerófilo Mediterráneo Andino de *Kageneckia angustifolia* y *Guindilia trinervis* que son pequeñas superficies.

#### 4.6 Propiedades

De acuerdo a los registros de propiedad al año 2010 en el Conservador de Puente Alto los propietarios de los predios del área de estudio son los que se presentan en la Figura N° 17.

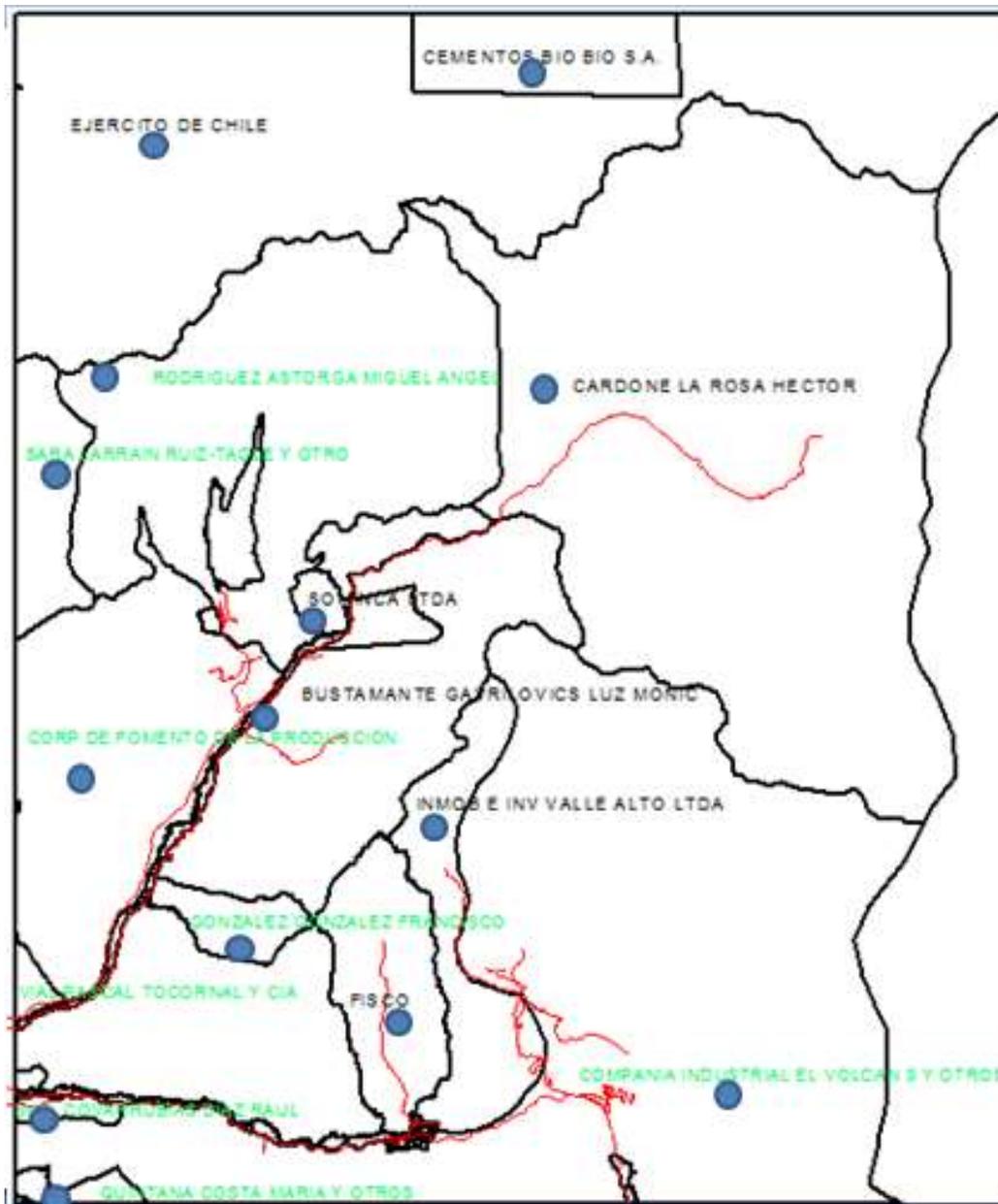


Figura N° 17. Propiedades área de estudio.

La mayor proporción de superficie corresponde a predios privados, entre los que destacan la Compañía Industrial el Volcán, mientras que los predios fiscales corresponden a la subcuenca del estero Morales (Fisco), al Ejército (predio Colorado) y CORFO (predio Laguna Negra). De acuerdo a lo anterior, salvo los humedales del sector de Lo Encañada y de la subcuenca del estero Morales, todos los demás se encuentran en terreno privados.

## 5. HUMEDALES

Los humedales del área del estudio en general constituyen una formación herbácea, muy densa, que se identifican como praderas húmedas (vegas) formada por hierbas perennes, donde predominan *Juncus arcticus*, *Agrostis leptotricha*, *Polypogon australis* y una especie de *Deyeuxia*. Normalmente son fajas ubicadas en los márgenes de los esteros o asociadas a proximidades de cuerpos de aguas, tal es el caso de la laguna Lo Encañada, por ejemplo (Figura N°18).

El estudio de la línea base del proyecto Alto Maipo (2007) indica que las vegas son unidades donde predominan hierbas perennes determinando una fisonomía de pradera continua, donde las especies dominantes son: *Carex gayana*, *Phylloscirpus acaulis*, *Eleocharis albibracteata* y *Taraxacum officinale*. Unidades con alta cobertura pero debido al exceso de pastoreo presentan una altura baja, por la misma razón se encuentran en abundancia especies alóctonas asilvestradas como *Taraxacum officinale* y *Plantago lanceolata*.

En relación con la estacionalidad, las especies rebrotan a comienzos del verano y crecen durante el periodo estival hasta secarse en otoño, estado que se adelanta en las temporadas con exceso de pastoreo.

Considerando lo anterior, la cartografía de humedales se realizó mediante la utilización de los datos satelitales de Sentinel 2, imágenes multiespectrales de abril del año 2017 (Figura N° 18) y datos del sensor OLI (LANDSAT) de marzo de 2017, datos debidamente corregidos tanto la geometría como radiometría, teniendo como referencia la cartografía elaborada por el Inventario Nacional de Humedales (MMA-SAG, 2011), que para el área de estudio dicha cartografía le asignó la tipología de vegas, cuyos polígonos fueron ajustados.

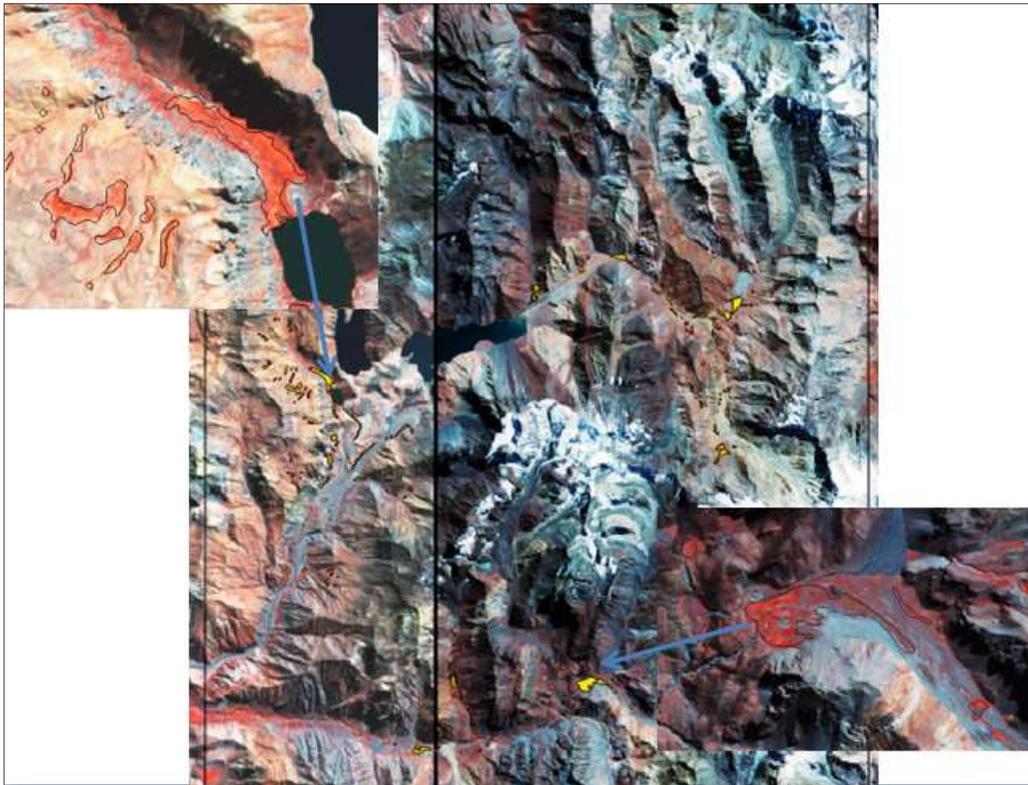


Figura N°18. Fondo imagen multiespectral (RGB, B4,8,2). Sentinel 2. 4 de abril de 2017.

En amarillo humedales, detalles correspondientes al sector Lo Encañada y estero La Engorda).

Cada unidad fue editada en concordancia con la data del año 2017, por consiguiente corresponde a la superficie actualizada de humedales existente en el área de estudio.

De esta manera se obtuvieron los polígonos de humedales, los cuales se distribuyen en distintas subcuencas del área de estudio y en la llanura aluvial de la cuenca del río El Yeso, cuya distribución se presenta en la Figura N°19, clasificados por superficie (Tabla N° 8).

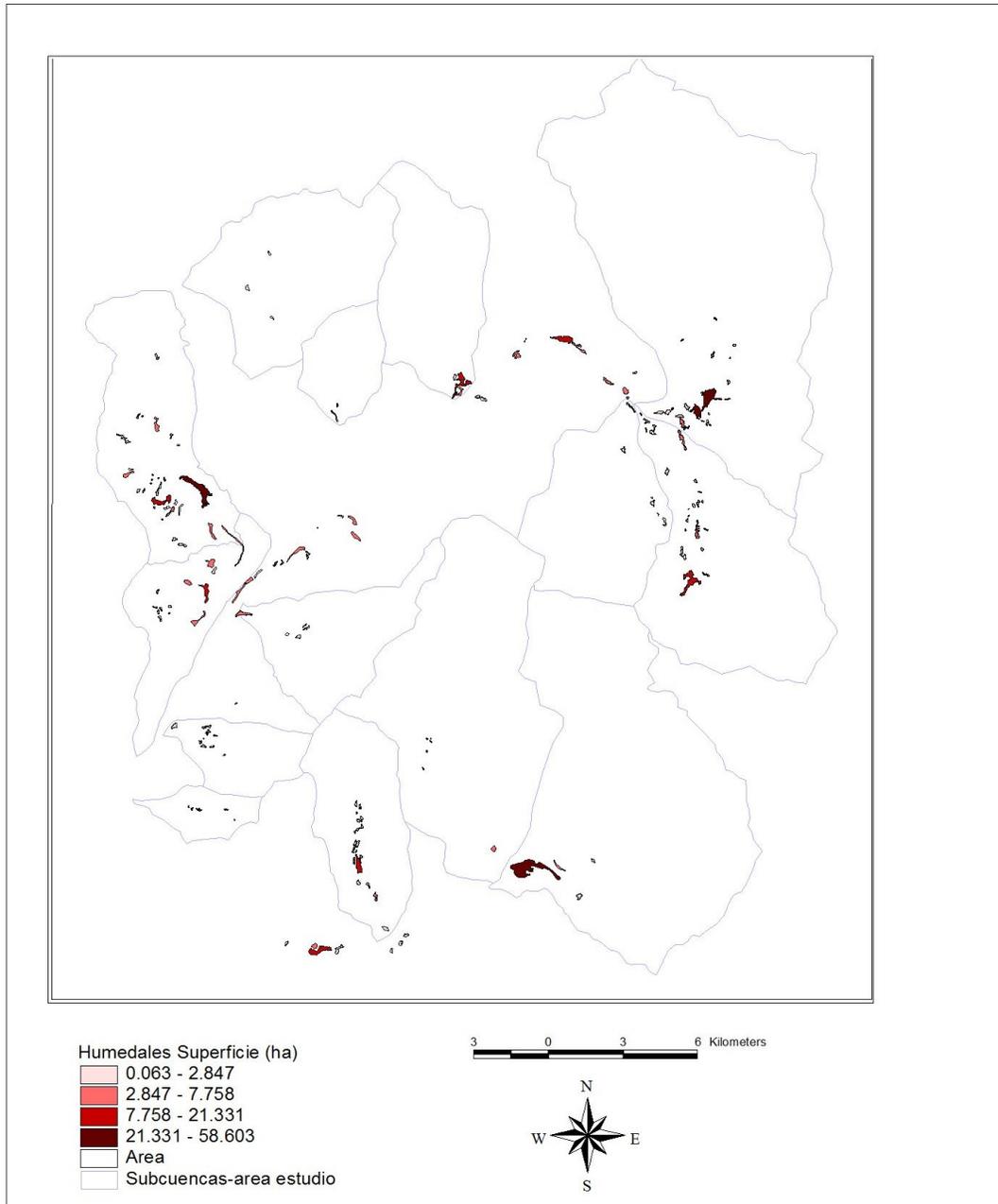


Figura N°19. Humedales clasificados mediante algoritmo estadístico de quiebres naturales de la superficie (ha), cuatro clases.

Tabla N°8. Superficie de humedales por rangos (ha).

Clase	Rango de superficie (ha)	Total de unidades	Superficie (ha)
1	0,063 - 2,847	151	149,8
2	2,847 - 7,758	26	119,3
3	7,7508 - 21,331	7	84,5
4	21,331 - 58,603	4	151,6
	<b>Total</b>	188	505,2

De lo anterior se desprende que en el área de estudio se distribuyen 188 unidades de humedales (vegas), que en total suman 505,2 hectáreas. La mayor parte de los humedales (80,3%) corresponden a superficies entre 0,063 y 2,847 hectáreas y sólo existen 4 vegas en el rango mayor a 21,331 hectáreas (Ver foto Figura N°19.1)



Figura 19.1. Fotografía superior humedal La Engorda e inferior Lo Encañada, con superficies superiores a 21 hectáreas.

## 6. PRIORIDAD DE GESTIÓN DE CUENCAS

Considerando la estrecha relación existente entre las características de las subcuencas y los humedales contenidos en ellas, un primer análisis realizado, con la finalidad de priorizar la gestión y monitoreo de los humedales en el área de estudio, consiste en priorizar las subcuencas en base a tres indicadores:

- a) Índice hídrico – topográfico (IHT).
- b) Índice de Artificialización (IA)
- c) Índice Ganadero-humedales (IGH).

A partir de los tres índices, debidamente combinados mediante modelos matriciales, se obtiene el índice de Prioridad de Gestión de Cuencas para humedales (IPG).

### 6.1 Índice Hídrico - Topográfico (IHT).

Para la elaboración de éste indicador se consideró la densidad de drenes de la subcuenca, la pendiente media y el factor de compacidad de la subcuenca.

#### 6.1.1 Densidad de drenes.

La densidad de drenes corresponde a longitud total de drenes (Km) de la subcuenca dividida por la superficie de la subcuenca (Km<sup>2</sup>), corresponde a la siguiente expresión:

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

Donde:

- D: densidad de drenaje (1/Km);  
ΣLi: suma de las longitudes de los cursos de la cuenca (Km);  
A: superficie de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

En principio, sin tener en cuenta otros factores del medio físico, 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. Consecuentemente con lo anterior, las cuencas con baja densidad de drenaje se caracterizan por alta permeabilidad o geología resistente (Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. MOPT. España, 1991).

Los drenes fueron obtenidos a partir del DEM SRTM3 (Figura N° 8) y se realizó el cálculo correspondiente a cada subcuenca (Figura N°7), resultados que fueron clasificados en cuatro clases, a las cuales se les asignó un valor inverso, dado que a mayor densidad mayor escurrimiento y por consiguiente menor disponibilidad de agua de lluvia para los humedales:

- 1) 39 - 42
- 2) 34 – 39
- 3) 27 a 34
- 4) menor de 27.

Los límites de las clases fueron determinados mediante cortes naturales basados en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Los cortes de clase se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos dónde hay diferencias considerables entre los valores de los datos.

### 6.1.2 Pendiente Media.

La pendiente media de la cuenca da cuenta de las características del relieve de la cuenca, se calcula como la media de las pendientes de todas las superficies elementales (píxeles), valores obtenidos a partir del DEM SRTM3, en porcentaje (Punto 4.3).

La pendiente se relaciona en forma directa con el escurrimiento superficial de la cuenca, acelerando la velocidad del escurrimiento y por consiguiente disminuyendo la infiltración

del agua y con ello menor disponibilidad de ésta en los acuíferos, que son un aporte directo en los niveles hidrófilos de los humedales.

Siguiendo la metodología del punto anterior se definieron cuatro clases:

- 1) 61 a 68 %
- 2) 56 a 61 %
- 3) 48 a 56 %
- 4) menor de 48.

### 6.1.3 Factor de compacidad.

Este factor calcula la relación de compacidad de polígonos comparando el área de un polígono con la de un círculo que tiene el mismo perímetro.

La fórmula utilizada para calcular la relación de compacidad es:

$$C = \text{SQRT} (A_p / A_c)$$

Donde,

C es la relación de compacidad,

SQRT es la función de raíz cuadrada,

$A_p$  es el área del polígono que se calcula y

$A_c$  es el área de un círculo que tiene el mismo perímetro que el del polígono.

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 mayor compacidad produce una mayor tiempo de concentración del agua en el punto de concentración (salida) de las cuencas y subcuencas, es decir el agua es retenida por más tiempo en la cuenca favoreciendo la infiltración y la disponibilidad de agua en los humedales.

Aplicando la expresión definida para las subcuencas del proyecto se obtuvieron los valores de cada una de ellas, las cuales fueron clasificadas de acuerdo a las siguientes clases y valores:

- 1) 0,638 a 0,713
- 2) 0,588 a 0,638
- 3) 0,471 a 0,588
- 4) menor a 0,471.

### 6.1.4 Modelos y resultado

A partir de las definiciones anteriores y clasificaciones obtenidas se determinaron los siguientes modelos matriciales para relacionar los tres factores descritos.

#### Relación entre pendiente y densidad de drenes (Drenp)

		Clase Pendiente			
		1	2	2	4
Ddrenp	1	1	1	2	3
	2	1	2	3	3
	3	2	3	3	4
	4	2	3	4	4

Este modelo relaciona las clases de pendiente con las clases de densidad de drenaje, entregando el posicionamiento en las nuevas clases que se indican en la matriz.

#### Relación entre Clas Pend-Drenp y Compacidad (IHT).

		Clas Pend-drenp			
		1	2	2	4
Compacidad	1	1	1	2	2
	2	1	2	3	3
	3	2	2	3	4
	4	2	3	4	4

En éste caso se relaciona el resultado anterior con las clases de compacidad, lo que origina las cuatro clases del Índice Hidrográfico – Topográfico (IHT) (Figura N° 20), que expresa a mayor valor una mayor disponibilidad de agua en la cuenca.

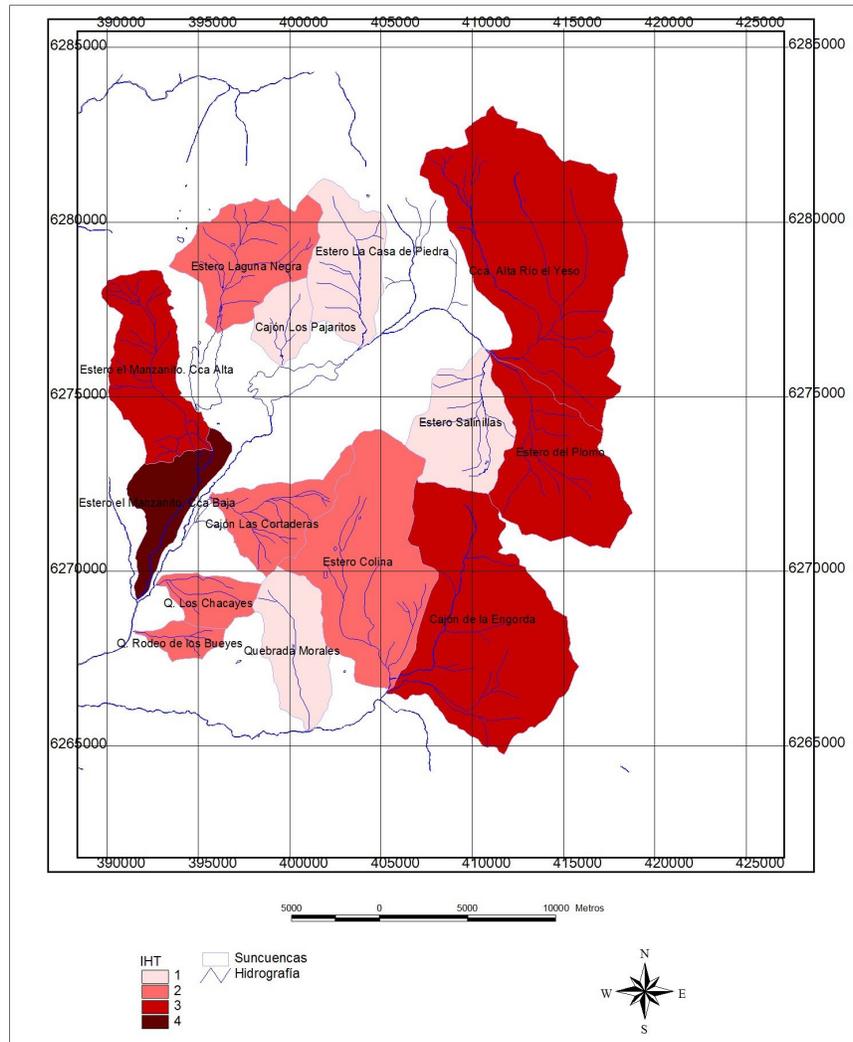


Figura N° 20. Subcuencas clasificadas por el Índice hídrico – topográfico.

## 6.2 Índice Ganadero-Humedal (IGH).

El índice se obtiene a partir de la existencia de la cobertura ganadera de cada subcuenca y la superficie de humedales incluida. El supuesto es que en las subcuencas son utilizadas con mayor intensidad para ganadería de trashumancia en la medida que las coberturas de pastoreo son mayores, incluyendo los propios humedales, por

consiguiente éstos en la medida que existe mayor pastoreo en la subcuenca mayor es la amenaza de deterioro de la condición.

### 6.2.1 Superficie ganadera

La superficie ganadera considerada, corresponde a las formaciones de matorral-pradera y la formación de estepa andina, superficie que fue clasificada en cuatro clases que fueron determinadas según los siguientes intervalos:

- 1) 12 a 234 ha.
- 2) 234 a 501 ha.
- 3) 501 a 912 ha
- 4) mayor a 912 ha

En concordancia con lo anterior las subcuencas fueron debidamente clasificadas.

### 6.2.2 Superficie de humedales

En el caso de las superficies de humedales por subcuencas, las clases utilizadas son las siguientes:

- 1) 2 a 6,9 ha.
- 2) 6,9 a 20,9 ha.
- 3) 20,9 a 54,1 ha
- 4) mayor a 54,1 ha

### 6.2.3 Modelos y resultado.

El modelo relacional para determinar el Índice Ganadero-Humedal (IGH), a partir de las clases definidas anteriormente, fue el siguiente:

		Sup. Ganadera			
		1	2	3	4
Sup-hum.	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	3
	3	3	3	4	4
	4	4	4	4	4

La matriz relaciona la superficie ganadera y la superficie del humedal de cada subcuenca, originando las clases del IGH, lo que se representa en la Figura N°21.

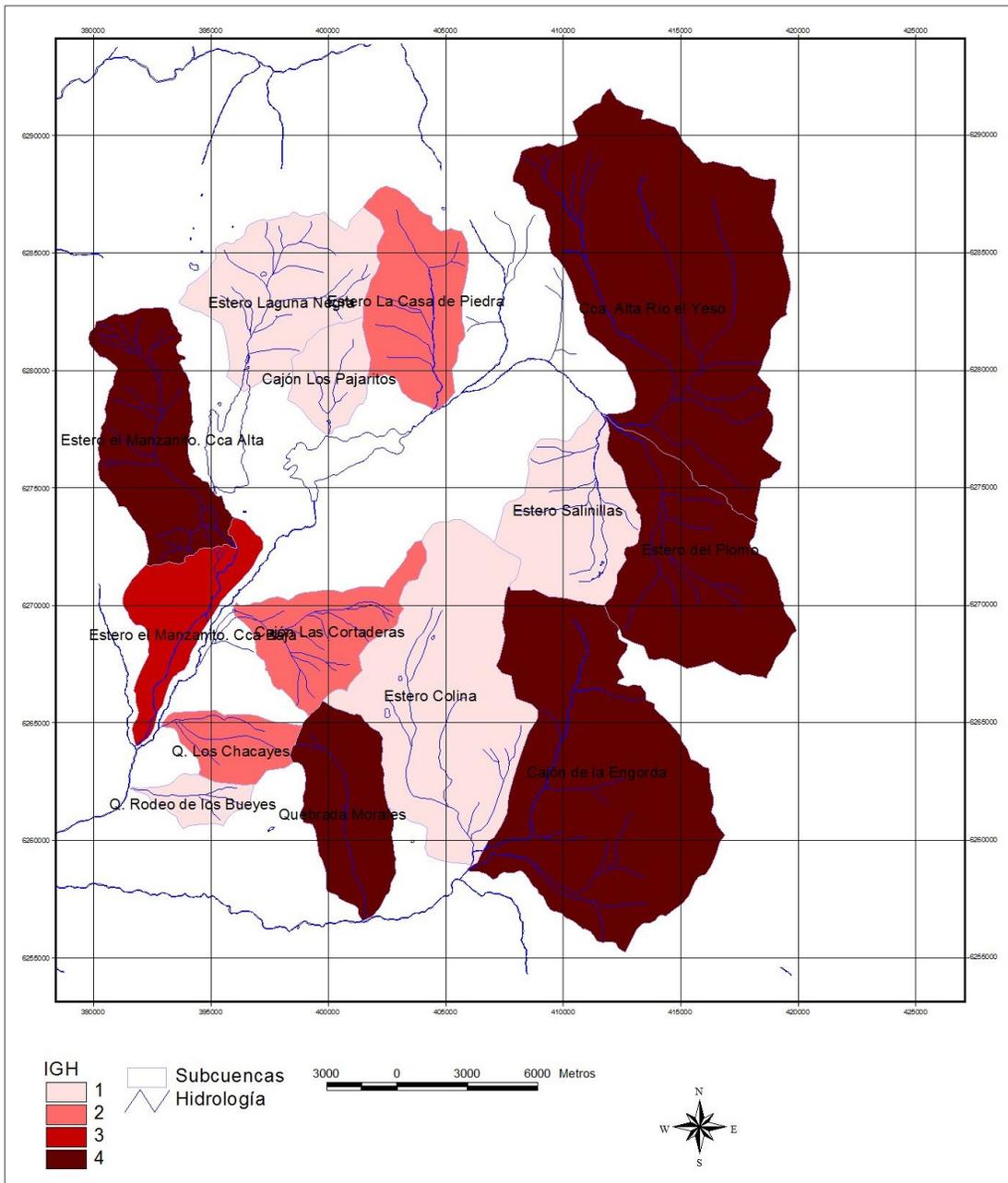


Figura N°21. Vulnerabilidad de subcuencas según superficie ganadera y de humedales presente. Se descarta la subcuenca de la quebrada Morales por ser un área protegida (SNASPE).

### 6.3 Índice de Artificialización (IA).

El índice de artificialización de las subcuencas da cuenta del grado de intervención antrópica de cada subcuenca y de la accesibilidad que le otorgan los caminos. A mayor artificialización mayor probabilidad de alteración de los humedales.

Para la obtención del índice de artificialización se utilizaron los factores correspondientes a la superficies intervenidas por las obras y actividades mineras, el número de obras o actividades mineras por subcuenca y la longitud de caminos existentes en cada una de ellas, con todo se obtuvo la clasificación de cada una de ellas, la cual se presenta en la Figura N° 22.

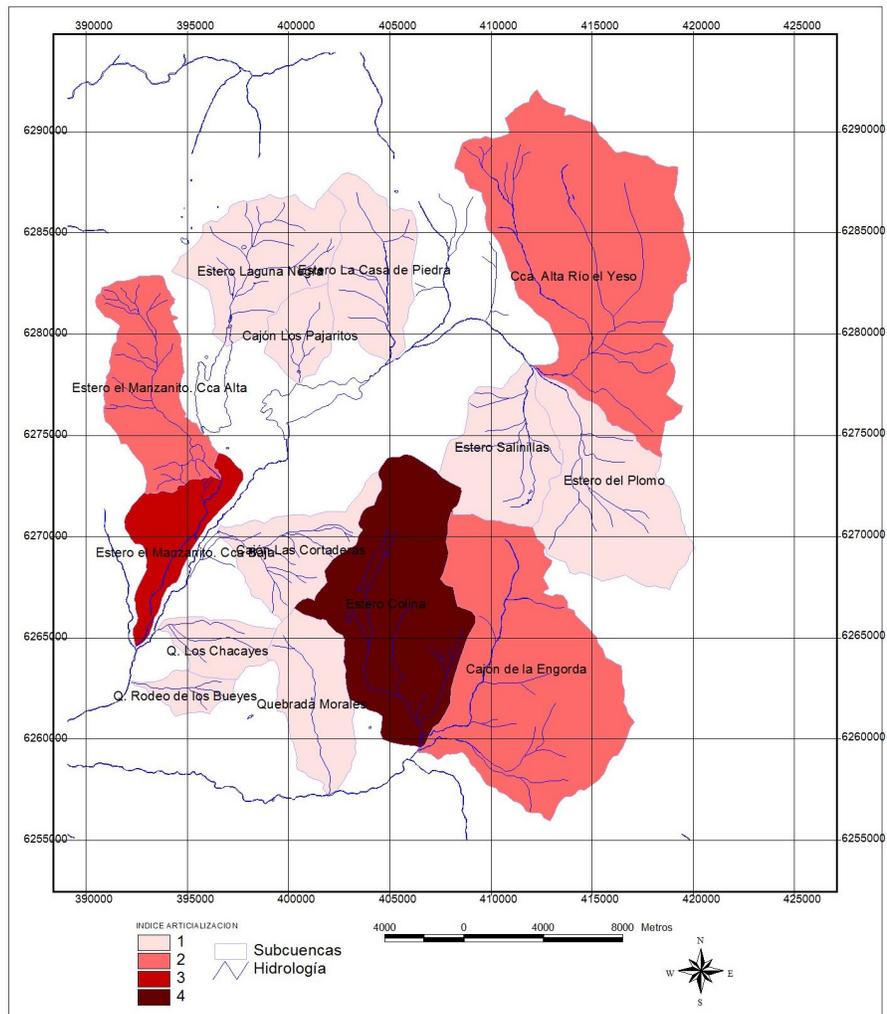


Figura N° 22. Índice de Artificialización de subcuencas.

## 6.4 IPG resultante.

Determinados los indicadores anteriores, los resultados se relacionaron de acuerdo a los siguientes modelos matriciales:

### Relación entre el Índice Hídrico Topográfico y el Índice Ganadero – Humedal (IHT-IGH)

		IHT			
		1	2	3	4
IGH	1	1	1	2	2
	2	1	2	2	3
	3	2	2	3	4
	4	3	3	4	4

### Relación entre IHT-IGH y el Índice de Artificialización (IA), IPG.

		IA			
		1	2	3	4
IGH-	IHT	1	1	1	2
	IHT	2	2	2	3
		3	2	3	4
		4	2	3	4

El resultado correspondiente al Índice de Priorización de Gestión (IPG) de subcuencas se visualiza en la Figura N°23.

Los resultados se encuentran en relación directa con las zonas de mayor intervención, como es el estero Colina donde se encuentran varias obras de Alto Maipo y buena accesibilidad, al igual que la zona del estero Manzanito.

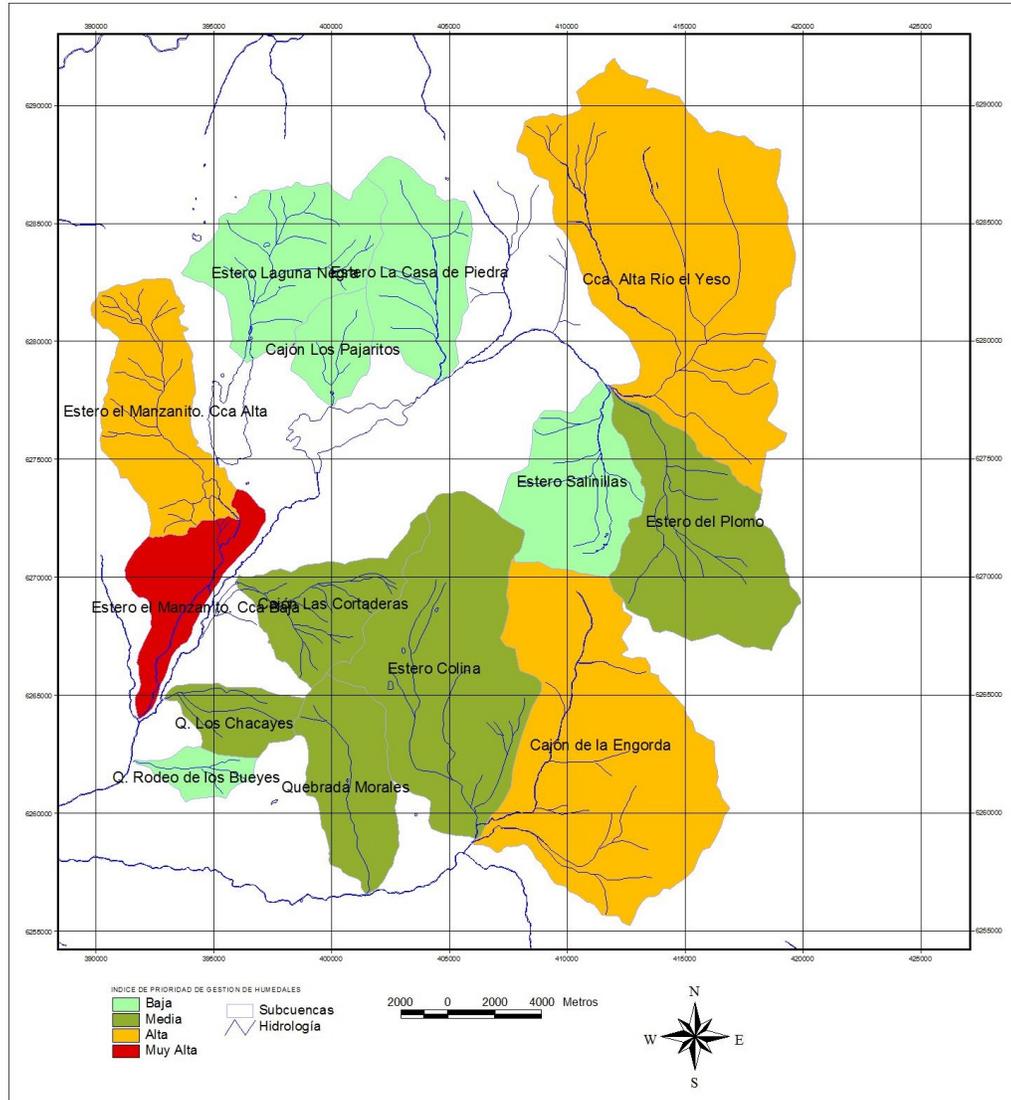


Figura N° 23. Índice de Prioridad de Gestión de Subcuencas.

De acuerdo al IPG la subcuenca baja del estero el Manzanito es la de mayor prioridad de gestión de los humedales, siguiendo en prioridad las subcuencas del cajón la engorda, estero Manzanito parte alta y la cuenca alta del río el Yeso. Todas éstas cuencas se caracterizan por un grado de artificialización alto y por encontrarse en ellas las principales rutas de la ganadería de trashumancia, además de altas pendientes.

## 7. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE HUMEDALES

La gestión y evaluación de los humedales implica el análisis conocer la tendencia de ellos en el tiempo en relación con las variables ambientales críticas que permiten sostener la condición de ellos.

El análisis multitemporal de la evolución de los humedales, en éste caso de las vegas del área de estudio, es un tema crítico para entender la condición de dichos humedales en el pasado y la evolución futura, especialmente en el contexto de cambio climático global que estamos experimentando, situación que queda relativamente clara a partir de la constatación de la precipitación y la temperatura que se describe en el punto 4.1.1.1, como también la propia artificialización y utilización antrópica de los ecosistemas involucrados.

Los datos obtenidos mediante sensores remotos, en particular, las imágenes de satélite, han sido propuestos como la mejor alternativa para evaluar variables estructurales y ecofisiológicas a escala local y regional. Varios estudios (Bannari et al, Baret y Guyot)<sup>5</sup> han mostrado relaciones consistentes entre indicadores espectrales como el NDVI, SAVI o NDWI y la concentración de clorofila o contenido de agua de la vegetación, factores relacionados directamente con la condición de la vegetación y por consiguiente con la producción de ésta.

La condición, en el caso de los humedales y praderas está dada principalmente por la presencia de especies deseables, acrecentes e invasoras, la abundancia, la densidad y la importancia relativa de cada uno de estos grupos, se considera como características, e indicadores de la condición.

---

<sup>5</sup> Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., and Huete, A. 1995. A review of vegetation indices. Remote Sensing Reviews. Baret, F. y Guyot, G. 1991. Potentials and limits of vegetation índices for LAI and APAR assessment. Remote Sensing of Eviroment. 35: 161 – 173.

Los sensores satelitales como TM y ETM+, OLI del programa LANDSAT, entre otros, proporcionan la capacidad de analizar estas variables a largo plazo, lo que constituye una herramienta esencial para el estudio de la evolución de los humedales.

En el presente estudio, siguiendo metodologías ya realizadas en otros monitoreos de humedales (Castro y Altamirano, 2013), se analiza para el área de estudio los datos satelitales correspondientes a una serie de tiempo comprendida entre el año 2000 y 2017, teniendo presente que dichos datos corresponden a los meses de enero a marzo, concordantes con los meses de mayor crecimiento de las vegas en los sectores andinos de Santiago (Santiago Andino, MMA, 2011)

## 7.1 Adquisición de Datos Satelitales

La adquisición de la serie de datos satelitales se realizó siguiendo los siguientes criterios:

- a) Datos en lo posible provenientes de un mismo programa satelital, cuyos sensores permitan la comparación radiométrica y espectral de sus datos entre los años definidos para la serie.
- b) Disponibilidad de datos multiespectrales en las bandas del infrarrojo, cercano, rojo, infrarrojo medio y termal.
- c) Datos libres de nubes especialmente en las zonas con presencia de humedales.
- d) Datos con metadata conocida, que permita la conversión a valores de reflectividad.

Con los criterios anteriores se procedió a analizar los datos del programa ASTER, SENTINEL y LANDSAT, lo que se realizó en las siguientes fuentes:

### a) Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)- GLOVIS

El USGS dispone una bigdata que comprende distintos programas satelitales, entre ellos ASTER, SENTINEL 2 y OLI entre otros, para la búsqueda y adquisición de una

plataforma interactiva denominada GLOVIS, dicha interface fue utilizada para analizar la data disponible de ASTER (Figura N° 24).

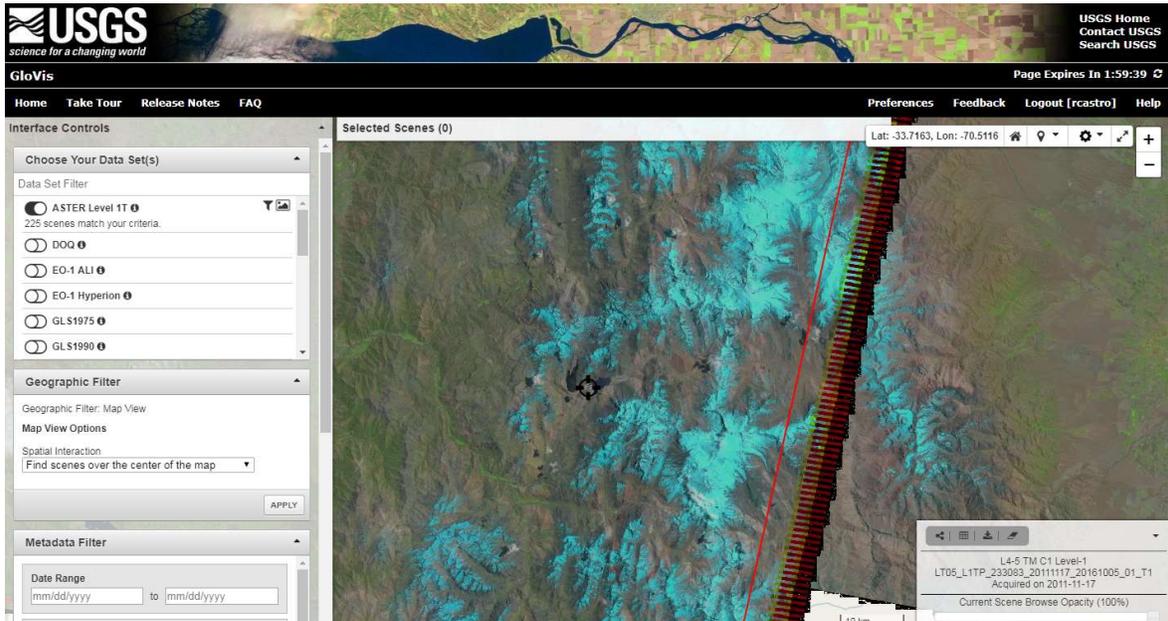


Figura N° 24. GLOVIS Interface de datos satelitales del USGS.

Tal como se indica en la figura para el periodo de trabajo la bigdata comprende 225 escenas disponibles, de las cuales 18 escenas cumplían con los criterios de selección, las que a su vez correspondían a sectores distintos del área de estudio y de distintas fechas, no completando la serie de años determinada en forma continua, en la Figura N° 25 se muestra un ejemplo.

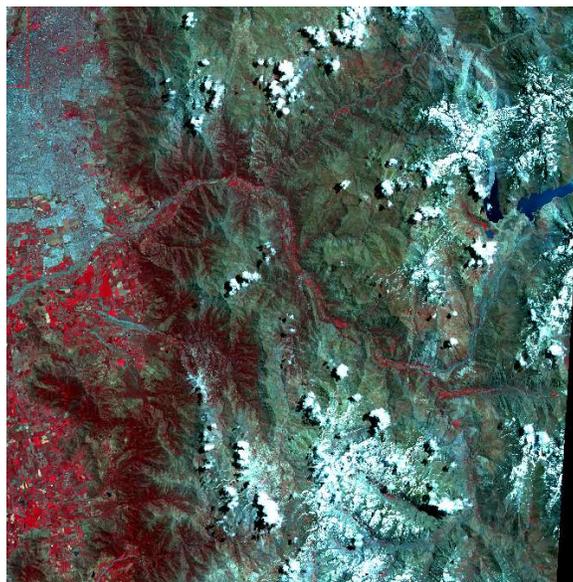


Figura N° 25. Imagen ASTER, parte del área de estudio (13-01-2001). En azul embalse el Yeso.

## b) Land Viewer

Interface que permite bajar las imágenes disponibles de distintas fuentes (USGS, SENTINEL 2, MODIS), la bigdata es visualizada en tiempo real permitiendo determinar directamente los periodos de búsqueda y definir los porcentajes de nubes, ángulos acimutales, calidad radiométrica, cubrimiento del área de estudio y bajar las bandas y la metadata asociada (Figura N° 26). Lo anterior permitió analizar la data disponible de Landsat 4 (TM), Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM) y Landsat 8 (OLI), más la data de SELTINEL2.

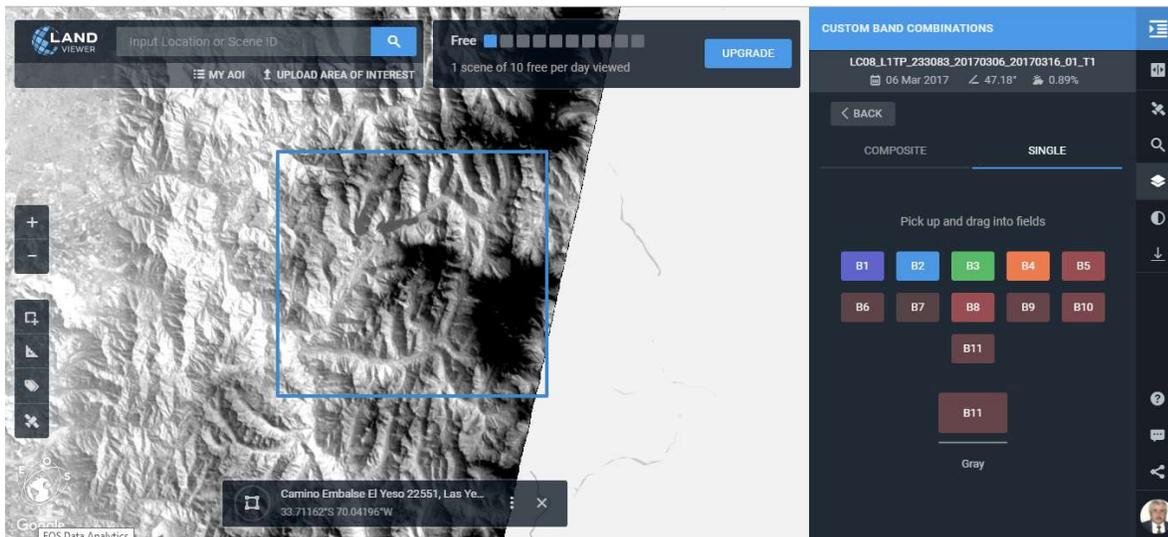


Figura N° 26. Interface Land Viewer, imagen termal del año 2017 del área de estudio.

## SENTINEL 2.

Con la interface Land Viewer se analizaron los datos disponibles desde el año 2005 hasta la fecha de SENTINEL 2. Estos datos cubren el área de estudio con imágenes de distintas fechas en cada año, en el periodo requerido (verano), lo que obliga a confeccionar mosaicos, una vez que se convierten los Niveles Digitales a Reflectividad.

Los resultados permiten cubrir el área de estudio, especialmente los humedales con datos libres de nubes para todos los años, pero al mismo tiempo, al no contar con

datos del año 2000 al 2005, la comparación radiométrica con otros datos introduce errores en el análisis multitemporal, motivo por lo cual se obtuvieron las imágenes del año 2017 para utilizarlas solamente en la delimitación y ajuste de los polígonos de los humedales, tal como se indicó en la Figura N°18 del punto 5.

### Datos LANDSAT

Los datos LANDSAT fueron analizados para las imágenes disponibles, aplicando los criterios definidos, seleccionándose una imagen por año, correspondiente a los meses estivales desde el año 2000 al 2017, exceptuando el año 2012 ya que en dichos meses los datos disponibles no cumplían con los requerimientos.

Así la serie de tiempo quedó constituida por 17 imágenes del programa LANDSAT, las cuales fueron adquiridas con la totalidad de sus bandas ópticas y termales y el correspondiente archivo de metadato. Las imágenes seleccionadas fueron las siguientes (Tabla N°9).

Tabla N°9. Sensor y fecha de la imagen

IMAGEN	FECHA
L72000	31/03/2000
L52001	10/03/2001
L72002	21/03/2002
L72003	16/03/2003
L52004	03/03/2004
L52005	05/03/2005
L52006	08/03/2006
L52007	11/03/2007
L52008	13/03/2008
L52009	09/03/2009
L52010	19/03/2010
L52011	22/03/2011
L82013	12/04/2013
L82014	23/03/2014
L82015	01/03/2015
L82016	03/03/2016
L82017	06/03/2017

En general se obtuvieron 9 imágenes del Landsat 5, 3 del Landsat 7 y 5 del Landsat 8. A modo de ejemplo, se presentan los datos correspondientes a L82017:

-  LC82330832017065LGN01\_B1.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B2.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B3.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B4.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B5.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B6.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B7.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B8.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B9.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B10.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_B11.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_BQA.TIF
-  LC82330832017065LGN01\_MTL.txt

Bandas que tienen la siguientes características (Tabla N°10).

Tabla N° 10. Bandas sensor OLI y TIRS (LANDSAT 8)

Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
Banda5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
*Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

(USGS. 2013)

Para efectos del presente estudio se utilizaron las bandas del rojo, NIR, SWIR1 y banda 11 del infrarrojo térmico (Figura N° 27).

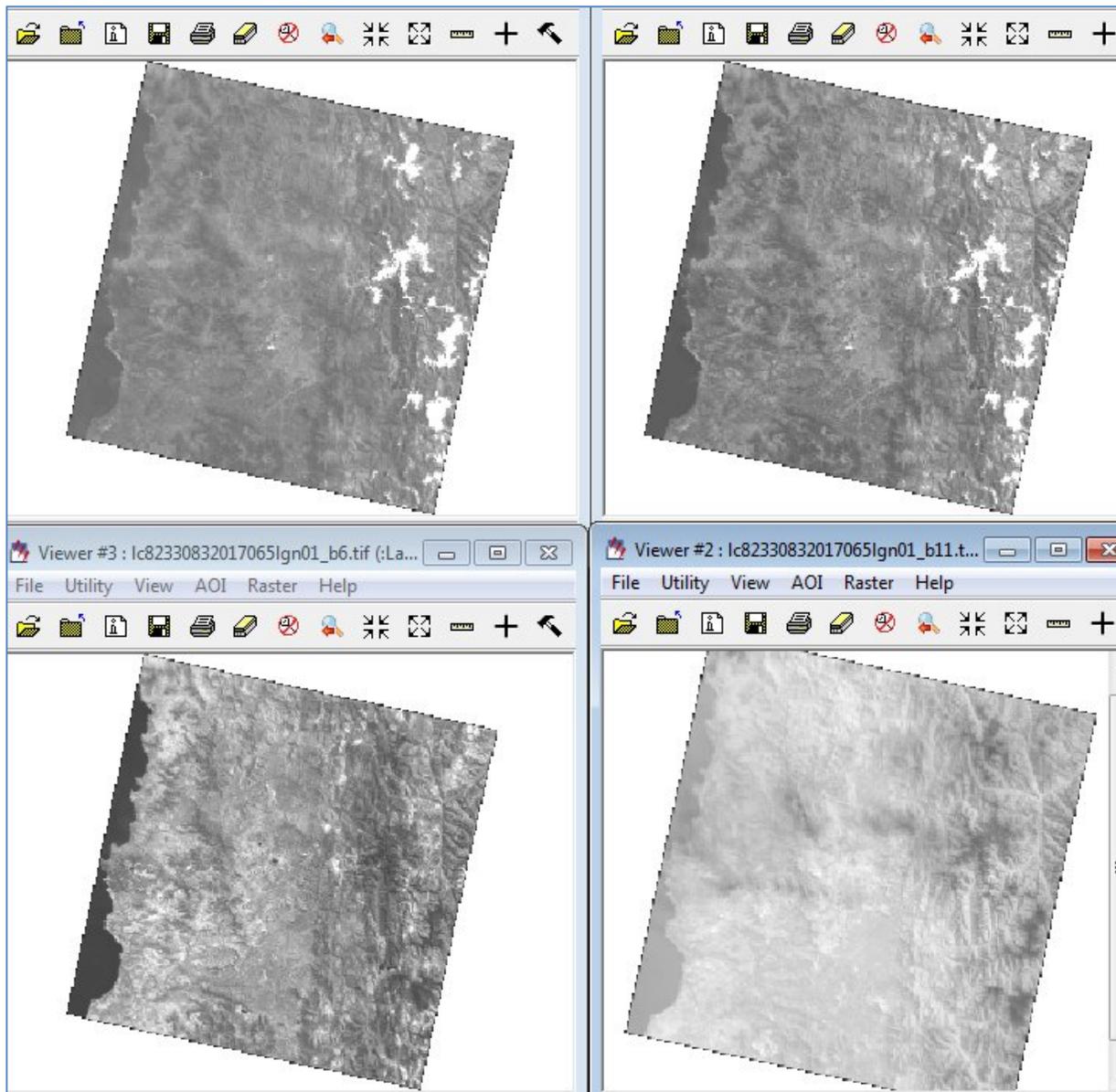


Figura N° 27. Imágenes correspondientes a las bandas del rojo (superior derecha), NIR (superior izquierda), SWIR1 (inferior derecho) y termal (inferior izquierdo).

## 7.2 Procesamiento de Datos Satelitales

Los datos obtenidos corresponden a Niveles Digitales de fechas similares, pero de distintos años, de los tres sensores indicados anteriormente del programa LANDSAT, por ello, el primer paso de preprocesamiento consistió en homologar el conjunto de

datos de la serie, llevándolos a reflectividad y a temperatura del suelo, anulando en el primer caso, el efecto de la atmosfera.

Para lo anterior se utilizó la programación de los algoritmos de conversión disponibles el software QGIS, cuyos conceptos centrales son los siguientes:

### **Radiancia en el sensor.**

Radiancia es el “Flujo de energía (principalmente energía irradiante o incidente) por ángulo sólido que abandona una unidad de área de una superficie en una dirección dada”, “Radiancia es lo que mide el sensor y depende en cierta medida de la reflectancia” (NASA, 2011, p. 47). Imágenes como las de Landsat o Sentinel-2 en el archivo de los metadatos contienen la información requerida para la reflectancia. Las imágenes de Landsat son provistas en radiancia, escaladas previamente al resultado. Para imágenes Landsat, la Radiancia espectral en el sensor ( $L\lambda$ , medida en [vatios/(metro cuadrado \* ster \*  $\mu m$ ))] está dada por ([https://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)):

$$L\lambda = ML * Qcal + AL$$

Donde:

$ML$  = Factor multiplicativo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de banda)

$AL$  = Factor aditivo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de banda)

$Qcal$  = Valores de pixel discretizados y calibrados del producto estándar (valores digitales DN) Imágenes Sentinel-2 (Level-1C) se proveen directamente en Reflectancia en el Techo de la Atmósfera (TOA), escaladas previamente al resultado (ESA, 2015).

### **Reflectancia en el Techo de la Atmósfera (TOA)**

Es posible convertir imágenes con valores de radiancia a valores de Reflectancia en el Techo de la Atmósfera (TOA), la cual combina la reflectancia de la superficie y la reflectancia atmosférica, para reducir la variabilidad inter-imagen a través de una normalización de la irradiancia solar. Esta reflectancia TOA ( $\rho_{TOA}$ ), la cual es el ratio de la

energía reflejada con respecto al total de la energía incidente (NASA, 2011) es calculada como:

$$\rho_p = (\pi * L_\lambda * d^2) / (ESUN_\lambda * \cos\theta_s)$$

Donde:

$L_\lambda$  = Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite)

$d$  = Distancia Tierra-Sol en Unidades Astronómicas (la cual se encuentra en el archivo de metadatos de las imágenes Landsat 8, y un archivo de excel en [http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/excel\\_docs/d.xls](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/excel_docs/d.xls))

$ESUN_\lambda$  = Irradiancia Media Solar exo-atmosférica

$\theta_s$  = Angulo zenital solar en grados, el cual es equivalente a:  $\theta_s = 90^\circ - \theta_e$  donde  $\theta_e$  es la elevación solar.

Es importante notar que para las imágenes de Landsat 8 se proveen factores de reescalamiento para cada banda que permiten la conversión directa de valores digitales DN a Reflectancia TOA.

Las imágenes Sentinel-2 se distribuyen ya con valores de reflectancia TOA escalados, los cuales pueden ser convertidos a reflectancia TOA con un cálculo simple utilizando el Valor de Discretización provisto en los metadatos.

(ver [https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2\\_MSI\\_Product\\_Specification.pdf](https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_MSI_Product_Specification.pdf)).

### **Reflectancia de la Superficie**

Los efectos de la atmósfera (i.e. la perturbación en los valores de reflectancia que varía con la longitud de onda) debe ser considerada para medir la reflectancia en la superficie. La reflectancia de la superficie ( $\rho$ ), tal como lo describe Moran et al. (1992), es:

$$\rho = [\pi * (L_\lambda - L_p) * d^2] / [T_v * ((ESUN_\lambda * \cos\theta_s * T_z) + E_{down})]$$

donde:

$L_p$  es el efecto bruma, en inglés path radiance

$T_v$  es la transmitancia de la atmósfera en la dirección de visión

$T_z$  es la transmitancia atmosférica en la dirección de iluminación

$E_{down}$  es la irradiancia difusa descendiente

Por lo tanto, se requieren varias medidas atmosféricas para calcular  $\rho$  (correcciones basadas en medidas físicas). Alternativamente, es posible utilizar técnicas basadas en imagen para el cálculo de esos parámetros sin la necesidad de medidas in-situ durante la adquisición de la imagen.

Vale la pena mencionar que el Producto de Alto Nivel Landsat Reflectancia de Superficie para Landsat 8 está disponible (para más información leer [http://landsat.usgs.gov/CDR\\_LSR.php](http://landsat.usgs.gov/CDR_LSR.php)).

### **Corrección DOS1**

El Dark Object Subtraction (DOS) o substracción de objeto oscuro es una familia de correcciones atmosféricas basadas en imagen. Chávez (1996) explica que “la suposición básica es que en la imagen algunos píxeles están completamente en sombra, y sus radiancias recibidas en el satélite se deben a la dispersión atmosférica (efecto bruma). Esta suposición es combinada con el hecho de que muy pocos elementos en la superficie de la Tierra tienen un color negro absoluto, por lo tanto, una reflectancia asumida de uno por ciento es mejor que un cero por ciento”.

Es importante mencionar que la exactitud de las técnicas basadas en imagen es generalmente menor que las correcciones basadas en medidas físicas, pero son muy útiles cuando no están disponibles mediciones atmosféricas que puedan mejorar la estimación de la reflectancia de la superficie terrestre. El efecto bruma es dado por (Sobrino, et al., 2004):

$$L_p = L_{min} - L_{DO1} \%$$

Donde:

$L_{min}$  = “radiancia que corresponde a un valor digital para el cual la suma de todos los píxeles con valores digitales menores o iguales a este valor es igual al 0.01 % de todos los píxeles de la imagen considerada” (Sobrino, et al., 2004, p. 437), por lo tanto, la radiancia obtenida con ese valor de conteo digital ( $DN_{min}$ )  $L_{DO1} \% =$  radiancia del objeto oscuro, con un valor asumido de reflectancia de 0.01. En particular para imágenes Landsat:  $L_{min} = ML * DN_{min} + AL$

Las imágenes Sentinel-2 son convertidas a radiancia antes del cálculo DOS1. La Radiancia de Objeto Oscuro es dada por (Sobrino, et al., 2004):

$$L_{DO1} \% = 0,01 * [(ESUN\lambda * \cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v / (\pi * d^2)$$

Por lo tanto, el efecto bruma es:

$$L_p = ML * DN_{min} + AL - 0,01 * [(ESUN\lambda * \cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v / (\pi * d^2)$$

Existen varias técnicas DOS (ej. DOS1, DOS2, DOS3, DOS4), basadas en diferentes asunciones acerca de  $T_v$ ,  $T_z$ , y  $E_{down}$ . La técnica más simple es la DOS1, donde se hacen las siguientes suposiciones (Moran et al., 1992):

$$T_v = 1 \quad T_z = 1 \quad E_{down} = 0$$

Por lo tanto, el efecto bruma es:

$$L_p = ML * DN_{min} + AL - 0,01 * ESUN\lambda * \cos\theta_s / (\pi * d^2)$$

Y la reflectancia de la superficie terrestre resultante está dada por:

$$\rho = [\pi * (L_\lambda - L_p) * d^2] / (ESUN\lambda * \cos\theta_s)$$

Los valores ESUN [ $W / (m^2 * \mu m)$ ] para sensores Landsat se encuentran en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11. Valores ESUN para bandas Landsat

Ban- da	Landsat 1 MSS	Landsat 2 MSS	Landsat 3 MSS	Landsat 4 TM	Landsat 5 TM*	Landsat 7 ETM+**
1				1983	1983	1970
2				1795	1796	1842
3				1539	1536	1547
4	1823	1829	1839	1028	1031	1044
5	1559	1539	1555	219.8	220	225.7
6	1276	1268	1291			
7	880.1	886.6	887.9	83.49	83.44	82.06
8						1369

Para Landsat 8, *ESUN* puede ser calculado como <http://grass.osgeo.org/grass65/manuals/i.landsat.toar.html>:

$$ESUN = (\pi * d_2) * RADIANCE\_MAXIMUM / REFLECTANCE\_MAXIMUM$$

donde *RADIANCE\_MAXIMUM* y *REFLECTANCE\_MAXIMUM* son provistas en los metadatos de la imagen.

Los valores de *ESUN* [ $W / (m^2 * \mu m)$ ] para el sensor Sentinel-2 (provistos en los metadatos de la imagen) se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N°12. Los valores de *ESUN* [ $W / (m^2 * \mu m)$ ] para el sensor Sentinel-2

Banda	Sentinel-2
1	1913.57
2	1941.63
3	1822.61
4	1512.79
5	1425.56
6	1288.32
7	1163.19
8	1036.39
8A	955.19
9	813.04
10	367.15
11	245.59
12	85.25

## Conversión a Temperatura de Brillo en el Satélite

Para las bandas termales, la conversión de valores digitales DN a Temperatura de Brillo en el satélite es dada por [https://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php):

$$T_B = K_2 / [(K_1 / L_\lambda) + 1]$$

Donde:

$K_1$  = constante de conversión térmica específica de la banda (en vatios /metro cuadrado \* ster \*  $\mu m$ ).

$K_2$  = Constante de conversión térmica específica de la banda (en grados kelvin).

$L_\lambda$  es la radiancia espectral en el sensor, medida en vatios/(metro cuadrado\*ster \*  $\mu m$ ).

Las constantes  $K_1$  y  $K_2$  para sensores Landsat son proporcionadas en la siguiente tabla:

Tabla N°13. Constantes de conversión térmica para Landsat

Constante	Landsat 4*	Landsat 5*	Landsat 7**
$K_1$	671.62	607.76	666.09
$K_2$	1284.30	1260.56	1282.71

Para Landsat 8, los valores de  $K_1$  y  $K_2$  son proporcionados en el archivo de metadatos de la imagen.

$K_1$  y  $K_2$  son calculadas como (Jimenez-Munoz & Sobrino, 2010):  $K_1 = c_1/\lambda$ ,  $K_2 = c_2/\lambda$  donde (Mohr, Newell, & Taylor, 2015):

$c_1$  = Primera constante de radiación =  $1,191 * 10^{-16} W m^2 sr^{-1}$

$c_2$  = segunda constante de radiación =  $1,4388 * 10^{-2} mK$

## Estimación de la Temperatura de Superficie del Suelo

Varios estudios han descrito la estimación de la Temperatura de Superficie del Suelo. Ésta puede ser calculada a partir de la Temperatura de Brillo en el Satélite  $T_B$  como (Weng, et al. 2004):

$$T = TB/[1 + (\lambda * TB/c2) * \ln(e)]$$

donde:

$\lambda$  = longitud de onda de la radiancia emitida

$c2 = \lambda * c/s = 1,4388 * 10^{-2} \text{ m K}$

$h$  = Constante de Planck's =  $6,626 * 10^{-34} \text{ J s}$

$s$  = constante de Boltzmann =  $1,38 * 10^{-23} \text{ J/K}$

$c$  = velocidad de la luz  $2,998 * 10^8 \text{ m/s}$

Los valores de  $\lambda$  para las bandas térmicas de los satélites Landsat y ASTER pueden ser calculadas a partir de las tablas [Satélite Landsat](#) (página 143) y [Satélite ASTER](#).

Varios estudios han utilizado el NDVI para la estimación de la emisividad de la superficie (Sobrino, et al., 2004); otros estudios han utilizado una clasificación de cobertura del suelo para la definición de la emisividad de cada clase (Weng, et al, 2004). Por ejemplo, los valores de emisividad ( $e$ ) de varios tipos de cobertura del suelo se proporcionan en la Tabla N° 14 (de Mallick, et al. 2012):

Tabla N°14. Valores de emisividad

Superficie de la tierra	Emisividad e
Suelo	0.928
Pasto	0.982
Asfalto	0.942
Concreto	0.937

Luego de convertir los valores de ND a valores de reflectividad y a temperatura del suelo, se procedió a crear las subescenas del área de estudio para todos los años de la serie en estudio (2000 a 2017), cuyos resultados, a modo de ejemplo, se muestran en las figuras N°28, 29 y 30

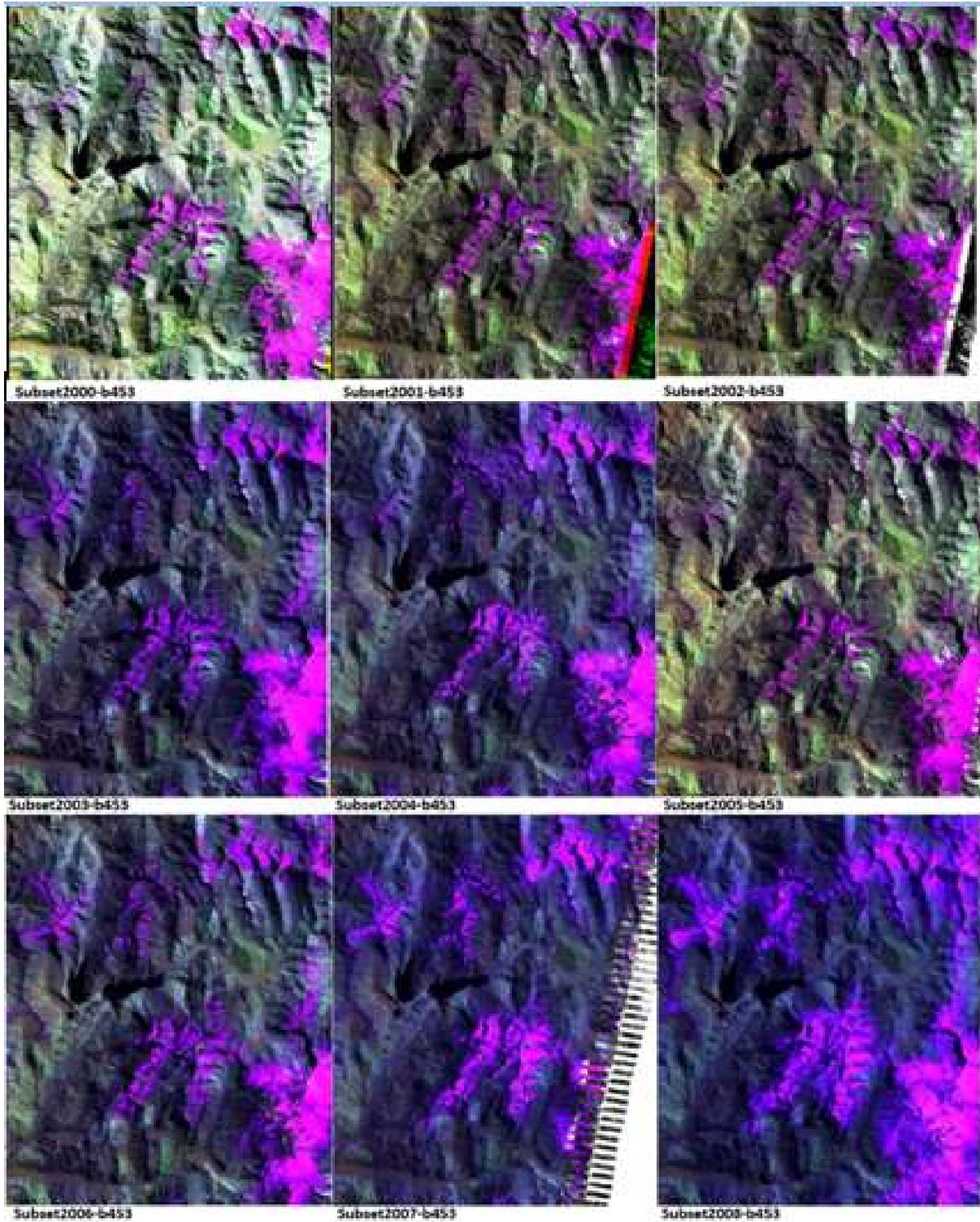


Figura N° 28. Subescenas del área de estudio. Serie temporal 2000 a 2008

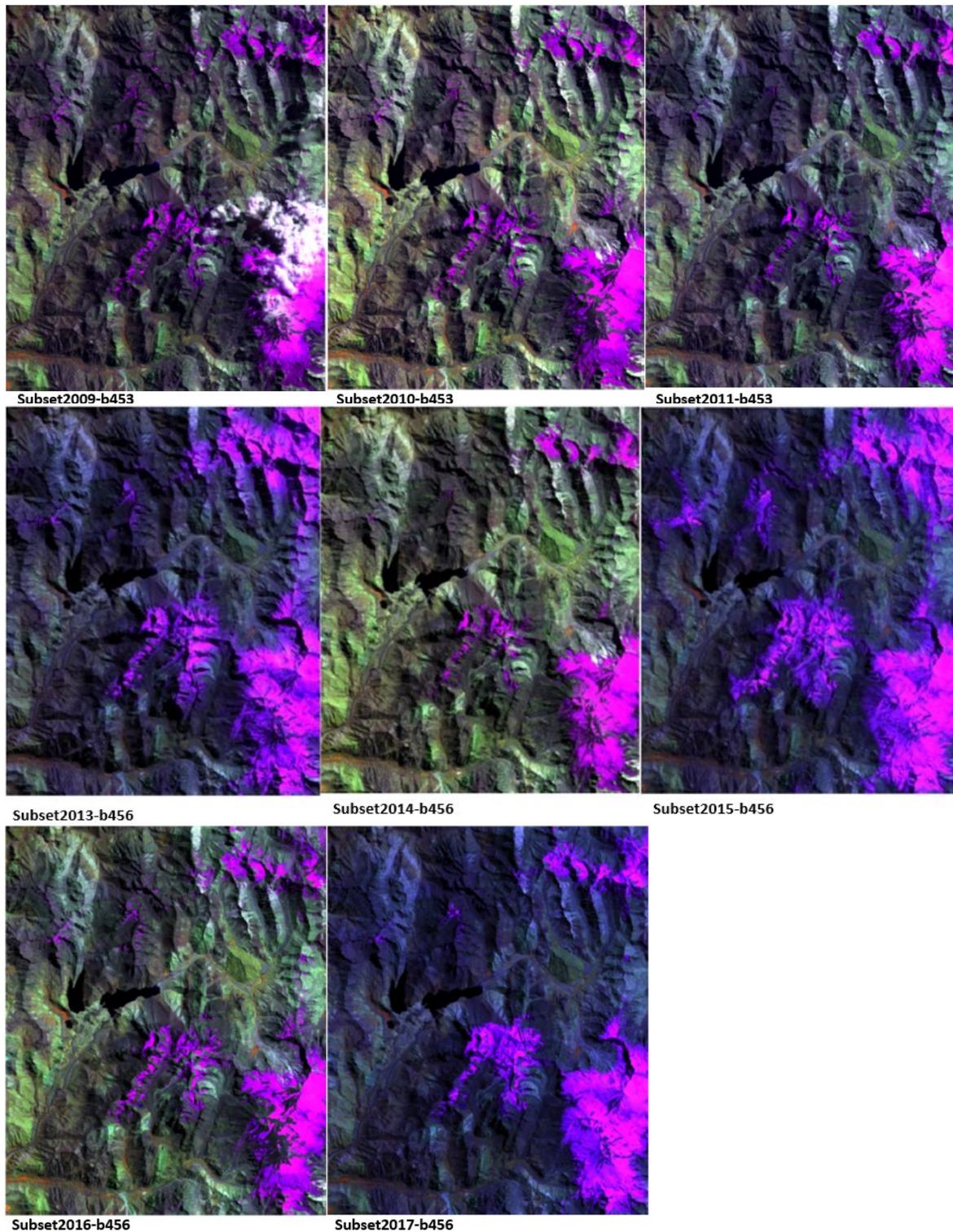


Figura N° 29. Subescenas del área de estudio. Serie temporal 2009 a 2017

**Imágenes termales:**

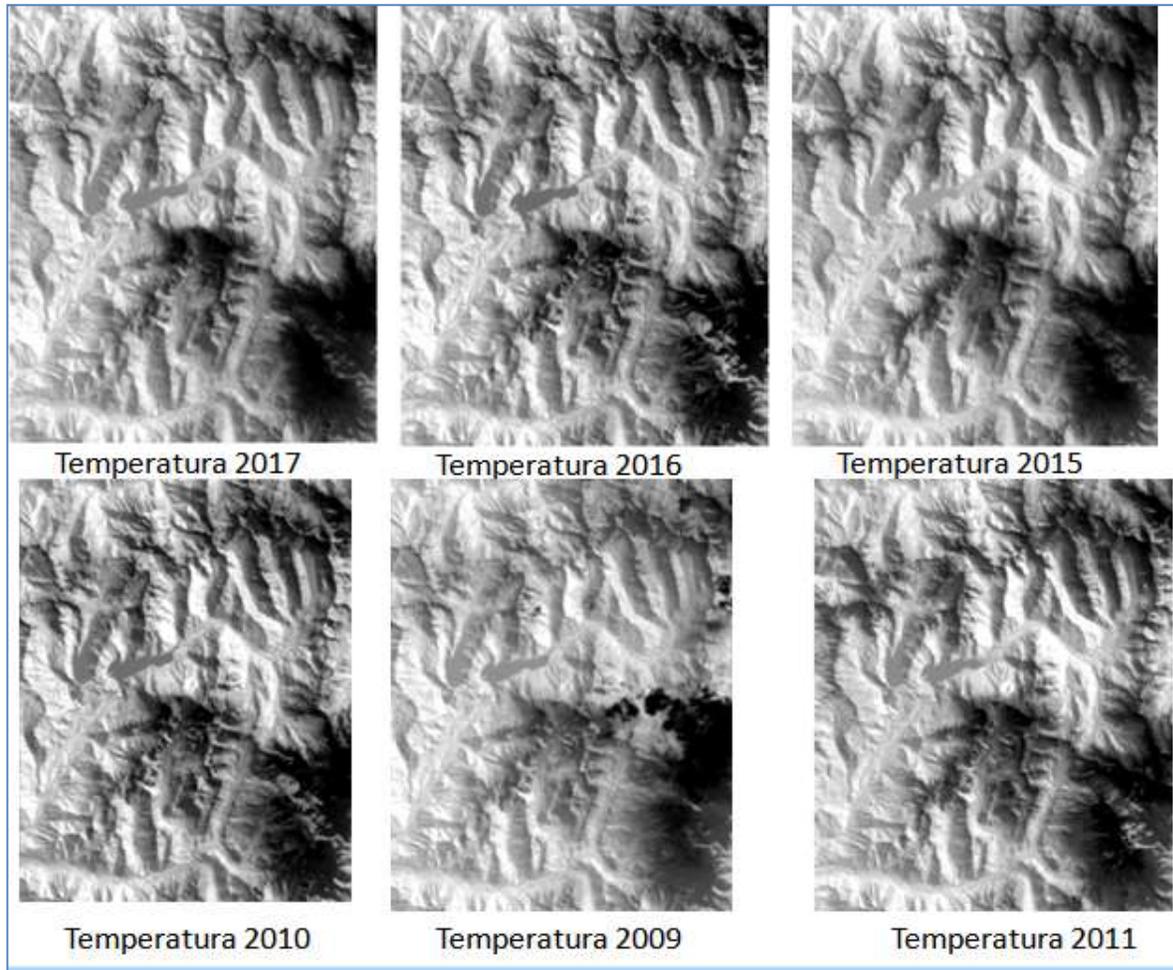


Figura N° 30. Subescenas del área de estudio. Temperatura en grados Celsius.

### 7.3 Tendencia del Estado de los Humedales

La vulnerabilidad de los humedales altoandinos se entiende como la susceptibilidad del humedal a ser alterado o dañado (por una amenaza interna o externa que produce impacto) perdiendo 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 se consideraron dos índices espectrales que se relacionan directamente con lo anterior: i) Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) que registra la actividad fotosintética de la vegetación, utilizando para ello la reflectividad de los componentes vegetativos del humedal en la regiones espectrales del infrarrojo cercano y rojo, zonas donde la vegetación sana tiene la máxima (debido a la turgencia celular) y mínima (alta presencia de clorofila) respuesta radiométrica respectivamente. ii) Índice Normalizado de Diferencia de Humedad (NDWI) que registra el potencial fotosintético y la humedad de la vegetación al mismo tiempo, en base a los datos reflectivos del infrarrojo cercano e infrarrojo medio.

En éste caso, se estudió el comportamiento de ambos índices, concluyéndose que el SAVI sobrestima la presencia vegetacional del humedal, saturando la superficie, lo que no sucede con el NDWI (Figura N° 31).

La zona corresponde al humedal del estero La Engorda, el SAVI muestra la vegetación en tono blanco, con zonas saturadas. NDWI muestra en tono blanco y grises claros la misma zona vegetacional, discriminando los distintos niveles del estado de la vegetación, según las características de humedad.

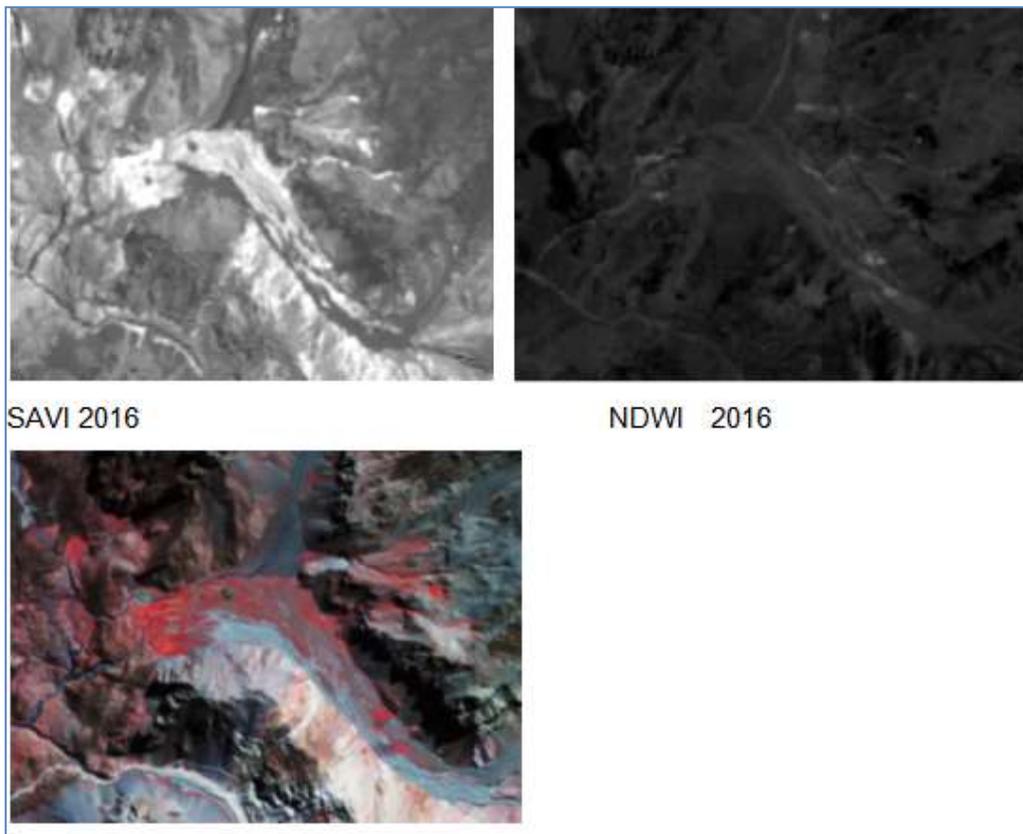


Figura N°31. SAVI y NDWI, muestra diferencias en registro de los humedales destacándose la saturación en el SAVI.

Lo anterior se puede comparar con las zonas de color rojo (vegetación) según sensor multiespectral de SENTINEL 2.

En concordancia con lo anterior, se calculó el NDWI para la serie temporal en estudio, el cual quedo definido de acuerdo a la expresión modificada (Castro, 1993), de la forma siguiente:

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

Donde:

$\rho_{IRC}$ : reflectividad Infrarrojo cercano

$\rho_{SWIR}$ : reflectividad infrarrojo medio

Los valores que se obtienen se encuentran en una escala de 0 a 200, donde el valor 100 es entre las zonas con vegetación y sin vegetación (menores a 100) o en el caso de humedales (vegas) vegetación con baja o escasa o nula agua superficial y la que se encuentra saturada de agua superficial.

El IHUMV utiliza las bandas del Infrarrojo cercano (IRC, 860nm) e infrarrojo medio (SWIR, 1240nm) el cual varía en función del contenido de agua de la planta. Escobedo (2009) observó que los valores bajos del IHUM (negativos) estaban asociados a la vegetación seca, mientras que los altos (positivos) a la vegetación fotosintéticamente activa, lo que hace del IHUM un buen indicador del estado de los humedales.

Las imágenes resultantes para la serie se presentan en las figuras N° 32, 33 y 34.

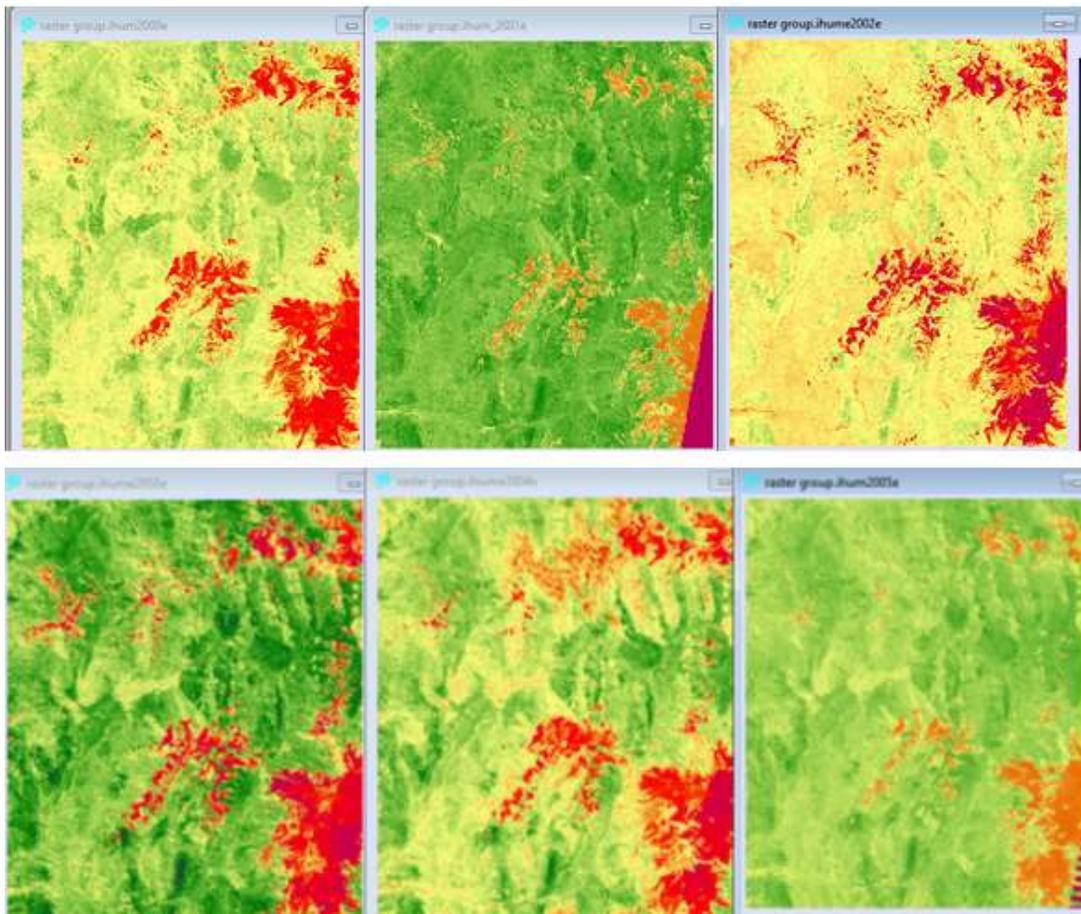


Figura N° 32. IHUM 2000 a 2005.

Análisis Multitemporal de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos de la Cuenca Alta del Río Maipo.

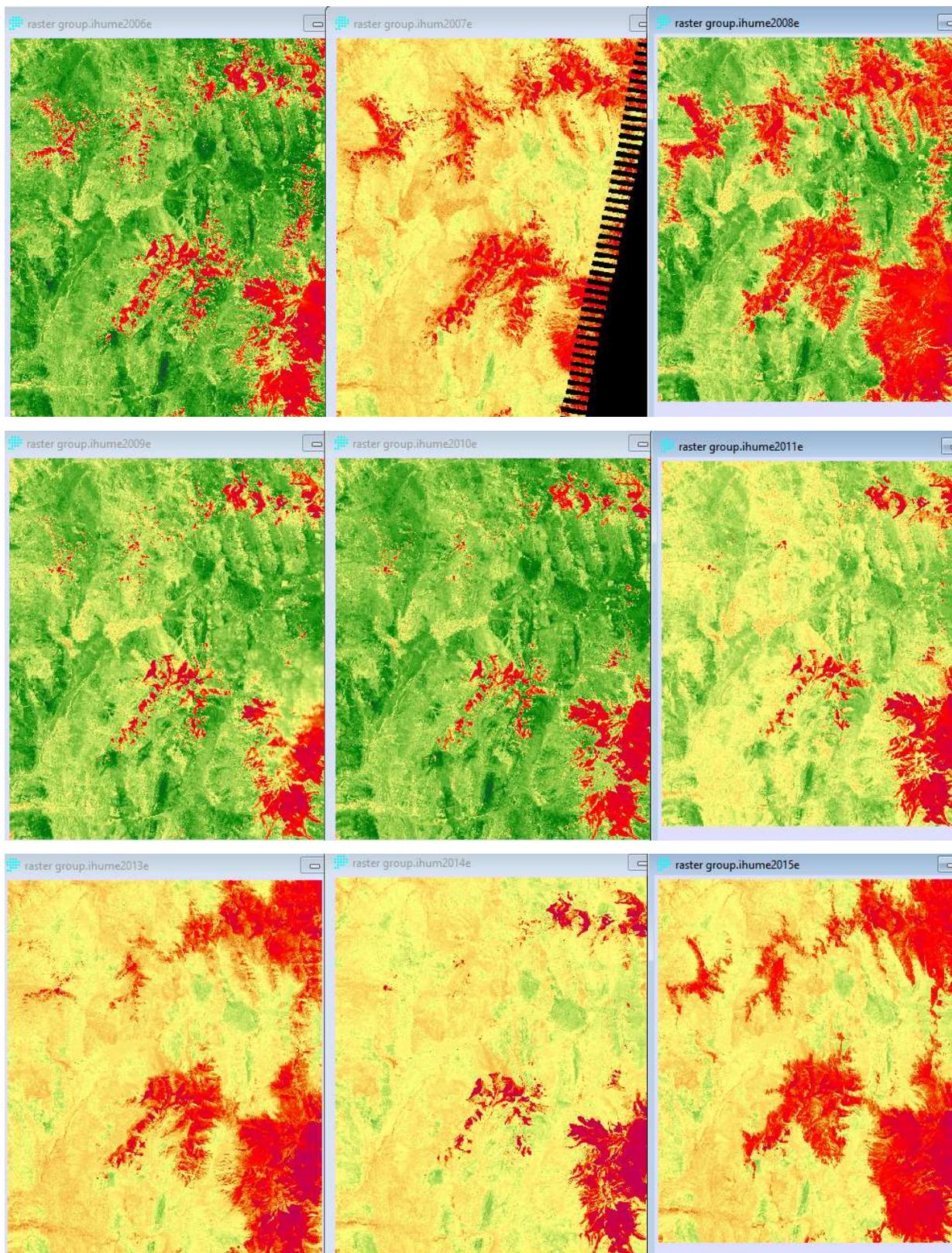


Figura N° 33. IHUM 2009 a 2015.



Figura N° 34. IHUM 2016 a 2017.

Los valores del índice se encuentran entre 0 y 200, correspondiendo a los valores menores a 100 las zonas con muy baja o nula vegetación.

### Tendencia multitemporal

En base a los IHUM obtenidos para cada año en el mes de marzo, con excepción del año 2013 cuyos datos son del 12 de abril, se procedió a calcular la tendencia multitemporal de la serie, mediante la tendencia relativa del IHUM, consistente en estimar respecto de del estado del año 2000 si los datos varían al mínimo a o al máximo, cálculo realizado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$TMR (IHUM) = \left( \frac{IHUM_{2000} - IHUM_{min}(2000a017)}{IHUM_{max}(2000a017) - IHUM_{min}(2000a017)} \right) * 100$$

Donde,

TMR (IHUM) es la tendencia multitemporal relativa del índice de humedad, expresado en porcentaje.

IHUM min (2000a017) es el valor mínimo en cada pixel entre el año 2000 y 2017. IHUM max (2000-2017) es el valor máximo en cada pixel entre el año 2000 y 2001

El resultado obtenido corresponde a la imagen de la Figura N° 35.:

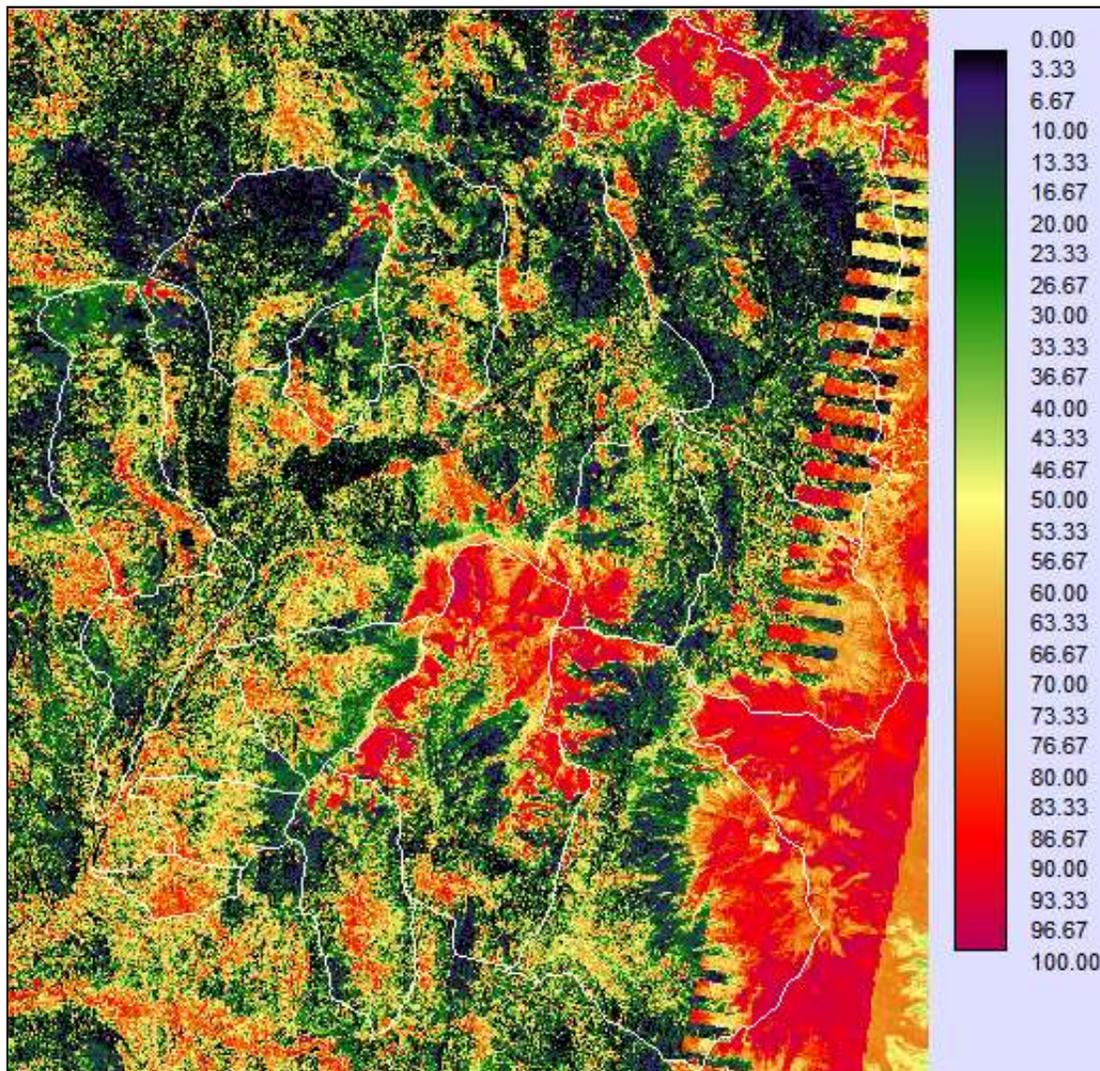


Figura N° 35. TMR (IHUM) entre los años 2000 y 2017.

A partir del resultado anterior se procedió, mediante herramientas SIG, a extraer los promedios de TMR para los 188 humedales identificados en el área de estudio, resultado que se presenta a modo referencial en la Figura N°36.

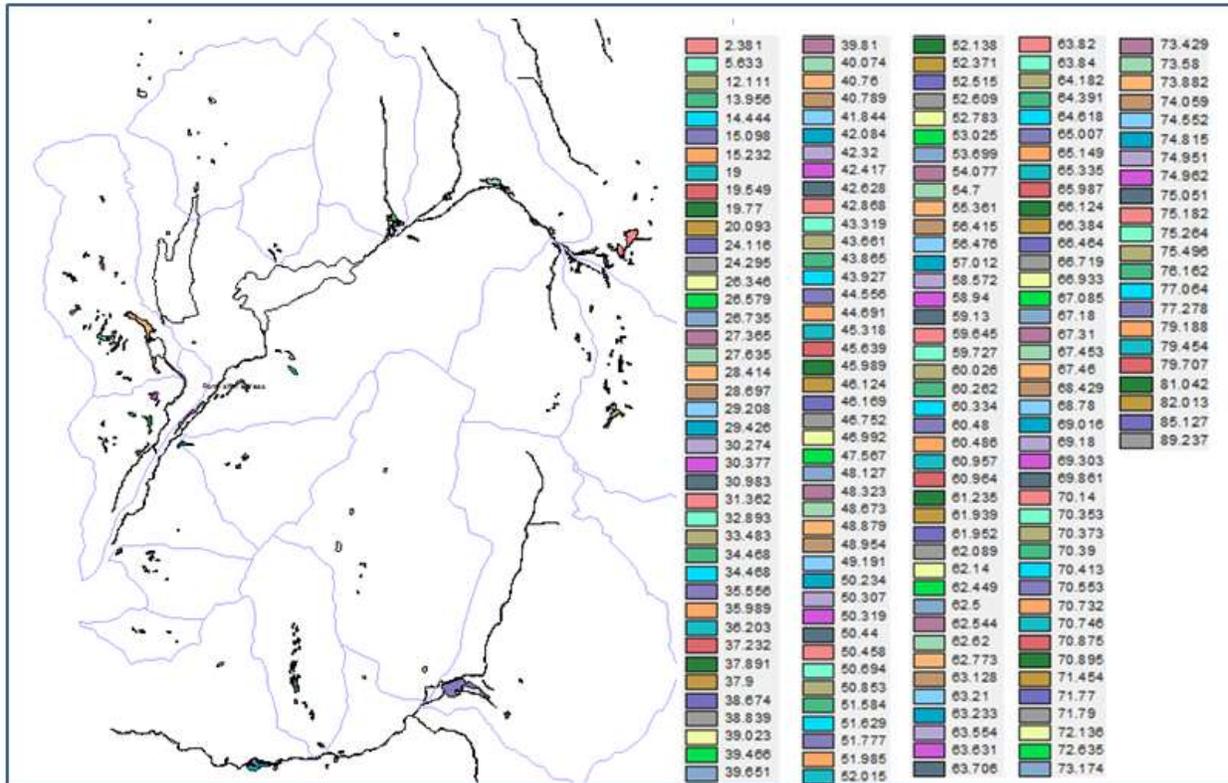


Figura N° 36. Humedales con valor promedio de tendencia multitemporal relativa (TMR) del índice de humedad.

## 8. HUMEDALES PRIORITARIOS PARA GESTIÓN Y SEGUIMIENTO.

Obtenida la tendencia de los humedales se procedió a clasificarlos en cuatro clases, de acuerdo a la siguiente tabla (Tabla N° 15).

Tabla N°15. Clases de humedales según Tendencia Multitemporal Relativa (TMR)

	<b>Clase</b>	<b>Valor de tendencia (%)</b>
1)	Disminución alta	2,4 a 24
2)	Disminución media-baja	24 a 50
3)	Aumento medio-bajo	50 a 67,5
4)	Aumento alto	67,5 a 89,3

Las clases se determinaron mediante intervalos iguales, definidos entre el valor mínimo de TMR y máximo obtenido, en números con redondeo a un decimal.

La clasificación entrega el total de humedales por clases y el tamaño promedio (ha) de los humedales (Tabla N°16).

Tabla N°16. Total de humedales por clases y superficie promedio.

	<b>Clase</b>	<b>Valor de tendencia (%)</b>	<b>Total de humedales</b>	<b>Sup prom (ha)</b>
1)	Disminución alta	2,4 a 24	11	0,6
2)	Disminución media-baja	24 a 50	60	2,7
3)	Aumento medio-bajo	50 a 67,5	73	2,4
4)	Aumento alto	67,5 a 89,3	44	3,7

Se desprende que los humedales de menor superficie tiene una tendencia a disminuir la condición, mientras que los humedales de mayor superficie tienden a una mayor estabilidad, pudiéndose sostener como hipótesis que los déficit hídricos afectan en forma más drástica a los humedales con superficies menores, mientras que los niveles hídricos en los humedales de mayor tamaño se han mantenido, lo que puede explicarse

porque éstos últimos se encuentran asociados a curso de agua mayores y por consiguiente tienen una mayor resiliencia.

Por otro lado, la tendencia de los humedales en el área de estudio, al igual que en otras zonas, se puede considerar como la vulnerabilidad de la vegetación de dichos humedales, toda vez que representa la resiliencia a los procesos naturales y antrópicos que han sucedido en el tiempo, así se tiene humedales con baja y alta vulnerabilidad.

Obtenido lo anterior, se procedió a espacializar los resultados y relacionarlos con la prioridad de gestión por cuencas, de lo que resulta la expresión cartográfica de la Figura N°38.

De la cartografía se puede indicar que la subcuenca de mayor prioridad correspondiente a la del estero El Manzanito parte baja, de los 14 humedales identificados, siete se encuentran en clases de tendencia a disminución, siendo uno de ellos de la clase de disminución alta (Figura N°37).

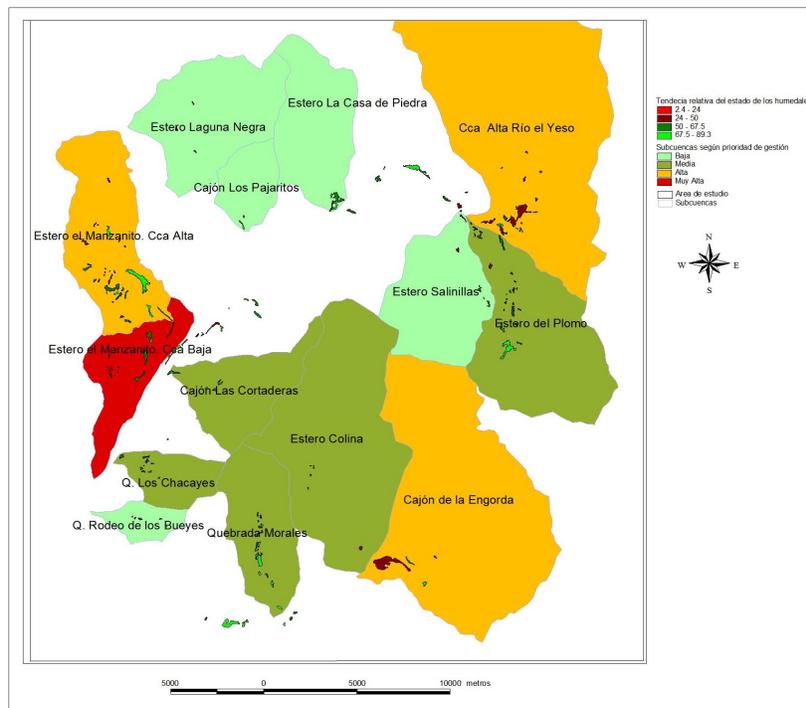


Figura N°37. Clasificación de humedales según tendencia, en relación con las subcuencas prioritarias.

Las siguientes cuencas prioritarias corresponden a la parte alta del río El Yeso y a la del Cajón de la Engorda, ambas con humedales con tendencia a la disminución del estado de vigor y humedad, tal como se muestra en la Figura N° 38.

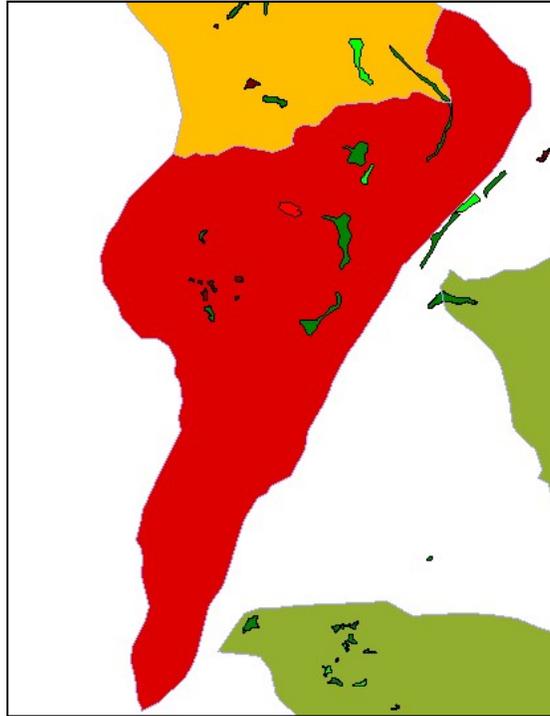


Figura N°38. Humedales de subcuenca baja del estero Manzanito. En rojo prioridad de la cuenca y humedales con TMR (IHUM) en clases de disminución.

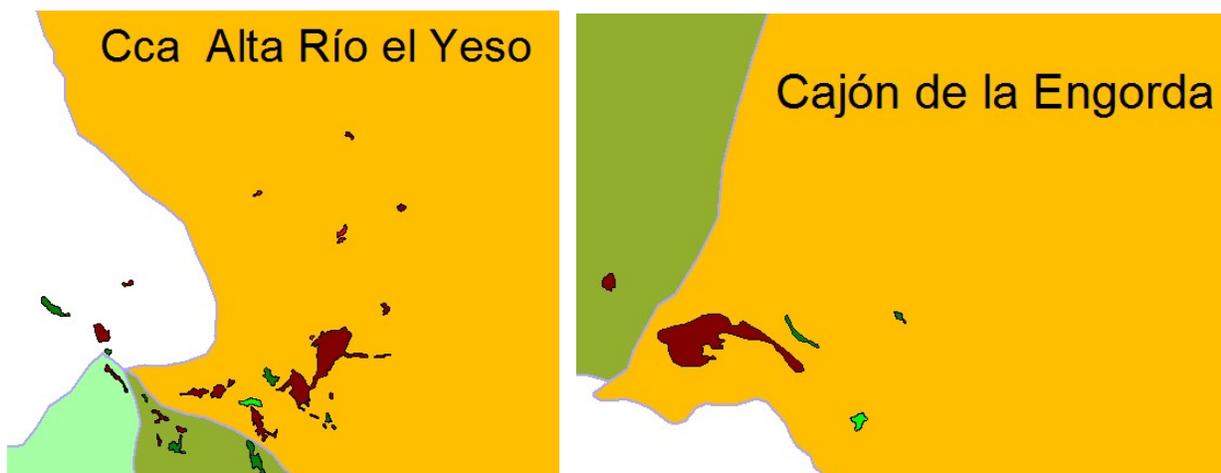


Figura N°39. Humedales según tendencia en subcuencas prioritarias

En la subcuenca alta del río el Yeso se identificaron 20 humedales, de los cuales cinco se encuentran en clases de tendencia negativa, siendo relevante la superficie de ellos que alcanza a 54,7 hectáreas. En el caso del Cajón La Engorda el principal humedal (de cuatro) en términos de superficie (58,6 hectáreas) se encuentra con tendencia a la disminución.

Finalmente, de los humedales identificados en la llanura aluvial del propio río Yeso se encuentran seis humedales en clases de disminución.

## 9. CARACTERIZACION VEGETACIONAL HUMEDALES SELECCIONADOS

Como resultado del desarrollo anterior se seleccionaron para su caracterización y seguimiento tres humedales, especialmente por la superficie y condición, dos de ellos corresponden a humedales con tendencia negativa de vigor y contenido de agua que corresponden al humedal La Engorda y al humedal el Plomo, más el humedal del sector Lo Encañada que muestra una tendencia ligera a aumento de vigor (Figura N° 40).

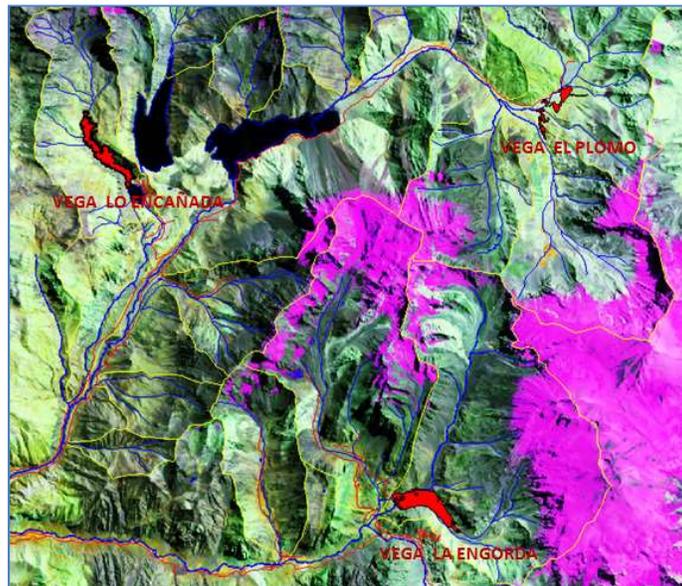


Figura N°40. Humedales seleccionados: Lo Encañada, El Plomo, La Engorda.

### 9.1 Levantamiento de Terreno

La caracterización de la vegetación en terreno se realizó entre los días 5 a 9 de noviembre, en condiciones climáticas inestables.

Para lo anterior se determinaron previamente las unidades a muestrear y se definió la metodología del levantamiento basada en la Cartografía de Ocupación de Tierras (COT) para lo cual se replantearon parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 \*10 m) y parcelas de 50 metros por 2 metros (100m<sup>2</sup>) siguiendo una transecta lineal en la cual cada 1 metro se registro la presencia de especies, piedras, musgos o suelo que fueran tocados por el diámetro de

una vara de un centímetro, a lo que se suma la identificación de las especies entorno de un metro a cada lado del eje (Figura N° 41)

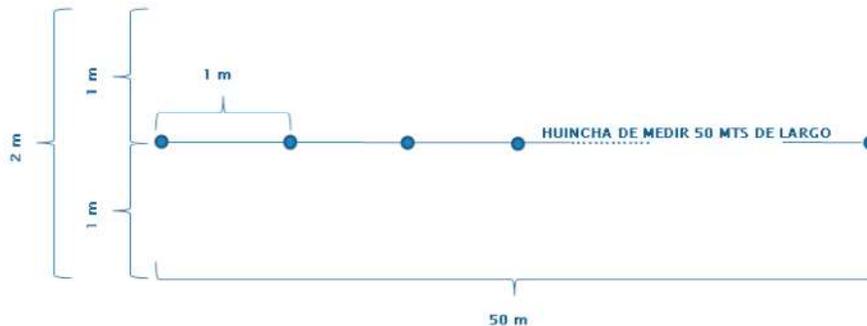


Figura N° 41. Diagrama de una transecta en faja que representa una parcela de 100m<sup>2</sup>.

La finalidad de éste método fue obtener abundancia y cobertura, en forma complementaria a la COT.

El apoyo de ubicación se realizó mediante imágenes SENTINEL 2 y en terreno se procedió (en algunos casos) a posicionarlas mediante imágenes obtenidas con DRON.

### **Datos levantados mediante COT.**

La metodología de la Carta de Ocupación de Tierras (COT) define cuatro tipos biológicos básicos (leñosos altos, leñosos bajos, herbáceos y suculentas), en este caso sólo dos son aplicables para el área de estudio: Herbáceo (H) y Leñoso bajo (LB).

Este método considera a la vegetación como el factor integrador de las variaciones naturales del medio, como asimismo, de las modificaciones debidas a la acción del hombre.

TIPO ARBOREO – LEÑOSO ALTO			TIPO SUCULENTO (Cactus)		
Altura (m)	Símbolo	Ejemplo	Altura (cm)	Símbolo	Ejemplo
2 – 4	LA	<i>Nothofagus antarctica</i> Ñirre	0 – 25	S	<i>Maihuea poepigii</i> Maihuén
4 – 8	LA	<i>Gevuina avellana</i> Avellano	25 – 50	S	<i>Puya coerulea</i> Cardoncillo
8 – 16	LA	<i>Nothofagus dombeyi</i> Coigüe	50 – 100	S	<i>Puya berteroniana</i> Chagual
16 – 32	LA	<i>Nothofagus obliqua</i> Roble	100 – 200	S	<i>Eulychnia acida</i> Quisco
32 +	LA	<i>Araucaria araucana</i> Araucaria	200 +	S	<i>Trichocereus chilensis</i> Copao

TIPO ARBUSTIVO – LEÑOSO BAJO			TIPO HERBÁCEO		
Altura (cm)	Símbolo	Ejemplo	Altura (cm)	Símbolo	Ejemplo
0 – 25	LB	<i>Haplopappus arbutoides</i> Cuerno	0 – 25	H	<i>Danthonia chilensis</i> Coironcillo
25 – 50	LB	<i>Berberis empetrifolia</i> Michay	25 – 50	H	<i>Festuca acanthophylla</i> Coirón
50 – 100	LB	<i>Fabiana imbricata</i> Pichi	50 – 100	H	<i>Cortaderia rudiusscula</i> Cola de zorro
100 – 200	LB	<i>Schinus polygamus</i> Huingán	100 – 200	H	<i>Chusquea quila</i> Quila

## Caracterización de fisionomía estructural

Para esta metodología (COT) se define cuatro tipos biológicos básicos (leñosos altos, leñosos bajos, herbáceos y suculentas), en este caso sólo dos son aplicables para el área de estudio: Herbáceo (H) y Leñoso bajo (LB).

## Formación vegetal (F.V.)

**Formación Vegetal (F.V.)    Especies Dominantes (E.D.)    Grado de Artificialización (G.A.)**

Las tres variables se definen para todas de las unidades cartográficas identificadas y es necesario explicitar la superficie que cada una de ellas tiene.

### TIPOS BIOLÓGICOS

- **Herbáceos (H)** : son aquellas especies cuyos tejidos no están lignificados (no son leñosos), con tallos ricos en clorofila y fotosintéticos (hierbas).
- **Leñosos bajos (LB)** : son aquellas especies de tejidos lignificados o leñosos cuyo tamaño no pasa los dos metros de altura. (Arbustos)
- **Leñosos altos (LA)** : son aquellas especies de tejidos lignificados o leñosos cuyo tamaño excede los dos metros de altura. (Árboles)
- **Suculentos (S)** : bajo esta denominación se agrupan principalmente las Cactáceas y Bromeliáceas, especies que presentan una fisiología muy particular, sobre todo respecto a la fijación del anhídrido carbónico. (Cactus o Quiscos y Chaguales o Puyas).

### Codificación de especies

La nomenclatura para la codificación del nombre de las especies de los tipos biológicos mencionados anteriormente, se generó de la siguiente forma:

Tipo	Nomenclatura		Ejemplo	Código
	Género	Especie		
<b>Herbáceo</b>	Inicial minúscula	en minúscula	<i>Carex gayana</i>	cp
<b>Leñoso Bajo</b>	Inicial mayúscula	en minúscula	<i>Berberis empetrifolia</i>	Be

### Cobertura

La evaluación de la vegetación en su estructura horizontal, es decir, el porcentaje que cubre cada uno de los estratos vegetacionales presentes se determinó aplicando las siguientes clases de cobertura (COT):

Cobertura	Densidad	Código	Índice
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

Donde la densidad indica la abundancia que existe por cada especie en las parcelas estudiadas.

### Grado de artificialización

Para la observación de artificialización se consideró si el territorio presentaba caminos al interior del humedal, si se observaron obras cercanas o en el sitio de estudio y si se encontraron fecas de animales ajenos al humedal, tales como ganado, caballo, conejo, zorro, etc.

Grado de artificialización		
VARIABLE	GRADO	Aplicación
<b>Camino</b> <b>Obras</b> <b>Fecas</b>	1	El sitio cuenta con una variable
	2	El sitio cuenta con dos variables
	3	El sitio tiene las tres variables presentes

### Caracterización de estructura comunitaria

Para la caracterización de la estructura comunitaria se consideró abundancia en cuanto a la cantidad de individuos por especie que fueron anotados por la vara cilíndrica en un transecto de 50 metros y riqueza en relación al total de especies encontradas por humedal.

### Caracterización florística

Para la determinación y nomenclatura de las especies vegetales, se utilizó como fuente principal “Chileflora.com/florachilena/floraspanich/SPlantdbase.htm” y asimismo, se consultó la base de datos Catalogue of Life: 30th October 2017 para confirmar la nomenclatura utilizada en terreno. Para el total de especies presentes en los humedales se determinó su presencia-ausencia en cada una de las parcelas estudiadas, además se caracterizó la representatividad de cada una de las familias presentes en los sitios estudiados.

### Ubicación de parcelas

La ubicación de las parcelas levantadas en las unidades definidas en cada humedal se muestra a continuación:

#### Vega La Engorda

En éste humedal se definieron dos unidades, una correspondiente a la zona de vega y otra de arbustos bajos (Figura N°42).

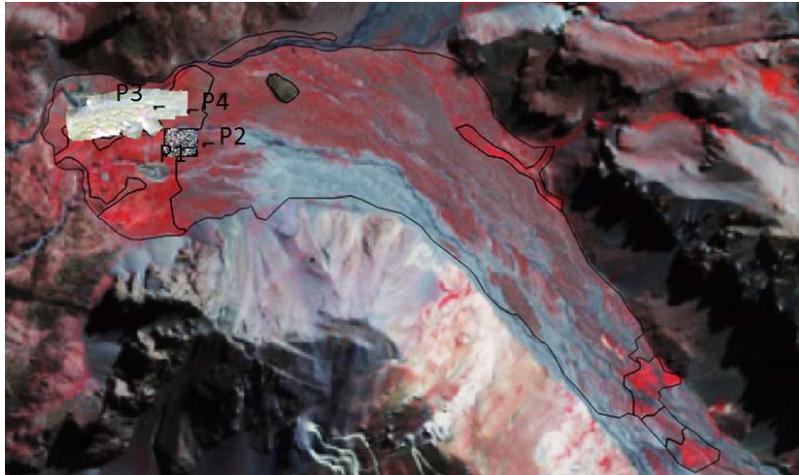


Figura N°42. Humedal La Engorda, ubicación de parcelas de muestreo (P1 a P4).

### Vega El Plomo

En la vega el Plomo se diferenciaron dos zonas definidas por las dos terrazas aluviales que forman la vega principal, tal como se indica en la Figura N° 43.

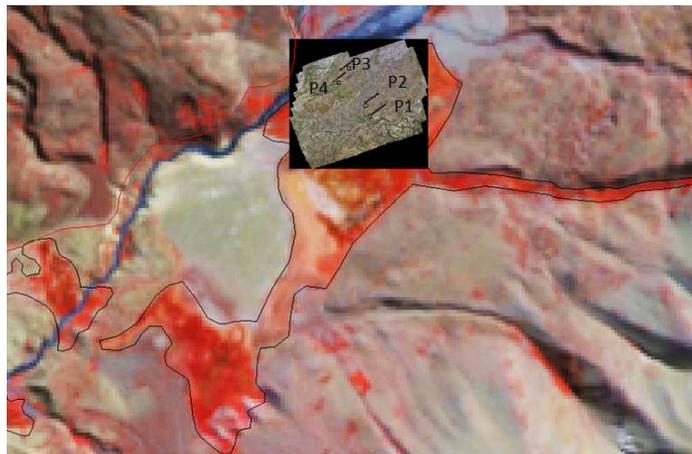


Figura N°43. Humedal el Plomo, ubicación de parcelas de muestreo (P1 a P4), en terrazas aluviales vega principal.

### Vega Lo Encañada

En la vega Lo Encañada no se separaron unidades, dada la homogeneidad de la vega (Figura N° 44).

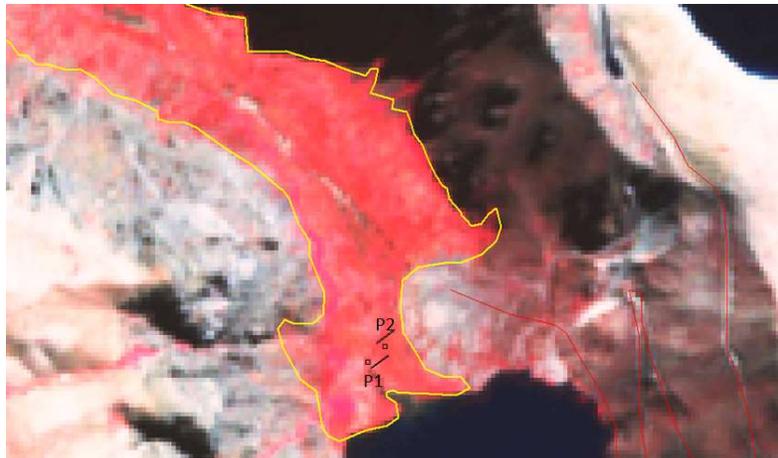


Figura N°44. Humedal Lo Encañada, ubicación de parcelas de muestreo en vega (P1 a P2).

### Levantamiento de imágenes de terreno con DRON

Con la finalidad de apoyar la descripción de las vegas y de las parcelas de muestreo se realizó un vuelo aerofotogramétrico en los humedales La Engorda y El Plomo con el dron (UAV) DJI Inspire 1, con la cámara Zenmuse X3, cuyas características son las siguientes:

Drone (UAV)		Cámara	
Nombre	Inspire	Nombre	X3
Modelo	T600	Modelo	FC350
Peso con Batería	3 KG	Píxeles	12,4 M
GPS	Vertical 0,5 m Horizontal 2.5 m	Max tamaño Foto	4000x3000
Velocidad Máxima	22 m/s	Temperatura Operación	0° a 40° C
Altura Máxima SNMM	4.500 m		
Resistencia Viento	10 m/s		
Duración Batería	18 minutos aprox.		
Modelo Gimbal	ZENMUSE X3		

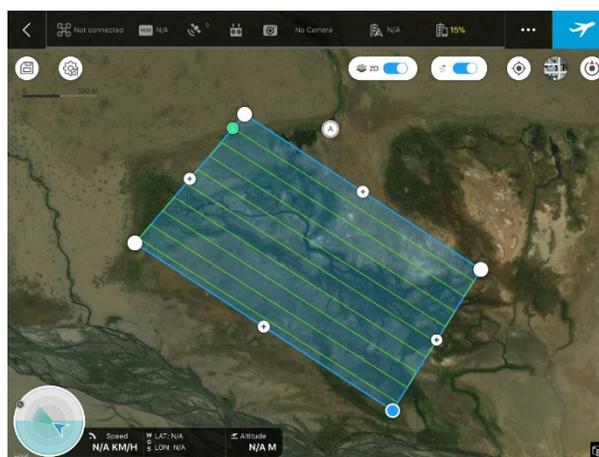


DJI Inspire 1 + ZENMUSE X3

### Planificación de Vuelo

Las características del vuelo descritas en siguiente cuadro fueron programadas a través de la plataforma gratuita (app) DJI Ground Station PRO obteniendo con esto las líneas de vuelo.

Vuelo	Cámara	Altura de Vuelo (m)	Angulo de Toma	Modo de Captura	Velocidad de Vuelo (km/h)	Traslape Fotografías (%)	
						Longitudinal	Lateral
La engorda 1 - 3	Zenmuse X3	60	Paralelo a ruta	Igual Intervalo de Tiempo	33	80	80
La Engorda 2	Zenmuse X3	50	Paralelo a ruta	Igual Intervalo de Tiempo	33	80	80
La Engorda 4	Zenmuse X3	50	Paralelo a ruta	Igual Intervalo de Tiempo	33	80	80
El Plomo	Zenmuse X3	70	Paralelo a ruta	Parar y capturar	54	80	80



Líneas de Vuelo “El Plomo”

Los datos obtenidos corresponden a mosaicos en RGB con resolución espacial de 1,5 cm.



Vuelo la Engorda



Vega el Plomo

## 9.2 Humedal Lo Encañada

### 9.2.1 Descripción general

El humedal Lo Encañada se ubica en la parte alta de la subcuenca del estero Manzanito, parte superior del espejo de agua de la Laguna Encañada, lugar que se caracteriza por tener acceso restringido por el propietario que es Aguas Andinas que hace utilización de las aguas de la Laguna para abastecimiento del sistema de agua

potable de Santiago. La subcuenca tiene un sistema pluvio-nival, con una superficie de 3.879 hectáreas.

La superficie calculada para el humedal es de 172,6 hectáreas para el año 2001 (Figura N° 46), de las cuales 51,6 hectáreas corresponde a la zona de vega con humedad estacional poco variable, ubicada en la parte y alta y baja del humedal, mientras que la restante superficie corresponde a matorrales bajos y coironales, pastos anuales y perennes distribuidos en forma discontinua, en algunos casos pequeñas vegas con humedad variable.

La tendencia de la condición de vigor entre el año 2000 y 2017 es estable, con tendencia a aumento de vegetación con vigor y alto contenido de agua, lo que se explica en gran medida por las condiciones de exclusión y difícil acceso, así como por la topografía de la cuenca cuya pendiente promedio es de 45,2% (Figura N° 45)



Figura N° 45. Cuenca alta, estero Manzanito.

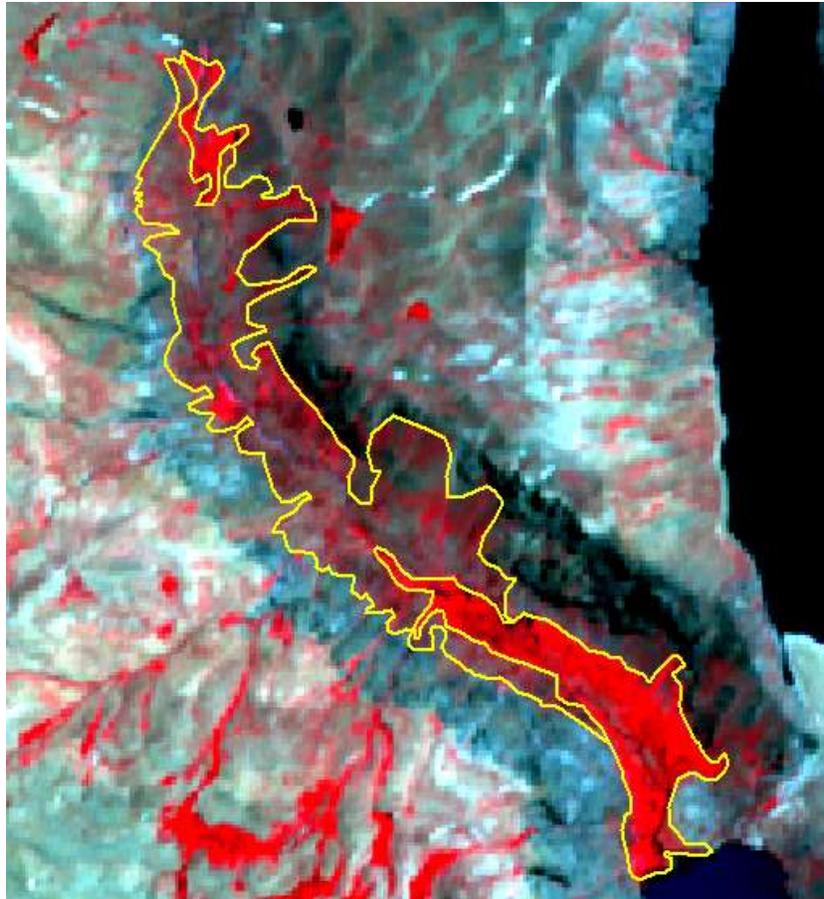


Figura N° 46. Humedal Lo Encañada, en la parte inferior laguna del mismo nombre y a la izquierda Laguna Negra. Fondo, imagen ASTER del 22 de enero de 2001. En rojo vegetación.

Las siguientes fotografías dan cuenta de las características generales del valle y de la propia veranada que está formada por una extensa zona de vega y en las zonas de baja ladera por formación de arbustos bajos.



Fotografía de veranada e inicio del valle, primer plano formación de arbustos bajos y luego vega.



Fotografías dan cuenta de la característica de la vega-pajonal, la cual dada la restricción y baja carga animal se caracteriza por abundante paja seca de temporadas de crecimiento anteriores, con altura entre 20 a 30 cm, presencia abundante de agua en superficie.

### 9.2.2 Caracterización de vegetación

Para la caracterización se realizaron dos sectores de parcelas (P1 y P2), con un transecto y una COT en cada caso, según las siguientes coordenadas (WGS84 UTM19S):

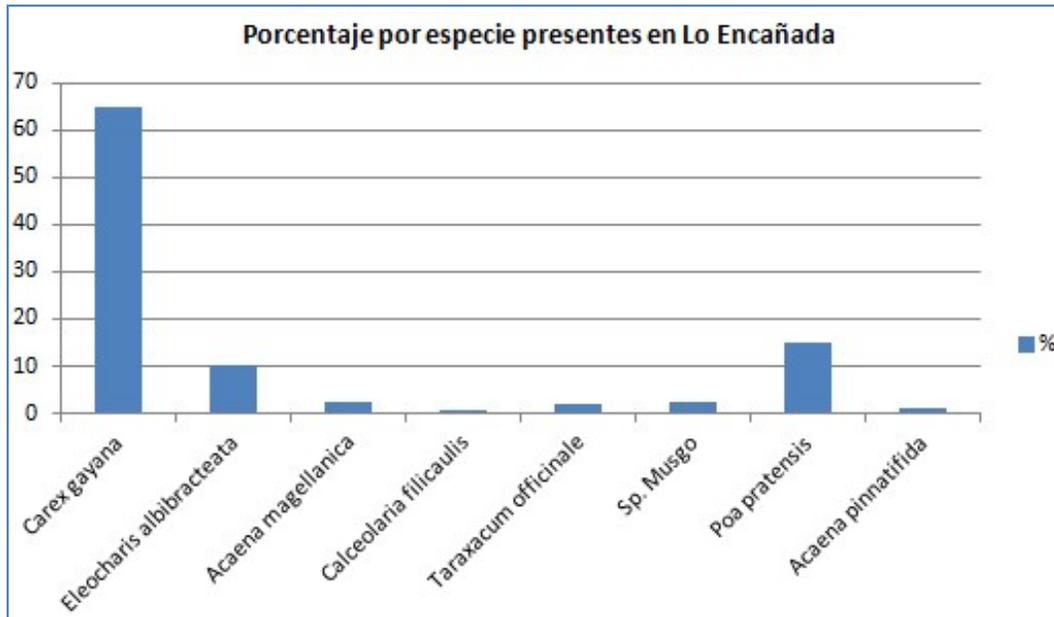
Lo encañada 1	394635	6274264	2484 m.s.n.m	Pend. 1%
Lo encañada 2	394635	6274264	2484 m.s.n.m	Pend 1%

El humedal está constituido principalmente por vegas-pajonal cuyas especies principales son *Carex gayana* (con abundante pajonal de temporadas anteriores) y *Eleocharis albibracteata* de crecimiento reciente en tonos verdes.

Existe también en las zonas de baja ladera y en las zonas ecotonales sectores con arbustos bajos, los cuales predominan en las zonas de mitad de ladera de la serranía que rodea la vega.

De acuerdo a los datos obtenidos, los resultados son los siguientes:

a) Porcentajes de individuos por especie vega Lo Encañada.



Las especies con mayor presencia de acuerdo al gráfico son *Carex gayana*, *Eleocharis albibracteata* y *Poa pratensis*.

## b) Cobertura por especie.

Especie	Densidad	Índice de cobertura horizontal
cg	pd	5
ea	e	2
ap	me	1
cf	me	1
am	me	1
to	me	1
pp	mc	3
<i>Sp. Musgo</i>	me	1

Complementariamente al porcentaje de especies, la cobertura por especies presentes indican que los porcentajes mayores de cobertura corresponden a *Carex gayana* (con cobertura entre 50 a 75%), *Poa pratensis* (con cobertura entre 10 a 25% y *Eleocharis* con cobertura entre 5 a 10%.

## c) Riqueza

De acuerdo a los datos obtenidos de las parcelas (Quadrant point), la siguiente tabla (N° 17).

Tabla N°17. Riqueza y porcentajes de cobertura.

Transecto		1	2	Sumatoria	Total %
N°	Especie/tipo	N° de veces encontrada	N° de veces encontrada		
1	<i>Eleocharis albibracteata</i>	9	3	12	10,52
2	<i>Dactylis glomerata</i>	2	0	2	1,75
3	<i>Acaena magellanica</i>	4	0	4	3,50
4	<i>Carex gayana</i>	36	19	55	48,24
5	<i>Sp. Musgo</i>	5	0	5	4,38
6	<i>Trifolium repens</i>	1	0	1	0,87
7	<i>Poa Pratensis</i>	0	32	32	28,07
8	Suelo orgánico	0	2	2	1,75
9	Fecas de animal	1	0	1	0,87
7	<b>RIQUEZA LO ENCAÑADA</b>	114		Total	100

Los datos confirman las especies dominantes en la vega.

### c) Especies acompañantes

Las siguientes son las especies acompañantes identificadas para la vega Lo Encañada:

<i>Eleocharis albibracteata</i>
<i>Trifolium repens</i>
<i>Acaena magellanica</i>
<i>Carex gayana</i>
Sp. Musgo
<i>Calceolaria filicaulis</i>
<i>Plantago lanceolata</i>
<i>Phyloscirpus acaulis</i>
<i>Taraxacum officinale</i>
<i>Dactylis glomerata</i>
<i>Poa pratensis</i>
<i>Trifolium repens</i>
<i>Acaena pinnatifida</i>

La riqueza total del humedal es 7, sin embargo se infiere que la riqueza de especies puede ser mayor, dado que la fecha de levantamiento de terreno (8 de noviembre) no es el óptimo para determinar la presencia de especies. Sin embargo, es poco probable que exista variación en la estructura de la comunidad en cuanto a especies dominantes.

Reportes de AesGener (2008), indican para la presencia de 78 especies en todo el humedal, incluido los arbustos bajos.

### d) Artificialización

Al aplicar la pauta de artificialización el humedal sólo presenta presencia de fecas, por consiguiente el grado actual de artificialización es 1, es decir bajo, lo que se debe principalmente a la restricción de acceso que tiene la cuenca.

Fichas de Terreno Humedal Lo Encañada:

Ficha de terreno

Nombre vega: Lo encañada					Código:	
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		Vega				
Visitado por: RC – KA					Coordenadas este	394635
Fecha: 08 – 11 – 17					Coordenadas norte	6274264
N° de polígono:		Pendiente: 1%		Altitud	2484 m.s.n.m	
Ocurrencia de agua:		no				
Características vegetacionales						
Formación vegetal	Fotografía n°	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura	
H	1	<i>Carex gayana</i>	Herbácea	40 cm	75%	
H	2	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Herbácea	40 cm	10%	
% suelo desnudo: 0%		% M.O.: -		Piedras%: 0%		
Fotografías sp. dominantes						
						
Sp. acompañantes						
<i>Musgo, Taraxacum officinale, Acaena magellanica, Calceolaria filicaulis, Dactylis glomerata</i>						
<b>OBSERVACIONES</b>						
Zona con nieve reciente, <i>Carex gayana</i> color amarillento (pajonal seco), <i>Eleocharis albibracteata</i> verde intenso al igual que las especies acompañantes.						
Características antrópicas:				Fotografía n°: 3		
Uso: intervención escasa de ganado.						
Observaciones de artificialización:						
						
Se observan algunas fecas de ganado, no hay obras cercanas; no hay caminos en el humedal.						

Ficha de terreno

Nombre vega: Lo encañada					Código:
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		Vega			
Visitado por: RC – KA		Coordenadas este	394635		
Fecha: 08 – 11 – 17		Coordenadas norte	6274264		
N° de polígono		Pendiente: 1%	Altitud	2484 m.s.n.m	
Ocurrencia de agua:		si, curso de agua cerca			
Características vegetacionales					
Formación vegetal	Fotografía n°	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura
H	1	<i>Carex gayana</i>	Herbáceo	28 cm	55%
H	2	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Herbáceo	15 cm	10%
H	3	<i>Poa pratensis</i>	Herbáceo	10 cm	30%
% suelo desnudo: 0%		% M.O.: -		Piedras%: 0%	
Fotografías sp. dominantes					
					
Sp. acompañantes					
<i>Acaena pinnatifida</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Dactylis glomerata</i>					
<b>OBSERVACIONES</b>					
Se observan fecas caballo y ganado, aproximadamente el 70% <i>Carex gayana</i> se encuentra seco (pajonal), se aprecian 81 champas.					
Características antrópicas			Fotografía n°: 4 y 5		
Uso: Uso ganadero no intensivo (controlado).					
Observaciones de artificialización:					
					
No se observan caminos al interior, no se observan obras, se observan fecas.					

### 9.3 Humedal El Plomo

#### 9.3.1 Descripción general

El humedal el Plomo se ubica en el valle de la parte superior de la cuenca del río el Yeso, antes de las termas del Plomo (Figura N°47), comprende unidades desconectadas, las de mayor superficie se ubican en la llanura aluvial del río el Yeso y del estero el Plomo. En total comprenden una superficie de 66,7 hectáreas (al año 2001), de las cuales 23,4 hectáreas corresponden a vegas con mayor estabilidad.

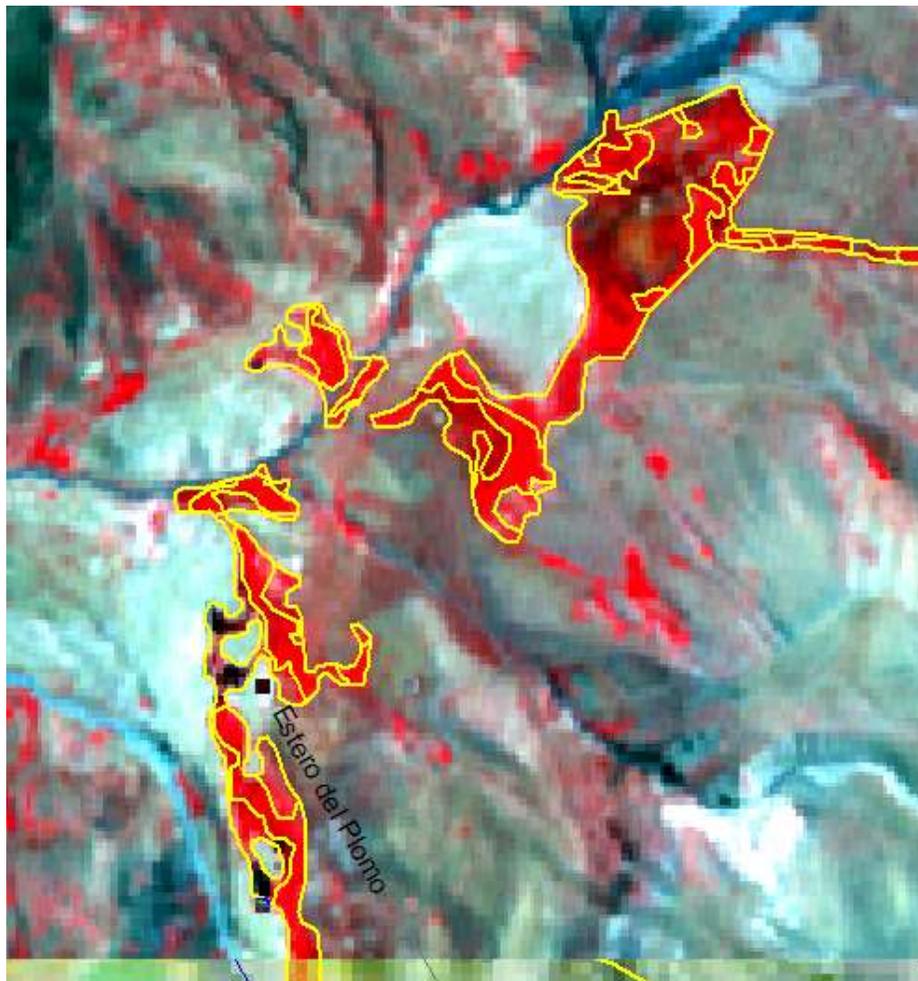


Figura N° 47. Humedal El Plomo, la mayor superficie se ubica en la llanura aluvial del río El Yeso. Fondo, imagen ASTER del 22 de enero de 2001. En rojo vegetación.

Las vegas y praderas son utilizadas en ganadería (es parte de la ruta tropera de la cuenca del río el Yeso) en la temporada de veranada (noviembre a marzo), de fácil acceso siguiendo camino público que se origina en la ruta G25 hacía el Embalse el Yeso, a lo que se agrega que es parte de las rutas turísticas de trancking y eventos, abiertas la mayor parte del año, salvo los meses de nieve, comprende el acceso a las termas del plomo. La propiedad es privada, con cobro (ocasional) para acceder en los dos últimos años.

Las siguientes fotografías dan cuenta de las características generales:



Vega El Plomo, en primer plano caja del río el Yeso, en el fondo vega principal del humedal.



Vega El Plomo, primer plano terraza aluvial baja y posteriormente segunda terraza.



Vega el Plomo, vista general de la vega con abundante agua en superficie.

### 9.3.2 Caracterización de vegetación

Tal como se indicó anteriormente, las vegas que denominamos el Plomo constituyen un conjunto de vegas que se ubican en torno del río el Yeso, siendo la de mayor extensión la vega terminal en el sector este, la cual se caracteriza por dos terrazas aluviales situadas a distintas alturas y que recibe las aguas y deshielos de las serranías y quebradas del sector sur de la cuenca.

Los resultados indican que la vega presenta similares características vegetacionales en ambas terrazas, incluyendo las zonas de borde donde se produce una situación de contacto con especies leñosas bajas (LB).

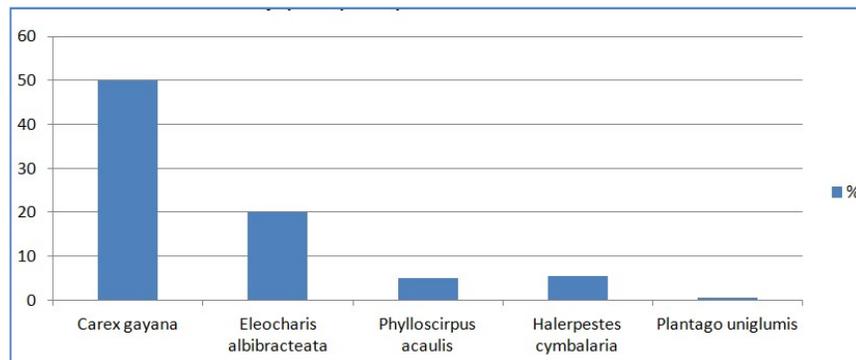
### a) Porcentajes de individuos por especie vega El Plomo.

#### Terraza Alta

Parcela de muestreo:



#### Porcentaje de individuos por especie presentes

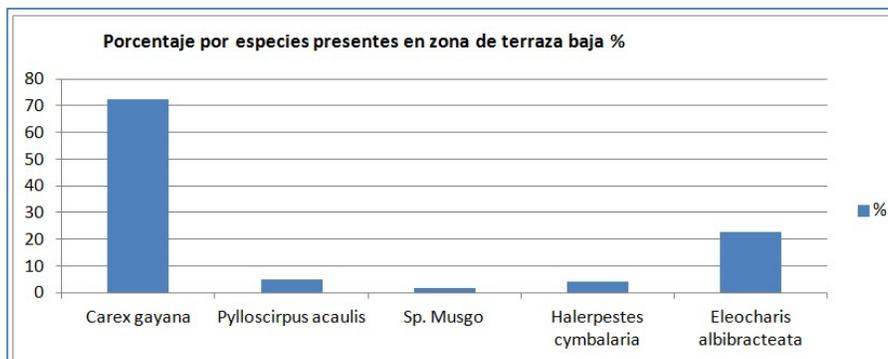


#### Porcentaje de individuos por especie presentes

En el grafico se observa la dominancia de las especies *Carex gayana* y *Eleocharis albibracteata* ambas especies propias de los ecosistemas de vegas, acompañadas por *Phylloscirus acaulis*.

## Terraza baja

Parcela de muestreo:



Al igual que en la terraza alta, las especies presentes en las parcelas de la terraza baja indican como predominante a las especies *Carex gayana* y *Eleocharis albibracteata*.

### b) Cobertura por especie.

Terraza alta

Especie	Densidad	Indice de cobertura horizontal
pa	c	4
ea	mc	3
pa	me	1
hc	e	2
pu	me	1

## Terraza baja

Especie	Densidad	Índice de cobertura horizontal
<i>Carex gayana</i>	pd	5
<i>Eleocharis albibracteata</i>	mc	3
<i>Phylloscirpus acaulis</i>	me	1
<i>Halerpestes cymbalaria</i>	me	1
<i>Sp. Musgo</i>	me	1

En ambas terrazas la especie la especie *Carex gayana* es dominante en cobertura, cubriendo entre 25 a 75% y *Eleocharis albibracteata* con cubrimiento entre 10 a 25%.

### c) Riqueza

Humedal: EL PLOMO									
Transecto		1	2	Sumatori a	Zona alta	3	4	Sumatori a	Zona baja
Nº	Especie/tipo	Nº de veces encontrad a	Nº de veces encontrad a		Total %	Nº de veces encontrad a	Nº de veces encontrad a		Total %
1	<i>Eleocharis albibracteata</i>	27	29	56	50,4	12	25	37	29,6
2	<i>Phylloscirpus acaulis</i>	15	10	25	22,5	0	0	0	0
3	<i>Halerpestes cymbalaria</i>	4	1	5	4,5	0	0	0	0
4	<i>Carex gayana</i>	10	5	15	13,2	45	35	80	64
5	<i>Sp. Musgo</i>	0	0	0	0	1	0	1	0,8
6	Agua	0	7	7	6,3	1	4	5	4
7	Suelo desnudo	3	0	3	2,7	0	2	2	1,6
<b>RIQUEZA EL PLOMO: 5</b>		111		<b>Total</b>	<b>100</b>	125		<b>Total</b>	<b>100</b>

Los resultados de la tabla entregan una riqueza observable de 5, pero al igual que Lo Encañada, es probable que sea mayor.

**c) Especies acompañantes**

<b>Zona Alta</b>	<b>Zona baja</b>
<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Musgo sp</i>
<i>Halerpestes cymbalaria</i>	<i>Carex gayana</i>
<i>Phylloscirpus acaulis</i>	<i>Phylloscirpus acaulis</i>
<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>
<i>Phylloscirpus acaulis</i>	<i>Taraxacum officinale</i>
<i>Plantago uniglumis</i>	<i>Halerpestes cymbalaria</i>
<i>Carex gayana</i>	<i>Plantago uniglumis</i>
<i>Sp. Poaceae</i>	

**d) Artificialización**

El grado asignado de artificialización es 2 (escala de de 1 a 3), la vega se caracteriza por alta presencia de fecas y marcas de vehículos en su espacio interior.

**e) Datos UAV**

Del sector de muestreo de terreno se realizó el vuelo con UAV, produciéndose un mosaico georreferenciado que se muestra en la Figura N° 44 y la ubicación de las parcelas en las Figuras N°48, 49, 50, 51 y 52.

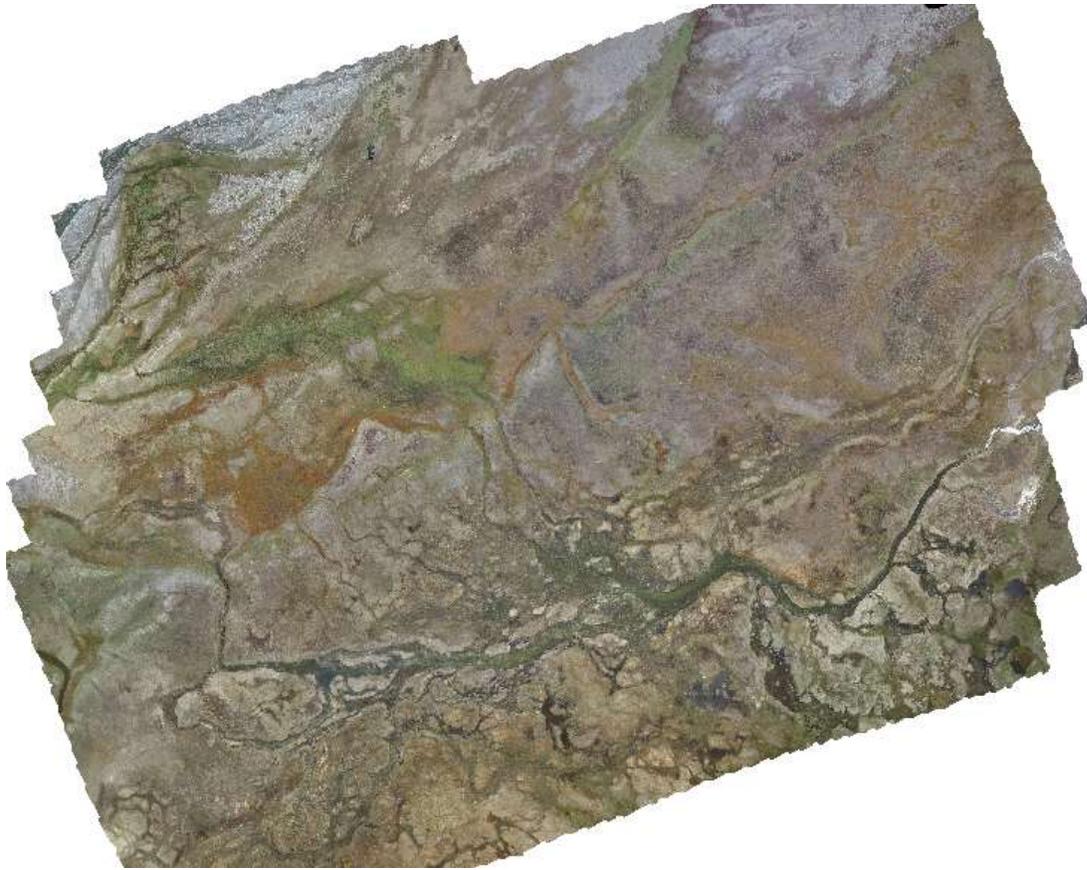


Figura N° 48. Mosaico de imágenes UAV georreferenciado. Parte superior vega el Plomo.



Figura N° 49. Parcelas correspondientes a la terraza baja (P3).



Figura N° 50. Parcelas correspondientes a la terraza baja (P4).



Figura N° 51. Parcelas correspondientes a la terraza alta (P1).



Figura N° 52. Parcelas correspondientes a la terraza alta (P2).

## Fichas de terreno Vega El Plomo

### Ficha de terreno

Nombre vega: El Plomo			Código:		
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		Vega			
Visitado por: RC - KA		Coordenadas este		394600	
Fecha: 09 - 11 - 17		Coordenadas norte		6274272	
N° de polígono		Pendiente: 1%		Altitud	
Ocurrencia de agua: sí		Agua superficial			
Características vegetacionales					
Formación vegetal	Fotografía n°	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura
H	1	<i>Carex gayana</i>	Herbácea	10 cm	70%
H	2	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Herbácea	40 cm	10%
H	3	<i>Holperstes cymbalaria</i>	Herbácea	1 cm	10%
% suelo desnudo: 0%		% M.O.: -		Piedras%: 0%	
Fotografías sp. dominantes					
					
Sp. acompañantes					
<i>Pylloscirus occulis</i>					
<b>OBSERVACIONES</b>					
Se observan fecas de ganado alrededor de un 2%, se observan microorganismos en agua superficial, <i>P. occulis</i> tono amarillento seco, <i>E. albibracteata</i> tono de blanco a café.					
El lugar de la parcela está ubicado en la segunda terraza del lugar.					
Características antrópicas:			Fotografía n°: 4		
Uso: Pastoreo					
Observaciones de artificialización:					
					
No se observan caminos al interior de la parcela, no hay obras cercanas, hay presencia de fecas de ganado.					

**Ficha de terreno**

Nombre vega: El Plomo			Código:		
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		Vega			
Visitado por: RC – KA		Coordenadas este		414845	
Fecha: 09 – 11 – 17		Coordenadas norte		6278533	
N° de polígono:		Pendiente: 1%		Altitud	
				2900 m.s.n.m	
Ocurrencia de agua: si		Agua superficial en un 30% de la parcela			
<b>Características vegetacionales</b>					
Formación vegetal	Fotografía n°	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura
H	1	<i>Carex gayana</i>	Herbácea	10 cm	30%
H	2	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Herbácea	1 cm	35%
% suelo desnudo: 0%		% M.O.: -		Piedras%: 0%	
<b>Fotografías sp. dominantes</b>					
					
<b>Sp. acompañantes</b>					
<i>Pylloscirus acaulis</i> , <i>Halerpestes cymbalaria</i> , <i>Plantago uniglumis</i> (5% entre todas)					
<b>OBSERVACIONES</b>					
Se observan fecas de ganado alrededor. Las especies se observan con abundante paja de la temporada pasada (sp. secas).					
<b>Características antrópicas</b>			Fotografía n°: 3		
Uso: Pastoreo					
<b>Observaciones de artificialización:</b>					
					
No se observan caminos al interior de la parcela, no hay obras cercanas, hay presencia de fecas de ganado.					

Ficha de terreno

Nombre vega: El Plomo			Código:		
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		Vega			
Visitado por: RC – KA				Coordenadas este	414709
Fecha: 09 – 11 – 17				Coordenadas norte	6278629
N° de polígono:		Pendiente: 1%		Altitud	2895 m.s.n.m
Ocurrencia de agua: si		Agua superficial			
Características vegetacionales					
Formación vegetal	Fotografía n°	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura
H	1	<i>Carex gayana</i>	Herbácea	9 cm	90%
% suelo desnudo: 0%		% M.O.: -		Piedras%: 0%	
Fotografías sp. dominantes					
					
Sp. acompañantes					
<i>Phylloscirpus acaulis</i> , <i>Eleocharis albibracteata</i> , <i>Musgo sp.</i> , <i>Halerpestes cymbalaria</i> .					
<b>OBSERVACIONES</b>					
Se observan fecas de ganado alrededor, agua superficial, el color dominante es verde con algunas zonas blanquecinas por paja anual (año anterior), foto 2.					
					
Características antrópicas			Fotografía n°: 3		
Uso: Pastoreo					
Observaciones de artificialización:					
					
No se observan caminos al interior de la parcela, no hay obras cercanas, hay presencia de fecas de ganado.					

**Ficha de terreno**

Nombre vega: El Plomo				Código:	
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		Vega			
Visitado por: RC – KA		Coordenadas este		414695	
Fecha: 09 – 11 – 17		Coordenadas norte		6278627	
N° de polígono		Pendiente: 1%		Altitud	
Ocurriencia de agua: sí		Agua superficial			
Características vegetacionales					
Formación vegetal	Fotografía n°	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura
H	1	<i>Carex gayana</i>	Herbácea	10 cm	55%
H	2	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Herbácea	3 cm	45%
% suelo desnudo: 0%		% M.O.: -		Piedras%: 0%	
Fotografías sp. dominantes					
					
Sp. acompañantes					
<i>Pylloscirus acaulis, Halerpestes cymbalaria.</i>					
<b>OBSERVACIONES</b>					
Se observan fecas de ganado alrededor.					
Características antrópicas			Fotografía n°: 3		
Uso: Pastoreo					
Observaciones de artificialización:					
					
No se observan caminos al interior de la parcela, no hay obras cercanas, hay presencia de fecas de ganado.					

## 9.4 Humedal La Engorda.

### 9.4.1 Descripción general

Corresponde a humedal ubicado en la cuenca del estero Colina y quebrada La Engorda, ubicada en la llanura aluvial de ambos cursos de agua que convergen en dicha zona. La superficie al año 2001 corresponde a 211,9 hectáreas, de las cuales la zona de vegas estables corresponden a 8,9 hectáreas y las restantes, a zonas de vegas con variaciones estacionales y principalmente zonas de formaciones de matorrales (Figura N° 53), en general existen tres zonas, una de vegas constituida por herbáceas, una de arbustos leñosos bajos y una zona de transición entre ambas formaciones.

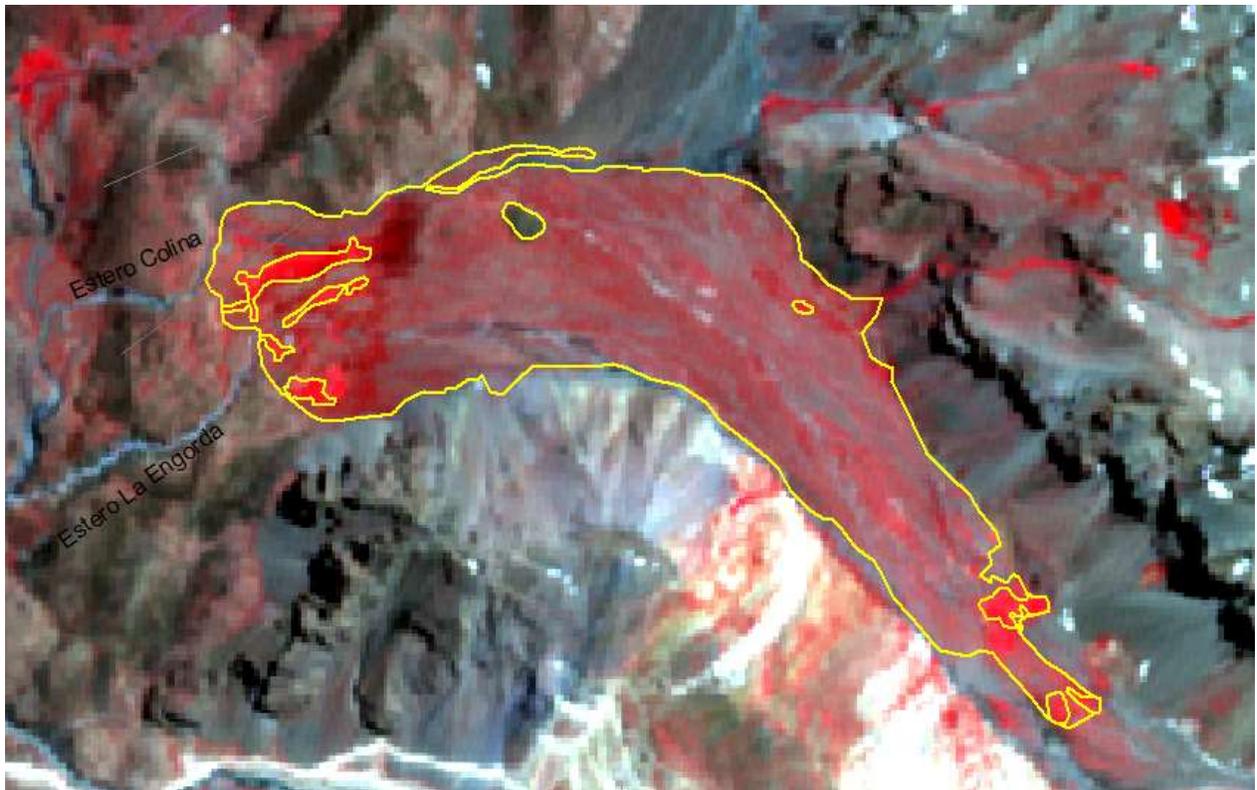


Figura N° 53. Humedal La Engorda. Fondo, imagen ASTER del 22 de enero de 2001. En rojo vegetación.

El humedal se encuentra relacionado con la industria minera (Yeso) a tajo abierto que se ubica en la serranía aledaña al sector sur, a obras de extracción y conducción de agua para energía eléctrica (Proyecto Alto Maipo), además de ganadería en los tiempos de veranadas, a lo que se suman actividades turísticas diversas. El acceso es a través

de rutas turísticas permanentes y estables que salen de la ruta G25 del sector el “Cabrerío”.

Las características hídricas definen cursos de aguas permanentes y temporales, con puntos de surgencias constituyendo vertientes que permiten la humedad permanente de los núcleos más húmedos de las vegas. Las siguientes fotografías dan cuenta de las características generales.



Sector de leños bajos y cursos de agua estacionales



Curso de agua de surgencia sub-subterránea en zona de transición entre vega y leñoso bajos.

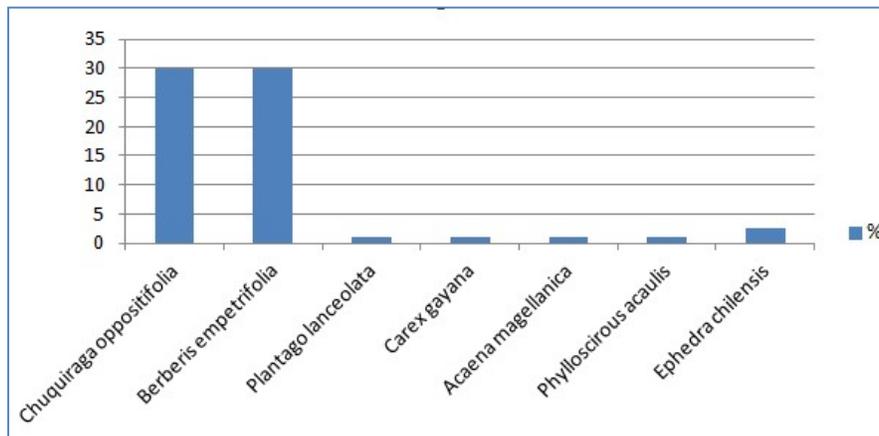


Zona de vega en humedal La Engorda.

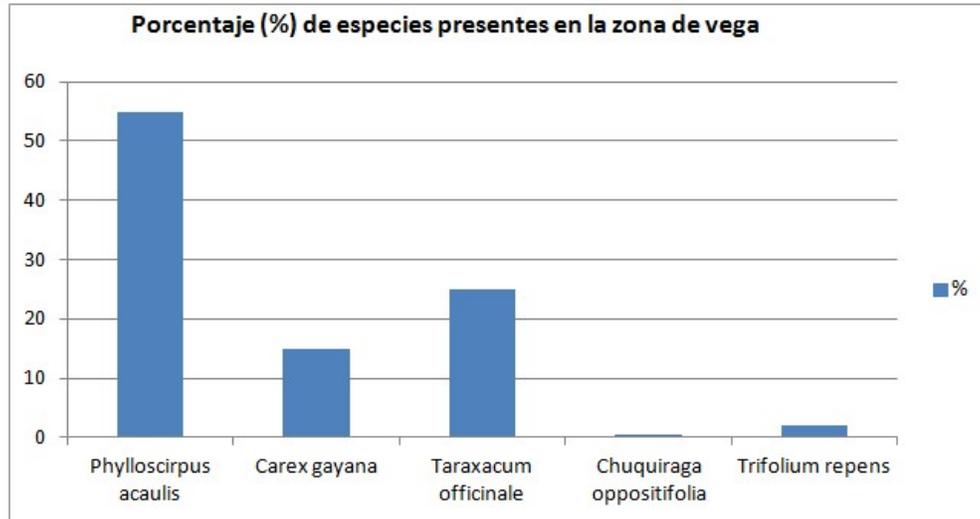
#### 9.4.2 Caracterización de la vegetación

a) Porcentajes de individuos por especie vega La Engorda.

Zona de Leñosos bajos



En el gráfico para la zona de leñosos bajos indica la dominancia de especie *Chuquiraga oppositifolia* y *Berberis empetrifolia*, ocupando un total del 60% ambas especies en las parcelas estudiadas. Se cuenta además con 4% de pedregosidad, presencia de suelo descubierto del orden de 20%, con abundante presencia de fecas de conejo, caballo y vacuno.



De acuerdo con el gráfico en la zona de vega se tiene dominancia de las especies *Phylloscirpus acaulis* y *Carex gayana*, además de *Taraxacum officinale*, *Trifolium repens* y *Chuquiraga oppositifolia*.

Es importante hacer referencia a que la especie *P. acaulis* que acompaña a *Eleocharis albibracteata* se encuentra presente, pero es difícil diferenciarlas por desarrollo en el estado de desarrollo a la fecha del terreno.

La zona de vega presenta un porcentaje de pedregosidad de 2%, un 20% de suelo desnudo y abundantes fecas de ganado presente (Figura N° 54).



Figura N° 54. Caballares pastando en la vega en el día de muestreo.

. b) Cobertura por especie.

Zona de leñosos bajos

Especie	Densidad	Indice de cobertura horizontal
<u>CHo</u>	c	4
<u>Be</u>	c	4
<u>pl</u>	me	1
<u>cg</u>	me	1
<u>am</u>	me	1
<u>pa</u>	me	1
<u>Ech</u>	me	1

Las especies que tiene mayor cobertura en la zona de leñosos bajos son *Chuquiraga oppositifolia* y *Berberis empetrifolia* ambas con porcentajes entre 25 a 50%.

Zona de vega

Especie	Densidad	Indice de cobertura horizontal
<u>pa</u>	<u>pd</u>	5
<u>cg</u>	<u>mc</u>	2
<u>to</u>	c	4
<u>Cho</u>	me	1
<u>tr</u>	me	1

En el caso de la zona de vega las especies con mayor cobertura son *Phylloscirpus acaulis* y *Taraxacum officinale* con cobertura entre 50 a 75% y 25 a 50% respectivamente.

### c) Riqueza

Humedal: La Engorda									
Transecto		1	2	Sumatoria	Zona de transición	3	4	Sumatoria	Zona de vega
N°	Especie/tipo	N° de veces encontrada	N° de veces encontrada		Total %	N° de veces encontrada	N° de veces encontrada		Total %
1	<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	16	18	34	31,19	0	0	0	0
2	<i>Phylloscirpus acaulis</i>	6	5	11	10,09	38	32	70	52,63
3	<i>Acaena magellanica</i>	3	0	3	2,75	0	0	0	0
4	<i>Carex gayana</i>	0	0	0	0	8	7	15	11,27
5	<i>Taraxacum officinale</i>	0	0	0	0	22	8	30	22,55
6	<i>Berbersis empetrifolia</i>	11	19	30	27,52	0	0	0	0
7	<i>Tritolium repens</i>	0	0	0	0	1	0	1	0,75
8	Suelo desnudo	16	8	24	22,01	2	11	13	9,77
9	Roca	6	1	7	6,42	0	0	0	0
10	Fecas de animales	0	0	0	0	4	0	4	3,01
7	<b>RIQUEZA LA ENGORDA</b>	109		Total	100	133		Total	100

La riqueza observada es 7, siendo importante la abundancia de P. acaulis que es del orden del 52,6 %, no obstante la presencia de T. officinale en un 22,5% indica el grado de alteración de la vega.

**c) Especies acompañantes**

Zona de transición	Zona de vega
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	<i>Trifolium repens</i>
<i>Berberis empetrifolia</i>	<i>Carex gayana</i>
<i>Phylloscirpus acaulis</i>	<i>Phylloscirpus acaulis</i>
<i>Acaena magellanica</i>	<i>Berberis empetrifolia</i>
<i>Calceolaria filicaulis</i>	<i>Taraxacum officinale</i>
<i>Plantago lanceolata</i>	<i>Arenaria serpens</i>
<i>Carex gayana</i>	<i>Calceolaria filicaulis</i>
	<i>Chuquiraga oppositifolia</i>
	<i>Anagallis alternifolia</i>

**d) Artificialización**

El grado de artificialización es el más alto (3) por cuanto se encuentra intervenido por caminos, animales y obras.

**e) Datos AUV**

Los datos UAV fueron obtenidos para una zona representativa de vega y para una zona de leñosos bajos (Figuras N° 55 y 56)

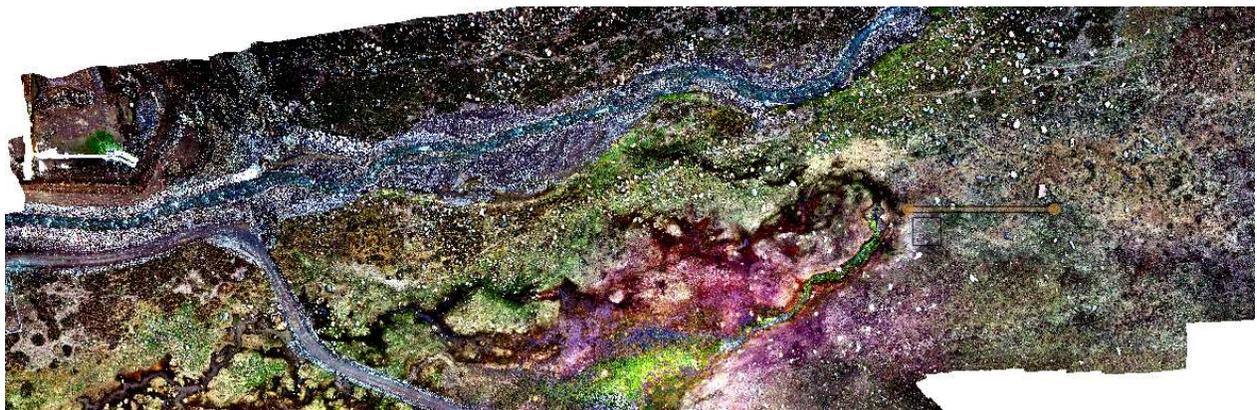


Figura N° 55. Mosaico zona de vega.



Figura N° 56. Mosaico de imágenes zona leñosos bajos.

Las Figuras 57 y 58 corresponden a las parcelas realizadas en el sector de leñosos bajos y de vega respectivamente.

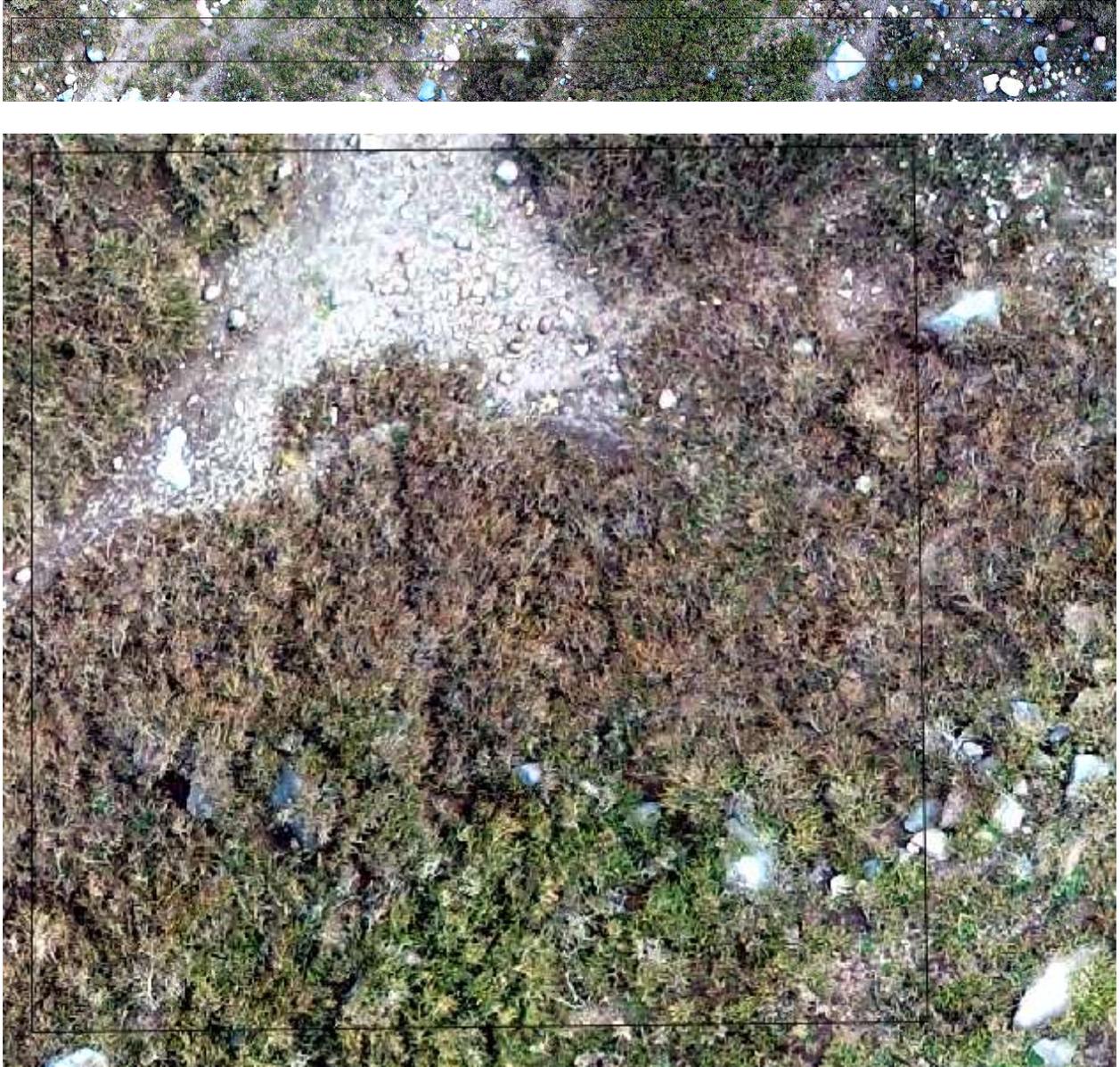


Figura N° 57. Imagen AUV de parcela COT y transecto en zona de leñosos bajos



Figura N° 58. Imagen AUV de parcela COT y transecto en zona de leñosos bajos



Fotografía de terreno correspondiente a parcela de la figura 58.

Fichas de terreno:

Ficha de terreno

Nombre vega: La Engorda – zona de transición				Código:	
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		Matorral			
Visitado por: RC - KA		Coordenadas este	407388		
Fecha: 07 – 11 - 17		Coordenadas norte	6259472		
N° de polígono:		Altitud	2525 m.s.n.m.		
Ocurrencia de agua: no		Pendiente: 2%			
Características vegetacionales					
Formación vegetal	Fotografía n°	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura
LB	1	<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	Leñoso bajo	30 cm	40%
LB	2	<i>Berberis empetrifolia</i>	Leñoso bajo	30 cm	10%
% suelo desnudo: 30%		M.O.: 5 a 10 cm	Piedras%: 1%		
Fotografías sp. dominantes					
					
Sp. acompañantes					
<i>Plantago lanceolata, Carex gayana, Acaena magellanica., Phylloscirous acaulis</i>					
<b>OBSERVACIONES</b>					
Se observa presencia de excremento de zorro, caballo, conejo. Zona de matorral leñoso bajo, esta zona de transición a la vega la engorda donde el matorral bajo se muestra invasor hacia la zona del humedal.					
Características antrópicas			Fotografía n°: 3		
Uso: Sobre pastoreo					
					
Observaciones de artificialización: No se observan caminos al interior, se observan obras (Alto Maipo), se observan fecas.					

Ficha de terreno

Nombre vega: La Engorda – zona de transición					Código:
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		Matorral 2			
Visitado por: RC - KA			Coordenadas este	407478	
Fecha: 07 – 11 – 17			Coordenadas norte	6259473	
N° de polígono			Altitud	2541 m.s.n.m.	
Ocurrencia de agua: no		Pendiente: 2%			
Características vegetacionales					
Formación vegetal	Fotografía n°	Especies dominantes	Tipo	Altura	Cobertura
LB	1	<i>Berberis empetrifolia</i>	Leñoso bajo	30-50	50%
LB	2	<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	Leñoso bajo	30-50	20%
LB	3	<i>Ephedra chilensis</i>	Leñoso bajo	0-25	5%
% suelo desnudo: 7%		M.O.: 5 – 10 cm	Piedras%: 8%		
Fotografías sp. dominantes					
					
Sp. acompañantes					
<i>Carex gayana, Plantago lanceolata, Acaena magellanica, Phylloscirpus acaulis</i>					
<b>OBSERVACIONES</b>					
Se observan fecas de conejo y caballo					
Características antrópicas			Fotografía n°: 4		
Uso: Sobre pastoreo					
Observaciones de artificialización:					
					
No se observan caminos al interior, se observan obras cercanas (Alto Maipo), se observan fecas.					

Ficha de terreno

<b>Nombre vega: La engorda</b>			<b>Código:</b>		
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		Vega			
Visitado por: RC- KA		Coordenadas este		407274	
Fecha: 07 – 11 – 17		Coordenadas norte		6259691	
N° de polígono		Pendiente: 2%		Altitud	
				2530 m.s.n.m	
Ocurrencia de agua: si					
<b>Características vegetacionales</b>					
<b>Formación vegetal</b>	<b>Fotografía n°</b>	<b>Especies dominantes</b>	<b>Tipo</b>	<b>Altura</b>	<b>Cobertura</b>
H	1	<i>Phylloscirpus acaulis</i>	Herbácea	0-25	80%
H	2	<i>Carex gayana</i>	Herbácea	0-25	20%
H	3	<i>Taraxacum officinale</i>	Herbácea	0-25	5%
% suelo desnudo: 3%		% M.O.: -		Piedras%: 1%	
<b>Fotografías sp. dominantes</b>					
					
<b>Sp. acompañantes</b> <i>Trifolium repens</i>					
<b>OBSERVACIONES</b>					
Es posible que la presencia de <i>P. acaulis</i> esté acompañada de <i>Eleocharis albibracteata</i> . Las formaciones vegetales se aprecian a ras de suelo, la altura no supera los 5 cm. Se aprecian fecas de caballo, conejo.					
<b>Características antrópicas</b>			<b>Fotografía n°:4</b>		
<b>Uso: Pastoreo, ganadero.</b>					
					
<b>Observaciones de artificialización:</b> No se observan caminos al interior, se observan obras cercanas (Alto Maipo), se observan fecas.					

**Ficha de terreno**

<b>Nombre vega: La engorda</b>					<b>Código:</b>
Vega/Bofedal/pajonal/hídrico:		vega			
Visitado por: RC – KA		Coordenadas este	407312		
Fecha: 07 – 11 – 17		Coordenadas norte	6259672		
N° de polígono		Pendiente: 2%	Altitud	2540 m.s.n.m.	
Ocurrencia de agua: no					
<b>Características vegetacionales</b>					
<b>Formación vegetal</b>	<b>Fotografía n°</b>	<b>Especies dominantes</b>	<b>Tipo</b>	<b>Altura</b>	<b>Cobertura</b>
H	1	<i>Phylloscirpus acaulis</i>	Herbácea	0-15	30%
H	1	<i>Taraxacum officinale</i>	Herbácea	0-15	45%
H	2	<i>Carex gayana</i>	Herbácea	0-15	10%
% suelo desnudo: 40%		% M.O.: -		Piedras%: 1%	
<b>Fotografías sp. dominantes</b>					
					
<b>Sp. acompañantes</b> <i>Chuquiraga oppositifolia, Trifolium repens</i>					
<b>OBSERVACIONES</b>					
El suelo se observa degradado, hay presencia de fecas de ganado, caballo y conejo. Vegetación a ras de suelo no supera los 5 cm de altura.					
Las formaciones vegetales son pequeñas por lo que se dificulta la identificación de las especies. Se sospecha presencia de <i>Eleocharis albibracteata</i> .					
<b>Características antrópicas</b>			<b>Fotografía n°:</b>		
<b>Uso:</b> Pastoreo					
<b>Observaciones de artificialización:</b> No se observan caminos al interior, se observan obras cercanas (Alto Maipo), se observan fecas.					

## 9.5 Caracterización y Análisis Conjunto de la Vegetación de los Humedales Seleccionados.

### a) Caracterización florística.

De acuerdo a los datos levantados en terreno para cada parcela, se obtuvo la caracterización del estado actual de la vegetación en los tres humedales, en este contexto se realizó caracterización florística a través de la identificación y clasificación de la flora presente en cada una de las parcelas estudiadas mediante la presencia-ausencia del total de las especies encontradas (Tabla N° 18).

Tabla N° 18. Caracterización florística de humedales

Parcela	La engorda	La engorda	La engorda	La engorda	El plomo	El plomo	El plomo	El plomo	Lo encañada	Lo encañada
Especie	Z-t1	Zt-2	Zv-1	Zv-2	Za-1	Za-2	Zb-1	Zb-2	Z1	Z2
<i>Carex gayana</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Phylloscirus acaulis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x		
<i>Eleocharis albibracteata</i>			x		x	x	x	x	x	x
<i>Taraxacum officinale</i>			x	x					x	x
<i>Trifolium repens</i>				x						
<i>Berbers empetrifolia</i>	x	x								
<i>Calceolaria filicaulis</i>									x	
<i>Acaena pinnatifida</i>										x
<i>Acaena magellanica</i>	x	x							x	
<i>Poa pratensis</i>										
<i>Arenaria serpens</i>				x						
<i>Plantago lanceolata</i>	x	x								
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	x	x		x						
<i>Sphedra chilensis</i>		x								
<i>Anagallis alternifolia</i>				x						
<i>Dactylis glomerata</i>									x	x
<i>Haerpestes cymbalaria</i>					x	x	x	x		
<i>Plantago uniglumis</i>						x				
Sp. Poaceae					x					

La marcas (x) indica los sitios donde la especie se encuentra presente, los recuadros vacíos indican la ausencia de la especie en cada una de las parcelas estudiadas.

La especie *Carex gayana* (21) se encuentra presente en el 100% de las parcelas estudiadas, luego *Phylloscirpus acaulis* (22) tiene la segunda mayoría, ya que se encontró en 8 de 10 parcelas y *Eleocharis albibracteata* (23) la tercera con 7 de 10 parcelas. El resto de las especies tiene una distribución más restringida en las parcelas estudiadas (Figura N° 59).



Figura N° 59. Especies presentes en parcelas.

En cuanto a la identificación en terreno, 9 especies se consideraron dominantes en las parcelas estudiadas en los tres humedales contemplados: *Carex gayana*, *Eleocharis albibracteata*, *Halerpestes cymbalaria*, *Chuquiraga oppositifolia*, *Berberis emperifolia*, *Phylloscirpus acaulis*, *Poa pratensis*, *Taraxacum officinale*, *Ephedra chilensis*, sin embargo estas dos últimas alcanzaron un 5% de cobertura (Tabla N° 19).

Tabla N° 19. Especies dominantes

Humedal	Sp. dominante	% de cobertura
La engorda Zf-1	<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	40
	<i>Berberis emperifolia</i>	10
La engorda Zf-2	<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	50
	<i>Berberis emperifolia</i>	20
	<i>Ephedra chilensis</i>	.5
La engorda Zv-1	<i>Phylloscirpus acaulis</i>	80
	<i>Carex gayana</i>	20
	<i>Taraxacum officinale</i>	5
La engorda Zv-2	<i>Phylloscirpus acaulis</i>	30
	<i>Taraxacum officinale</i>	45
	<i>Carex gayana</i>	10
El Plomo Za-1	<i>Carex gayana</i>	70
	<i>Eleocharis albibracteata</i>	10
	<i>Halerpestes cymbalaria</i>	10
El Plomo Za-2	<i>Carex gayana</i>	30
	<i>Eleocharis albibracteata</i>	35
El Plomo Zb-1	<i>Carex gayana</i>	90
El Plomo Zb-2	<i>Carex gayana</i>	50
	<i>Eleocharis albibracteata</i>	45
Lo encañada Z1	<i>Carex gayana</i>	75
	<i>Eleocharis albibracteata</i>	10
Lo encañada Z2	<i>Carex gayana</i>	55
	<i>Eleocharis albibracteata</i>	10
	<i>Poa pratensis</i>	30

## b) Familias representadas

La cantidad de especies por familia presentes en los tres humedales estudiados se representan en el gráfico de la Figura N° 59.1.

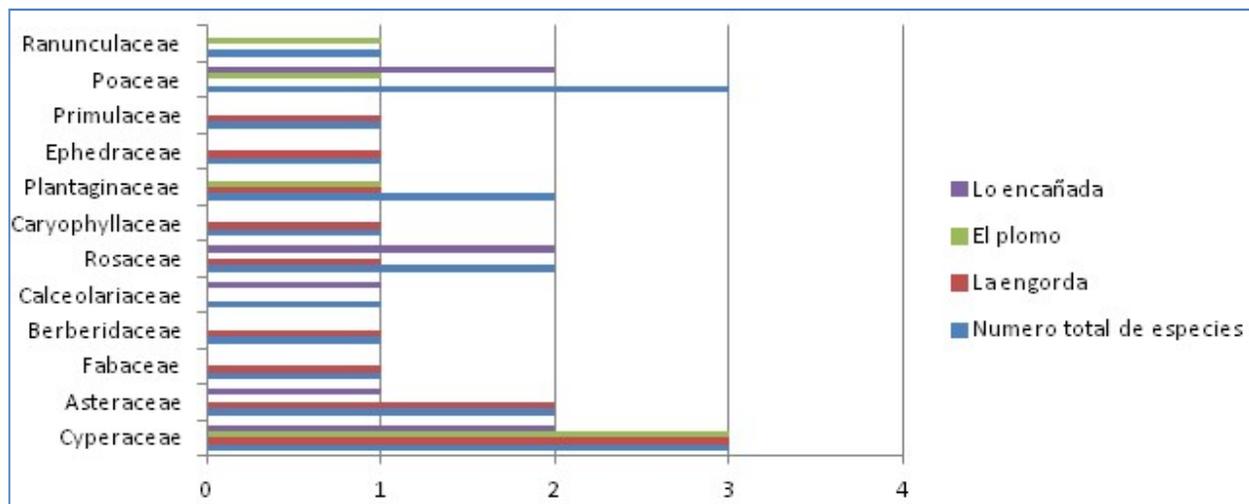


Figura N° 59.1. Especies presentes en los humedales.

En el gráfico muestra en color azul la cantidad de especies por familia que se encontraron en el total de las parcelas. En color verde se indican las especies presentes por familia en el humedal el plomo, en violeta las especies por familia presentes en el humedal Lo Encañada, así como en rojo se observa el número total de especies por familia en el humedal La Engorda.

## c) Estado de conservación y origen

El origen de las especies encontradas correspondientes a 9 familias es nativo, sin embargo también se encontraron al menos tres especies como *Poa pratensis*, *Plantago lanceolata*, *Dactylis glomerata*, correspondientes a otras dos familias, que son de origen exótico y que para algunos sitios se encontraron en un alto porcentaje.

La clasificación de estas especies fue revisada directamente en el buscador de especies del Ministerio de Medio Ambiente y en cuanto al estado de conservación, de acuerdo al libro rojo UICN, solo dos de las especies se encuentran evaluadas y su estado de conservación es de preocupación menor, el restante de las especies nativas

no ha sido evaluado y para las especies exóticas no es aplicable un estado de conservación en Chile (Tabla N° 20).

Tabla N° 20. Familias por especie, origen y estado de conservación.

Familia	Especie	Tipo biológico	Código	Origen	Estado de conservación
Cyperaceae	Carex gayana	Herbáceo	cg	Nativa	Preocupación menor
Cyperaceae	Phylloscirpus acaulis	Herbáceo	pa	Nativa	No evaluado
Cyperaceae	Eleocharis albibracteata	Herbáceo	ea	Nativa	No evaluado
Asteraceae	Taraxacum officinale	Herbáceo	to	Nativa	No evaluado
Fabaceae	Trifolium repens	Herbáceo	tr	Exótica	No aplica
Berberidaceae	Berberis empetrifolia	Leñoso bajo	Be	Nativa	No evaluado
Calceolariaceae	Calceolaria filicaulis	Herbáceo	cf	Nativa	No evaluado
Rosaceae	Acaena pinnatifida	Herbáceo	ap	Nativa	No evaluado
Rosaceae	Acaena magellanica	Herbáceo	am	Nativa	No evaluado
Poaceae	Poa pratensis	Herbáceo	Pp	Exótica	No aplica
Caryophyllaceae	Arenaria serpens	Herbáceo	as	Nativa	No evaluado
Plantaginaceae	Plantago lanceolada	Herbáceo	pl	Exótica	No aplica
Asteraceae	Chuquiraga oppositifolia	Leñoso bajo	Cho	Nativa	No evaluado

## 10. ANALISIS DE RIESGO

### 10.1 Índice de Vulnerabilidad

La vulnerabilidad de los humedales en estudio (punto 9), se obtuvo de la relación entre la tendencia del Índice de Humedad (IHUM) (promedio del humedal), el cambio anual de las clases del IHUM, cuantificadas en superficie de cambios entre el año 2000 y 2017, la estabilidad de las superficies con vegetación entre ambos años y la superficie de vegetación que cambio a sin vegetación.

#### **Tendencia del IHUM.**

La tendencia del IHUM espectral de la serie se obtuvo, como ya fue explicado en el punto 7.3 a partir de la obtención del promedio de píxeles de la totalidad de la superficie de cada humedal, expresado en una escala de 1 a 200, siendo el comportamiento directamente proporcional con el vigor y el contenido de agua de la vegetación.

#### **Superficie de cambio anual del IHUM.**

Este análisis se realizó entre los datos espacializados del IHUM del año 2000 y 2017, de tal manera que su resultado permite determinar el comportamiento al interior de la superficie de cada humedal y los cambios que existen entre ambos años (año inicial y final de la serie temporal), información complementaria e independiente a la tendencia de la serie.

La metodología consistió en definir los límites de cuatro clases del IHUM mediante aproximaciones a la respuesta espectral de las formaciones condiciones de la vegetación, considerando al mismo tiempo que el índice de IHUM es una combinación de las bandas espectrales del infrarrojo cercano y medio, bandas donde la vegetación tiene la mayor respuesta debido a sus estructuras celulares y al contenido de agua

celular respectivamente, lo que se expresa en éste caso en una escala numérica de 0 a 200.

De acuerdo a lo anterior se definieron las siguientes clases:

- 1) Valor IHUM entre 0 y menor de 95, corresponde a vegetación de vega asociada a saturación de agua en superficie.
- 2) Valor IHUM entre 95 y menor de 101 corresponde a zonas con escasa vegetación, correspondiente a borde de zonas húmedas y zonas desprovistas de vegetación.
- 3) Valor entre 101 y menor de 110, corresponde a zonas con vegetación de reflectividad media asociada a arbustos bajos y zonas con cobertura de vegetación media.
- 4) Valor mayor o igual a 110, corresponde a núcleos de vegas con escasa agua superficial, cobertura densa y alto valor de vigor y contenido de agua de la vegetación.

Los límites definidos fueron aplicados a los IHUM del año 2.000 y 2.017 y los resultados cuantificados por superficie (hectáreas) obteniéndose la distribución espacial para ambos años de las cuatro clases, para posteriormente proceder a aplicar una tabulación cruzada entre ambos años y obtener los cambios que se produjeron entre las clases en los años 2000 y 2017. Tales resultados se expresan en tablas de superficies por clases.

En razón que el humedal de Lo Encañada tiene una condición estable éste indicador se obtuvo para discriminar la vulnerabilidad entre el Plomo y La Engorda.

### **Estabilidad del vigor vegetacional alto del humedal entre el 2001 y 2017.**

Este análisis se realizó entre la data de reflectividad del sensor multiespectral del satélite Aster y del sentinel del año 2001 y 2017 respectivamente.

Para lo anterior se procedió a confeccionar una composición multitemporal en RGB con las bandas espectrales del infrarrojo cercano de ambas fechas, asignándolas a los colores del rojo y verde, mientras que la banda espectral del rojo del año 2017

(SENTINEL 2) se asignó al color azul, el resultado entrega en color amarillo las zonas de mayor reflectividad vegetal que se mantuvo entre ambos años, correspondiendo a zonas con vegetación de mayor vigor. Posteriormente mediante análisis visual se procedió a separarlas y a generar la cartografía de las zonas estables.

Al igual que el indicador anterior, no se realizó el análisis para Lo Encañada.

### 10.1.1 Lo Encañada

#### 10.1.1.1 Tendencia de la serie IHUM (2000 a 2017).

En el caso del humedal Lo Encañada, el comportamiento de la serie y su tendencia corresponde al siguiente gráfico (Figura N° 60)

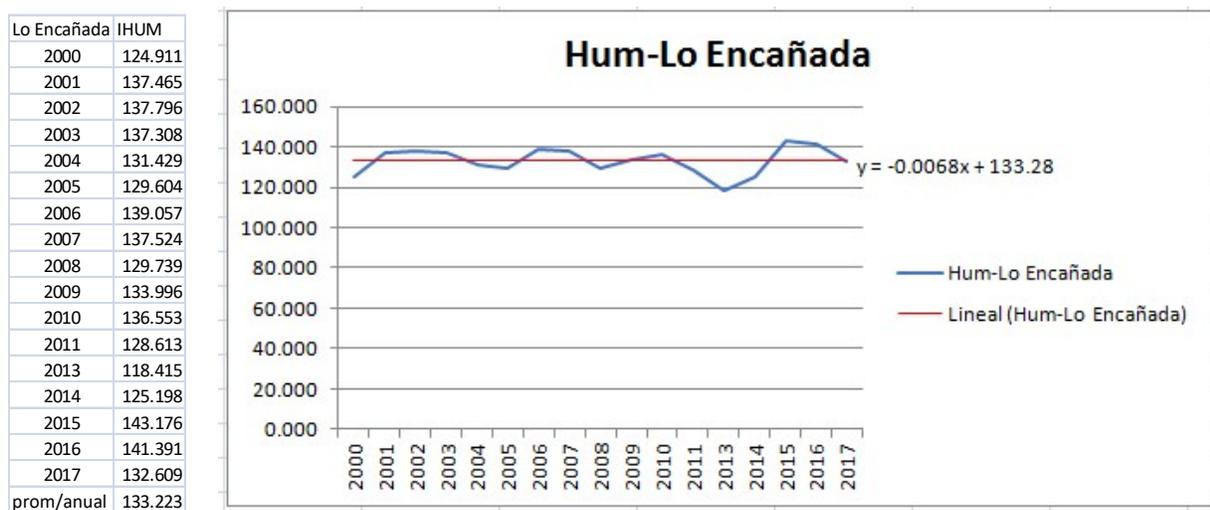


Figura N° 60. Tendencia del IHUM entre el año 200 y 2007 del humedal Lo Encañado.

La tendencia del humedal es a un comportamiento estable, entorno de una media de 133,223 de vigor vegetal y contenido de agua del conjunto de la vegetación del humedal.

## 10.1.2 El Plomo

### 10.1.2.1 Tendencia de la serie IHUM (2000 a 2017).

En el caso del humedal El Plomo, el comportamiento de la serie y su tendencia corresponde al siguiente gráfico (Figura N° 61).

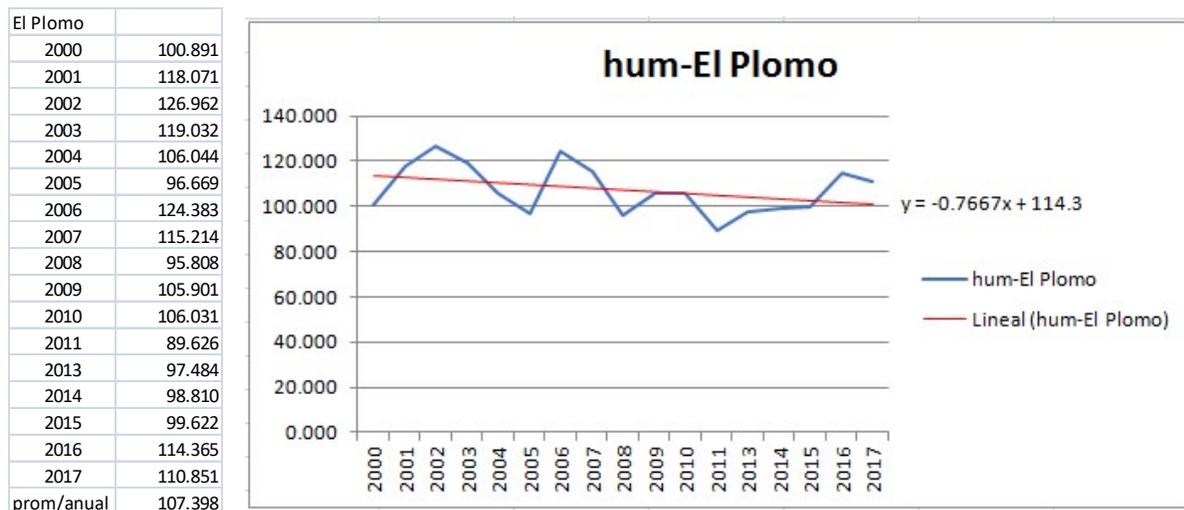


Figura N° 61. Tendencia del IHUM entre el año 200 y 2007 del humedal El Plomo.

En este caso el humedal El Plomo el IHUM fue medido la zona de mayor superficie ubicada entorno del río Yeso, mostrando una tendencia negativa y con mayores variaciones anuales y un promedio anual de la serie de 107,398.

### 10.1.2.2 Superficie de cambio anual (2000-2017)

Los resultados obtenidos para el humedal EL Plomo se presentan en la Figura N° 62.

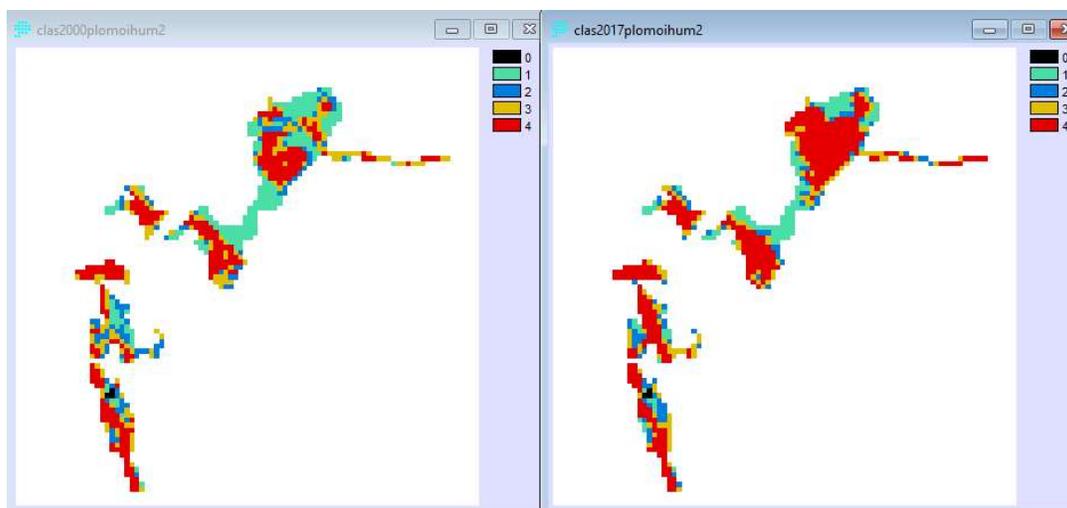


Figura N° 62. Distribución de clases de IHUM en el año 2000 y 2017.

La clase 1 corresponde a la vegetación saturada con agua en superficie, la clase 2 a zonas con escasa o nula vegetación, ubicada principalmente en torno de los núcleos húmedos, la clase 3 a zonas de vegetación de coirón y arbustos bajos y la clase 4 a la vegetación de veranada con alto vigor y contenido de agua.

Los cambios que se producen entre las clases para ambos años se expresan en superficies (hectáreas) en la Tabla N°21.

Tabla N° 21. Superficies de cambios entre clases (2000-2017). El Plomo

Clases de IHUM Humedal el Plomo (superficies en hectáreas)						
	1	2	3	4	Total	Porcentaje
<b>1</b>	<b>9.81</b>	0.72	0.63	0.36	11.52	
<b>2</b>	2.79	<b>3.42</b>	2.07	0.36	8.64	
<b>3</b>	1.98	3.33	<b>4.23</b>	2.07	11.61	
<b>4</b>	3.42	2.61	8.46	<b>21.4</b>	35.89	
<b>Total</b>	18	10.08	15.39	24.19	<b>67.66</b>	
<b>Sup.aumento clase</b>	5.4	5.94	8.46	0	<b>19.8</b>	<b>30.0</b>
<b>Sup.disminuc. clase</b>	2.79	0.72	2.7	2.79	<b>9</b>	<b>10.0</b>
<b>Sup. Estable</b>	9.81	3.42	4.23	21.4	<b>38.86</b>	<b>60.0</b>
	<b>Columna año 2000</b>					
	<b>Fila año 2017</b>					

Los cambios que indica la tabla están en relación con la dinámica hídrica que se ha producido en el tiempo tanto en superficie (movimientos de cursos) como en la cantidad de agua presente en ambos años que se comparan, lo que está en directa relación con el comportamiento climático (precipitación y temperatura), además de las intervenciones antrópicas en el tiempo (ganadería, obras).

En éste caso, la tabla indica (los valores de la columna corresponden a las clases del año 2000 y las filas al año 2017) que la superficie estable entre ambos años corresponden a 38,86 hectáreas (sumatoria de la diagonal de la tabla), lo que corresponde al 60% del área total estudiada. La clase 1 que cubría 18 hectáreas el año 2000 en el año 2017 recupero 5,4 hectáreas de vegetación, es decir dicha superficie paso a tener menos agua superficial y una vegetación con una condición de vigor media y alta. En el caso de la clase 2, que corresponde a zonas sin vegetación, de las 10,08 hectáreas 5,94 fueron recuperadas, mientras que la clase 3 (condición de vigor media) mejoró 8,46 hectáreas. Lo anterior determina una recuperación de 30% del total de la superficie del área total estudiada (67,66 ha), mientras que la disminución en la condición de vigor vegetacional disminuyo en 10%.

Estos resultados pueden aparecer contradictorios con la tendencia negativa que mostro el humedal en estudio de la serie de tiempo cuya tendencia general es negativa (ver gráfico del punto anterior (Figura N°61), sin embargo si se observa el año 2017 el valor promedio del IHUM es mayor respecto del año 2000 en 10 puntos.

### *10.1.2.3 Estabilidad de la superficie con vegetación*

En éste caso la composición multitemporal (Figura N°63) entrego como resultados la superficie de alto vigor que no cambio entre el año 2000 y 2017, la que corresponde a 23,4 hectáreas, equivalente al 35,1% del total de superficie del humedal. Esta cifra es coincidente con el análisis anterior que indica una superficie 21,4 hectáreas de la clase de alto vigor, la diferencia está marcada por la resolución de los datos estudiados y por el propio método

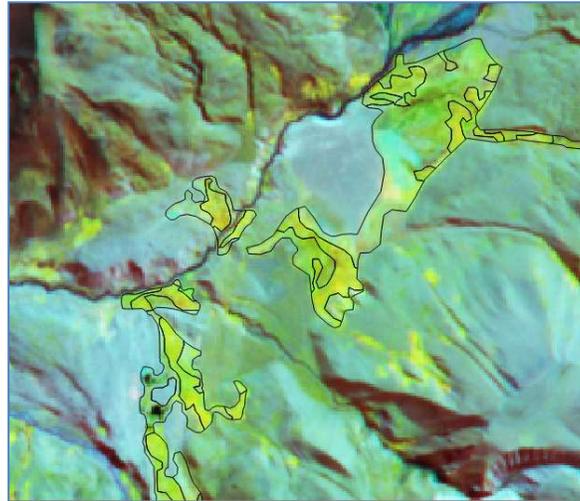


Figura N°63. Composición multitemporal (RGB-IRC2000, IRC2017, R2017). En color amarillo zonas vegetacionales sin cambio de vigor (alto) entre ambos años.

### 10.1.3 La Engorda

#### 10.1.3.1 Tendencia de la serie IHUM (2000 a 2017).

En el caso del humedal La Engorda, el comportamiento de la serie y su tendencia corresponde al siguiente gráfico (Figura N° 64).

La Engorda	
2000	100.272
2001	102.972
2002	105.357
2003	112.972
2004	106.101
2005	106.771
2006	109.959
2007	106.193
2008	100.109
2009	103.308
2010	105.351
2011	105.036
2013	97.854
2014	95.840
2015	102.911
2016	105.081
2017	103.482
prom/anual	104.092

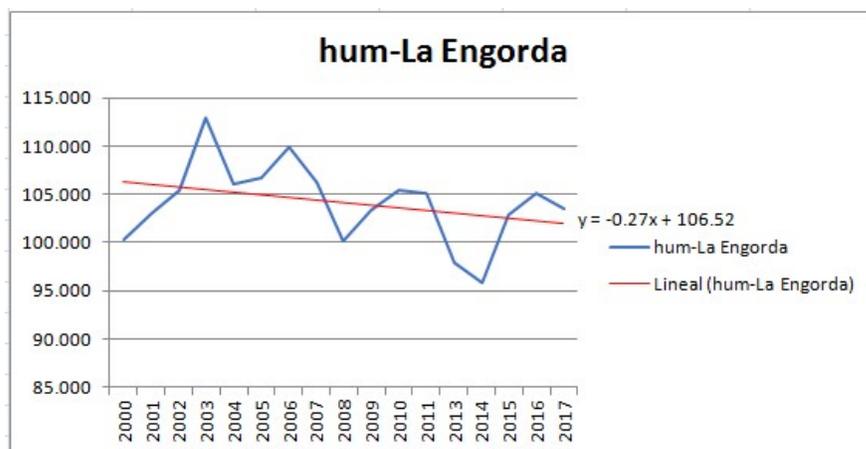


Figura N° 64. La tendencia del IHUM entre el año 200 y 2007 del humedal La Engorda.

El comportamiento del humedal completo tiene una tendencia negativa más pronunciada que el Plomo y una mayor variación anual del IHUM promedio, con un promedio anual de 104,094.

### 10.1.3.2 Superficie de cambio anual (2000-2017)

Las superficies por clases de vigor para el caso del humedal La Engorda se representan en la Figura N° 65.

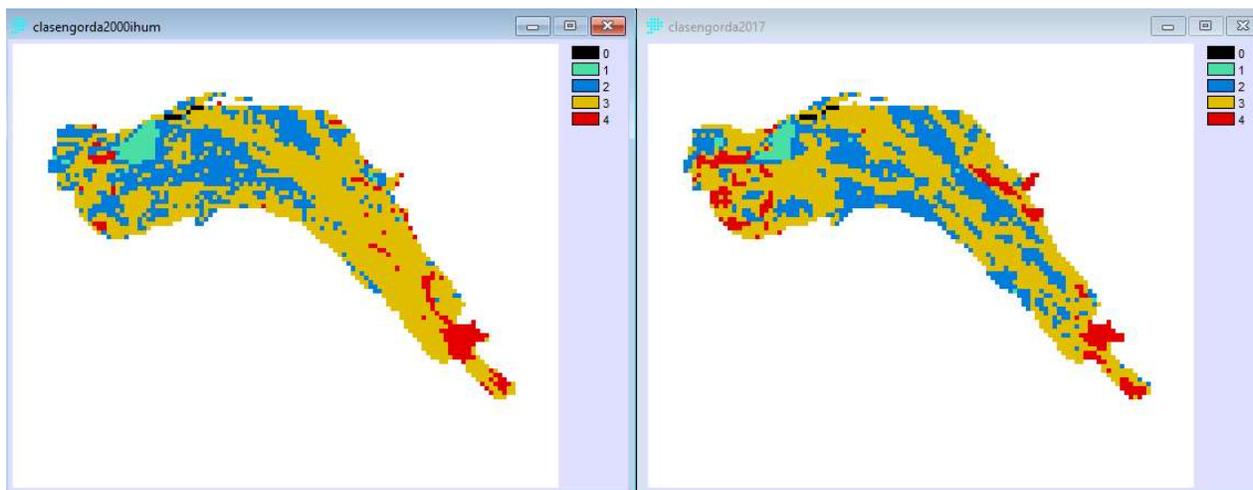


Figura N° 65. Distribución de clases de IHUM en el año 2000 y 2017, humedal La Engorda.

La clase 1 corresponde a la vegetación saturada con agua en superficie, la clase 2 a zonas con escasa o nula vegetación, la clase 3 a zonas de vegetación de coirón y arbustos bajos y la clase 4 a la vegetación de veranada con alto vigor y contenido de agua.

Los cambios que se producen entre las clases para ambos años se expresan en superficies (hectáreas) en la siguiente tabla (N°22).

Tabla N° 22. Superficies de cambios entre clases (2000-2017). La Engorda.

Clases de IHUM Humedal La Engorda (superficies en hectáreas)						
	1	2	3	4	Total	Porcentaje
1	3.6	0.36	0.45	0	4.41	
2	1.17	30.51	34.38	1.17	67.23	
3	0.9	30.15	85.41	4.95	121.4	
4	0.45	1.08	9.99	6.84	18.36	
<b>Total</b>	6.12	62.1	130.2	12.96	211.4	
<b>Sup.aumento clase</b>	1.35	31.23	9.99	0	42.57	10.0
<b>Sup.disminuc. clase</b>	1.17	0.36	34.83	6.12	42.48	60.0
<b>Sup. Estable</b>	3.6	30.51	85.41	6.84	126.4	30.0
	<b>Columna año 2000</b>					
	<b>Fila año 2017</b>					

Para La Engorda la tabla de cambios expresa (los valores de la columna corresponden a las clases del año 2000 y las filas al año 2017) que la superficie estable entre ambos años corresponden a 126,4 hectáreas (sumatoria de la diagonal de la tabla), lo que corresponde al 30% del área total estudiada. La clase 1 que cubría 6,12 hectáreas el año 2000 en el año 2017 recupero sólo 1,35 hectáreas de vegetación, es decir dicha superficie paso a tener menos agua superficial y una vegetación con una condición de vigor media y alta. En el caso de la clase 2, que corresponde a zonas sin vegetación, de las 62,1 hectáreas del año 2000, fueron recuperadas 31,23, no obstante ésta clase a una superficie de 67,23 hectáreas en el año 2017, dado que de la clase 3 pasaron 34,38 hectáreas a ésta clase. La clase 3 (condición de vigor media) mejoró 9,9 hectáreas.

En general, la clase 1 paso de 6,12 hectáreas en el año 2000 a 4,41 al año 2017. La clase 2 de 62,1 a 67,23. La clase 3 de 130,2 a 121,4 y la clase 4 de 12,96 a 18,36.

En general, existió entre el año 2000 y 2017 un aumento de 10% del total de la superficie del área total estudiada (211,4 ha) que se expresa en el paso de clases de

menor vigor a clases con mayor vigor, mientras que la disminución en la condición de vigor vegetal disminuyó en 60% y sólo se mantuvo estable una superficie de 30%.

Si se observan las imágenes del año (ASTER del 2001) y del año 2017 (Figura N° 66) se puede explicar los cambios que se produjeron en el humedal entre ambos años.

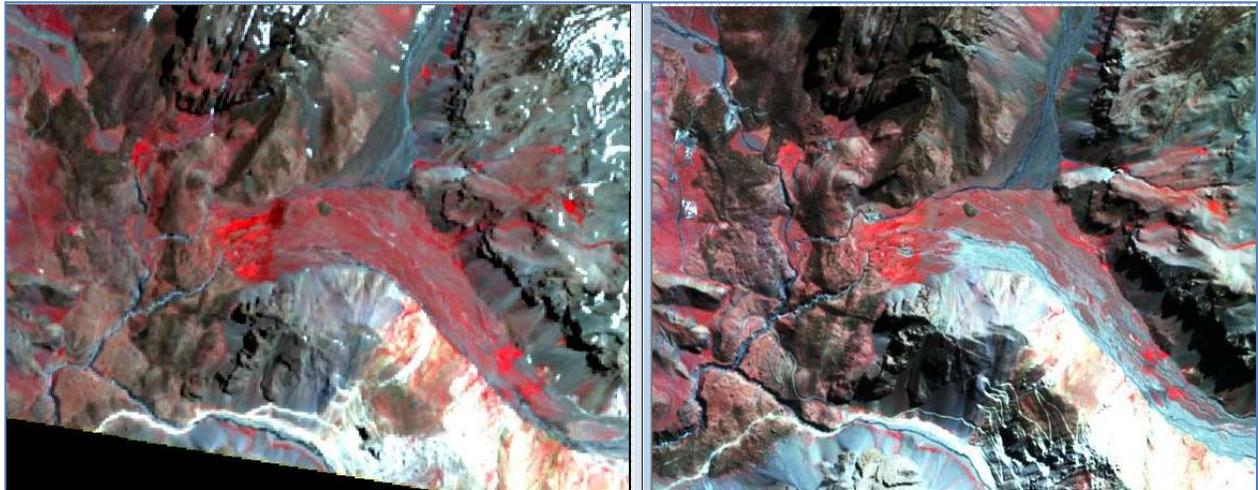


Figura N° 66. Izquierda imagen ASTER 2001, derecha imagen SENTINEL 2 año 2017.

El año 2017 respecto del año 2001 se visualizan al interior del área del humedal, intervenciones por obras (de captación y conducción de agua), caminos, y cambios en los cauces hídricos naturales y ausencia de vegetación en superficies extensas, como la que se sitúa en el sector centro sur que limita con serranía intervenida por la minería.

### 10.1.3.3 Estabilidad de la superficie con vegetación

La composición multitemporal entre ambos años se presenta en la Figura N° 67. El resultado entrega una superficie de vigor alto estable de 8,9 hectáreas, que es el 4,2 % de la superficie total, tomada el año 2001. Esta superficie está incluida en el análisis de cambios, que sitúa la clase de vigor alto en una superficie de 6,84 hectáreas como estable entre los años 2000 y 2017 (Tabla N°18).

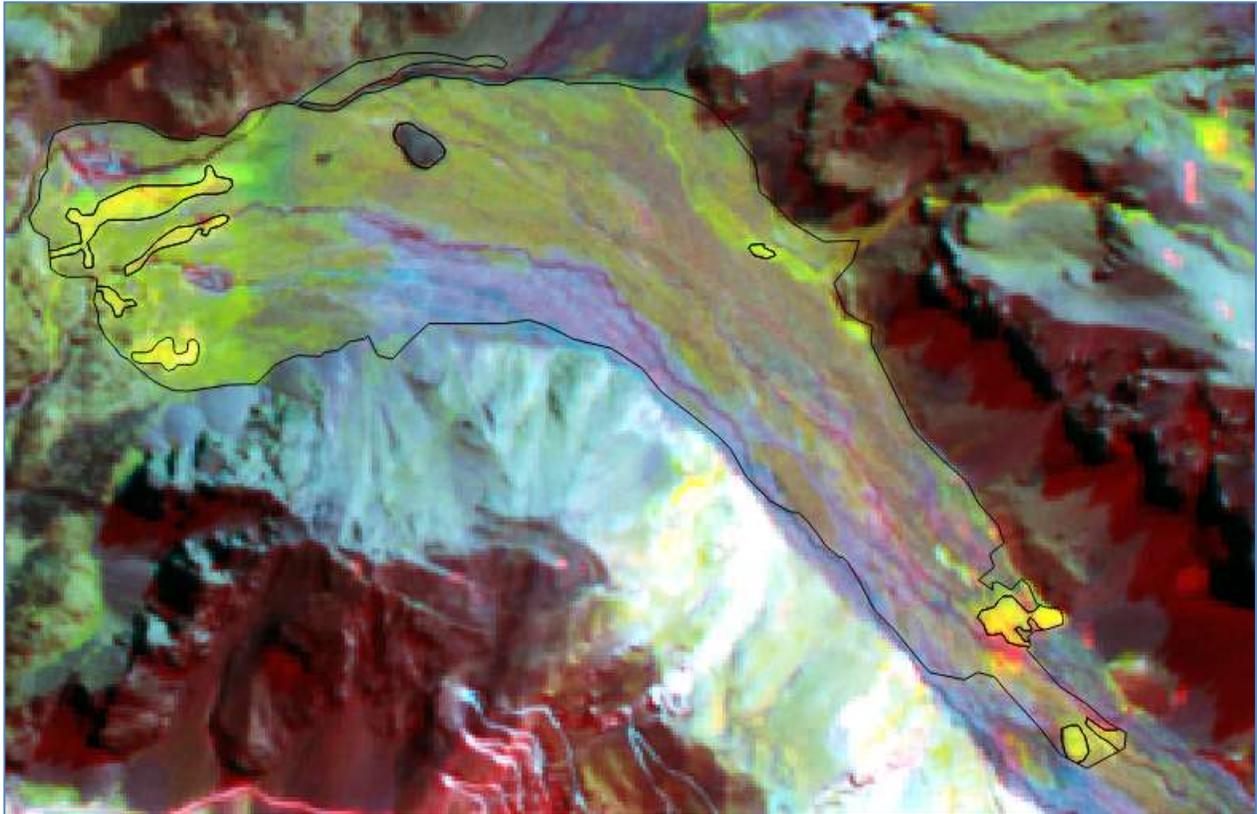


Figura N° 67. Composición multitemporal. La engorda. (RGB-IRC2000, IRC2017, R2017). En color amarillo zonas vegetacionales de vigor (alto) sin cambios entre ambos años.

#### 10.1.4 Resumen de vulnerabilidad.

La vulnerabilidad se define como el “Grado de susceptibilidad de sufrir daño de un sistema frente a los efectos adversos, la cual está en función de la magnitud y tasa de cambio, la sensibilidad del sistema y su capacidad adaptativa”<sup>6</sup>. La vulnerabilidad es propia del ecosistema y son muchos los factores que la determinan, tanto de carácter sociológico como biológicos, en éste caso se estructura un indicador en base a los

---

<sup>6</sup> Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

factores desarrollados en los puntos anteriores, tal como se presentan en la siguiente tabla (N°23).

Tabla N°23. Vulnerabilidad de humedales

	IHUM- % Pendiente	Porcentaje sup.disminucion	Porcentaje sup. estable	Porcentaje sup. de cambio.	Indice de Vulnerabili dad (	Vulnerabilidad
Humedal	A	B	C	D	(A*B*C*D)/ 100000	
Lo Encañada	0					Estable
El Plomo	-76	10	60	64.9	-29.6	Media
La Engorda	-27	60	30	95.8	-46.6	Alta

Los indicadores corresponden a los siguientes:

- Pendiente (en porcentaje) de la tendencia histórica de IHUM, descritos en los gráficos obtenidos para cada humedal (A).
- Porcentaje de la superficie de disminución de las clases de vigor vegetacional entre el año 2001 y 2017 (B).
- Porcentaje de superficie estable de las clases de IHUM entre el año 2001 y 2017 (C).
- Porcentaje de variación de la superficie de humedales entre el año 2001 y 2017, obtenido como el porcentaje complementario a la superficie de vigor alto que no cambio entre los años 2001 y 2017.

Todos los indicadores tienen una relación directa con la vulnerabilidad, es decir en la medida que aumentan, la vulnerabilidad es mayor.

El indicador de vulnerabilidad resultante es la multiplicación de los indicadores descritos dividido por 100.000.

De acuerdo a lo anterior el humedal Lo Encañada se encuentra en la categoría de estable (sólo se consideró la pendiente del modelo de tendencia). El Plomo en vulnerabilidad media y La Engorda en vulnerabilidad media pero mayor al Plomo. Las

categorías se asignan considerando el 100% del porcentaje dividido en tres clases ( 0 a 33 (estable), 33 a 66 (medio) y mayor de 66 (alto)).

## 10.2 Índice de Amenaza

La amenaza o peligro (HAZARD) se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso que se produce sobre los humedales ya sea en forma paulatina en el tiempo o de forma puntual provocando un impacto negativo de mayor o menor relevancia dependiendo de la vulnerabilidad del propio humedal.

En el caso de los humedales La Engorda y el Plomo las amenazas son climáticas (cambio climático, disminución de precipitación (nival y lluvia) y aumento de temperaturas, también se producen por cambios en los patrones hídricos y especialmente por las actividades antrópicas y uso del territorio, entre ellas la ganadería intensiva, el turismo desregulado e intervención directa del territorio por construcción de caminos y obras.

Dado lo anterior, la amenaza para ambos humedales se analizará en base a los siguientes indicadores:

a) Indicador de capacidad ganadera.

En éste caso se asume una presión ganadera, especialmente de uso de las vegas como “veranadas” similar para ambas vegas, dado que ambas vegas se utilizan en forma intensiva con éste fin, lo que queda demostrado tanto por las observaciones in situ, como por descripciones de las rutas troperas existentes. Así se tiene, de acuerdo distintos estudios (Plan de Acción Alto Andino de Santiago, 2011; Inventario de familias troperas (Aes Gener, 2008), que a lo menos en ambas vegas en la temporada de veranada (5 meses) se acogen 2075 vacunos, 150 cabras, 180 ovejas y 760 caballos, lo que traducido a Unidades Animales Equivalentes (AUE) (Tabla N° 24) representan 2.659 UA, definiéndose la UA como una vaca de carne de 454 Kg que amamanta un

ternero de menor de seis meses, consumiendo ambos 12 kg de materia seca (MS) diaria.

Por otro lado, los mismos estudios determinan para éstas vegas una capacidad de carga de 0,46 UA/ha en cinco meses, lo que implica un requerimiento de 2,17 hectáreas por UA/ en cinco meses.

Tabla N° 24. Unidad Animal Equivalente (UAE) y consumo diario de materia seca (MS).

Especie o categoría de animal	UAE	Consumo de MS (kg día <sup>-1</sup> )
Vaca seca (454 kg)	0,92	11,0
Vaca 454 kg con ternero	1,00	12,0
Toro	1,35	16,2
Vacuno de un año	0,60	7,2
Vacuno de dos años	0,80	9,6
Caballo adulto	1,25	15,0
Oveja adulta	0,20	2,4
Cordero de un año	0,15	1,8
Cabra adulta	0,15	1,8
Cabritilla de un año	0,10	1,2

Fuente: United State Department of Agriculture (USDA) – Natural Resources Conservation Service (NRCS). 2003. National Range and Pasture Handbook. Cap. 6. USDA Natural Resources Conservation Service Grazing Lands.

Analizada la superficie entre el año 2001 y 2017 de ambas vegas se determinó que ambas disminuyeron la superficie efectiva de vegas, de tal manera que calculando la UA para ambos años en ambas vegas, la diferencia de UA entre ellas permite definir un indicador de amenaza por el factor ganadero.

b) Indicador de alteración del territorio (superficies de obras, caminos y alteración de patrones hídricos entre el año 2001 y 2017).

A partir de los datos satelitales (SENTINEL 2) para el año 2017 se determinaron las superficies de obras y caminos existentes al interior de la zona de vegas, cifra que multiplicada por un factor de cambio de patrones hídricos definidos por análisis visual en una escala de 1 a 3, donde 1 es nula o baja alteración de los patrones y 3 alta o muy

alta alteración (cambios de cursos de agua entre los años 2001 y 2017, configuran un factor de amenaza por alteración directa del territorio.

c) Impacto turístico.

Finalmente el impacto turístico se obtuvo a partir de la valorización de la accesibilidad a la vega y de patrones existentes en la zona de las vegas, como presencia de senderos turísticos o huellas de vehículos al interior de las propias vegas. La escala utilizada fue de 1 a 2, siendo 1 para existencia nula de presencia de intervención y baja accesibilidad directa y 2 presencia de intervención y fácil accesibilidad.

### 10.2.1 Análisis de Amenazas Vega La Engorda.

En éste análisis se utilizó la superficie correspondiente sólo a la zona de vega.

a) Capacidad ganadera (IAGan).

Año	Vega	Sup. (ha)	UA	Dif-UA
2001	La Engorda	35.7	16.5	
2017	La Engorda	21.5	13.6	-2.9

De acuerdo a lo indicado, la UA sustentable para los cinco meses de veranadas corresponde a 16,5 (total de superficie / 2,17 ha) en el año 2001 y de 13,6 en el año 2017, lo que marca una diferencia significativa con el total de UA que utiliza la veranada (2.659 UA).

b) Indicador de alteración territorial (IAT)

La vega La engorda (Figura N°68) entre los años 2001 y 2017 ha sido intervenida por obras de captación de agua tanto de la quebrada La Engorda como del Estero Colina y por camino estabilizado entre ambas obras, en total suman una superficie de intervención de 3,9 hectáreas de un total de 37,5.

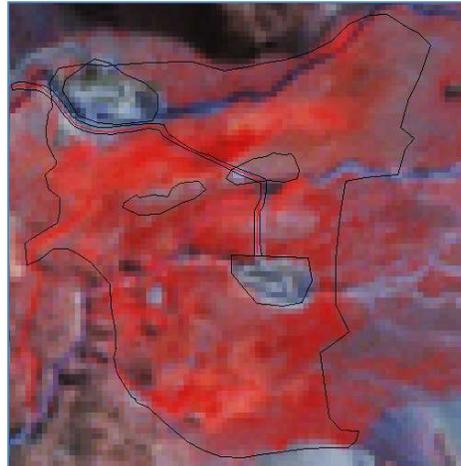


Figura N°68. Zonas de obras y camino en vega La Engorda.

A lo anterior se suma la alteración del patrón hídrico, tal como se puede ver en la Figura N° 69.

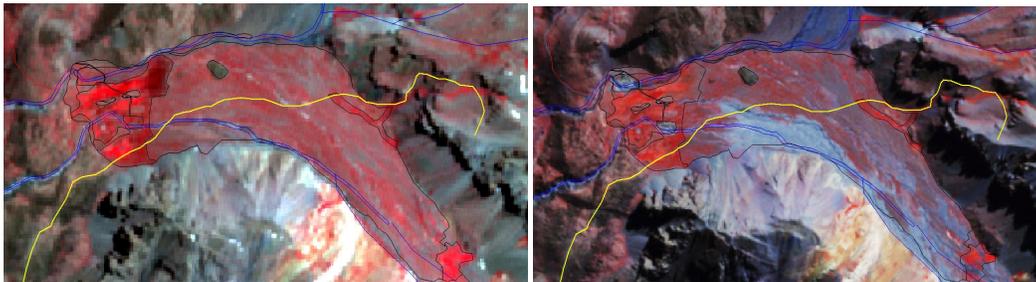


Figura N° 69. Alteraciones del patrón hídrico, izquierda año 2001, derecha año 2017.

Se puede visualizar el cambio del curso de la quebrada La Engorda y de los drenes interiores, en la formación de arbustos bajos que constituye el humedal, dando lugar a un espacio de mayor fragmentación, el valor de grado de alteración asignado es de 3 en la escala de 1 a 3.

c) Accesibilidad y alteración directa por turismo (IA<sub>tur</sub>).

La accesibilidad a la vega se puede realizar mediante camino estabilizado administrado por el AES Gener y por el propietario de la zona, lo que restringe la accesibilidad directa por vehículos, por otra parte se puede acceder caminando por sendero utilizado por turistas, que va desde el sector de cabrería hasta el refugio Plantat, ruta abierta la mayor parte del año, tal como se muestra en la Figura N°54 y en la siguiente fotografía (Figura N° 70):



Figura N° 70. Valle La engorda, turistas subiendo al refugio Plantat (Baranao, 2009).

En resumen el valor asignado por alteración turística y accesibilidad es 2.

El valor total de amenaza es el siguiente:

$$IA_{\text{engorda}} = I_{\text{gan}} * I_{\text{AT}} * I_{\text{Atur}} = 2,9 * 3,9 * 3 * 2 = 67,86$$

### 10.2.2 Análisis de Amenazas Vega El Plomo.

En éste análisis se utilizó la solo la superficie correspondiente a la zona de la vega de mayor continuidad y superficie.

a) Capacidad ganadera (IAGan).

Año	Vega	Sup. (ha)	UA	Dif-UA
2001	El Plomo	40	18.4	
2017	El PLomo	36.1	16.6	-1.76

Utilizando los mismos factores que en la vega La engorda, el resultado es un indicador de 1,76 que es la diferencia de UA entre el año 2001 y 2017.

b) Indicador de alteración territorial (IAT)

La vega el Plomo no presenta intervención por obras, caminos o alteración de cursos de agua, en el espacio de la zona de vega, lo que se verificó directamente en terreno (Figura N° 71).



Figura N° 71. Vega el Plomo, año 2001 y 2017. No presenta obras en la zona de vegas, ni caminos, tampoco alteraciones de cursos de agua.

Sin embargo, mediante el vuelo realizado con drones se puede identificar huellas antiguas de camión al interior de la vega principal, tal como se muestra en la figura N°72, por ello el factor de amenaza es 2.



Figura N°72. Vega el Plomo, lado izquierdo huella de camión antigua, lado derecho parcela de terreno de 50 m.

c) Accesibilidad y alteración directa por turismo (IA<sub>tur</sub>).

Dado que no existe accesibilidad por caminos a la vega, sólo por senderos utilizados principalmente por ganaderos. El camino de acceso más cercano es el camino a las termas del Plomo situado en la ladera norte, del cual se puede acceder a la vega sólo en vehículos todo terreno acondicionado (para la travesía por la caja del río), lo que hace difícil la accesibilidad para turismo tradicional, se suma a lo anterior que en la época de verano los propietarios habilitan cobro para acceder por dicho camino. En consecuencia el valor de amenaza por turismo es 1.

El valor total de amenaza es el siguiente:

$$IA_{\text{plomo}} = I_{\text{gan}} * I_{\text{AT}} * I_{\text{Atur}} = 1,76 * 2 * 1 = 3,52$$

El factor de amenaza, por consiguientes es bajo, concentrado fundamentalmente en el uso ganadero.

### 10.3 Riesgo de Humedales

El riesgo de ambos humedales estudiados corresponde a la siguiente expresión:

$$\text{Iriesgo} = \text{Ivulnerabilidad} * \text{Iamenaza}$$

Lo que entrega el resultado de la Tabla N° 25.

Tabla N° 25. Riesgo de humedales.

Humedal	Indice de Vulnerabilidad	Indice de Amenaza	Indice de Riesgo	%
Lo Encañada				
El Plomo	29.6	3.52	<b>104.192</b>	<b>3.3</b>
La Engorda	46.6	67.8	<b>3159.48</b>	<b>100</b>

De acuerdo a los resultados el riesgo de la vega La Engorda es 30 veces más que la vega del Plomo, lo cual está dado por la ganadería (sobre pastoreo), por las superficies intervenidas directamente en la zona de vegas, por los cambios de cursos hídricos y por el turismo, riesgo que potencialmente puede crecer y tender a que la vega desaparezca por la conducción de agua del proyecto Alto Maipo desde la vega (estero Colina y quebrada la Engorda), lo que disminuirá necesariamente el tiempo de disponibilidad de agua de la vega y la propia cantidad.

La vega el Plomo posee un riesgo menor que está dado por el sobre pastoreo y la tendencia a reducir su superficie húmeda por causas que pueden estar asociadas más directamente a la disminución de precipitaciones y aumento de temperaturas.

En el caso del humedal Lo Encañada tiene una situación estable y mejorante, sin amenazas en cuanto a ganadería, obras o cambios de cursos hídricos, dada la restricción de accesibilidad por parte de Aguas Andinas quienes controlan el acceso, a lo que contribuye las características topográficas de la cuenca Alta del Estero Manzanito.

## 11. ANALISIS DE CAMBIOS DE LOS HUMEDALES EN FUNCION DE LAS VARIABLES AMBIENTALES.

Los datos obtenidos de los humedales (IHUM anual) de seguimiento (considerados como representativos) al colocarlos en relación con la data anual de precipitación líquida y porcentajes de nieve caída se pudo obtener la influencia de dicha variable, como condicionante del comportamiento de los humedales, para ello se procedió como se indica a continuación:

### Nieve.

En el caso del dato de la nieve se procedió a analizar los porcentajes de nieve cubierta por la totalidad del área de estudio obtenidos mediante el análisis de la serie de datos MODIS (Figura N° 73 y 74) para los meses de abril a noviembre, resultados que fueron promediados para obtener el valor anual, tal como se muestra en las Tablas N° 26 y 27.

La fuente de trabajo fue la data disponible en earthengine que se encuentra en el siguiente Link : <https://explorer.earthengine.google.com/#workspace>, donde se ingresa a: MYD09Q1.005 Surface Reflectance 8-Day L3 Global 250m

Los porcentajes de nieve representan directamente la disponibilidad de agua en el tiempo de los humedales y al mismo tiempo el comportamiento de la temperatura que influye directamente en los ritmos de derretimiento de ésta.

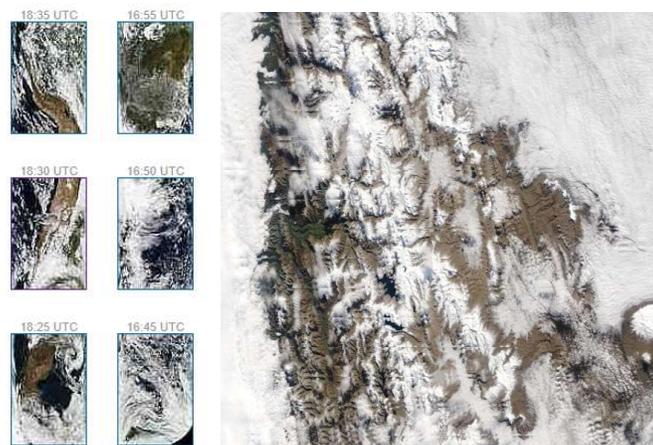


Figura N° 73. Ejemplo de imágenes MODIS analizadas para la estimación de nieve.

**Análisis Multitemporal de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos de la Cuenca Alta del Río Maipo.**



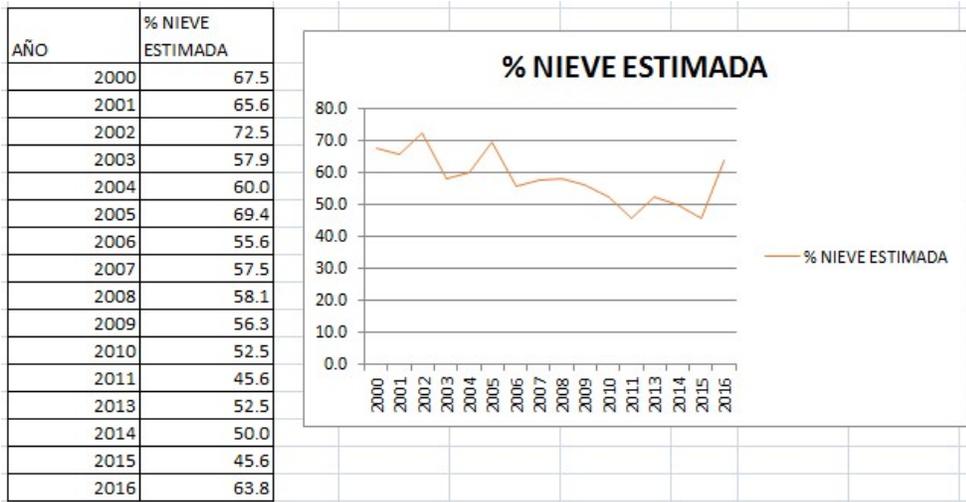
Figura N° 74. Ejemplo de imágenes MODIS abril 2008.

Tabla N° 26. Promedio de nieve caída por mes

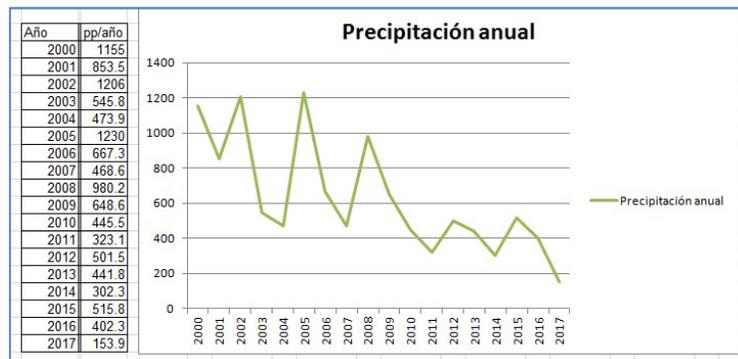
Cobertura de nieve, con descuento de los glaciares, % respecto de la superficie total del área de estudio

Año	Meses	% Nieve	Año	Meses	% Nieve	Año	Meses	% Nieve	Año	Meses	% Nieve	Año	Meses	% Nieve
2000	Abril	25	2001	Abril	45	2002	Abril	30	2003	Abril	8	2004	Abril	30
	Mayo	60		Mayo	50		Mayo	70		Mayo	70		Mayo	50
	Junio	90		Junio	70		Junio	95		Junio	80		Junio	75
	Julio	90		Julio	80		Julio	90		Julio	85		Julio	85
	Agosto	80		Agosto	85		Agosto	80		Agosto	70		Agosto	75
	Septiembre	80		Septiembre	80		Septiembre	80		Septiembre	60		Septiembre	65
	Octubre	65		Octubre	65		Octubre	75		Octubre	50		Octubre	60
	Noviembre	50		Noviembre	50		Noviembre	60		Noviembre	40		Noviembre	40
		67.5			65.625			72.5			57.875			60
	Meses menor 50%	1			1			1			2			2
2005	Abril	25	2006	Abril	10	2007	Abril	10	2008	Abril	5	2009	Abril	5
	Mayo	70		Mayo	20		Mayo	40		Mayo	60		Mayo	30
	Junio	80		Junio	70		Junio	90		Junio	80		Junio	70
	Julio	80		Julio	80		Julio	85		Julio	70		Julio	80
	Agosto	90		Agosto	85		Agosto	80		Agosto	80		Agosto	80
	Septiembre	80		Septiembre	70		Septiembre	70		Septiembre	70		Septiembre	70
	Octubre	70		Octubre	60		Octubre	50		Octubre	60		Octubre	65
	Noviembre	60		Noviembre	50		Noviembre	35		Noviembre	40		Noviembre	50
		69.375			55.625			57.5			58.125			56.25
	2010	Abril		5	2011		Abril	5		2013	Abril		5	2014
Mayo		40	Mayo	5		Mayo	40	Mayo	60		Mayo	5		
Junio		70	Junio	60		Junio	75	Junio	85		Junio	10		
Julio		85	Julio	75		Julio	85	Julio	70		Julio	80		
Agosto		80	Agosto	80		Agosto	70	Agosto	60		Agosto	75		
Septiembre		60	Septiembre	65		Septiembre	60	Septiembre	60		Septiembre	80		
Octubre		50	Octubre	50		Octubre	50	Octubre	40		Octubre	60		
Noviembre		30	Noviembre	25		Noviembre	35	Noviembre	20		Noviembre	50		
		52.5		45.625			52.5		50			45.625		
		3		3			3		3			3		
2016	Abril	70	2017	Abril										
	Mayo	70		Mayo										
	Junio	80		Junio										
	Julio	85		Julio										
	Agosto	70		Agosto										
	Septiembre	55		Septiembre										
	Octubre	50		Octubre										
	Noviembre	30		Noviembre										
	63.75													

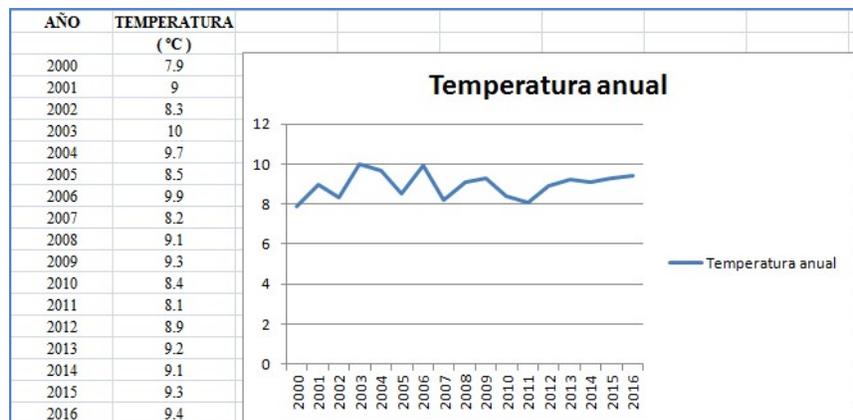
Tabla N° 27. Promedio de nieve caída por año



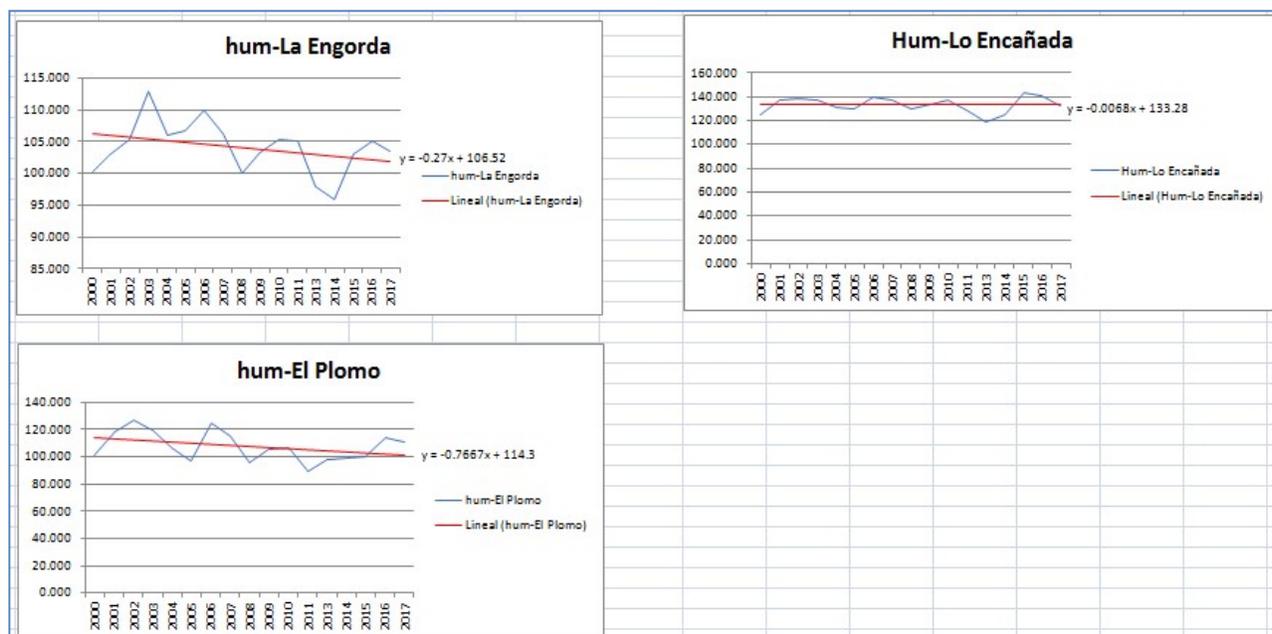
### Precipitación de lluvia.



### Temperatura



## Índices de vigor humedad (IHUM)



Puestos los datos en concordancia, asumiendo que las precipitaciones tanto totales como de agua y nieve correspondientes a un determinado año tienen un efecto en la temporada del año siguiente (Índice de humedad y vigor de la vegetación corresponde a marzo), los datos quedan de acuerdo a lo que se indica en la Tabla N° 28.

Tabla N°28. Datos climáticos y de vigor-humedad.

Año	Temp	nieve%	mm/año	ppttotal	IHUM			
					La Engorda 157	El Plomo 164	Lo encañado 182	
2000	7.9	67.5	1154.7	1.675	1934.1225	102.971628	118.070664	137.464926
2001	9	65.625	853.5	1.65625	1413.60938	105.356996	126.962475	137.796041
2002	8.3	72.5	1206.2	1.725	2080.695	112.971691	119.031746	137.307835
2003	10	57.875	545.8	1.57875	861.68175	106.100757	106.043984	131.428586
2004	9.7	60	473.9	1.6	758.24	106.771296	96.6693235	129.604189
2005	8.5	69.375	1229.5	1.69375	2082.46563	109.959184	124.383494	139.056742
2006	9.9	55.625	667.3	1.55625	1038.48563	106.192931	115.21368	137.523644
2007	8.2	57.5	468.6	1.575	738.045	100.109337	95.8080613	129.738979
2008	9.1	58.125	980.2	1.58125	1549.94125	103.307789	105.900813	133.995858
2009	9.3	56.25	648.6	1.5625	1013.4375	105.350647	106.031177	136.553392
2010	8.4	52.5	445.5	1.525	679.3875	105.035868	89.6256909	128.613295
2011	8.9	50.7	501.5	1.45625	730.309375	97.8537898	97.4840917	118.414883
2012	9.2	52.5	484.6	1.525	739.015	95.8404147	98.8095863	125.197608
2013	9.1	50	302.3	1.5	453.45	102.91114	99.6223837	143.17644
2014	9.3	45.625	515.799998	1.45625	751.133747	105.081429	114.364799	141.39142

La precipitación total (nieve y lluvia) corresponde a la ponderación de la precipitación por el porcentaje de nieve correspondiente.

Los coeficientes de correlación que se obtienen son los siguientes (Tabla N°29):

Tabla N°29. Coeficiente de correlación Pearson entre variables e IHUM.

Humedal (IHUM)	Coeficientes de correlación			Temp (°C)
	lluvia	nieve	pp-total	
La Engorda	0.54148772	0.59649861	0.56315593	-0.00030502
El Plomo	0.76437888	0.6264946	0.76271392	-0.10164239
Lo Encañada	0.3507762	0.2455166	0.35903732	-0.01427969

Los resultados indican que la precipitación tanto de nieve como de lluvia se relaciona directamente con la condición de los humedales, estimada mediante el índice de vigor-humedad (IHUM). En el caso de la Engorda a lo menos el 31% (coeficiente de determinación) de la condición está explicado por la precipitación total, mientras que en el caso del Plomo el porcentaje es 58% y en el caso de Lo Encañada es el 13%, lo que se explica por tener una tendencia de condición estable en el periodo estudiado (2000 a 2017), mientras que los otros dos humedales tiene una condición de mayor variabilidad y una tendencia negativa, concordante con la tendencia de la precipitación tanto de nieve como de lluvia.

En cuanto a la temperatura, la correlación no es significativa, pero si el tipo de relación, la cual es inversa para los tres humedales, lo que implica que la tendencia en el periodo a subir, disminuye la condición de vigor y humedad de los humedales en su conjunto.

## 12. CONCLUSIONES

El axioma planteado para la realización del presente trabajo fue determinar mediante análisis multitemporal, mediante la utilización de un índice espectral como el de humedad y vigor vegetacional, definido a partir de la data satelital disponible para el área de estudio, la tendencia de los condición de los humedales (188) identificados en la cuenca alta del río Maipo y explicar al mismo tiempo la influencia antrópica y ambiental en dicha tendencia. Reconociendo al mismo tiempo, la importancia de dichos humedales tanto por sus servicios ambientales como por la importancia económica en cuanto sustentan la ganadería local y regional y son fuente de regulación del agua para distintos usos. De igual manera, asumiendo que los humedales son altamente sensibles a la disponibilidad de agua y a la propia alteración tanto por sobrecarga animal como por otras actividades, como captación de agua y turismo.

De acuerdo a lo anterior, el desarrollo del proyecto apunto a dimensionar y relacionar las variables ambientales (temperatura media anual, precipitación tanto de agua como de nieve) a determinar el riesgo en el contexto de las cuencas directas donde se ubican, así como el propio riesgo de las propias zonas de los humedales, a definir mediante el análisis multitemporal del índice espectral de vigor-humedad (IHUM) de la serie comprendida entre el año 2000 y 2017 la tendencia de la condición de los humedales. Con todo, determinar la relación e importancia de las variables en el impacto de los humedales y de acuerdo a ello sugerir una propuesta de seguimiento.

Los resultados obtenidos indican que:

a) Las características generales del área de estudio, indican que la temperatura media anual entre los años 2000 y 2017 tiene una tendencia a subir registrándose 7,9 grados Celsius y 9,4 grados respectivamente, al mismo tiempo la precipitación (lluvia) tiene una tendencia a disminuir desde un registro de 1.155 mm/año en el 2000 a 402,3 mm/año en el 2016, tendencia que es similar en cuanto a nieve caída en el mismo periodo. Tendencias que impactan directamente en la disponibilidad de aguas en los humedales, dado la sensibilidad de estos ecosistemas a la disponibilidad de agua.

Junto a lo anterior, la actividad histórica de transhumancia desde las partes bajas a las zonas de veranadas en la cuenca alta del Maipo se ha mantenido e incluso, los reportes verbales (o existen datos del SAG que permitan afirmarlo) de las familias troperas es que la actividad ganadera local ha aumentado, de todas formas si se asumen los datos del SAG de la temporada 2016-2017 subieron un total de 5.492 animales, de los cuales alrededor del 50% correspondían a caprinos. Si se considera que la carga animal que sustentan los humedales, en promedio, está dada por 2,17 hectáreas por UA y se tiene una superficie total de 505,2 hectáreas de humedales en el área de estudio, se concluye que dicha superficie puede sustentar un total de 233 animales, siendo ésta una aproximación por cuanto se debe considerar la Unidad de Animal Equivalente (UAE), aún así se considera que sólo el 50% de los animales autorizados utilizan los humedales del área de estudio, se está frente a una sobrecarga animal que representa una amenaza para la sustentabilidad de éstos.

Por otro lado, en los últimos años se ha incrementado la actividad turística y con ello la utilización de los espacios de veranadas, especialmente los de humedales y finalmente el aumento de las actividades mineras y la intervención de obras directamente e indirectamente en los humedales permite concluir que en general existe un aumento de la vulnerabilidad (por disminución de disponibilidad de agua) y de las amenazas y con ello del riesgo a impactos negativos en los ecosistemas hídricos azonales del área de estudio.

b) El análisis de las subcuencas donde los humedales se insertan y de cuyas características dependen los humedales indica que la gestión de cuencas con dicho fin es prioritaria para la subcuenca baja del estero el Manzanito (mayor prioridad de gestión de los humedales), siguiendo en prioridad las subcuencas del cajón la engorda, estero Manzanito parte alta y la cuenca alta del río el Yeso. Todas éstas cuencas se caracterizan por un grado de artificialización alto y por encontrarse en ellas las principales rutas de la ganadería de trashumancia, además de altas pendientes. Al

mismo tiempo son subcuencas con características hidrotopográficas desfavorables para la mantención de los flujos de agua en el tiempo.

c) La distribución de los humedales en relación a la superficie cuantificada indica que existen en el área de estudio 188 unidades de humedales, siendo la mayoría vegas), que en total suman 505,2 hectáreas, siendo la mayor parte (151 que representan el 80,3%) humedales con superficies entre 0,063 y 2,847 hectáreas y sólo existen 4 vegas en el rango mayor a 21,331 hectáreas. Del total de humedales, 177 tienen una superficie menor a 7,6 hectáreas. De lo anterior se concluye, en el contexto del punto a, que la vulnerabilidad, sólo por el hecho de la superficie, es alta o muy alta y por consiguiente se puede indicar que un total de 505,2 hectáreas existentes de humedales, 269,1 hectáreas, es decir el 53,2% es vulnerable.

d) Del análisis multitemporal realizado a partir del Índice de Vigor-humedad (IHUM), utilizando el indicador de Tendencia Multitemporal Relativa (TMR) se tiene que en una tendencia a disminución alta existen 11 humedales, en una tendencia a disminución (de la condición de vigor-humedad) media abajo se encuentran 60 humedales, a un aumento medio-bajo 73 y a un aumento alto 44 humedales. En resumen el 38% de los humedales tiene una tendencia negativa y sólo el 23% una tendencia claramente positiva.

Lo anterior, de acuerdo al tamaño promedio de los humedales por clases de tendencia, se tiene como críticos a los humedales de menor tamaño (superficie promedio menor de 0,6 hectáreas) y los de mayor superficie que se encuentran en vulnerabilidad alta, relacionados con las subcuencas prioritarias de mayor actividad ganadera e intervención antrópica, como es el caso del humedal mayor (cercano a la termas del Plomo) que se ubica en subcuenca alta del río el Yeso (37,5 hectáreas) y del humedal correspondiente a la subcuenca del estero La Engorda (58,6 hectáreas).

e) Con la finalidad de analizar las tendencias definidas, se seleccionaron tres humedales representativos, que correspondieron a dos con tendencia negativa, los

denominados La Engorda y El Plomo, ubicados en la subcuenca de la quebrada La Engorda y en la subcuenca del río el Yeso, parte alta, más un tercer humedal correspondiente a una tendencia estable-positiva identificado como el humedal Lo Encañada ubicado en la cuenca del estero manzanito (parte alta). Tendencias que a partir de los datos de vegetación obtenidos por los relevamiento de terreno fueron plenamente confirmadas, así se tiene que el Humedal Lo Encañada la condición de vegetación y su productividad es mayor que en los otros dos humedales, lo mismo ocurre con la estabilidad de la superficie de vegetación entre los años 2001 y 2017, teniendo un grado de intervención directa menor (bajo nivel de uso ganadero y excluido de otros usos, sin alteración de cursos hídricos en el tiempo, grado de artificialización 1. En cambio, el humedal el Plomo presenta baja riqueza vegetal, al igual que La Engorda, con un grado 2 de artificialización y la Engorda 3, a lo que se suma en el caso de la Engorda la presencia de especies exóticas como *Trifolium repens*.

La vulnerabilidad analizada en función de las variables de vigor-humedad, pendientes, disminución de superficie del humedal (zona de vega), porcentaje de superficie estable y porcentaje de superficie de alto vigor-humedad que cambio en la serie temporal indica que Lo Encañada se encuentra estable, el Plomo tiene vulnerabilidad media y La Engorda con vulnerabilidad alta. En relación a las amenazas, definidas por la carga ganadera, alteración del territorio y por el impacto turístico, el factor de amenaza de La Engorda es 67,8 y El Plomo es de 3,52. Finalmente el riesgo más alto está en La Engorda.

f) La relación de los humedales, condición estudiada mediante el índice de vigor-humedad y las variables de precipitación de agua, nieve y total de ambas, más temperatura, indica que la precipitación tanto de nieve como de lluvia se relaciona directamente con la condición de los humedales, estimada mediante el índice de vigor-humedad. En el caso de la Engorda a lo menos el 31% (coeficiente de determinación) de la condición está explicada por la precipitación total, mientras que en el caso del Plomo el porcentaje es 58% y en el caso de Lo Encañada es el 13%, lo que se explica por tener una tendencia de condición estable en el periodo estudiado (2000 a 2017),

mientras que los otros dos humedales tiene una condición de mayor variabilidad y una tendencia negativa, concordante con la tendencia de la precipitación tanto de nieve como de lluvia.

De tal manera que en general, se puede concluir, si se asume que los humedales estudiados son representativos, que la tendencia negativa de los humedales (71 humedales de 188) se explica en un porcentaje importante (entre el 31 y 58%) por condiciones de cambio climático y la diferencia porcentual es atribuible a la intervención antrópica directa. En el caso de los humedales de pequeña superficie, menor a 2,9 hectáreas que son 151 (80,3%) de los 188 estudiados el cambio climático representa una amenaza mayor.

g) Propuesta de seguimiento. En el marco de los resultados se proponen las siguientes actividades de seguimiento:

i) Restricción de la autorización de por parte del SAG de la masa ganadera a las veranadas de la zona alta de la Cuenca del ríos Maipo, considerando la capacidad de carga de las vegas y de las veranadas en su conjunto.

ii) Implementar buenas prácticas en la gestión turística, mediante programas dirigidos a través de la Municipalidad de San José de Maipo.

iii) Realizar el seguimiento de la tendencia multitemporal en los próximos años, de tal forma de crear un indicador de gestión, priorizado por subcuencas y hacer seguimiento a los cambios de superficies de las zonas de vega de los humedales de mayor superficie, que en el presente estudio tiene tendencia negativa.

iv) Revisar y controlar los compromisos ambientales de las actividades mineras y obras de Alto Maipo y Aguas Andinas, de tal modo de asegurar mitigar los impactos.

v) En el caso de la Engorda, realizar seguimiento de alteración de cauces en todo el humedal.

## BIBLIOGRAFÍA

Ahumada, M. y Faúndez, L. (2009). Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales Azonales Hídricos terrestres de la ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. 118 pp.

Castro, 1993. Clasificación Digital de Combustibles Forestales a partir de imágenes satelitales de alta resolución y MDT. Univ. Alcalá de Henares Dpto. de Geografía. 227 p. España.

Castro, R, Altamirano, T. 2013. Análisis de la Tendencia Histórica de Vegetación Azonal Hídrica sector Ciénaga Redonda, Barros Negros y Pantanillo. Altiplano Región de Atacama. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)- DIPROREN. Informe Final. 138p.

Cavieres I.A.; C.Papic & C. Castor. 1999. Variación altitudinal en los síndromes de dispersión de semillas de la vegetación andina de la cuenca del río Molina (33 S). Gayana Botánica 56 (2):115-124.

CIREN, 2013. "Caracterización de humedales altoandinos para una gestión sustentable de las actividades productivas del sector norte del país". Condicion ambiental y vulnerabilidad de humedales muestra III región atacama. Inf. final. 74p.

DGA. 2006. "Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua, cuenca Río Maipo

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 165 pp.

MMA - CEA. 2011. Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Santiago. Chile.164 pp.

MMA-FPA, MINAGRI. 2010. Santiago Andino: La mayor reserva de agua de la Región Metropolitana de Santiago". Chile 64p.

Muñoz-Schick, M., Moreira-Muñoz, a., Villagrán, C. y Luebert, F. 2000. Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile Central. Boletín Museo Nacional de Historia Natural 49: 9-50.

Pisano, E. 1965. En Fuenzalida (Ed.) Zonas Biogeográficas. Geografía Económica de Chile. CORFO. Santiago. pp. 62-80.

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.

SAG, 2006. Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales. Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. Chile. 81 pp.

<http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/default.aspx>,

Inventario nacional de especies de Chile

<http://www.catalogueoflife.org/col/details/species/id/81d0266345e1e407e0c55c946493719d>, Catálogo mundial de especies, desarrollada por Naturalis Biodiversity Center

<http://www.chileflora.com/Florachilena/FloraSpanish/SHSearchengine.htm>

[Estudio Alto Maipo, Cuenca Lo Encañado y La Engorda, año 2008.](#)

Estudios de la vegetación de la veranada La Engorda, años 2005 y 2007.

## ANEXO. BASES DE DATOS

La base de datos que se adjunta en PENDRIVE está compuesta por los siguientes archivos:

- a) Informe Final Proyecto AMSVAH CCA Alta río Maipo, en formato docx y en pdf.
- b) Mosaico georreferenciado de vuelo UAV:
  - .- Humedal el Plomo
  - .- La Engorda.