

Análisis multitemporal de la vegetación como soporte de hábitat y de uso agropecuario asociado a los sectores de cordillera y precordillera de la región de O'Higgins.



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

Análisis multitemporal de la vegetación como soporte de hábitat y de uso agropecuario asociado a los sectores de cordillera y precordillera de la región de O'Higgins.

Proyecto: ID 612-4-LE18



INFORME FINAL



OCTUBRE 2018



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

Análisis multitemporal de la vegetación como soporte de hábitat y de uso agropecuario asociado a los sectores de cordillera y precordillera de la región de O'Higgins.

Proyecto: ID 612-4-LE18



Roberto Castro Ríos; Ingeniero Forestal.
Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental (UPC-España)

Pablo Orellana Bastías; Ingeniero Geomensor.
Magister © en Medio Ambiente y OT. (USACH)

Karina Paz Arteaga; Bióloga.
Magister © en Medio Ambiente y OT. (USACH)

Octubre 2018

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	- 5 -
2. OBJETIVOS	- 8 -
2.1 Objetivo General.....	- 8 -
2.2 Objetivos Específicos	- 8 -
3. METODOLOGÍA GENERAL.....	- 9 -
4. ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN.....	- 12 -
4.1 Antecedentes Climáticos.....	- 14 -
4.1.1 Precipitación.....	- 16 -
4.1.1.1 Precipitación pluvial anual acumulada.....	- 17 -
4.1.1.2 Índice de Precipitación Pluvial Estandarizado (IPE).....	- 19 -
4.1.1.3 Superficie anual de nieve precipitada.....	- 20 -
4.1.2 Temperatura.....	- 22 -
4.2 Subcuencas, Red Hídrica y Fluviometría	- 23 -
4.3 Geomorfología, Topografía y Suelo.....	- 31 -
4.4 Accesibilidad y Principales Actividades Productivas.....	- 38 -
4.4.1 Accesibilidad	- 38 -
4.4.2 Ganadería.....	- 39 -
4.4.3 Minería	- 41 -
4.4.4 Turismo	- 43 -
4.4.5 Generación de energía mediante Centrales de Paso.....	- 44 -
4.5 Cobertura Vegetacional, Uso de la Tierra y Fauna Relevante.....	- 50 -
4.5.1 Cobertura vegetal y uso de la tierra.....	- 50 -
4.5.2 Fauna relevante del área de estudio.....	- 59 -
4.6 Incendios Forestales y Quemadas en el Area de Estudio	- 65 -
4.7 Superficies Intervenidas, Riesgo de Deslizamiento y Acarreo.....	- 74 -
4.8 Propiedades	- 76 -
5. BIOTIPOS RELEVANTES	- 77 -
6. CARACTERIZACION Y ANALISIS DE SUBCUENCAS	- 83 -
6.1 Índice de Aporte de Agua (IAAF).....	- 84 -
6.2 Índice de Protección al Suelo (IPS).....	- 90 -
6.3 Índice Superficie Pastoril (ISP).....	- 92 -

6.4 Índice de Intervención Antrópica y Natural (IINT).....	- 93 -
6.5 Índice de Prioridad de Gestión de Subcuencas (IPG).....	- 95 -
7. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA VEGETACIÓN.....	- 97 -
7.1 Adquisición de Datos Satelitales.....	- 98 -
7.2 Procesamiento de Datos Satelitales.....	- 102 -
7.3 Tendencia del Estado de la Vegetación.....	- 108 -
7.3.1 Tendencia multitemporal.....	- 110 -
7.3.2 Tendencia multitemporal de sitios relevantes.....	- 117 -
8. LEVANTAMIENTO DE DATOS DE TERRENO.....	- 127 -
8.1 Ruta 1. Machalí-Sauzalito-Sauzal-Poblado de Coya-Central Pangal-Bocatoma Pangal- Sector bajo ribera sur río Cachapoal.....	- 128 -
8.2 Ruta 2. Camino del Cobre hasta Bocatoma de Central Chacayes.....	- 135 -
8.3 Ruta 3. Subcuenca del Estero Cauquenes, Bocatoma en Estero León.....	- 144 -
8.4 Fichas de Terreno de Veranadas (SAG-UNICIT, 2002).....	- 155 -
9. ANALISIS DE RIESGO.....	- 163 -
9.1 Unidades Relevantes de Fauna y Uso Agrícola.....	- 165 -
9.2 Humedales.....	- 166 -
10. INTERVENCIÓN ANTROPICA Y UNIDADES VEGETACIONALES CON RIESGO ALTO.....	- 171 -
10.1 Cambios Anuales de las Unidades de Riesgo Alto.....	- 177 -
11. RELACIÓN DE LA CONDICIÓN VEGETACIONAL DE RIESGO ALTO CON LA VARIACIÓN CLIMATICA.....	- 178 -
11.1 Comportamiento Climático.....	- 178 -
11.2 Comportamiento del Estado Vegetacional de las Unidades con Riesgo Alto (críticas).....	- 179 -
12. PLAN DE SEGUIMIENTO.....	- 183 -
13. CONCLUSIONES.....	- 187 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 192 -
ANEXO. BASE DE DATOS.....	- 196 -

1. INTRODUCCIÓN

El Servicio Agrícola y Ganadero dentro de sus líneas de acción ha desarrollado en los últimos años seguimiento de diferentes ambientes andinos con énfasis en sistemas azonales hídricos o ecosistemas dependientes de agua superficial (sitio para albergar flora y fauna), que son sustento para la alimentación de ganado doméstico y a su vez lugar de hábitat y refugio para la fauna silvestre.

En este caso, se trata de analizar dichas áreas en la zona andina de la región de O'Higgins en relación con las “presiones por el uso territorial las cuales han venido en aumento en la última década, especialmente por acción de incendios y centrales generadoras de energía, desconociéndose el resultado de dichas presiones en el ecosistema y hábitat para los diferentes grupos de fauna, que pueden ir desde generación de ambientes más hidromórficos en áreas aledañas a los sectores de inundación hasta la disminución de vegetación y hábitat para fauna por emplazamiento de obras”. Área donde el funcionamiento de centrales hidroeléctricas de paso son obras que pueden resultar sensibles para el buen funcionamiento de los ecosistemas involucrados, especialmente porque una de las características asociadas a la vegetación es la alta dependencia a las condiciones específicas de sitio, especialmente nivel de hidromorfismo.

Así también, las presiones de uso por parte de diferentes actividades productivas (agrícola, ganadería, turismo, entre otras) 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.

El presente estudio está orientado a realizar un análisis multitemporal en un sector de la cuenca media de la región de O'Higgins, definida por la existencia de centrales de paso para generación eléctrica y por la concentración de actividades agrícolas, con ello identificar las coberturas vegetacionales sensibles, considerando especialmente los sistemas azonales hídricos o ecosistemas dependientes de agua superficial (sitio para

albergar flora y fauna) y los sistemas productivos que dependen del uso del recurso hídrico en la zona. Además se realizó el seguimiento a las áreas de pastoreo existentes en la zona de estudio (superficie pastoril), recurso importante para la crianza de animales.

De ésta manera el estudio consideró el análisis de una serie temporal de datos satelitales, constituida por un total de 17 imágenes del proyecto LANDSAT, una por cada año comprendido entre el 2000 y 2018 (se exceptúa el año 2012 por no disponibilidad de datos para el rango de fechas definido), serie que debidamente procesada permitió definir la tendencia de cambios en las coberturas vegetacionales (mediante el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo, SAVI) que en dicho periodo ocurrieron y la correspondiente correlación con la intervención del territorio y la tendencia de las precipitaciones, como indicador del propio cambio climático.

En resumen, se presenta:

a) La identificación de las zonas intervenidas por las actividades antrópicas y procesos naturales, en el primer caso se trata de las obras asociadas a las actividades de generación eléctrica (centrales de paso), zonas de incendios forestales y quemas de los últimos cinco años, en el segundo caso de la identificación de las zonas de acarreo y deslizamientos.

b) Caracterización del área de estudio y elaboración de la cartografía (en SIG) relacionada con el uso de la tierra (con énfasis en las coberturas vegetacionales), hidrología, altimetría, topografía, división predial, centros poblados, caminos, temperaturas, precipitaciones, a lo que se agrega la definición y características principales de las subcuencas relacionadas con el área de estudio.

c) El análisis de la data satelital en forma anual con los respectivos resultados de cambios de coberturas (desde el año 2000 al 2018).

d) Priorización de gestión de las cuencas comprendidas en el área de estudio, considerando el análisis para el total de las subcuencas.

e) Identificación y cuantificación de zonas sensibles, definidas como aquellas zonas cuya tendencia es al deterioro con impactos negativos en la vegetación, fauna asociada y tendencia de decremento de la cobertura vegetal, tendencia que define la vulnerabilidad de las Unidades Homogéneas de Paisaje (UPH), a lo que se suma la amenaza de la influencia de estructura de canalización y de la red de caminos, cuyo resultado se expresa en el riesgo de cada Unidad.

Finalmente, para las UPH de mayor riesgo (alto) se determina la condición de la vegetación y los cambios anuales que experimentaron en el periodo en estudio, y la relación de la condición con las variables de cambio climático y la intervención antrópica generada por las centrales de paso y las obras conexas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

El objetivo general del estudio es realizar un análisis multitemporal de datos satelitales (desde año 2000 al 2017) que permita determinar las tendencias de cambios de la vegetación asociada a las fuentes hídricas del área de estudio (AE), utilizando índices espectrales de vegetación, correlacionando dichos cambios con las diferentes presiones de las actividades productivas y/o a los cambios del clima y con ello identificar aquellos sectores más críticos relacionados con sectores productivos y de albergue de especies de fauna (condiciones de hábitat para fauna).

2.2 Objetivos Específicos

- a) Analizar las tendencias de cambio, a través del uso de índices de vegetación y/o humedad de la vegetación presente en el área de estudio (AE), utilizando imágenes satelitales entre el año 2000 y 2018.
- 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 vegetación e índices espectrales asociados con fotosíntesis.
- e) Analizar espacialmente las tendencias de la vegetación y la caracterización actual de las principales unidades que se identifiquen como sensibles, indicando fechas en que comienza la criticidad de su estado y asociarlas con fauna potencial en base a información existente.
- f) Espacializar los resultados en un SIG y proponer medidas de mitigación, de ser requeridas.

3. METODOLOGÍA GENERAL

La metodología general del proyecto se presenta en la siguiente Figura (N° 1):

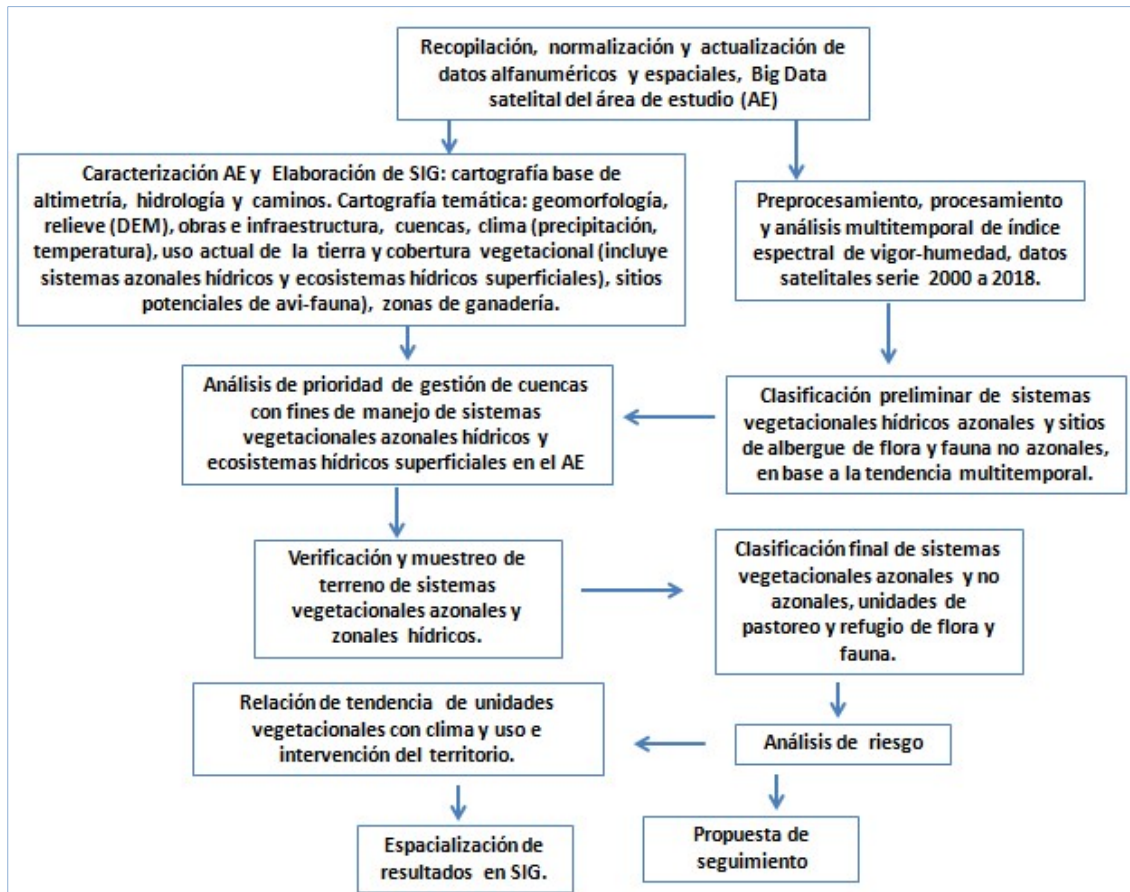


Figura N°1. Diagrama metodológico general.

La metodología considera un enfoque de cuenca, bajo el supuesto que los recursos vegetacionales, especialmente los asociados a las condiciones hídricas, dependen directamente de las características físicas y ambientales, por consiguiente dichos sistemas son al mismo tiempo indicadores de las características de las propias cuencas.

La primera actividad fue la recopilación, normalización, actualización y análisis de toda la información alfanumérica existente para el AE, así como la data espacial, incluido el

análisis y selección de la data satelital a obtener de la evaluación de la bigdata existente para el área de estudio.

Posteriormente se procedió a la caracterización espacial del AE mediante la obtención de la cartografía base y temática del AE, especialmente la de cuencas, topográfica, climática, obras e infraestructura, uso actual de la tierra y cobertura vegetal, entre otras. Con ello se obtuvo la clasificación de las cuencas según prioridad de gestión de los ecosistemas vegetacionales hídricos.

Paralelamente la data satelital seleccionada fue procesada, definiendo para el AE el índice espectral de vigor vegetal denominado "Soil Adjusted Vegetation Index" (SAVI) para cada año de la serie de tiempo estudiada (2000 y 2018) y con ello la determinación de la tendencia multitemporal de la vegetación y especialmente de los ecosistemas vegetacionales hídricos, zonas de ganadería y refugio de flora y fauna potencial y en base a ello la clasificación de cada UPH según tendencia negativa o positiva previamente definida en clases.

Posteriormente, los resultados fueron verificados en terreno, al igual que las intervenciones realizadas en el territorio por las obras, por el emplazamiento de las Centrales de Paso y las áreas quemadas por incendios forestales. De igual forma, se definieron las unidades muestrales de uso y cobertura vegetal y la respectiva caracterización de cada una.

En el próximo paso se procedió a la clasificación final de los ecosistemas vegetacionales, zonas de pastoreo y de refugio de flora y fauna y la determinación del riesgo asociado a dichas unidades, para posteriormente analizar la tendencia de las unidades definidas de alto riesgo en función de la intervención antrópica y cambio de las características climáticas.

Finalmente, todos los resultados fueron trabajados debidamente espacializados en plataforma SIG y se definió una propuesta de seguimiento para las UPH de mayor riesgo.

Lo anterior determinó las siguientes actividades:

- a) Recopilación, normalización, actualización y análisis de la información alfanumérica existente para el área de estudio (AE), así como la data espacial, incluido el análisis y selección de la data satelital a obtener de la evaluación de la bigdata existente para el área de estudio.
- b) Caracterización espacial del AE mediante la obtención de la cartografía base y temática, especialmente la de cuencas, topográfica, climática, obras e infraestructura, uso actual de la tierra y cobertura vegetal.
- c) Selección y procesamiento de la data satelital, obtención de índices espectrales de vigor para la serie de tiempo entre el año 2000 y 2018 y con ello la determinación de la tendencia multitemporal de la vegetación especialmente de los ecosistemas vegetacionales hídricos, zonas de ganadería y refugio de flora y fauna potencial. Los resultados a obtener serán clasificados de acuerdo a la tendencia negativa y positiva definida para las unidades homogéneas de trabajo.
- d) Levantamiento y verificación de datos en terreno. Se caracterizó los sitios de vegetación ribereña y distintas unidades vegetacionales representativas del área de estudio, los productivos, emplazamiento de obras de centrales de paso, los de acarreo de material y riesgo de deslizamientos, áreas quemadas y se verificó la tendencia multitemporal obtenida para la vegetación.
- e) Clasificación de sistemas vegetacionales hídricos azonales y sitios de de albergue de flora y fauna no azonales, de acuerdo a la tendencia multitemporal de la vegetación obtenida mediante el comportamiento del índice espectral de vegetación SAVI
- f) Análisis de prioridad de gestión de las cuencas intervinientes en el área de estudio.
- g) Análisis de riesgo de zonas críticas
- h) Análisis de intervención antrópica y correlación de resultados de tendencia vegetal con variables climáticas.

4. ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN.

El área de estudio se extiende desde la parte baja hasta la zona alta de la cuenca del río Cachapoal en la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, comuna de Machalí, según las coordenadas entregadas en los TR: (WGS84, UTM H19S): UL: 339315/6219707; LR: 378744/6196926, corresponde a la que se presenta en la Figura N° 2.



Figura N° 2. Área de estudio (recuadro en blanco), definida entorno del curso del río Cachapoal que en la parte baja atraviesa por el sector sur del límite de la ciudad de Rancagua. Imagen de fondo corresponde a Google Earth (Digital Globe, 15-02-2018).

La superficie del AE es de 92.924 hectáreas y corresponde a la parte baja y media de la cuenca alta del río Cachapoal (Cordillera de Los Andes), comuna de Machalí.

En la Figura N°3 se presenta el recuadro sobre la data de la imagen Sentinel 2A del 19 de enero de 2018.

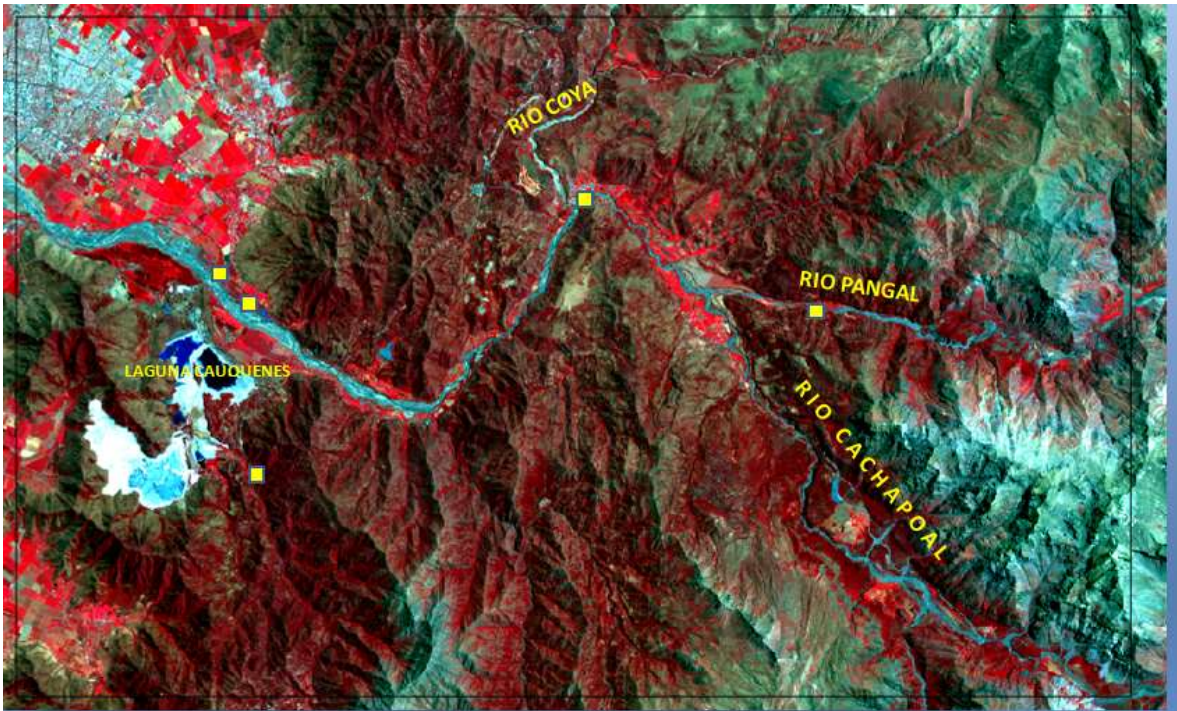


Figura N°3. Área de estudio definida sobre composición infrarrojo color convencional de de la imagen del satélite Sentinel 2 A, del 19 de enero de 2018. En rojo la vegetación existente en el área de estudio.

Se identifican como subcuencas principales del río Cachapoal, las correspondientes a los ríos Coya, Cipreses, y las de los esteros Clonqui, Río Claro de Cauquenes y Cauquenes, subcuencas que integran el área de estudio en sus zonas bajas.

Dado lo anterior y considerando que se hace necesario explicar las relaciones de las subcuencas con la condición de la vegetación en el área de análisis, se consideró el análisis de las superficies completas de las subcuencas relacionadas (Figura N° 4), aunque el análisis vegetacional temporal se delimito al AE definida.

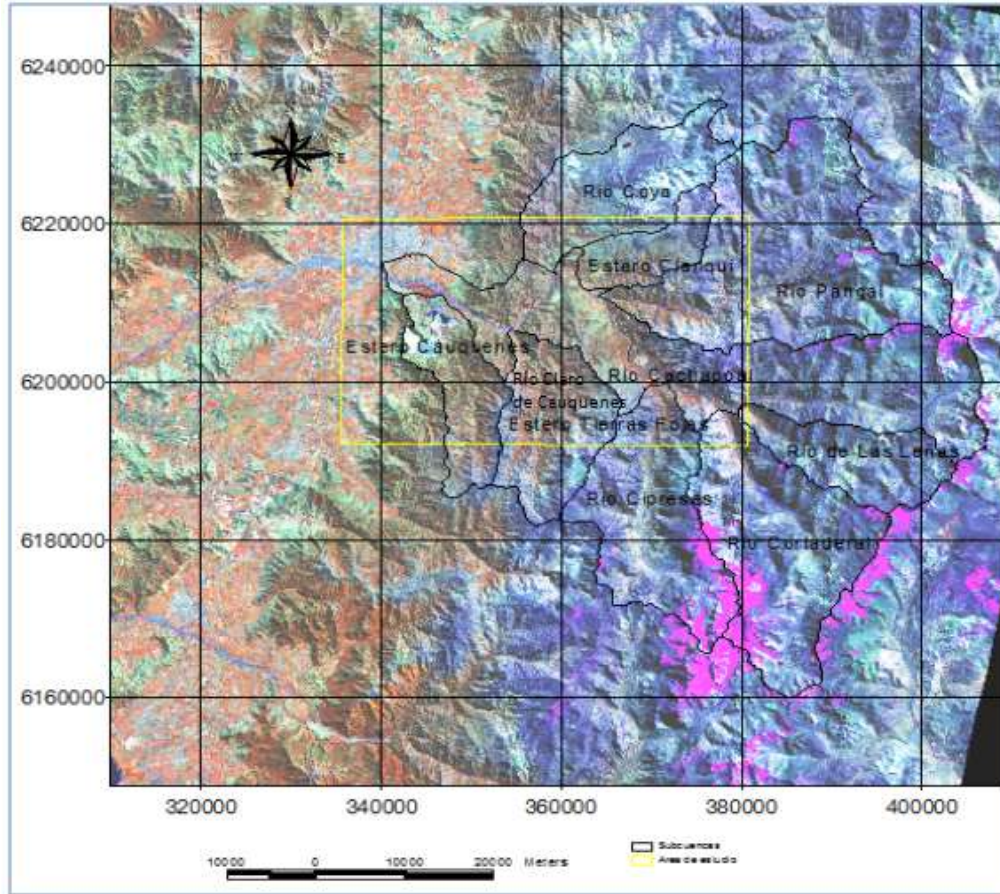


Figura N° 4. Área de estudio y subcuencas involucradas. En amarillo recuadro del AE y en negro límites de las subcuencas involucradas.

Así, en una mirada más amplia se aprecia que el área de estudio se concentra en la zona baja de las subcuencas, donde se concentra mayoritariamente la vegetación.

4.1 Antecedentes Climáticos

En términos climáticos, el área de estudio está comprendida en el distrito templado cálido (AGRIMED, 2017) situado en la parte baja (hasta la altitud 522 msnm en promedio) con una precipitación media anual de 567 mm y un periodo seco de siete meses, un periodo húmedo de cinco meses, mientras que la zona alta (sobre los 522 msnm promedio) la precipitación anual se encuentra entre los 900 y 1000 mm anuales. De acuerdo a datos de la Comisión Nacional de Riego (CNR, 2015), predominan los tipos de clima que se presentan en la Figura N° 5.

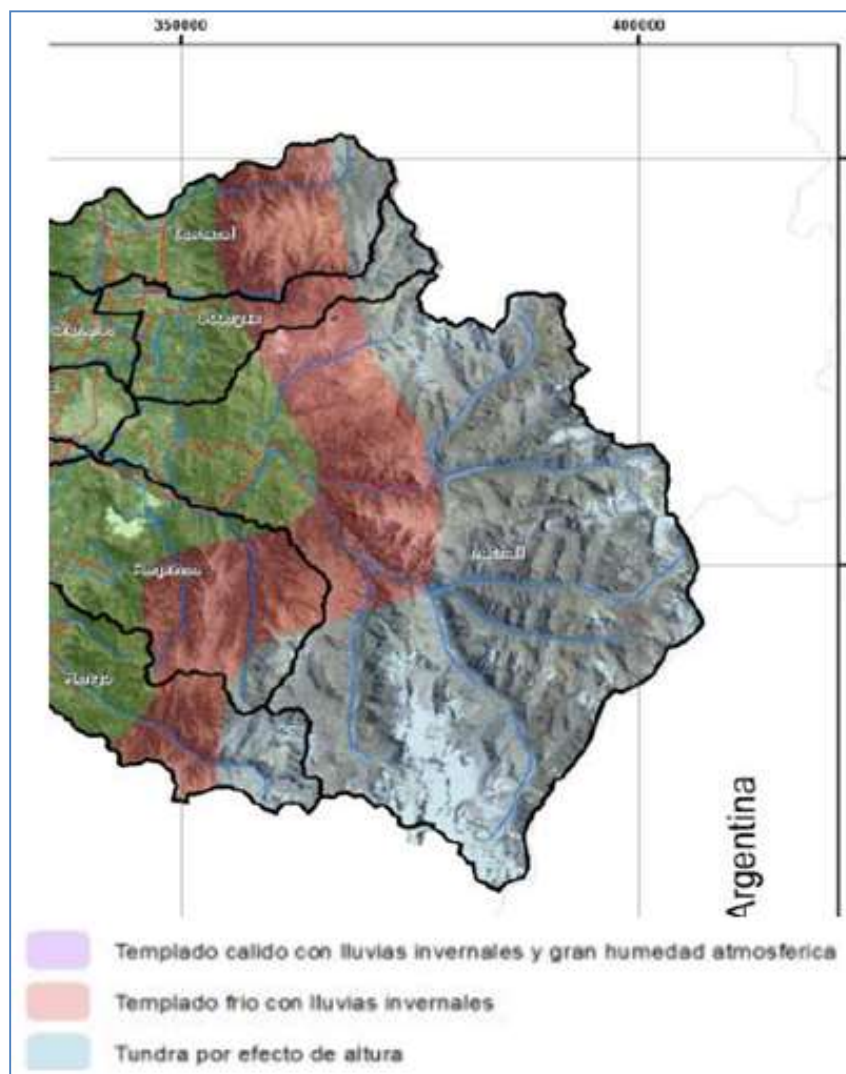


Figura N° 5. Tipos de clima en el área de estudio, predominancia de Tundra y Templado frío con lluvias invernales.

En el sector cordillerano, por sobre los 800 [msnm], el ascenso del relieve provoca grandes variaciones en el clima.

Las temperaturas medias en el invierno están en torno a los 0 [°C] y son aproximadamente 4 [°C] más bajas que en el valle. La diferencia entre el mes más cálido y el más frío también desciende a cerca de 11 [°C]. Las precipitaciones invernales se hacen sólidas, al mismo tiempo que aumentan a cerca de 1.000 mm/ anuales,

acortándose así la duración de la estación seca a sólo 4 -5 meses con precipitaciones inferiores a 40 [mm].

Las estaciones climáticas con registros relacionadas con el área de estudio se muestran en la figura siguiente (N° 6):

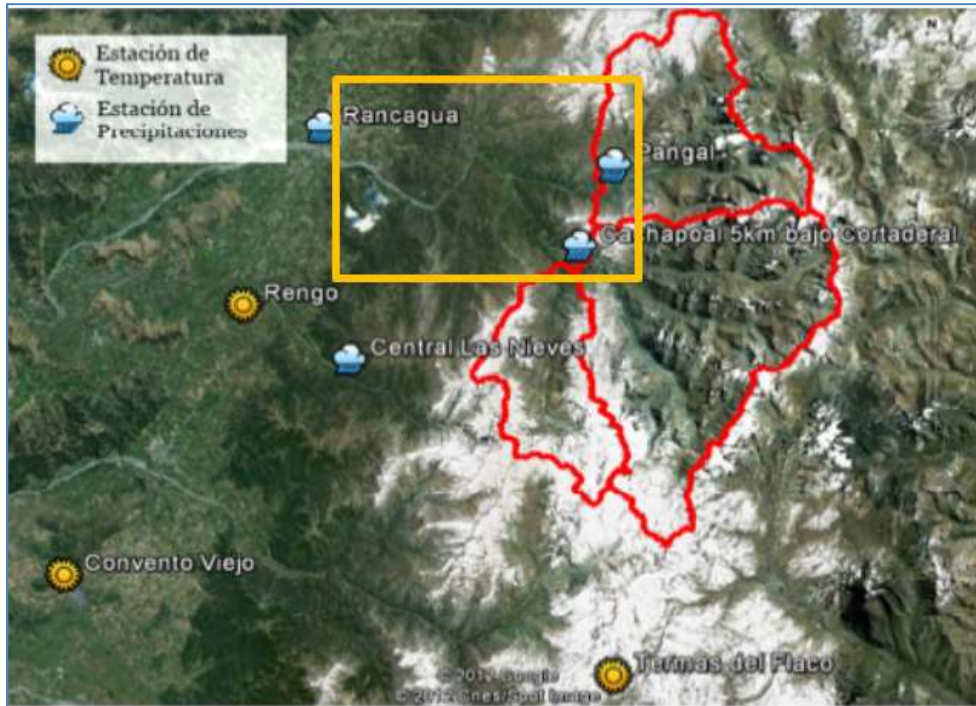


Figura N° 6. Estaciones climáticas con datos de temperatura y precipitaciones (DGA)

Las estaciones con datos de precipitación corresponden a Pangal en río Pangal (coordenadas WGS84: 6209636, 377703, altitud 1465m) y a Cachapoal 5 km aguas debajo de la unión de río Cortaderal (coordenadas 6198518, 373401, altitud 1.150m). Las estaciones con datos de temperaturas se encuentran fuera del área de estudio, por ello en éste caso fueron obtenidas a partir de la banda termal de la data satelital Landsat.

4.1.1 Precipitación

Una de las variables climáticas relevantes que explican el comportamiento vegetacional es la disponibilidad de agua de ésta, la que depende en gran medida de

la precipitación tanto nival como pluvial que de acuerdo al clima caracteriza el área de estudio.

Las precipitación pluvial se analiza a partir de los datos de las estaciones correspondientes a la DGA, mientras que la precipitación nival se considera en porcentajes de superficie cubierta en el año, como promedio de los porcentajes mensuales de superficie de los meses con caída de nieve, datos obtenidos del sensor MODIS del satélite TERRA.

4.1.1.1 Precipitación pluvial anual acumulada.

La data correspondiente a la estación Pangal es la siguiente (Figura N°7):



Figura N°7. Datos de precipitación anual entre los años 2002 y 2017 (Estación Pangal).

Tal como se aprecia en el gráfico la tendencia general de la precipitación es a la disminución entre el año 2002 hasta el año 2017, no obstante se puede apreciar dicha tendencia claramente hasta el año 2010 y luego del año 2011 al 2017 una tendencia positiva.

En el caso de los datos obtenidos de la estación Cachapoal (identificada previamente) se tiene como resultado los gráficos de las Figuras N° 8 y 9.

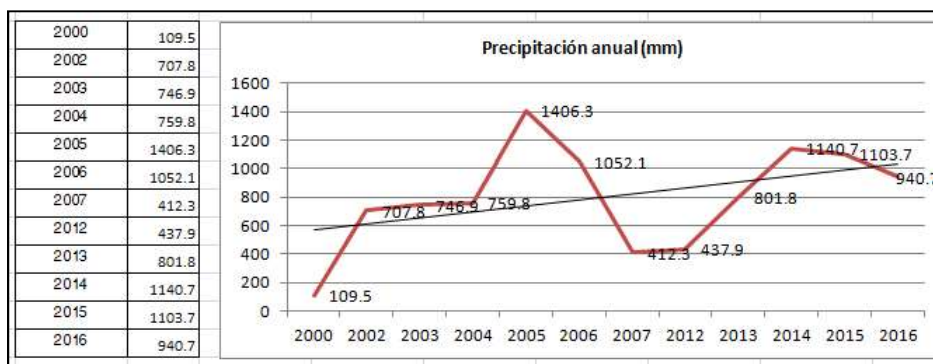


Figura N° 8. Precipitaciones anuales estación Cachapoal.

En éste caso la tendencia de los datos tomados desde el año 2000 al 2017, marcan dos ciclos, uno con un punto máximo en el año 2005 y otro en el año 2014, con una tendencia general levemente al aumento, No obstante si se separan los datos desde año 2005 adelante tenemos el resultado de la Figura N° 9.

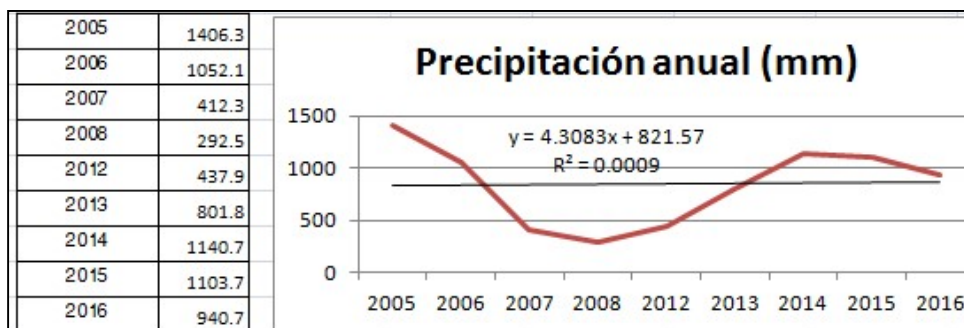


Figura N° 9. Tendencia de precipitación estación Cachapoal desde el año 2005.

En resumen, desde el año 2005 hasta el año 2017 la tendencia de la precipitación en el AE es a la estabilidad y la estación de Pangal revierte la tendencia negativa desde el año 2011. Considerando que la estación de Pangal se encuentra a 1.465 de altitud y la de Cachapoal a 1.150 la primera representa de mejor forma la precipitación de la cuenca alta del río Cachapoal, cuya superficie que es la más relevante en relación con los caudales, sus datos constituyeron la base para el análisis de correlación con la condición de la vegetación que se presenta más adelante, en el punto 10.

4.1.1.2 Índice de Precipitación Pluvial Estandarizado (IPE).

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI; McKee 1993¹) es el número de desviaciones estándar que la precipitación acumulada se desvía del promedio climatológico. Indica que valores por debajo de un valor -1 corresponde a condiciones de déficit significativos, mientras que valores mayores a +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°10), como promedio anual desde el año 2000 a 2018:

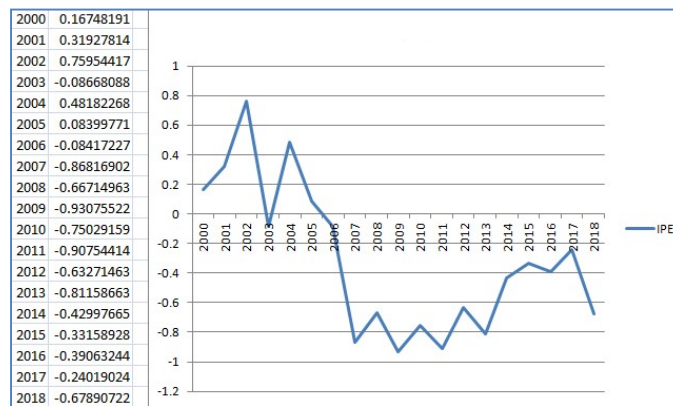


Figura N°10. IPS promedio anual.

Fuente: <http://www.climatedatalibrary.cl/maproom/Monitoring/Meteorological/SPI-CAZALAC.html>

¹ 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

De acuerdo a lo anterior, el área de estudio se encuentra con déficit de precipitación desde el año 2006, prevaleciendo el clima ligeramente seco. Resultado que está en concordancia con los datos de precipitación entregados por las estaciones analizadas.

4.1.1.3 Superficie anual de nieve precipitada.

Para la estimar la superficie de nieve caída se utilizó las imágenes del satélite MODIS de resolución 250 metros, con procesamiento en rangos de 8 días, las cuales se analizaron en plataforma Google Engine², obteniéndose las coberturas de nieve por año entre los meses de abril y noviembre, descartando las áreas de glaciares.

Se calculó así el promedio de cobertura cada 8 días por cada mes correspondiente a la superficie de las subcuencas definidas en el área de estudio, definiéndose el promedio de porcentaje de superficie para cada mes y para cada año de la serie temporal.

(<https://explorer.earthengine.google.com/#workspace>)

Imágenes Utilizadas : MYD09Q1.005 Surface Reflectance 8-Day L3 Global 250m. Un ejemplo de los datos se muestra en la Figura N°11



Figura N°11. Imagen MODIS del 20 de julio de 2017, marco en amarillo define el área de estudio completa.

² <https://explorer.earthengine.google.com/#workspace>,

Los resultados obtenidos se presentan en las tablas de la Figura N°12 y el gráfico respectivo anual del porcentaje de nieve caída en la Figura N°13.

Año	Meses	% Nieve	Año	Meses	% Nieve	Año	Meses	% Nieve	Año	Meses	% Nieve	Año	Meses	% Nieve	Año	Meses	% Nieve			
2000	Abril	50	2001	Abril	40	2002	Abril	50	2003	Abril	25	2004	Abril	60						
	Mayo	70		Mayo	75		Mayo	75		Mayo	60		Mayo	65						
	Junio	85		Junio	80		Junio	90		Junio	80		Junio	85						
	Julio	90		Julio	80		Julio	90		Julio	85		Julio	85						
	Agosto	80		Agosto	75		Agosto	85		Agosto	80		Agosto	80						
	Septiembre	85		Septiembre	75		Septiembre	85		Septiembre	70		Septiembre	70						
	Octubre	70		Octubre	70		Octubre	75		Octubre	65		Octubre	60						
	Noviembre	70		Noviembre	60		Noviembre	70		Noviembre	50		Noviembre	50						
		75			69.375			77.5			64.375						69.375			
2005	Mes	% Prom Nieve	2006	Meses	% Nieve	2007	Meses	% Nieve	2008	Meses	% Nieve	2009	Meses	% Nieve						
	Abril	50		Abril	40		Abril	30		Abril	30		Abril	10						
	Mayo	85		Mayo	60		Mayo	50		Mayo	75		Mayo	55						
	Junio	85		Junio	85		Junio	85		Junio	85		Junio	75						
	Julio	85		Julio	85		Julio	95		Julio	90		Julio	85						
	Agosto	90		Agosto	85		Agosto	95		Agosto	85		Agosto	85						
	Septiembre	90		Septiembre	90		Septiembre	80		Septiembre	80		Septiembre	85						
	Octubre	80		Octubre	70		Octubre	70		Octubre	75		Octubre	75						
Noviembre	70	Noviembre	60	Noviembre	55	Noviembre	55	Noviembre	70											
		79.375			71.875			70.625			71.875						67.5			
2010	Meses	% Nieve	2011	Meses	% Nieve	2013	Meses	% Nieve	2014	Meses	% Nieve	2015	Meses	% Nieve						
	Abril	15		Abril	70		Abril	10		Abril	15		Abril	10						
	Mayo	60		Mayo	45		Mayo	60		Mayo	75		Mayo	30						
	Junio	80		Junio	85		Junio	80		Junio	90		Junio	65						
	Julio	90		Julio	90		Julio	90		Julio	80		Julio	90						
	Agosto	85		Agosto	95		Agosto	85		Agosto	85		Agosto	90						
	Septiembre	75		Septiembre	80		Septiembre	80		Septiembre	85		Septiembre	90						
	Octubre	65		Octubre	70		Octubre	70		Octubre	70		Octubre	80						
Noviembre	55	Noviembre	65	Noviembre	55	Noviembre	60	Noviembre	75											
		65.625			75			66.25			70						66.25			
2016	Meses	% Nieve	2017	Meses	% Nieve	2018	Meses	% Nieve												
	Abril	80		Abril	40		Abril	10												
	Mayo	85		Mayo	80		Mayo	30												
	Junio	90		Junio	85		Junio	60												
	Julio	90		Julio	85		Julio													
	Agosto	80		Agosto	90		Agosto													
	Septiembre	75		Septiembre	80		Septiembre													
	Octubre	70		Octubre	75		Octubre													
Noviembre	60	Noviembre	60	Noviembre																
		78.75			74.375			33.3333333												

Figura N°12. Promedios mensuales y anuales de nieve precipitada.

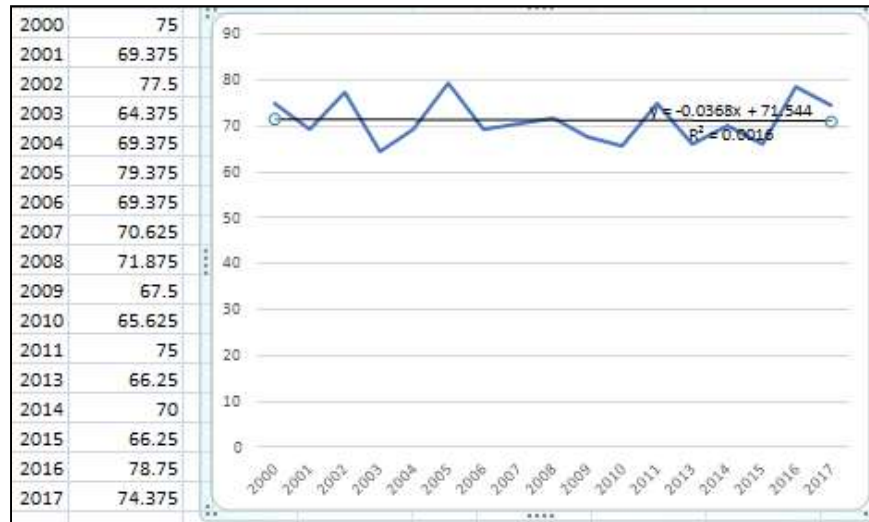


Figura N°13. Porcentaje de nieve precipitada por año respecto de la superficie del AE completa.

El gráfico indica una tendencia a leve disminución de nieve precipitada entre los años 2000 y 2017, tendencia negativa definida por una pendiente del 3%, lo que implica una disminución de la superficie de nieve caída en 2% desde el año 2000 al 2017. Lo anterior se suma a la tendencia también negativa de la precipitación pluvial, que se evidencia en los registros de la estación Pangal.

4.1.2 Temperatura.

Las temperaturas media anual no están registradas en las estaciones que se encuentran en el área de estudio, por ello se procedió a obtener el promedio para el área a partir de los datos termales de las imágenes Landsat (Banda termal infrarojo-TIR) de la misma serie temporal que se definió para estudiar la tendencia vegetacional. Un ejemplo, correspondiente a los años 2018 y 2000 se presenta en la Figura N° 14, mientras que en la Figura N°15 se presentan los datos promedios de temperatura y el gráfico correspondiente.

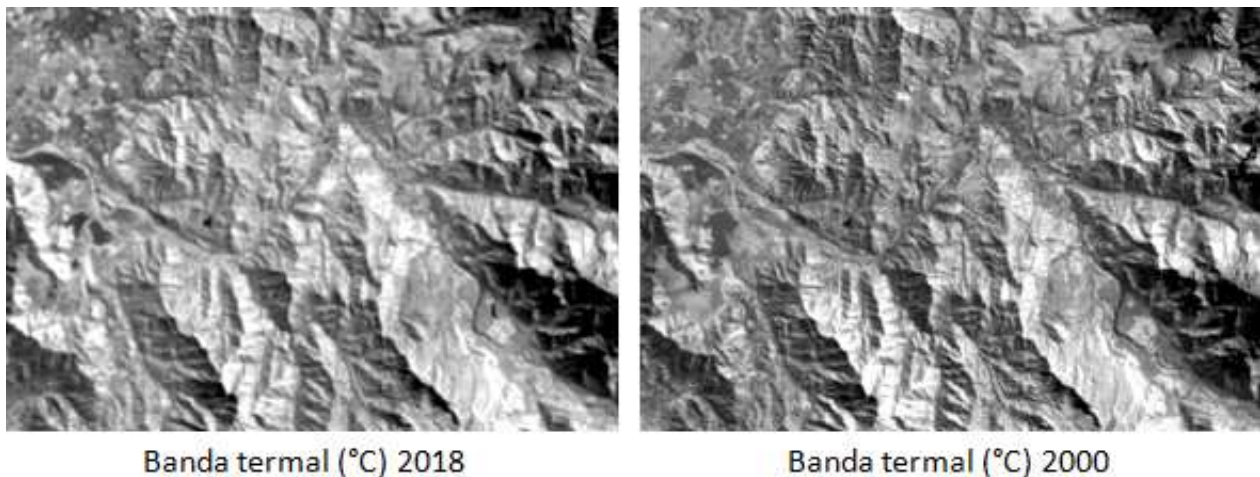


Figura N°14. Bandas termales en grados Celsius

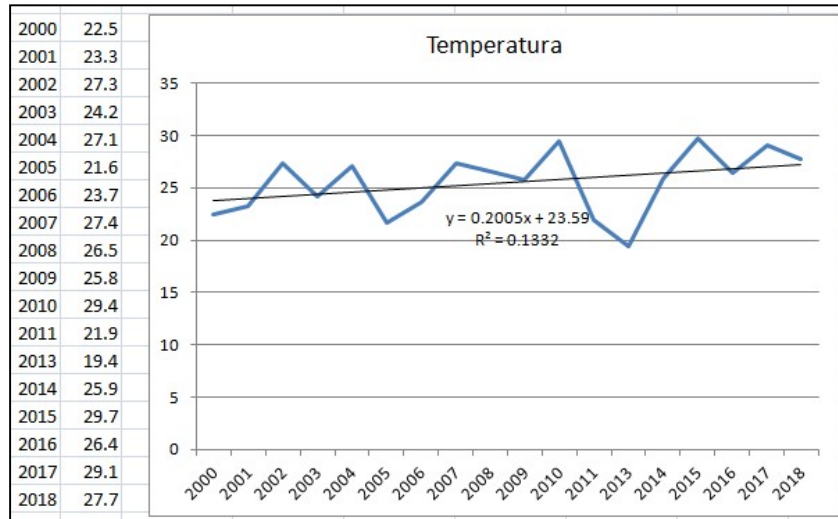


Figura N° 15. Temperaturas promedio para el AE en grados Celsius.

La tendencia de la temperatura entre el año 2000 y 2018 es levemente positiva, definida por una pendiente de 2%, lo que implica un aumento de 24 a 27 grados en el periodo 2000-2018.

Los resultados obtenidos concuerdan con las conclusiones del estudio “Evaluación del impacto del cambio climático en centrales hidroeléctricas de la cuenca del alto Cachapoal” (Gómez, T. Univ. de Chile, 2013) que proyectó un aumento de temperaturas para el 2040 entorno de los 2°C y 4°C y una disminución de las precipitaciones del orden del 20% respecto del año base 2009. Dado lo anterior, considerando que la evapotranspiración aumenta con el aumento de temperaturas, se puede indicar que en el periodo la demanda de agua por parte de la vegetación, en términos generales, aumentó.

4.2 Subcuencas, Red Hídrica y Fluviometría

La red hídrica del área de estudio específica está comprendida por el cauce principal correspondiente al río Cachapoal en su sección media y alta, que define al mismo tiempo la cuenca principal que incluye el área de estudio, siendo sus principales afluentes los ríos Coya, Cipreses, Pangal, Cortaderal y Las Leñas, Río Claro de Cauquenes más los esteros Cauquenes y Clonqui, cuyas subcuencas son las que

aportan directamente a las características del área, más la cuenca directa del propio río Cachapoal, lo que en total define una superficie de 295.706 hectáreas, tal como se muestra en la Figura N° 16. Se suma a lo anterior la existencia de cuerpos de agua como lagunas, tranques y relaves, con una superficie de 1.666 hectáreas, de las cuales 159 hectáreas corresponden a cuerpos de agua y la diferencia a relaves de la minería.

En detalle para el área de estudio, el río Cachapoal se inicia en la Cordillera de Los Andes a los pies de las cumbres Pico del Barroso, 5.160 [m.s.n.m] y Nevado de Los Piuquenes, 4.440 [m.s.n.m]. Desde su nacimiento corre en dirección oeste recibiendo el aporte de los primeros cauces cordilleranos, entre los cuales destacan el de Las Vegas, de Don Manuel, de La Fortuna y el Estero de Los Cipresitos.

Luego, sigue su avance hacia el noroeste recibiendo el aporte de tributarios importantes, entre los cuales se destacan los ríos Las Leñas (a 25 [km] desde el nacimiento), Cortaderal y Los Cipreses, los cuales llegan al Cachapoal por su ribera sur.

Posteriormente, recibe el aporte del río Pangal por su ribera derecha. Cerca del pueblo minero de Coya recibe por su ribera norte al río del mismo nombre (a 28 km de Las Leñas). En seguida, dobla bruscamente al suroeste por 9 km hasta la confluencia con el río Claro de Cauquenes (por la ribera sur), desde este punto, el río se dirige hacia el noroeste por una extensión de 20 km, hasta las cercanías de Rancagua, en plena depresión intermedia. En este tramo recibe por la ribera norte el aporte del Estero La Cadena y por la ribera sur el aporte del estero Cauquenes.

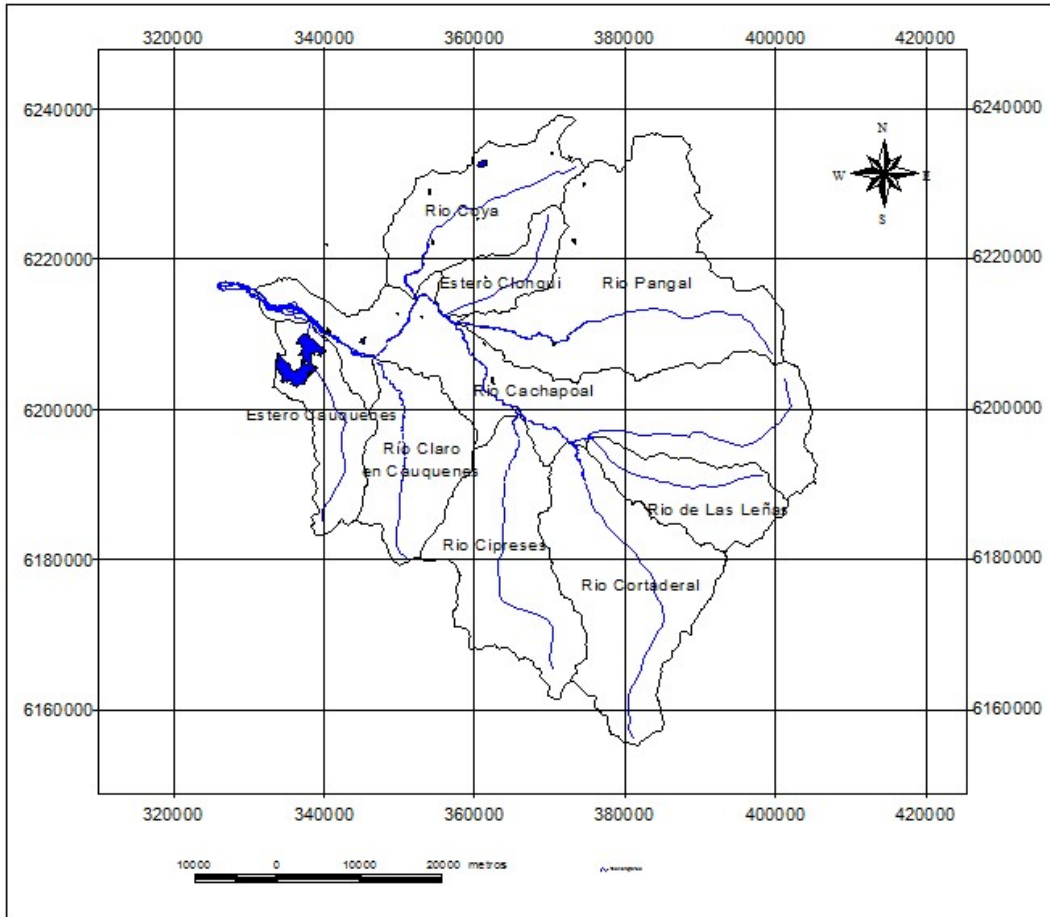


Figura N°16. Red hídrica principal y subcuencas del Área de Estudio.

Subcuencas

Las subcuencas que se indican en la Figura N°16 se delimitaron a partir del modelo digital de elevación ASTERDEM (Figura N°17), del cual también se derivó la red hidrográfica detallada, tal como se muestra en la Figura N°18, insumo utilizado para el cálculo de las variables que caracterizan las subcuencas (Tabla N°2) pendiente, densidad de drenaje, coeficiente de forma, superficies de coberturas vegetacionales y zonas sin cobertura vegetal entre otras, las cuales se presentan en el punto 6.



Figura N° 17. ASTERDEM área de estudio.

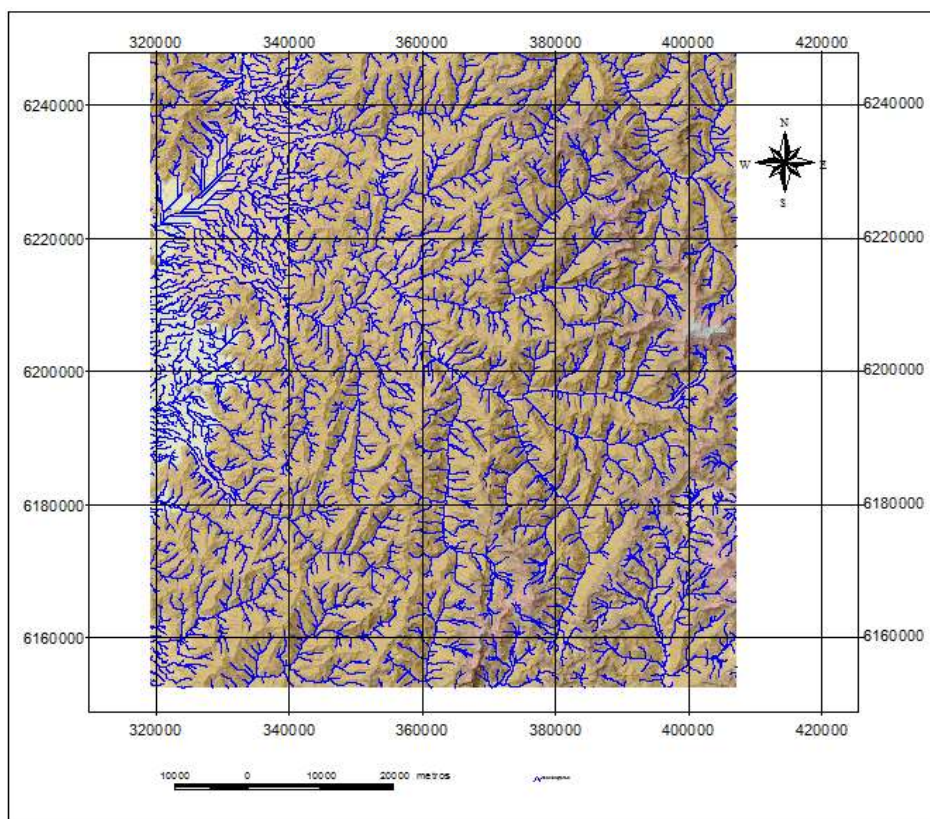


Figura N° 18. Estructura de la red hidrográfica del área de estudio.

Tabla N° 2. Superficie de subcuencas y longitud de red hidrográfica.

Nombre	subcuenca	logdren km	sup km ²
Coya	1	177.5	254.6
Cauquenes	2	114	164.7
Río Claro en Cauquenes	3	147.8	225.8
Cipreses	4	236.6	345.5
Clonqui	5	74.7	104.2
Pangal	6	375.9	610
Las Leñas	7	93.7	173.3
Cortaderal	8	266.2	429
Cachapoal-alta	9	246.8	418.3

La red hídrica detallada da cuenta del grado de incisión que prevalece en las subcuencas, lo que está relacionado directamente con el nivel de infiltración de cada una de ellas y con los montos de escorrentía superficial.

Fluviometría

La cuenca del Cachapoal se caracteriza por un régimen pluvio-nival con deshielos que se presentan entre los meses de octubre a marzo, tal como lo muestra el gráfico de caudales mensuales de la Figura N°22.

Las estaciones con datos fluviométricos existentes en el área de estudio se presentan en la Figura N° 19.

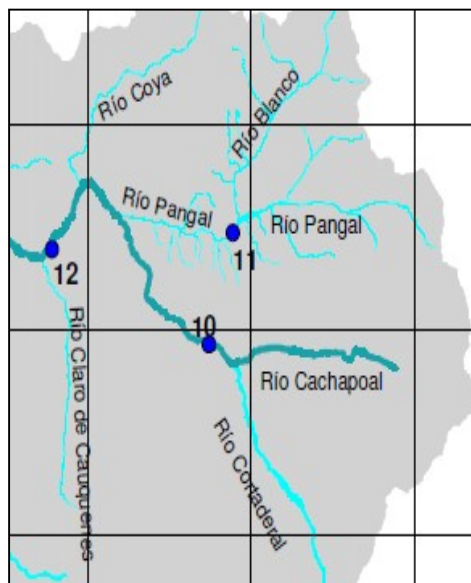


Figura N° 19. Estaciones fluviométricas AE.

La Estación 10 corresponde al río Cachapoal a 5 km aguas abajo de la junta del río Cortaderal, realiza mediciones diarias y la serie de datos disponibles por la DGA es la más completa de las tres existentes y se ubica antes de la bocatoma de agua de la Central hidroeléctrica Chacayes. La estación 11 de la DGA corresponde a Pangal y realiza mediciones de caudales medios diarios del Río Pangal. Se localiza en la bocatoma de agua de la Central hidroeléctrica Pangal, tiene datos de caudales a partir del año 2011. La estación 12 de ENDESA realiza mediciones de caudales diarios del río Cachapoal en Puente Termas, serie de datos incompletos.

Considerando la estación con más datos en el tiempo correspondiente a la serie temporal en estudio (2000-2017), se solicitaron a la DGA los datos disponibles de la estación 10, los cuales se presentan a continuación (Tabla N°3):

Tabla N° 3. Caudales mensuales del río Cachapoal registrados a 5 Km aguas debajo de la unión del río Cortaderal (antes de bocatoma de agua de la Central Chacayes).

RIO CACHAPOAL 5 KM. AGUAS ABAJO JUNTA CORTADERAL														
06003001-4					Altitud (msnm):			1127		UTM Norte (mts):			6198516	
RIO RAPEL					Latitud S:			34° 20' 47"		UTM Este (mts):			373401	
Rio Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)					Longitud W:			70° 22' 35"		Área de Drenaje (km2):			888.00	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qac.	Qprom
2000	87.12	59.30	37.14	27.24	16.45	27.57	28.05	21.26	24.85	43.27	75.78	167.97	616.00	51.33
2001	138.26	95.90	52.40	29.17	25.79	26.06	30.96	35.48	33.54	52.72	67.15	138.13	725.56	60.46
2002	116.01	80.60	49.97	28.06	28.63	25.90	25.75	54.31	40.73	46.08	85.80	139.97	721.81	60.15
2003	149.55	110.12	75.02	38.07	24.36	30.17	25.30	21.43	24.38	41.27	66.88	77.07	683.62	56.97
2004	80.16	53.00	27.14	40.43	21.24	21.09	18.19	17.93	25.03	35.93	51.66	77.93	469.73	39.14
2005	81.01	55.84	31.99	15.57	17.30	36.56	24.48	31.85	36.15	44.23	84.11	114.23	573.32	47.78
2006	131.94	101.84	51.68	33.56	25.25	28.20	39.14	25.89	25.15	35.76	64.33	93.44	656.18	54.68
2007	99.29	55.40	41.19	23.62	16.40	13.88	15.72	12.99	15.41	25.55	43.32	58.73	421.50	35.13
2013	108.54	45.12	31.87	19.35	19.49	15.15	14.32	14.31	18.00	20.87	44.82	54.93	406.77	33.90
2014	36.57	25.18	22.56	20.33	15.23	11.00	10.93	14.72	16.06	27.87	53.17	59.03	312.65	26.05
2015	59.88	40.52	32.74	25.67	18.28	13.04	12.93	17.52	20.82	24.62	48.24	93.43	407.69	33.97
2016	99.36	65.13	48.21	45.34	56.16	50.05	25.30	22.84	23.69	28.50	43.70	54.75	563.03	46.92

Los años 2008 a 2012 y 2017 no se consideraron por estar incompletos. Estos caudales se relacionan con el aporte que realiza la propia cuenca alta del río Cachapoal y sus afluentes principales río Las Leñas y río Cortaderal, cuya superficie es del orden de 9.676 hectáreas (Figura N° 20). El caudal promedio anual resultante se grafica en la Figura N°21.

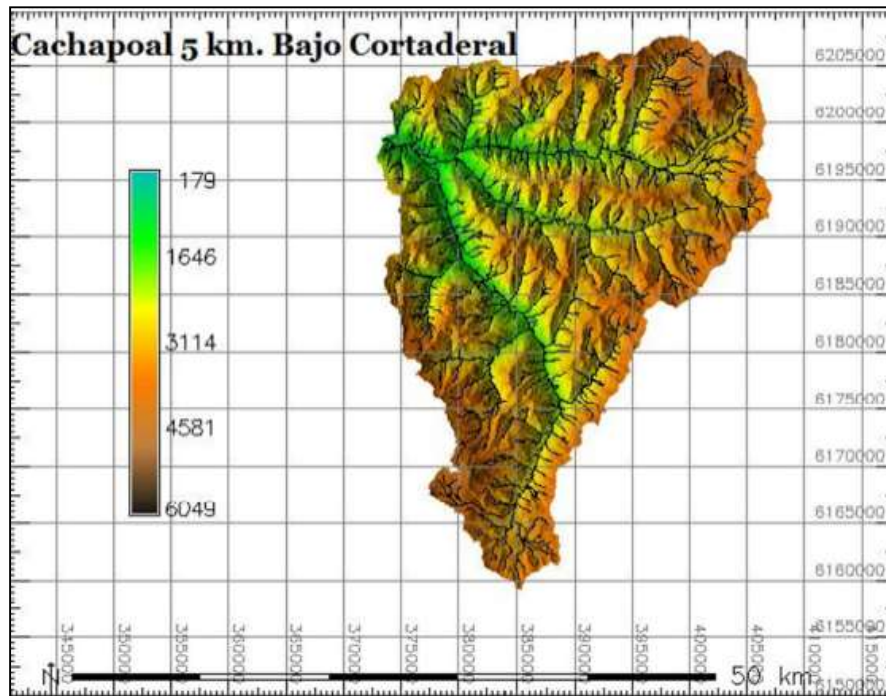


Figura N° 20. Superficie receptora de la estación Fluvial Cachapoal (DGA) en río Cachapoal. (Gómez, 2013).

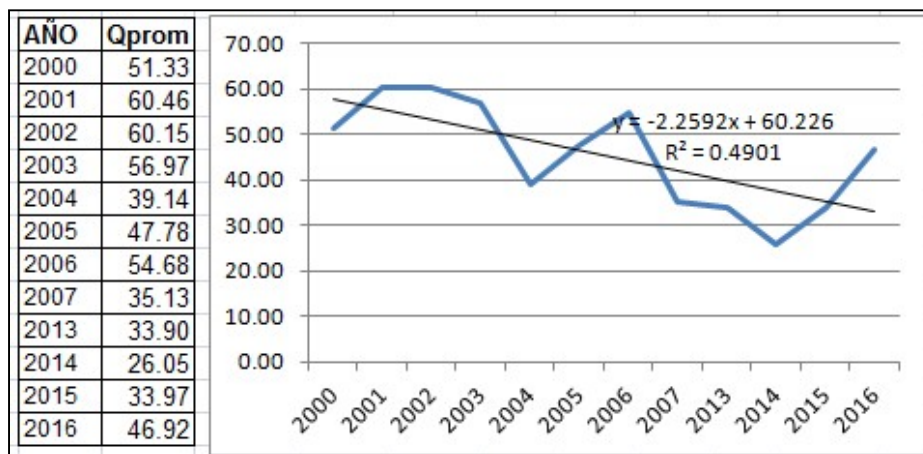


Figura N°21. Caudal (m^3/s) promedio anual de los años que se presentan en la 2000 a 2016.

La tendencia de los caudales para el río Cachapoal muestra un comportamiento negativo, con una disminución entre el año 2000 y 2016 de $28 m^3/s$, tendencia que es concordante con los datos de precipitación de la estación pluviométrica de Pangal, la que se encuentra a una altitud de 1.465msnm.

De los propios datos de la Tabla N°3, se obtiene el comportamiento mensual de los caudales que se presenta en las Figuras N°22 y N° 23.

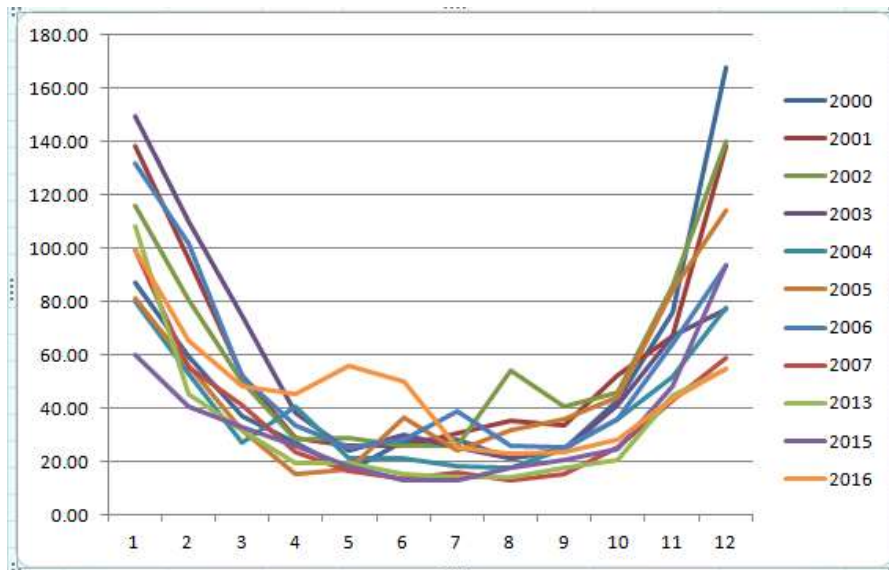


Figura N°22. Comportamiento mensual de los caudales en río Cachapoal en los años 2000 a 2016.

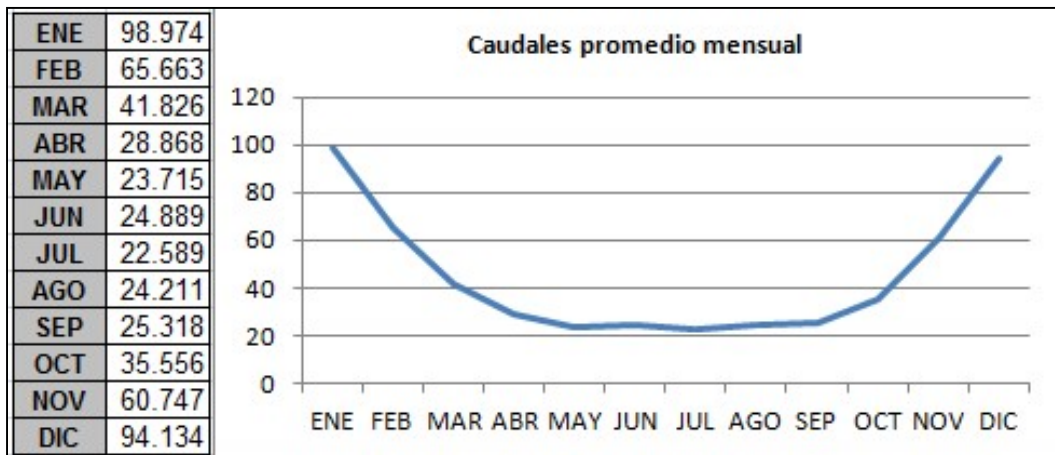


Figura N° 23. Caudal promedio mensual en metros cúbicos por segundo (2000-2016).

El promedio mensual sigue el comportamiento característico de torrentes cordilleranos que se encuentran condicionados por el deshielo entre los meses de octubre a marzo donde ocurren los caudales más altos, mientras que los demás meses los caudales son bajos, que en éste caso son del orden de 20 m³/s.

4.3 Geomorfología, Topografía y Suelo.

De acuerdo a Castro et al. (2003)³ el límite entre los pisos montañosos del área de estudio, según criterios de altura, pendiente, vegetación, ambientes morfoestructural y tectónico, se encuentran demarcados por los siguientes hitos: el límite superior de baja montaña se localiza en la confluencia del río Pangal con el Cachapoal, mientras la media montaña tiene su límite superior en la confluencia con el río de Los Cipreses. El límite entre media y alta montaña se encuentra aproximadamente a la altitud de 1.800 m. s. n. m.

De acuerdo a Quintanilla (1983)⁴ el área de estudio también se puede dividir en los siguientes pisos altitudinales, según su relación con la vegetación (Figura N°24):

- a) Piso montañoso inferior entre los 500 a 700 m.s.n.m. donde predomina el matorral esclerófilo intervenido.
- b) Piso montañoso superior entre 700 a 1.200 m.s.n.m, predominio del bosque esclerófilo degradado. Matorral subandino
- c) Piso subandino entre los 1.200 a 1.700 m.s.n.m. con matorral subandino.
- d) Piso andino inferior 1.700 a 2.500 m.s.n.m. relacionado con estepa y vegas andinas
- e) Piso andino superior sobre los 2.500 m.s.n.m. con presencia de gramíneas y plantas reptantes.

La formación del relieve en general está modelado por los efectos de la erosión glacial, destacándose por laderas abruptas 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. En las zonas bajas, las terrazas aluviales del río Cachapoal se hacen más anchas y con pendientes moderadas, las cuales son utilizadas para agricultura.

³ Modern contribution of volume and its implication in the definition of levels of natural risk . Univ. del Bío Bío.

⁴ “Biogeografía”. Tomo III, Capítulo 4. Instituto Geográfico Militar (IGM).Santiago, Chile

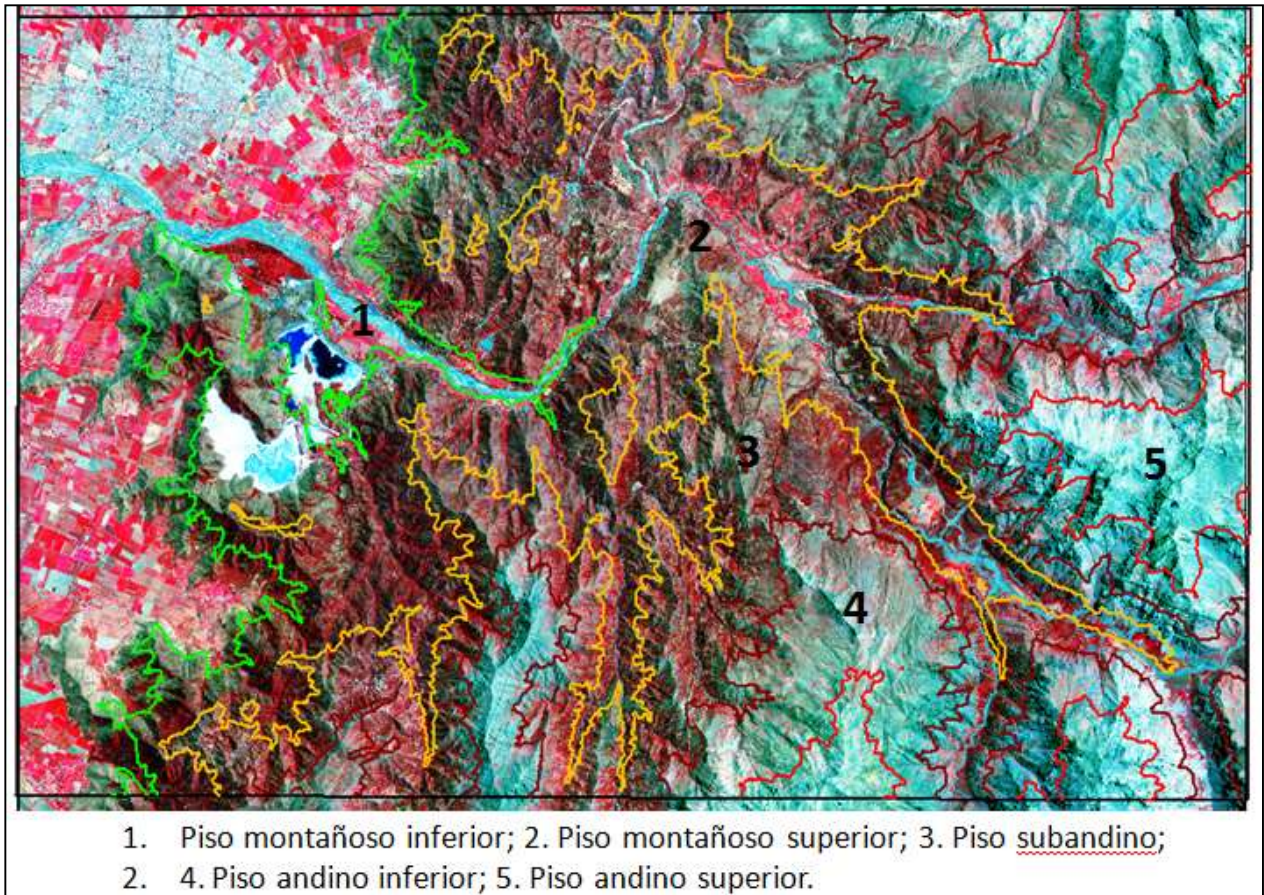


Figura N°24. Piso andinos en el área de estudio.

La carta de la siguiente Figura (N° 25), tomada del estudio “Amenazas Naturales en Media y Baja Montaña Asociadas al Corredor de Comercio Las Leñas, VI Región del Libertador Bernardo O’Higgins” (CHAVEZ, C. 2005), da cuenta de la geomorfología de la mayor parte del 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 y que en la actualidad se encuentran recubiertos con distintas formaciones vegetacionales.

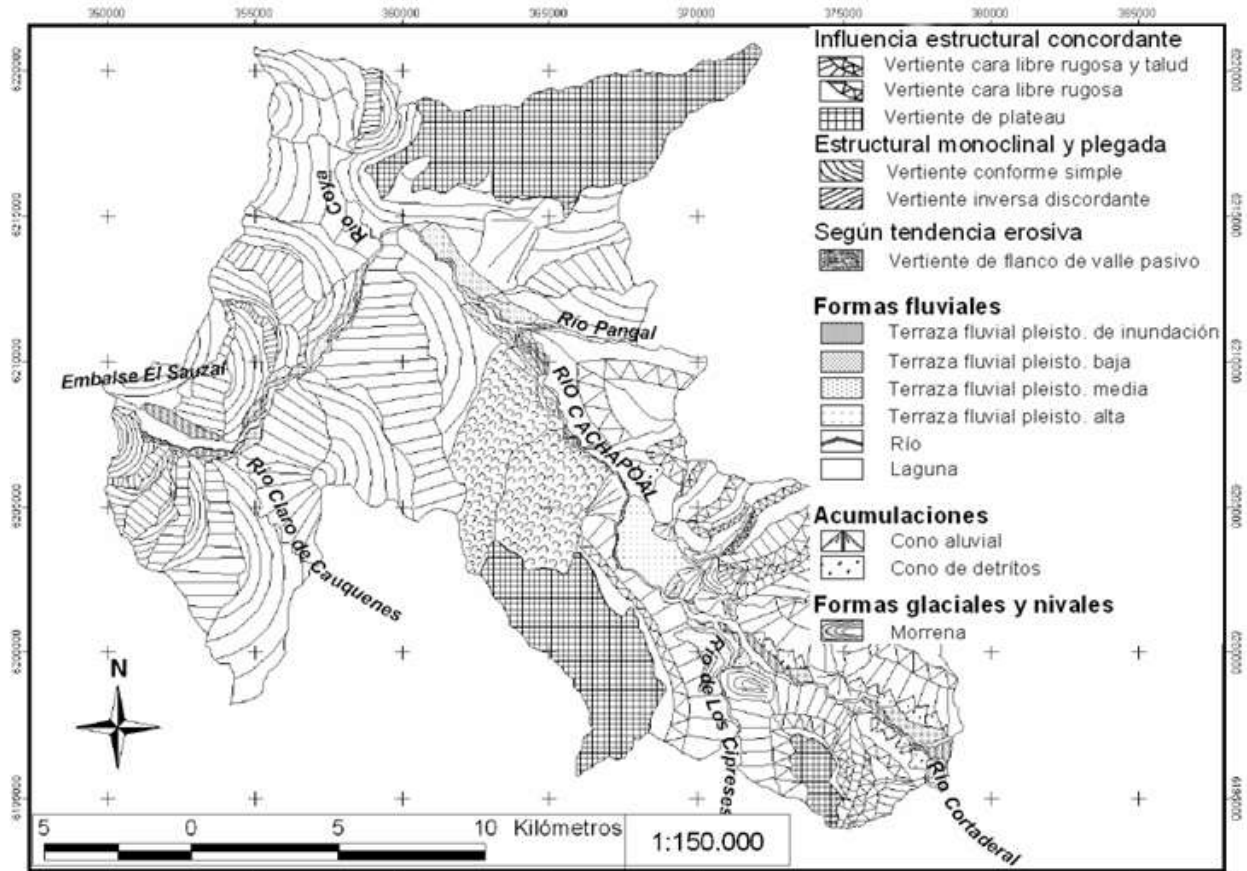


Figura N° 25. Geomorfología del área de estudio. (Chávez, 2005).

En toda el área de estudio predominan procesos erosivos, con laderas que llegan al 100% de pendiente y material rocoso en equilibrio frágil. En la zona baja, en torno del río Cachapoal, predominan terrazas aluviales que en algunos sectores llegan a tener tres niveles de altura.

La hipsometría (Figura N° 26) en toda el área de estudio (directa e indirecta) se encuentra entre los 529 m de altitud en la zona baja y los 5.153 msnm en las cumbres más altas, que se ubican en la confluencia entre el límite de la cuenca propia del río Cachapoal y la cuenca del río Pangal.

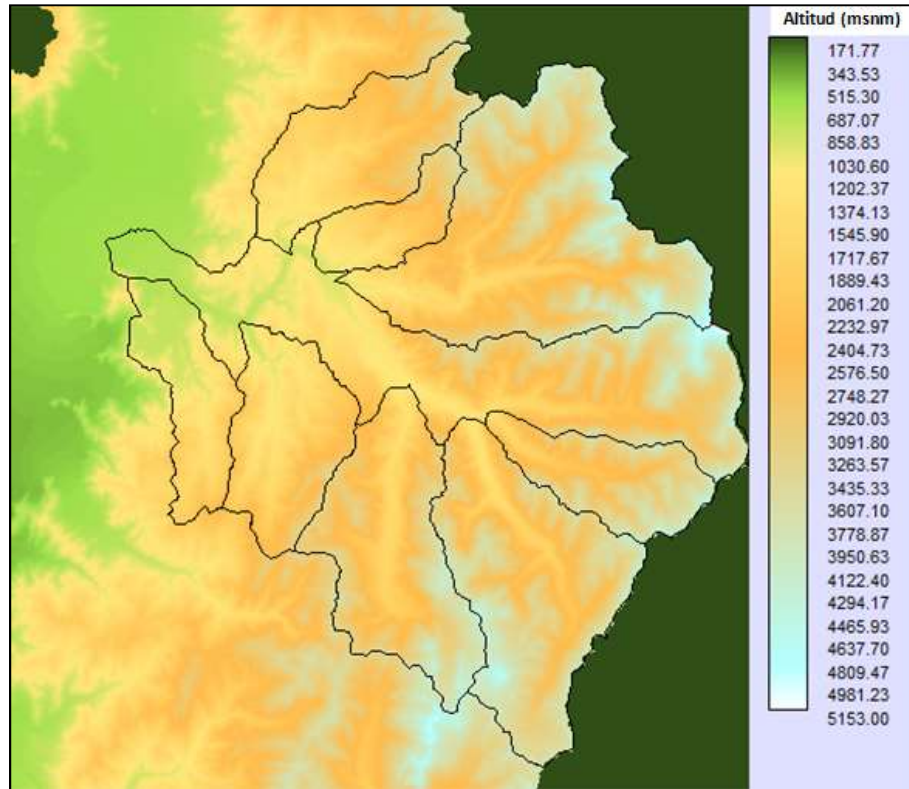


Figura N° 26. Hipsometría cuenca del río Cachapoal.

La hipsometría tiene su correlato en la superficie por distritos de pendiente que se presentan en la tabla siguiente (Tabla N°4):

Tabla N° 4. Superficie de distritos topográficos por subcuenca.

Subcuenca	Plano(0-10.5%)		Ondulado (10.5-34.5%)		Serrano (34.5-66.5%)		Montano (>66.5%)	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%
Coya	2587	10.2	11123	43.7	9340	36.7	2409	9.5
Cauquenes	2610	15.8	5638	34.2	6924	42.0	1305	7.9
Claro en Cauquet	452	2.0	6387	28.3	12297	54.4	3449	15.3
Cipreses	2381	6.9	9221	26.9	12249	35.7	10444	30.5
Clonqui	1057	10.1	4981	47.8	3665	35.2	715	6.9
Pangal	3770	6.2	12096	19.9	22386	36.8	22545	37.1
Las Leñas	985	5.7	2965	17.1	6305	36.5	7037	40.7
Cortaderal	3057	7.2	8652	20.3	14123	33.2	16715	39.3
Cachapoal-alta	3464	8.3	7612	18.2	13519	32.3	17212	41.2

Los datos determinan que las subcuencas con mayor superficie montana corresponden a las de río Cipreses, Pangal, Las Leñas, Cortaderal y Cachapoal alto.

Dado lo anterior, los suelos del área de estudio tomando como base el estudio agrológico de CIREN (1996)⁵ se pueden caracterizar de la siguiente forma (Figura N°27):

a) Misceláneo aluvial (MA): Depósitos aluviales correspondientes a abanicos en la parte baja de las montañas, donde se han formado suelos delgados, inclinados, de textura arenosa y pedregosidad abundante. Poseen una buena a regular vegetación arbustiva y herbácea.

b) Misceláneo coluvial (MC): Terrenos pedregosos, disectados, formando abanicos en la parte media y baja de las montañas. Están constituidos por gravas y bolones heterogéneamente repartidos, no consolidados, con matriz preferentemente de textura arenosa fina a franco arenosa.

c) Terrenos rocosos (R): Afloramientos rocosos de las formaciones petrográficas. Se ubican en la cima cordillerana, desprovistas de vegetación arbórea y una escasa vegetación arbustiva. En la cordillera de los Andes dominan las rocas eruptivas básicas y neutras.

d) Terrazas aluviales del río Cachapoal (TH) (Tabla N°5): Suelos de las terrazas recientes del río Cachapoal, estratificados, delgados a ligeramente profundos, de texturas medias a gruesas, sobre substratos de arenas y gravas, permeables; el drenaje es variable, el 50% de ellos presenta buen drenaje, un 30% drenaje moderado y 20% drenaje imperfecto. Un 20% de las variaciones están afectadas por problemas de inundaciones ocasionales. Pueden dividirse en tres grupos de suelos:

- Suelos planos, delgados, estratificados, texturas moderadamente gruesas a medias, bien drenados, libres de piedras o con ligera pedregosidad.
- Suelos planos, moderadamente profundos, estratificados, de texturas medias a moderadamente gruesas, drenaje moderado a bueno, libres de pedregosidad.
- Suelos planos, delgados a moderadamente profundos, estratificados, de texturas moderadamente gruesas, drenaje imperfecto a pobre, con niveles freáticos.

⁵ . "Estudio Agrológico. Descripciones de Suelos. Materiales y Símbolos. VI Región". Santiago, Chile. Publicación 114. Tomo 1. 1996.

Tabla N°5. Variaciones de suelo de terrazas aluviales.

	Capacidad de uso	Categoría de riego	Erosión actual	Clase de drenaje	Aptitud frutal	Aptitud agrícola
1: Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa a franco, planos y bien drenados.	III s 0	2s	0	5	C	3
2: Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa muy fina, planos, de drenaje moderado	II w 3	1	0	4	B	2
3: Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa fina y franco arenosa muy fina, planos,	III w 3	2w	0	4	C	3
4: Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa muy fina, planos y de drenaje	III s 0	2s	0	4	C	3
5: Corresponde a suelos de textura superficial arenosa muy fina, planos, con ligera profundidad	IV s 0	3s	0	5	D	4
6: Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa fina y franco arenosa, bien drenados.	IV s 0	3s	0	5	D	4
7: Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa, planos, con ligera pedregosidad superficial, bien drenados y sometidos a inundaciones ocasionales.	IV s 0	3s	0	5	D	4
8: Corresponde a suelos de textura superficial areno francosa, planos, de drenaje excesivo y sometidos a inundaciones frecuentes.	IV s 0	5	0	6	E	4
9: Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa fina, planos y drenaje imperfecto.	III w 3	3w		3	E	3
10: Corresponde a suelos delgados, planos, con ligera pedregosidad superficial, de drenaje imperfecto y sometidos a inundaciones periódicas.	IV s 0	5	0	6	E	4
11: Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa muy fina, planos, de drenaje pobre y sometidos a inundaciones.	IV w 2	4w	0	6	E	4
12: Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa, planos y de drenaje pobre.	IV w 2	4w	0	2	E	4

Donde:

Capacidad de uso:

III s 0 = suelos planos con ligeras pendientes que presentan una estrata arenosa gruesa o con muchas gravas

II w 3 = suelos planos con ligeras pendientes. Presenta subsuelo o substrato de permeabilidad lenta o muy lenta

IV s 0 = severas limitaciones de uso que presentan una estrata arenosa gruesa o con muchas gravas

IV w 2 = severas limitaciones de uso por problemas de drenaje o riesgo de inundación.

Categoría de riego:

2s = Moderadamente adaptada, limitante de suelo

3s = Pobremente adaptada, limitante de suelo

1 = Muy bien adaptada

2w = Moderadamente adaptada, limitante de drenaje

4w= muy pobremente adaptada, limitante de drenaje

5= Con condiciones climáticas favorables y prácticas especiales de manejo y conservación pueden ser usados en cultivos especiales.

Clase de drenaje:

3= Imperfecto

4 = Moderado

5= Bien drenado

6= Excesivamente drenado.

Aptitud frutal:

B= Limitaciones ligera

C= Limitaciones moderadas

D= Limitaciones severas

E= Sin aptitud frutal

Aptitud agrícola:

2= Ligeras limitaciones

3= Moderadas limitaciones

4= Severas limitaciones

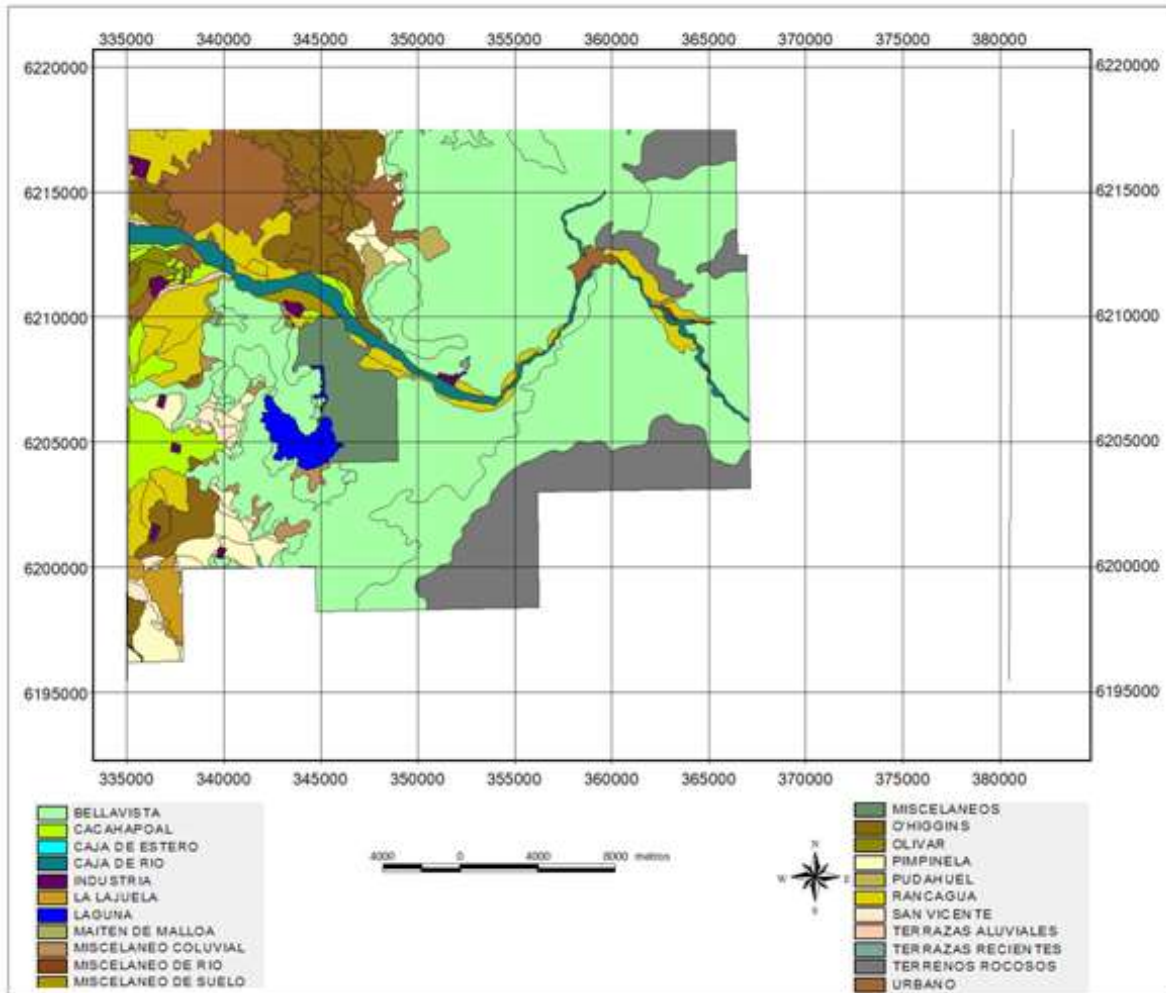


Figura N°27. Series de suelo (CIREN, 1996). Área de estudio

4.4 Accesibilidad y Principales Actividades Productivas

4.4.1 Accesibilidad

La accesibilidad al área de estudio está dada por las rutas principales que conectan la parte baja del área de estudio con la ciudad de Rancagua, especialmente el sector del poblado de Coya y la mina El Teniente. Se conecta además por rutas secundarias las cuencas de río Pangal y el piso Subandino de la cuenca propia del río Cachapoal, dando conectividad a las centrales de paso Pangal y Chacayes respectivamente, así como a los puntos de las bocatomas de ambos ríos (Figura N° 28). Las Rutas principales también dan acceso a la cuenca del río Los Cipreses que constituye la Reserva Nacional incluida en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del país y las subcuencas del estero Cauquenes y del río Claro en Cauquenes por la ribera sur del río Cachapoal.

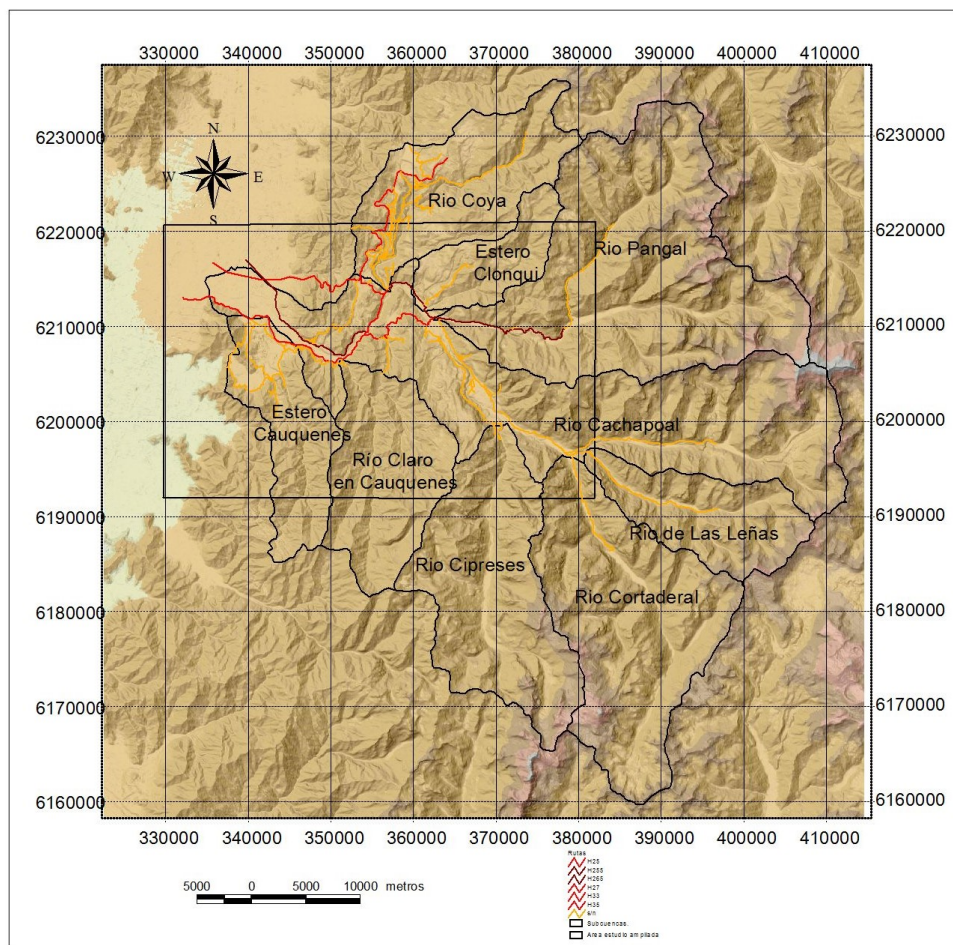


Figura N°28. Rutas principales y secundarias.

Las subcuencas del río Cortaderal y Las Leñas tienen acceso mediante caminos secundarios que se conectan vía puentes por rutas principales en la ribera norte del río Cachapoal.

Con todo, la subcuenca de mayor intervención por caminos secundarios y de tercer orden es la cuenca del estero Coya, que permiten el acceso a las actividades mineras que se concentran en ésta subcuenca. Se suman a lo anterior, las huellas de arrieros y senderismo. La longitud total de caminos principales secundarios y de tercer orden alcanza a 456 km, correspondiente a lo que se presenta en la figura N°28.

4.4.2 Ganadería

Las principales especies de ganado que se manejan en la zona de estudio son los equinos (caballos) y los bovinos (vacas), correspondiendo a un manejo extensivo, determinado por pastoreo de manera libre en ambientes silvestres y al mismo tiempo es una ganadería trashumante basada en el uso de zonas de pastoreo diferenciadas en invierno (“invernadas”) y verano (“veranadas”), aprovechando el crecimiento estacional diferenciado de la pradera que ocurre en zonas bajas y zonas altas. Así, aproximadamente en el mes de octubre, los ganaderos “suben” a equinos y bovinos a los sitios de pastoreo de verano, donde permanecen aproximadamente hasta abril, cuando son “bajados” a los sitios de pastoreo invernal. Durante los meses en la veranada los animales se mueven de manera libre, siendo revisados de manera periódica por los propietarios (entre 1 y 3 veces al mes).

De acuerdo a los antecedentes obtenidos por Espinosa (1988) de las temporadas 1984-85, 1985-86, 1986-87 la situación ganadera en las subcuencas andinas del río Cachapoal corresponden a la Tabla N°6.

Tabla N°6. Animales promedio de temporadas (1984-1987).

Subcuenca	N° veranadas	Sup. (ha)	Bovino	Ovino	Equinos	Bov-eq	Bov-eq/ha
Pangal	12	10725	494	52	605	1107	10
Cachapoal alto	12	8387	380		92	472	18
Las Leñas	3	1712	22		35	57	30
Cortaderal	9	3115	88		271	359	9
Cipreses	8	1810	529	25	89	623	3
Total		25749				2618	70

El total de animales en las subcuencas, en las temporadas indicadas, fueron de 7.859 Bov. Eq. con un promedio por temporada de 2.619 Bov.eq. en un promedio de 12,5 Bov eq. por hectárea, considerando que un Bov. Eq. = Bovinos + Equinos + (Ovinos+Caprinos)/6.

Datos entregados por el SAG regional (Comunicación Dpto. Sanidad Animal) para las temporadas 2016-17 y 2017-18 indican que en promedio subieron a la zona de verandas del sector alto del río Cachapoal (PRUITT, LABEE, CALDERON en la Leñas) un promedio de 2.855 Bov-eq. Si a los datos Bov-eq. de la tabla N°6 se descuentan los Bov-eq de la subcuenca del río Pangal, se tiene que para las subcuencas del sector alto del río Cachapoal los Bov-eq. que subieron (promedio) en dichas temporadas (1984-87) fueron 1.511, lo que implica que se puede asumir que la ganadería se ha incrementado desde el 1987 al 2018 en 89%.

Por otro lado, los datos elaborados por el estudio "Cartografía de la Vegetación de Veranadas entre la VI y IX regiones de Chile y Determinación de la Capacidad de Carga" (SAG-UNICIT, 2.002), la superficie pastoril en las subcuencas subsidiarias del río Cachapoal son 54.602 hectáreas, distribuidas principalmente en los pisos subandinos, andino inferior y superior y en las subcuencas tal como se indican en la Figura N°29, las cuales sustentan una capacidad de carga promedio por hectárea de 0,045 unidades bovinas equivalentes, considerando una temporada de 5 meses.

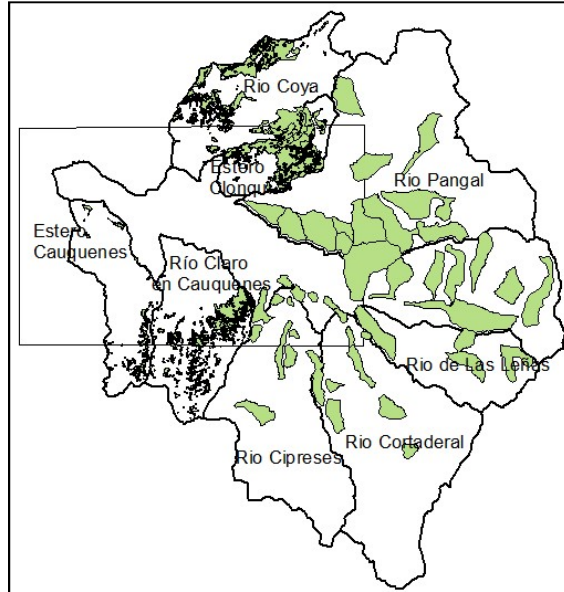


Figura N°29. Distribución de superficie pastoril en área de estudio completa.

Así, los datos demuestran que la ganadería de carácter extensivo que se realiza en la zona se concentran en determinadas superficies que sobrepasa la capacidad de carga de las formaciones vegetales existentes según la producción de materia seca (Kg/ha) de éstas.

La vegetación ganadera, al mismo tiempo, presenta contrastes importantes entre la temporada de otoño invierno - primavera verano, dada las condiciones climáticas, lo que determina que sean ecosistemas muy sensibles no sólo a las variaciones climáticas, sino también a las presiones de sobretalajeo.

4.4.3 Minería

El área de estudio se caracteriza por la presencia de la gran minería desarrollada por Codelco, cuya mina el Teniente se ubica 44 kilómetros de la ciudad de Rancagua, siendo por su tamaño y producción la segunda división en importancia. El yacimiento corresponde a la mina subterránea de cobre más grande del mundo con dimensiones que llegan a 1500 metros de profundidad y cerca de 2.400 kilómetros de galerías subterráneas. Cuenta con más de 111 millones de toneladas de cobre fino en recursos y 39,1 millones de toneladas de cobre fino en reservas. El Teniente produce

principalmente concentrado de cobre, el cual es fundido en la Fundición Caletones, que forma parte de las instalaciones de la División. Los principales productos de El Teniente son ánodos de cobre y cobre refinado a fuego (RAF) y en una menor proporción, cobre blister y cátodos de alta pureza. Los principales subproductos son concentrados de molibdeno y ácido sulfúrico.

El transporte del cobre de El Teniente, se realiza desde Caletones a Rancagua en camión, y desde allí en tren hacia San Antonio y Enami - Ventanas y en menor medida, se realiza transporte desde Caletones a Valparaíso y Rancagua, a lo que se suma una serie de mineraductos que llevan los relaves a distintos tranques como Carén y con anterioridad a laguna o tranque Cauquenes el cual se encuentra en explotación por ENAMI y la Minera Valle Central mediante una planta concentradora de minerales. Así, se genera un circuito minero con una estructura vial apoyada por el MOP como se muestra en la Figura N°30.

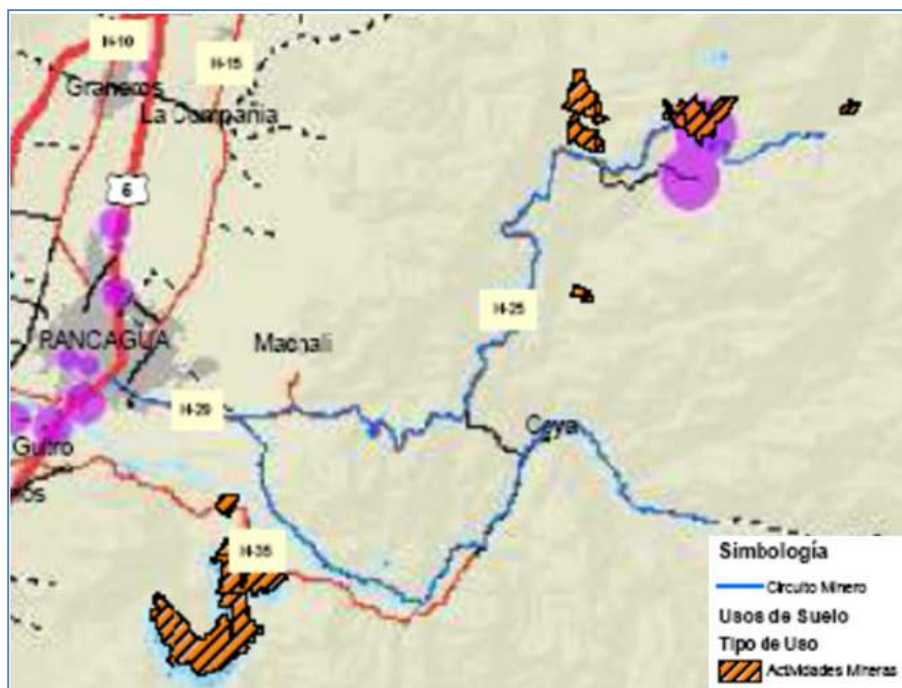


Figura N°30. Uso del suelo y circuito minero en el área de estudio (MOP, 2007)

4.4.4 Turismo

El desarrollo del turismo en el área de estudio se centra principalmente en circuitos culturales a las antiguas (data de 1905) dependencias del campamento minero Sewel, declarado Patrimonio de la Humanidad que se ubica en la zona de la mina el Teniente a 64 km. de Rancagua. La visita a estas dependencias se integra en un circuito asociado a al Centro de Esquí Chapa Verde, ubicado también en los terrenos de Codelco, comprende 1.200 hectáreas de dominio esquiable, tanto dentro y fuera de pista, con 6 andariveles aptos para todo esquiador y más de 20 pistas. Así, una visita completa puede incluir excursiones por ambos atractivos.

Otro atractivo relevante en el área es la Reserva Nacional Río Cipreses cuya subcuenca es subsidiaria del río Cachapoal por la ribera sur, está bajo la administración de CONAF y constituye parte del Sistema nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE) por el Decreto Supremo N° 19 del Ministerio de Agricultura, el 6 de Marzo de 1982, terrenos que originalmente constituían parte del Fundo El Principal, utilizado en el pasado para la engorda de ganado y la extracción de leña y carbón. El principal uso que se da actualmente a la Reserva es la recreación y la educación ambiental, no obstante lo cual aún subsisten algunos usos no autorizados de extracción de madera y de ganadería por parte de las comunidades aledañas.

Las zonas de uso intensivo para turismo se encuentran en las terrazas fluviales del Río Clarillo, ubicadas desde la entrada de la Reserva hasta aproximadamente 4 km hacia el interior, donde se encuentran habilitados sitios de acampada que son utilizados principalmente durante los fines de semana de la primavera y verano. Existe además un Centro de Información al Visitante, un Centro de Información Ambiental y un Arboretum. En la temporada 2017 visitaron la reserva un total de 25.236 personas, de las cuales 301 fueron extranjeros.

El circuito a la Reserva normalmente comienza en el Refugio Río Cipreses, con trekking y luego cabalgatas, siendo los principales atractivos la abundante flora nativa y la presencia del loro Trichahue.

Otra actividad importante en el área es el geoturismo que se encuentra asociado a la historia geológica de aproximadamente 190 millones de intensa actividad volcánica y sísmica, que han dado origen al paisaje actual, donde se tiene puntos de visitas como los siguientes: ignimbrita Machalí, sinclinal Alto de la Bandera, petroglifo Valle Pangal, torres de intrusivo Cortaderal, roca aborregada Cortaderal, laguna Piuquenes (subcuenca del río Cipreses), petroglifos rocas aborregadas y quebrada el Baúl (subcuenca del río Cipreses) entre otros.

4.4.5 Generación de energía mediante Centrales de Paso.

Las demandas de agua y la captura de ésta desde los ríos por las actuales Centrales de Paso de generación eléctrica existentes en el área de estudio (cinco), de acuerdo a los trabajos existentes⁶ y definiciones de las propias centrales, son las siguientes:

En primer lugar, se tienen las centrales Coya y Pangal, que se encuentran en operación desde los años 1911 y 1921 respectivamente. Ambas centrales en conjunto presentan una capacidad instalada de 76 MW y representan una generación anual promedio de 511 GWh. Cada una de las centrales cuenta con bocatoma propias: la central Coya y su bocatoma se ubica en el cauce del río Cachapoal, aproximadamente 12 kilómetros aguas abajo de la estación fluviométrica río Cachapoal a 5 km aguas debajo de la unión del río Cortaderal, con una capacidad de aducción de 22.5 m³/s; la central Pangal se ubica en el cauce del río Pangal y su bocatoma, de capacidad máxima 10 m³/s está localizada aproximadamente a 9 kilómetros aguas arriba de la Central en el río Pangal.

La devolución del caudal de la central Coya tras ser utilizado en la casa de máquinas para la generación se realiza aguas arriba del pueblo Coya, mientras que para la central Pangal, parte del caudal es trasvasiado desde el cauce del río Pangal por medio de un acueducto de capacidad máxima 7,5 m³/s, hasta la central Coya para una reutilización de este recurso. El excedente de la capacidad del acueducto, en caso de existir, es liberado aguas abajo de la casa de máquinas de la central Pangal.

⁶ Evaluación del impacto del cambio climático en centrales hidroeléctricas de la cuenca del alto Cachapoal (Gomez, 2013), Pacifichydro.cl/spanish/proyectos/en-operacion/test-project

En segundo lugar, también se encuentra en el área de estudio la central Chacayes, relativamente nueva, ya que su puesta en funcionamiento se realizó tan solo en el mes de Noviembre del año 2011 y que presenta una capacidad instalada de 111 MWh, con una generación promedio anual esperada de 560 GWh. Esta central presenta dos obras de captación de caudales:

- bocatoma Chacayes (capacidad 52,5 m³/s)
- bocatoma Cipreses (capacidad 20 m³/s).

La primera se ubica en el cauce del río Cachapoal, prácticamente justo aguas abajo de la estación fluviométrica río Cachapoal 5 km. bajo junta río Cortaderal, mientras que la segunda se encuentra aproximadamente 3 kilómetros aguas arriba del punto de confluencia entre el estero Cipreses y el río Cachapoal. Parte del caudal utilizado por esta central es entregado directamente a la central Coya para su funcionamiento (con una capacidad máxima de 22.5 m³/s). La restitución del caudal utilizado por esta central ocurre parcialmente aguas abajo de su casa máquinas. Presenta dos turbinas de tipo Francis.

Las siguientes fotografías tomadas en terreno de abril del presente año dan cuenta de sus emplazamientos (Figura N° 31):



Figura N° 31. Fotografías de Central Coya, Chacayes y Pangal. Vistas inferiores corresponden a Google Earth.

Se suman a las anteriores, en la parte baja del área de estudio las Centrales Sauzalito y Sauzal ambas de la Empresa Nacional de Electricidad S.A, las cuales capturan las aguas del río Cachapoal. La primera (Figura N° 32) ubicada a 13 Km al oriente de Rancagua y posee una potencia de 12 MW, con una generación anual de 69,7 GWh y un caudal turbinable de 45m³/s. La segunda corresponde a Sauzal (Figura N°32), ubicada a 19 Km de Rancagua con una potencia instalada de 76,8 MW, generación anual de 419,4 GWh y un caudal turbinable de 56 m³/s.



Figura N° 32. Central Sauzalito y Central Sauzal.

Debido a las propiedades de las centrales y la forma en que opera el mercado energético de Chile, estas centrales siempre se encuentran en operación satisfaciendo demandas energéticas de base, dado el bajo costo marginal asociado que tienen gracias a su modo de generación. Esto se traduce en la práctica en que las centrales, a no ser por alguna decisión operacional, se encuentran siempre en funcionamiento generando energía.

La distribución espacial de las centrales, de las bocatomas, canales y tubos de transporte se presenta en las Figuras N°33 y 34.



Figura N°33. Ubicación de Centrales Hidroeléctricas de Paso en el área de estudio.

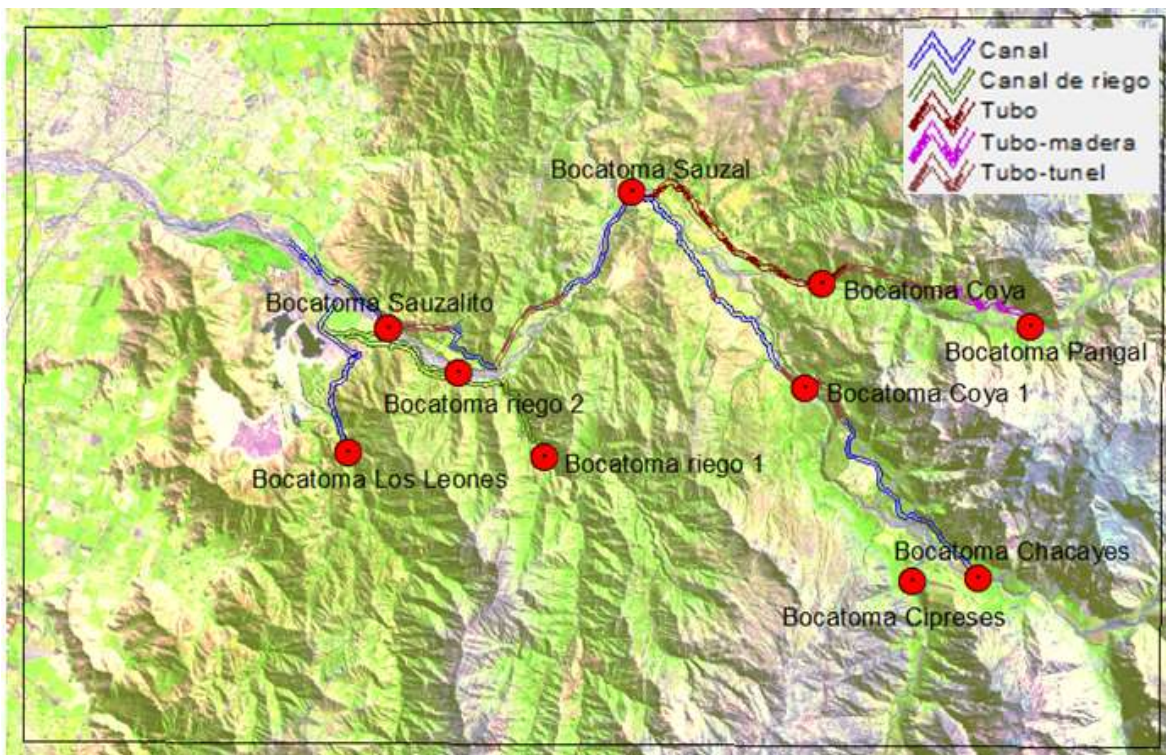


Figura N°34. Ubicación de Bocatomas de Centrales y de riego.

La longitud total de conducción de agua, considerando tubos y canales es de 91,6 km, de los cuales 3,9 km corresponden a tubo de madera que conduce las aguas desde la bocatoma Pangal hasta la entrada a túnel para ser entregada a Central Pangal, dada sus características dicha tubería está categorizada como Monumento Nacional (Figura N°35).



Figura N°35. Tubería de madera de Sequoia que data del año 1917

Los canales de conducción entre las bocatomas y las centrales tienen una longitud de 43,7 km y corresponden a obras sólidas que se encuentran en mantención periódica, canales que al mismo tiempo se conectan con tranques de acumulación en forma intermedia y en forma previa a la llegada a las Centrales (Figura N° 36 y 37). Estas obras son las que han tenido y tienen mayor impacto en las unidades vegetacionales y en el territorio.



Figura N°36. Canal de desvío de aguas del río Cachapoal (en Chacayes) y río Cipreses, entrada de agua a túnel y salida de agua donde se evidencia la alteración de las unidades vegetacionales.



Figura N°37. Embalses de agua de canales (Sauzal y Chacayes).

Las principales bocatomas corresponden a la del río Cachapoal en el sector de Chacayes y a la bocatoma de Pangal en el río Pangal, las cuales implican obras de intervención tanto del río como de las zonas adyacentes donde se emplazan las construcciones de mantención (Figura N°38). Las demás corresponden a obras menores de intervención directa de los ríos, salvo la bocatoma del estero Los Leones de la subcuenca del estero Cauquenes en la parte baja del área de estudio, que captura las aguas para ser utilizadas en las faenas mineras asociadas a la recuperación de metales del relave de la laguna Cauquenes (Figura N°39).



Figura N°38. Bocatoma de agua del río Pangal y del río Cachapoal en sector de Chacayes. Las superficies intervenidas fuera del cauce del río comprenden 28,6 y 21,9 hectáreas respectivamente. La bocatoma de Pangal captura 10 m³/s y la de Chacayes 52,5 m³/s.



Figura N°39. Bocatoma del estero Los Leones y canal de desvío hacia faenas mineras en sector de Laguna Cauquenes y posterior devolución al río Cachapoal.

4.5 Cobertura Vegetacional, Uso de la Tierra y Fauna Relevante.

4.5.1 Cobertura vegetal y uso de la tierra

La cobertura y uso de la tierra del área de estudio se definió a partir de la información del Catastro Nacional de Vegetación Nativa de la VI Región (CONAF, 2013) disponible en <https://sit.conaf.cl/>, modificado de acuerdo a los objetivos del presente estudio y los datos obtenidos en terreno, más análisis de la data satelital de SENTINEL 2 (Figura N° 41). Las Unidades Cartográficas Homogéneas describen para las coberturas vegetacionales la densidad de la cobertura vegetal y las principales especies que la integran.

En el caso del área de subcuencas relacionadas al AE, la cobertura vegetal y uso de la tierra se elaboró a partir de la cartografía del estudio “Cartografía de la vegetación de veranadas entre la VI y IX regiones de Chile y determinación de la capacidad de carga” (SAG-UNICIT, 2002), complementado para las subcuencas bajas con el Catastro de CONAF y datos propios (Figura N°42). La información de la Unidades Cartográficas Homogéneas (UCH) correspondientes a uso pastoril, en el caso del estudio del SAG-UNICIT, define la capacidad de carga y la producción en Kg/Ms/ha.

Las superficies por clases de cobertura y uso de la tierra se presentan en la Tabla N°7.

Tabla N°7. Superficie de coberturas y uso de la tierra en área de estudio

CLASE DE COBERTURA Y USO	SUPERFICIE (ha)
BOSQUE NATIVO ADULTO	1205.9
BOSQUE NATIVO ADULTO RENOVAL	391.4
BOSQUE NATIVO RENOVAL	55334.9
MATORRAL	10568.9
MATORRAL ARBORESCENTE	4732.7
MATORRAL CON SUCULENTAS	1219.7
PLANTACION EXOTICA	841.6
PLANTACION NATIVA JOVEN O RECIENTE	616.0
PRADERAS ANUALES	411.9
ROTACION CULTIVO PRADERA	631.0
TERRENOS DE USO AGRICOLA	14863.5
ESTEPA ANDINA CENTRAL	7884.4
VEGAS	555.1
VEGETACION RIPARIA	44.4
GLACIARES	9.3
LAGO-LAGUNA-EMBALSE-TRANQUE	227.8
CAJAS DE RIO	2513.5
AFLORAMIENTOS ROCOSOS	22039.9
CIUDADES PUEBLOS ZONAS INDUSTRIALES	5439.2
MINERIA INDUSTRIAL	2152.5
OTROS TERRENOS SIN VEGETACION	42.8
Total general	131726.2

El desglose de las principales coberturas de vegetación se presenta en las Tablas 8, 9, y 10.

Tabla N°8. Superficies de la formación Bosque

BOSQUE	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE (ha)
Bosque Nativo Adulto abierto	Bosque adulto que cuenta con una cobertura en la formación vegetacional del 25% al 50%	679
Bosque Nativo Adulto Denso	Bosque adulto que cuenta con una cobertura en la formación vegetacional del 75% al 100%	3,26
Bosque Nativo Adulto - Renoval Abierto	Bosque con especies adultas y jóvenes que cuenta con una cobertura de la formación vegetacional del 25% al 50%	358,79
Bosque Nativo Adulto -	Bosque con especies adultas y jóvenes con	1,50

Renoval Denso	una cobertura de la formación vegetacional del 75% al 100%	
Bosque Nativo Adulto - Renoval Semidenso	Bosque con especies adultas y jóvenes que cuenta con una cobertura de la formación vegetacional del 50% al 75%	37,36
Bosque Nativo Adulto Semidenso	Bosque adulto con una cobertura en la formación vegetacional del 50% al 75%	523,59
Bosque Nativo Renoval Abierto	Bosque joven que cuenta con una cobertura en la formación vegetacional del 25% al 50%	41034,78
Bosque Nativo Renoval Denso	Bosque joven que cuenta con una cobertura en la formación vegetacional del 75% al 100%	695,75
Bosque Nativo Renoval Semidenso	Bosque joven que cuenta con una cobertura en la formación vegetacional del 50% al 75%	13.827,54

Tabla N°9. Superficies de la formación Bosque

MATORRAL	SUPERFICIE (ha)
Matorral abierto	6.515,68
Matorral arborescente abierto	2.801,24
Matorral arborescente denso	59,01
Matorral arborescente muy abierto	288,94
Matorral arborescente semidenso	1.583,49
Matorral con suculentas abierto	997,63
Matorral con suculentas muy abierto	29,21
Matorral con suculentas semidenso	192,81
Matorral denso	64,36
Matorral muy abierto	1.278,84
Matorral semidenso	2.710

Tabla N°10. Superficie considerada pastoril en el área de estudio

FORMACIÓN	SUPERFICIE (ha)
Estepa Andina Central	7.884,43
Matorral Abierto	6.515,68
Matorral muy Abierto	1.278,84
Matorral Semidenso	2710
Matorral Denso	64,36
Matorral con suculentas muy abierto	29,21
Matorral con suculentas abierto	997,63
Matorral con suculentas semidenso	192,81
Praderas Anuales	411,93
Rotación Cultivo Pradera	631,01
Vegas	555,07
Total	21270,97

La comparación de las zonas sin cobertura vegetal e relación a las zonas con cobertura vegetal (Figura N°40) indica que en el área de estudio la superficie sin cobertura es del orden de 21%, lo que se explica por la ubicación en la zona media baja de la cuenca andina del río Cachapoal.

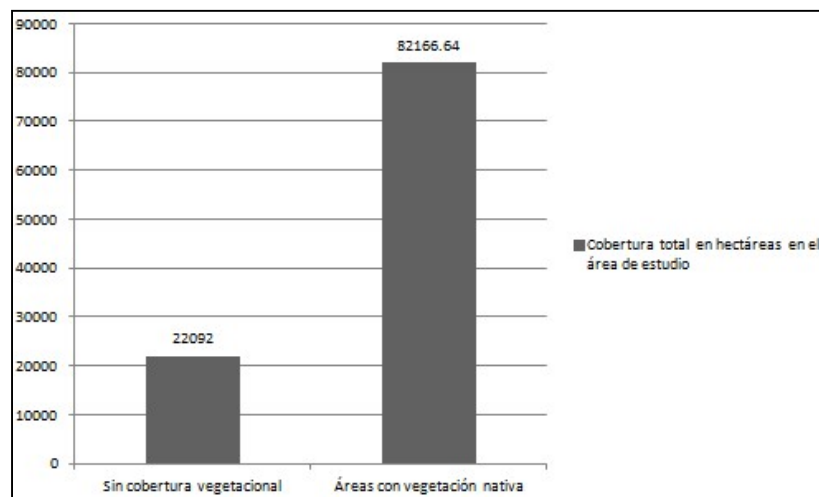


Figura N° 40. Cobertura sin vegetación v/s cobertura vegetal

Principales familias

De acuerdo a la Unión Internacional por la Conservación (IUCN) las principales especies encontradas en terreno en el área de estudio no han sido evaluadas para determinar su estado de conservación, a excepción de las especies *Austrocedrus chilensis* y *Kageneckia angustifolia*, las que están clasificadas como casi amenazadas según el registro del Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Se debe mencionar que cada una de las especies fue revisada en el libro rojo de la IUCN así como también, posteriormente se han revisado en el registro de especies amenazadas del MMA.

A continuación se han clasificado de acuerdo a especie, nombre común, origen y familia a la cual pertenece (Tabla N°11).

Tabla N°11. Principales familias y especies.

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMUN	ORIGEN	ESTADO DE CONSERVACIÓN
<i>Juglandaceae</i>	<i>Juglans regia</i>	Nogal	Exótica	No aplica
<i>Salicaceae</i>	<i>Populus sp.</i>	Álamo	Exótica	No aplica
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Lithraea caustica</i>	Litre	Nativa	No evaluado
<i>Lauraceae</i>	<i>Cryptocarya alba</i>	Peumo	Nativa	No evaluado
<i>Quillajaceae</i>	<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay	Nativa	No evaluado
<i>Celastraceae</i>	<i>Maytenus boaria</i>	Maitén	Nativa	No evaluado
<i>Monimiaceae</i>	<i>Peumus boldus</i>	Boldo	Nativa	No evaluado
<i>Ulmaceae</i>	<i>Ulmus minor</i>	Olmo	Exótica	No aplica
<i>Fabaceae</i>	<i>Acacia caven</i>	Espino	Nativa	No evaluado
<i>Elaeocarpaceae</i>	<i>Aristotelia chilensis</i>	Maqui	Nativa	No evaluado
<i>Bromeliaceae</i>	<i>Puya chilensis</i>	Chagual	Nativa	Preocupación menor
<i>Salicaceae</i>	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	Nativa	No evaluado
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucaliptus	Exótica	No aplica
<i>Pinaceae</i>	<i>Pinus radiata</i>	Pino	Exótica	No aplica
<i>Poaceae</i>	<i>Chusquea quila</i>	Quila	Nativa	No evaluado

<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus dulcis</i>	Almendros	Exótica	No aplica
<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus avium</i>	Cerezos	Exótica	No aplica
<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus persica</i>	Duraznos	Exótica	No aplica
<i>Fabaceae</i>	<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa	Exótica	No aplica
<i>Asteraceae</i>	<i>Baccharis linearis</i>	Romerillo	Nativa	No evaluado
<u>Cupressaceae</u>	<i>Austrocedrus chilensis</i>	Ciprés de la cordillera	Nativa	Casi amenazado (MMA)
<i>Asteraceae</i>	<i>Parastrephia quadrangularis</i>	Meyen	Nativa	No evaluado
Euphorbiaceae	<i>Colliguaja salicifolia</i>	Colihuai	Nativa	No evaluado
Euphorbiaceae	<i>Colliguaja odorifera</i>	Colihuai	Nativa	No evaluado
Euphorbiaceae	<i>Colliguaja integerrima</i>	Colihuai	Nativa	No evaluado
<i>Ephedraceae</i>	<i>Ephedra chilensis</i>	Pingo pingo	Nativa	Preocupación menor
<i>Rosaceae</i>	<i>Acaena sericea</i>	-	Nativa	No evaluado
<i>Asteraceae</i>	<i>Baccharis scandens</i>	Chilca	Nativa	No evaluado
<i>Poaceae</i>	<i>Poa pratensis</i>	-	Exótica	No aplica
<i>Poaceae</i>	<i>Avena barbata</i>	Teatina	Exótica	No aplica
<i>Rosaceae</i>	<i>Tetraglochin alatun</i>	Caulia	Nativa	No evaluado
<i>Cactaceae</i>	<i>Trichocereus deserticola</i>	Quisco	Nativa	No evaluado
<i>Poaceae</i>	<i>Chusquea cumingii</i>	Quila chica	Nativa	No evaluado
<i>Rosaceae</i>	<i>Acaena splendens</i>	Cadillo	Nativa	No evaluado
<i>Poaceae</i>	<i>Poa holciformis</i>	-	Nativa	No evaluado
<i>Plantaginaceae</i>	<i>Plantago lanceolata</i>	Llantén	Exótica	No aplica
<i>Saxifragaceae</i>	<i>Escallonia pulverulenta</i>	Madroño	Nativa	No evaluado
<i>Apiaceae</i>	<i>Mulinum spinosum</i>	Palo negro	Nativa	No evaluado
<i>Apiaceae</i>	<i>Gymnophyton isatidicarpum</i>	Biobio	Nativa	No evaluado
<i>Asteraceae</i>	<i>Nassauvia pyramidalis</i>	Nassauvia de	Nativa	No evaluado

		espiga densa		
<i>Juncaceae</i>	<i>Juncus stipulatus</i>	Junco	Nativa	No evaluado
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Schinus montanus</i>	Litrecillo	Nativa	No evaluado
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Trevoa trinervis</i>	Tevo	Nativa	No evaluado
<i>Berberidaceae</i>	<i>Berberis empetrifolia</i>	Palo amarillo	Nativa	No evaluado
<i>Sapindaceae</i>	<i>Guindilia trinervis</i>	Guindilla	Nativa	No evaluado
<i>Rosaceae</i>	<i>Kageneckia oblonga</i>	Bollén	Nativa	No evaluado
<i>Poaceae</i>	<i>Festuca acanthophylla</i>	-	Nativa	No evaluado
<i>Cyperaceae</i>	<i>Carex decida</i>	-	Nativa	No evaluado
<i>Cyperaceae</i>	<i>Carex gayana</i>	-	Nativa	Preocupación menor
<i>Juncaceae</i>	<i>Patosia clandestina</i>	-	Nativa	No evaluado
<i>Flacourtiaceae</i>	<i>Azara petiolaris</i>	-	Nativa	No evaluado
<i>Juncaceae</i>	<i>Bromus berterianus</i>	-	Nativa	No evaluado
<i>Salicaceae</i>	<i>Azara dentata</i>	Corcolén	Nativa	No evaluado
<i>Rosaceae</i>	<i>Kageneckia angustifolia</i>	Frangel	Nativa	Casi amenazada (MMA)
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Retanilla ephedra</i>	Frutilla del campo	Nativa	No evaluado
<i>Bromeliaceae</i>	<i>Puya berteroniana</i>	Puya	Nativa	No evaluada
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Schinus polygamus</i>	Boroco	Nativa	No evaluada
<i>Astearaceae</i>	<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	Hierba blanca	Nativa	No evaluada
<i>Chenopodiaceae</i>	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Paico	Nativa	No evaluada
	<i>Heliotropium sp</i>			
<i>Poaceae</i>	<i>Vulpia bromoides</i>	Pasto pelillo	Exótica	No aplica
<i>Poaceae</i>	<i>Cortaderia rudiusscula</i>	Cola de zorro	Nativa	No evaluada
<i>Juncaceae</i>	<i>Juncus balticus</i>	-	Nativa	Preocupación menor

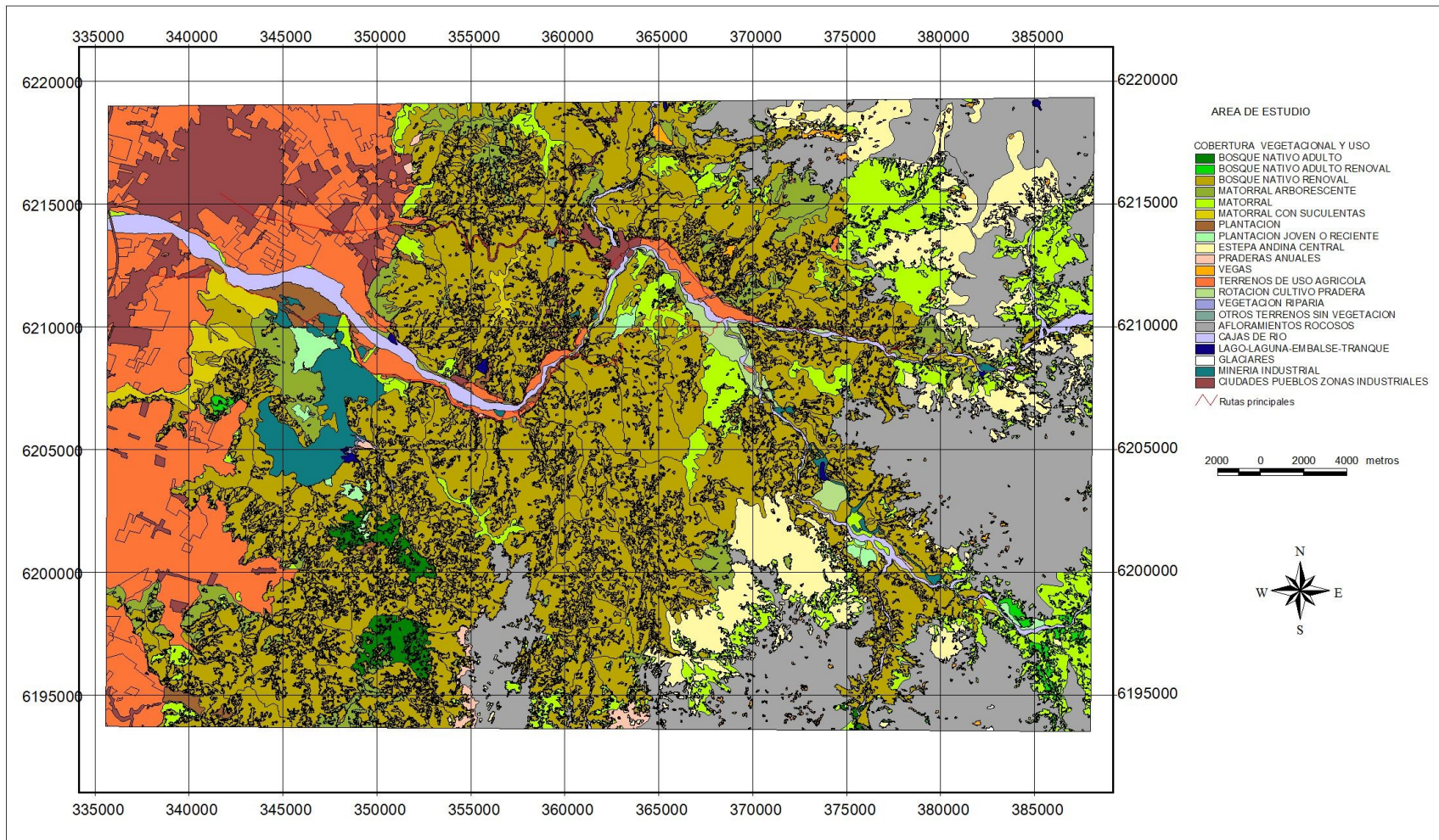


Figura N° 41. Área de estudio. Cobertura vegetal y uso de la tierra.

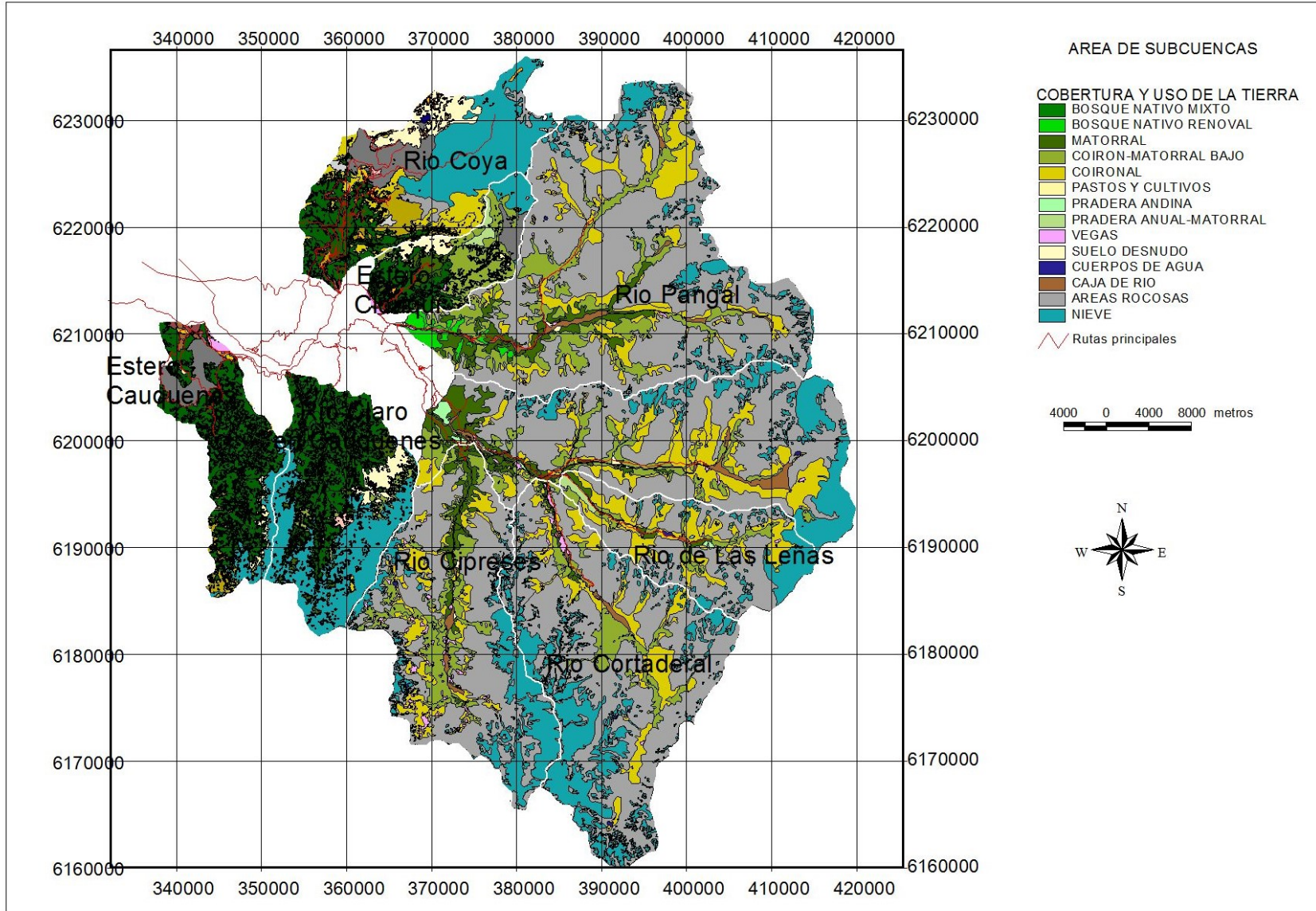


Figura N° 42. Área de subcuencas. Cobertura vegetal y uso de la tierra.

Relevancia de la cobertura vegetal del área de estudio

La pérdida y transformación del hábitat incluida su fragmentación es una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a nivel mundial (Sala et al., 2000), en cuanto a esto es que es vital conservar las áreas que pueden proveer de un sitio para la vida de las especies chilenas, ya que las áreas protegidas son relativamente escasas comparativamente con el total del territorio nacional por lo que es necesario mantener los sitios que hoy existen de vegetación nativa y que actualmente no mantienen una protección legal establecida, a diferencia de los parques nacionales y reservas naturales, etc. En el caso de la vegetación nativa presente en el área de estudio constituida en su mayor parte por bosque esclerófilo andino representa una de las formaciones de transición que está amenazada por el intervención y por consiguiente el manejo y recuperación de dichas áreas son relevantes para la sustentabilidad de los ecosistemas involucrados y directamente para la conservación biológica nativa como la fauna.

Cabe destacar que las aves de estos bosques, cumplen funciones ecológicas críticas para la regeneración del mismo, como por ejemplo, polinización de flores y dispersión de semillas de árboles, enredaderas y arbustos del bosque; además son el control natural de plagas de insectos que pueden llegar a ser una amenaza para la zona. Por otra parte, la mayor abundancia de las especies de fauna nativa encuentra en el bosque nativo su nicho ecológico, haciendo imprescindibles estos sitios para la preservación y conservación de la biodiversidad de aves, anfibios, insectos, etc.

4.5.2 Fauna relevante del área de estudio

Entre las especies de avifauna avistadas en el área de estudio se encuentran las que indican en la tabla siguiente (N°12):

Tabla N°12. Especies de avifauna presentes en el área.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ORIGEN	CATEGORÍA DE CONSERVACIÓN
<i>Zonotrichia capensis</i>	chincol	nativo	Preocupación menor
<i>Sporagra barbata</i>	Jilguero	nativo	No evaluado
<i>Paser domesticus</i>	Gorrión	exótico	No aplica
<i>Troglodytes aedon</i>	Chercán	Nativo	Preocupación menor
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	Nativo	Preocupación menor
<i>Elaenia albiceps</i>	Fio Fio	Nativo	Preocupación menor
<i>Zenaida auriculata</i>	Tortola	Nativo	Preocupación menor
<i>Porphyriops melanops</i>	Tagüita	Nativo	Preocupación menor
<i>Chloephaga picta</i>	Caiquen	Nativo	Preocupación menor
<i>Cyanoliseus patagonus</i>	Loro Tricahue	Nativo	Según UICN <i>Preocupación menor</i> , sin embargo el MMA lo clasifica como <i>En Peligro</i>
<i>Anas sibilatrix</i>	Pato real	Nativo	Preocupación menor

Por otra parte, se puede mencionar también que, según el estudio "Propuesta de Zonificación para el Manejo Sustentable de la Reserva Nacional Río Los Cipreses, Región del Libertador Bernardo O'Higgins realizado" (2009), en el área se describe la presencia de otras especies nativas de Chile (Tabla N°13).

Tabla N°13. Otras especies presentes.

Nombre científico	Nombre común
<i>Thylamys elegans</i>	Yaca
<i>Spalacopus cyanus</i>	Cururo
<i>Mimus thenca</i>	Tenca
<i>Pteroptichos megapodius</i>	Turca
<i>Thripophaga humicola</i>	Canastero
<i>Callopiste palluma</i>	Iguana
<i>Liolaemun nitidus</i>	Lagartija nítida
<i>Liolaemus fuscus</i>	Lagartija parda
<i>Philodryas chamissonis</i>	Culebra de cola larga
<i>Tachymenis chilensis</i>	Culebra de cola corta
<i>Lynchailurus colocolo</i>	gato colocolo
<i>Felis concolor</i>	puma

Entre las especies relevantes observadas en el área de estudio, dado su categoría de conservación en peligro se encuentra el loro Tricahue (Figura N°43).

El tricahue es un ave que se caracteriza por medir alrededor de 45 cm, de cola muy larga, pico gris, tiene patas rosadas y el iris de sus ojos pálido. Su cabeza es gris oliváceo lo que contrasta con el cuello, pecho y manto de color gris. Tiene un parche variable de color rojo en la parte central del abdomen que se extiende hasta las piernas (Aves de Chile, 2016).



Figura N°43. Loro tricahue, avistado en visita de terreno, el sector de Chacayes.

Distribución

El 85% de la población de esta especie se encuentra en las regiones VI y VII. El 15% restante es posible encontrarlo en la IV y la III región. El tricahue habita en ambientes semiáridos precordilleranos, cercanos a ríos.

Alimentación

Es granívoro, además come frutos y flores dependiendo de la disponibilidad de alimento. Por lo que se infiere que la fuente de alimentación de los tricahues (vegetal) depende de la época del año.

Amenazas y estado de conservación

Las principales amenazas para estas especies han sido la modificación de su hábitat, la venta de estas como mascota así como también la caza de las mismas por ser una *amenaza* para los campos de cultivo (Avesdechile.cl).

Según el estudio Propuesta de zonificación para el manejo sustentable de la reserva Nacional Río Los Cipreses (2009), esta especie presenta serios problemas de conservación y actualmente está considerado como en peligro de extinción, debido a que en algunas zonas de su rango de distribución está prácticamente extinto. En el pasado el trichahue se distribuía entre Copiapó por el norte hasta las cercanías de Valdivia, pero debido a las amenazas anteriormente descritas, en la actualidad solo se pueden encontrar en la IV, V, VI y VII regiones.

De acuerdo al mismo estudio, desde el año 1996 se encuentra protegido por la Ley de Caza y la Reserva Nacional Río Cipreses, donde es la única unidad que protege esta ave en la región. Además es importante mencionar que en la unidad existen 3 loreras en los barrancos del Río Cachapoal.

Hábitat asociado

De acuerdo al Estudio de Impacto ambiental (EIA) realizado por PacificHydro, el nicho que habita el loro trichahue da cuenta de su ciclo de vida, en este sentido lo referido a la reproducción ocurre en loreras, las que se caracterizan por estar en barrancos, conformados por un sustrato terroso compacto (generadas por procesos de erosión hídrica), las que son de difícil acceso para sus depredadores. En el mismo contexto se asocian las especies de árboles como el Peumo (*Cryptocarya alba*) como dormitorio de esta especie y estas se encuentran cercanas siempre a sus sitios reproductivos. Además el acceso al agua es una situación aprovechada por esta especie. Y por otra parte, existe una relación entre las zonas de matorral y la alimentación del trichahue, sin embargo también aprovechan la oportunidad de alimentarse de las plantaciones agrícolas, motivo por el que presenta una *amenaza*, como se menciona anteriormente, para los productores.

Por lo anterior, se puede describir el hábitat del trichahue potencialmente en las siguientes proporciones en el área de estudio:

Tipo de vegetación	Cobertura en hectáreas	Uso
Barrancos/ Peumo (<i>Cryptocarya alba</i>)	50.068,92	Reproductivo / Dormidero
Matorral	16.521,21	Alimenticio

No obstante lo descrito en los puntos anteriores, toda vegetación nativas es imprescindible para la sobrevivencia, reproducción y alimentación de las especies que habitan la zona, dado el énfasis enfocado a las aves, se puede decir que estas son móviles, cambian de sitios y se desplazan buscando siempre alimento y refugio.

Otra de las especie de fauna reconocida por los lugareños en el área de estudio es el puma, tal como se presenta en el recuadro del área de estudio de la Figura N°44, en la zona baja de los ríos Pangal y de la cuenca alta del río Cachapoal.

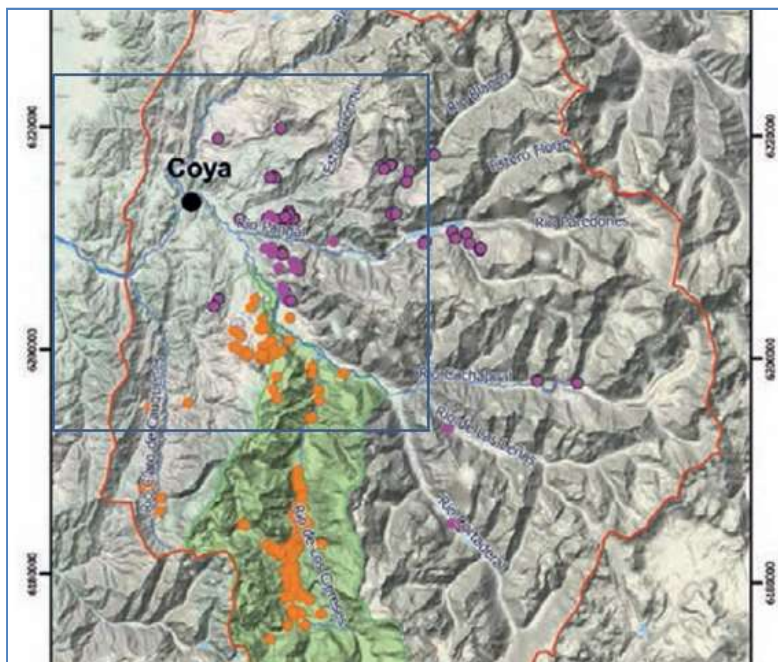


Figura N°44. Sitios donde el puma se ha observado (puntos de color). Fuente: Fauna Australis PUC 2011-2013, Bioamérica Consultores 2013-2016.

Puma (*Felis concolor*), características y hábitat de la especie

Según la descripción de CONAMA generada en su ficha de clasificación de especies, el puma (*Felis concolor*) es el carnívoro terrestre más grande que habita en Chile. Su tamaño y peso varía según la subespecie y área geográfica, donde en general los más grandes habitan en el altiplano y en el extremo sur. En la zona centro sur por lo general no sobrepasan los 35 a 40 kg de peso y 1,5 m de longitud total.

La especie se encuentra prohibida de caza y captura en Chile desde inicios de la década de 1980. El actual estado de conservación de la especie es: Insuficientemente Conocida desde la Región del Bío-Bío al norte y Vulnerable desde la Región de la Araucanía al sur. Sin embargo, actualmente según la clasificación encontrada en el listado de especies amenazadas del Ministerio de Medio Ambiente la especie es considerada como Casi Amenazada sin hacer diferencia en los distintos territorios que contemplan su distribución.

De acuerdo al estudio realizado por Pavez y Guarda (2017) el puma prefiere como hábitat las estepas y matorrales, esto se concluye de acuerdo a la tasa de visita que esta especie tuvo en cámaras trampa ubicadas en la zona del estudio citado anteriormente, lo cual es coherente con el uso del territorio que realizan sus potenciales presas, donde la más frecuente es la liebre y el conejo (Figura N° 45).



Figura N°45. Fotografía puma en el Alto Cachapoal. Fuente: Bioamérica (2017).

4.6 Incendios Forestales y Quemadas en el Area de Estudio

Con la finalidad de identificar las zonas quemadas en el área de estudio se analizó el índice espectral de quema para las imágenes del año 2010 al 2017, definido como:

$$NBR = ((\rho_{IRC} - \rho_{IRM} / \rho_{IRC} + \rho_{IRM}) + 1) * 100$$

Donde,

NBR = Ratio normalizado de quema

ρ_{IRC} = reflectividad infrarrojo cercano

ρ_{IRM} = reflectividad infrarrojo medio

Ejemplo de resultado para el año 2017 en la Figura N°46.

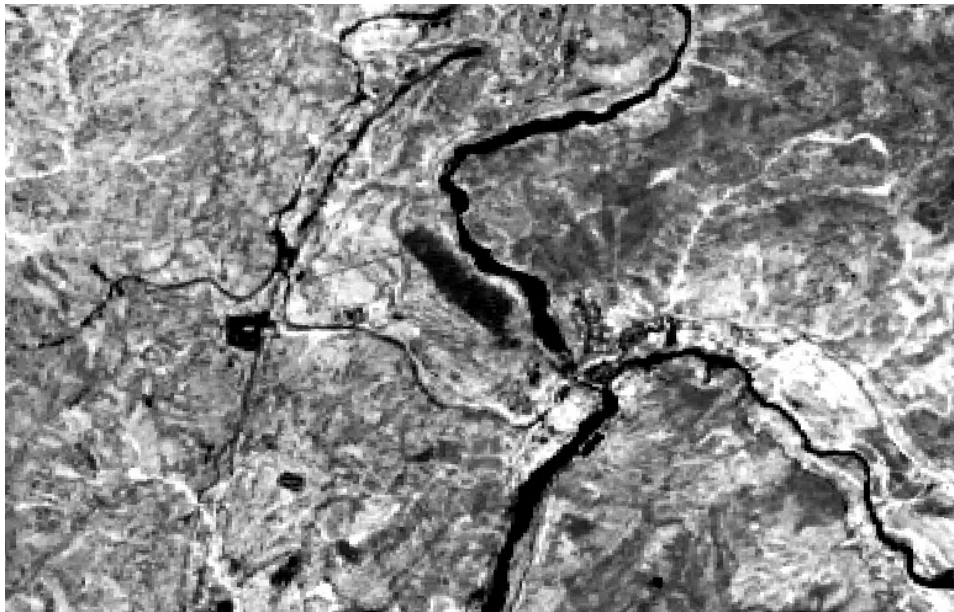
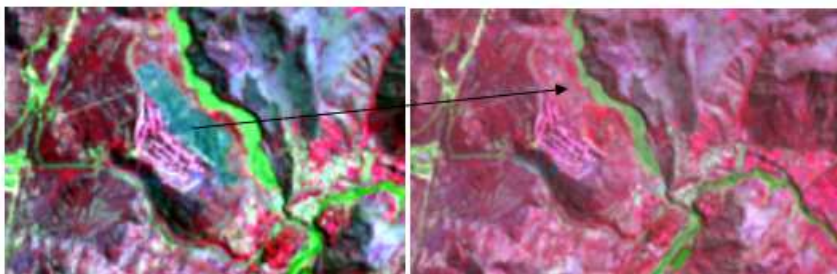


Figura N°46. NBR 2017, en tono negro zona quemada (derecha de río Coya).

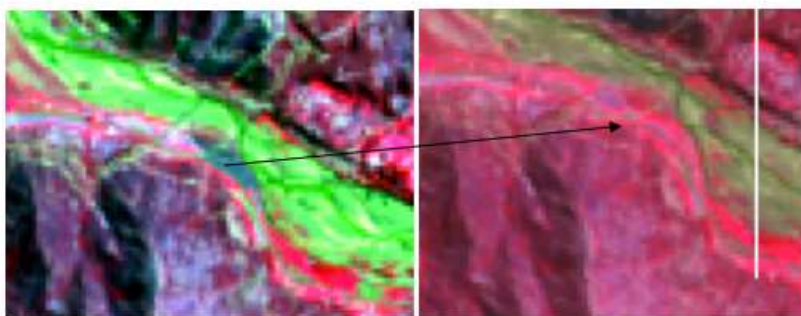
Además del índice de quema se analizó la composición IRC,IRM, R (RGB) y las diferencias respecto del año precedente para definir los incendios y las quemadas de cada año, tal como se indican a continuación.

Incendios y quemas controladas en el área de estudio (2010-2017).

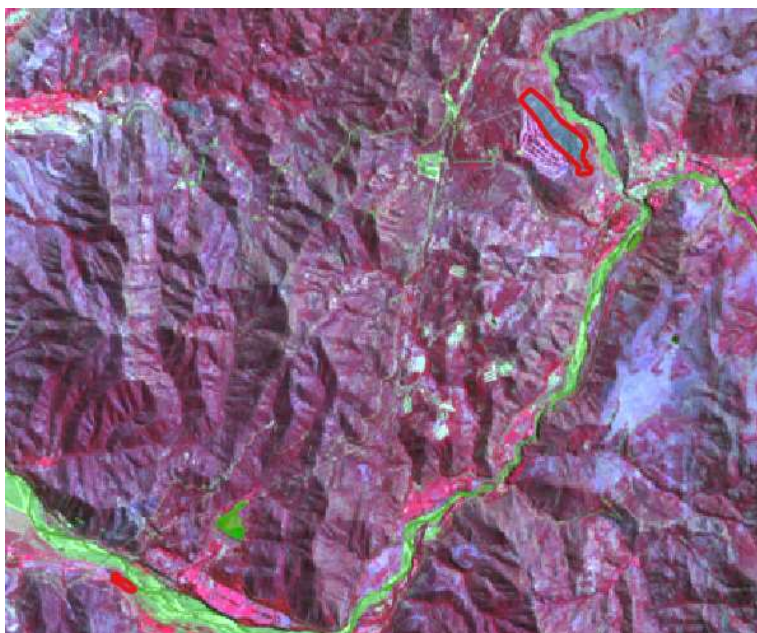
Año 2017:



Incendio verano 2017 de matorral-pradera Zona en el año 2016

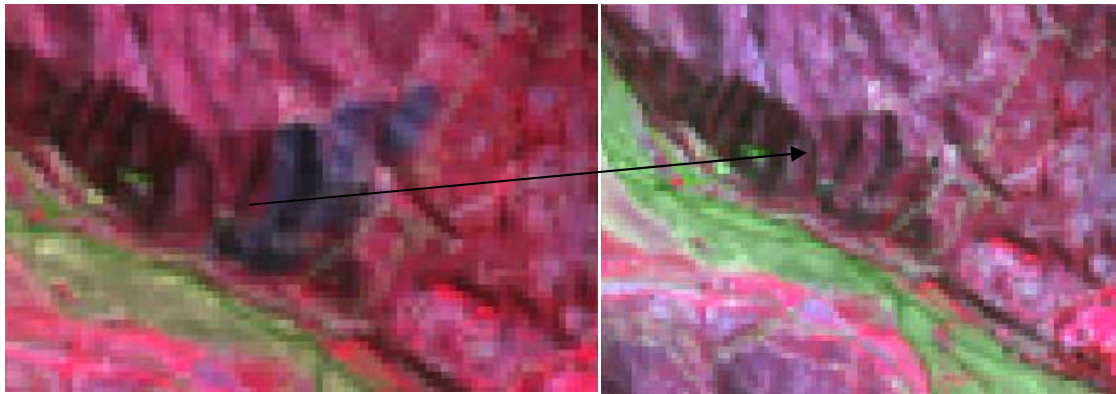


Quema agrícola verano 2017 Zona en el año 2016



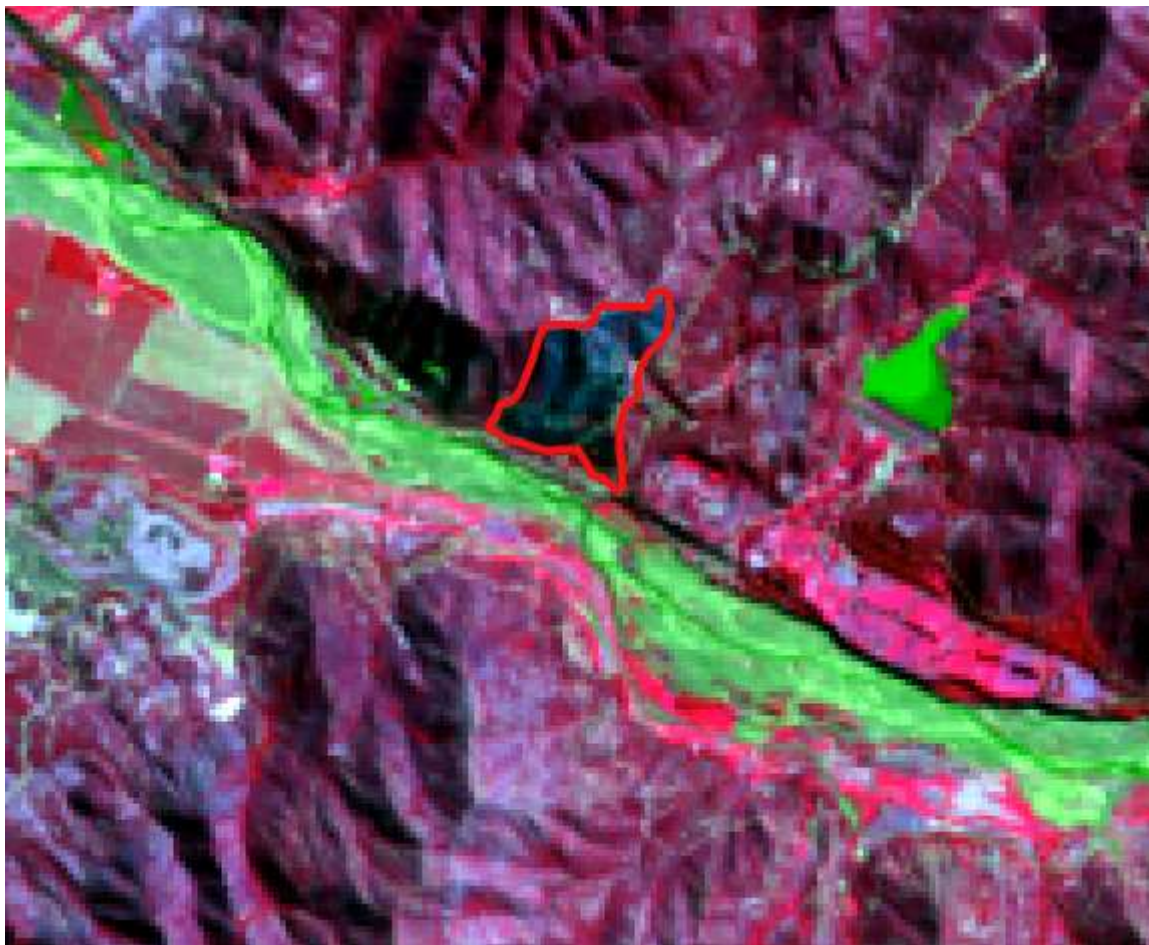
Ubicación de zonas quemadas, pradera y matorral en subcuenca del río Coya y quema agrícola en ribera sur del río Cachapoal. Superficies quemadas 46,3 y 3,7 hectáreas respectivamente.

Año 2016:



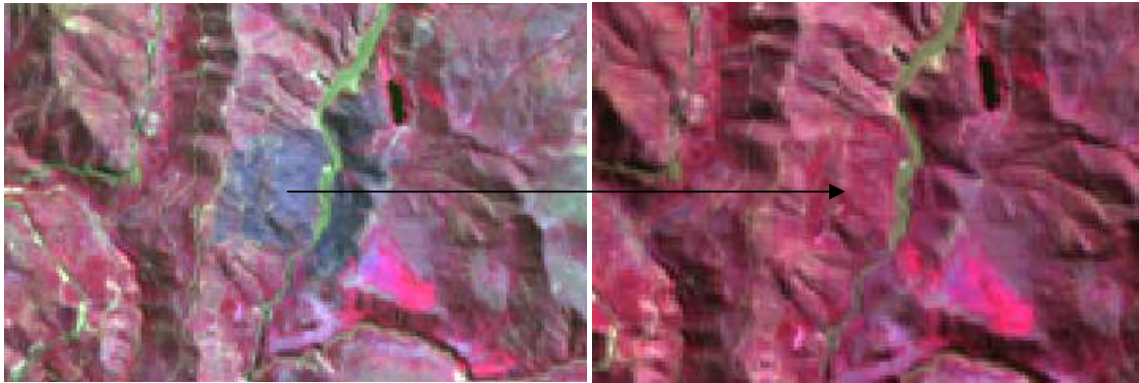
Incendio de renoval nativo verano 2016

Zona en el año 2015



Ubicación de incendio de renoval nativo esclerófilo en ladera sur (río Cachapoal), sector el Sauzal. Superficie quemada 45,3 hectáreas.

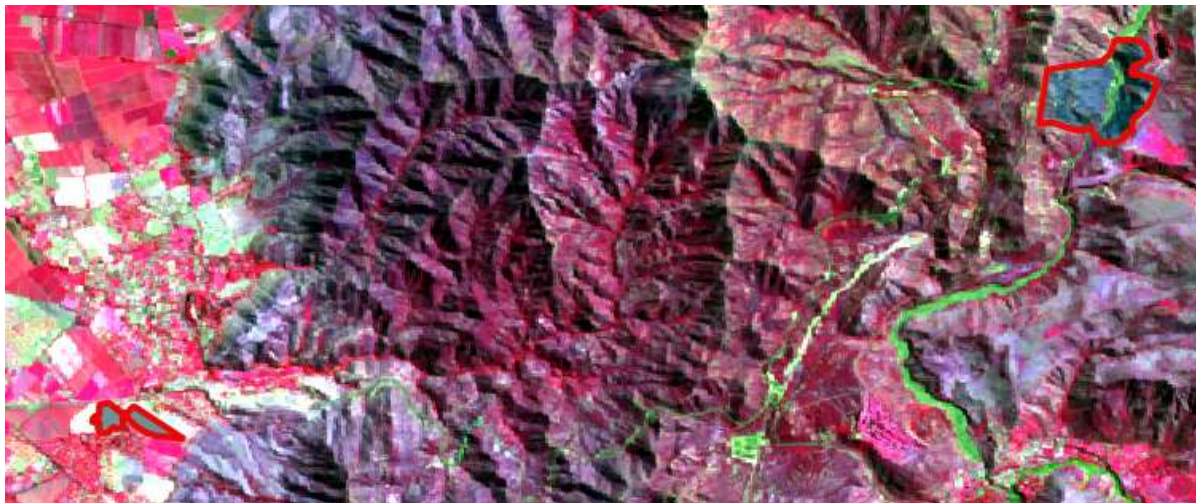
Año 2015:



Incendio vegetación renoval nativo verano 2015 Zona en el año 2014

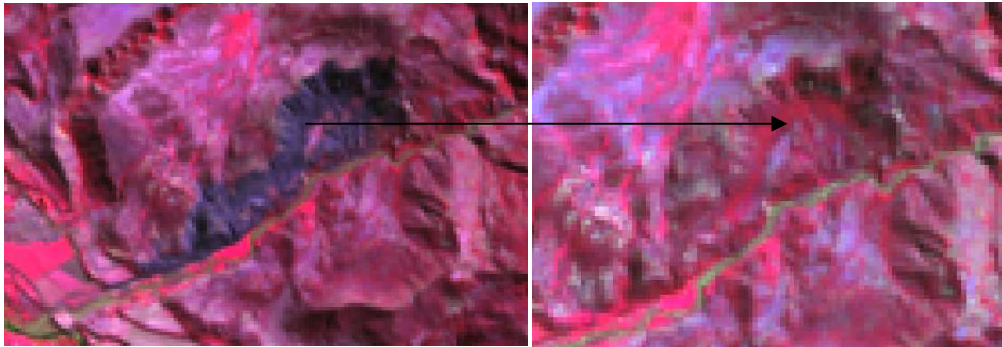


Quema área agrícola verano 2015 Zona en el año 2014



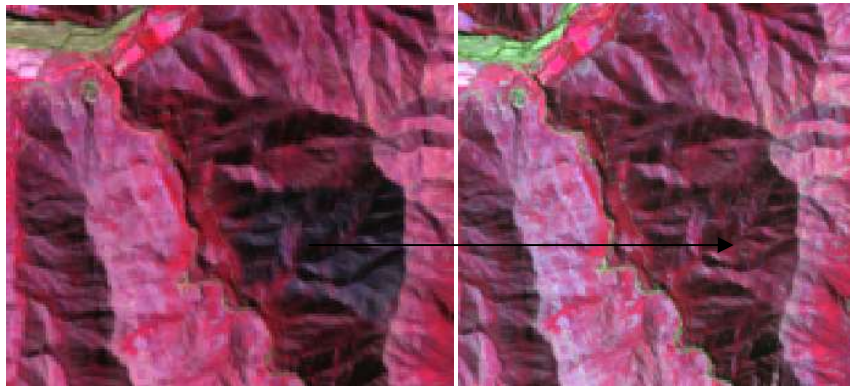
Ubicación de zonas quemadas, renoval nativo en subcuenca del río Coya y quema agrícola en valle agrícola sector Machalí. Superficies quemadas 152,2 y 25,7 hectáreas respectivamente.

Año 2014



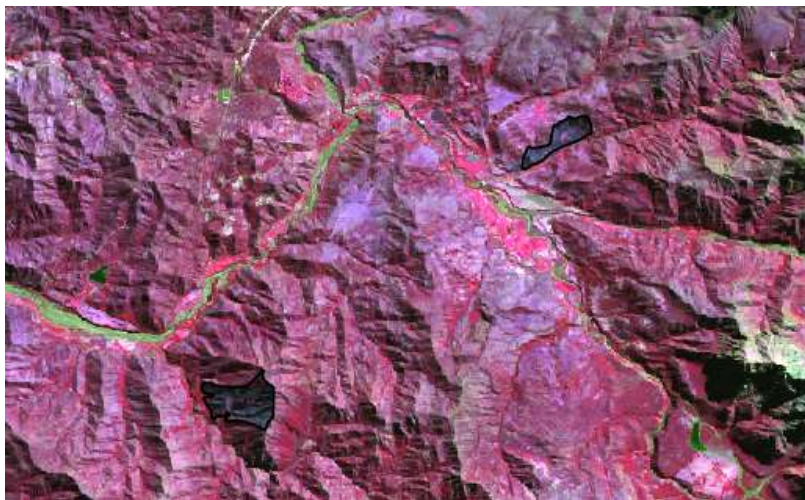
Incendio vegetación nativa verano 2014

Zona en el año 2013



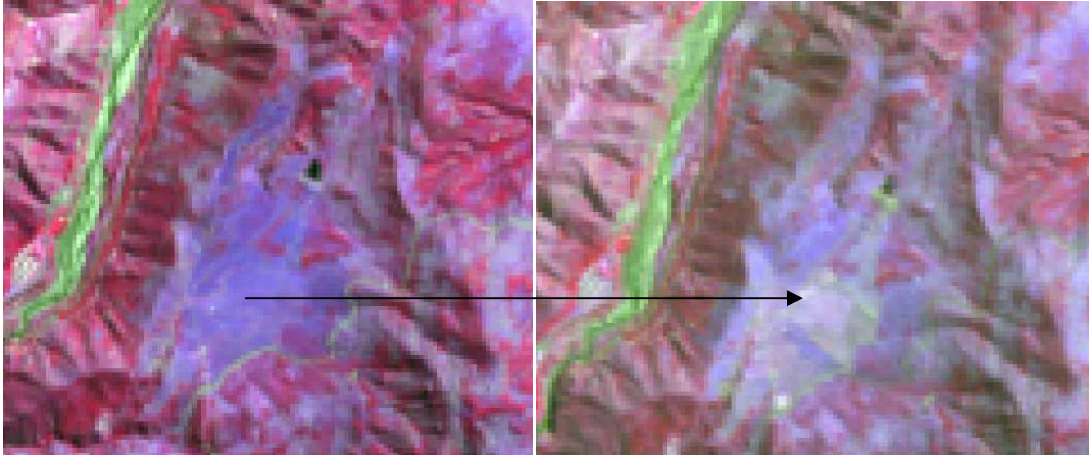
Incendio vegetación nativa verano 2014

Zona en el año 2013

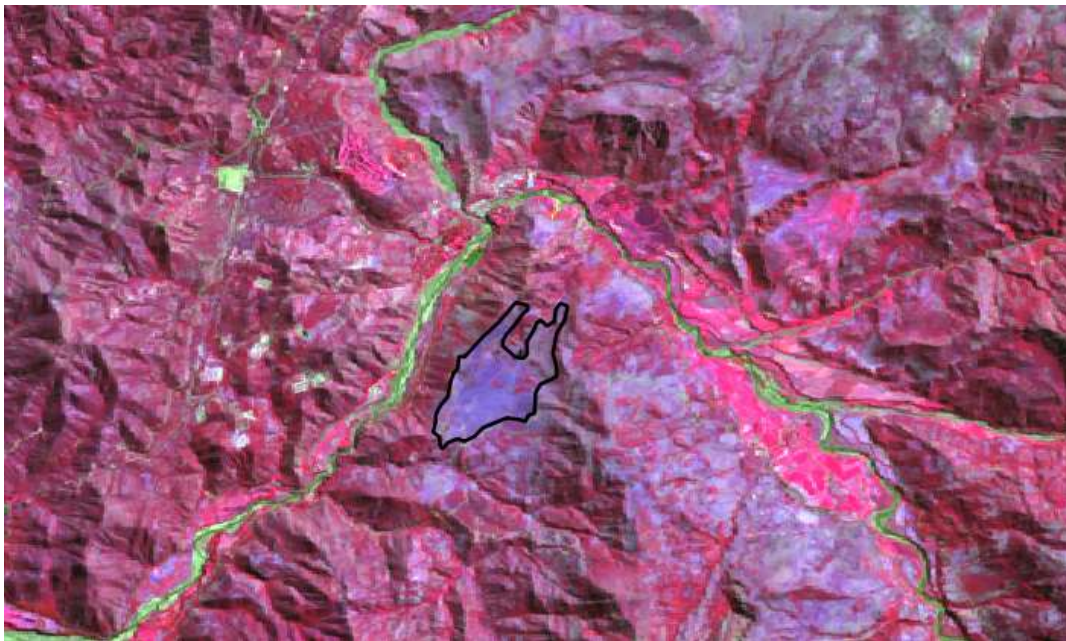


Ubicación de incendios, subcuenca del estero Clonqui (superior) y subcuenca del río Claro en Cauquenes, afluentes directos del río Cachapoal. Superficies quemadas 110,6 y 206,3 hectáreas respectivamente.

Año 2013:

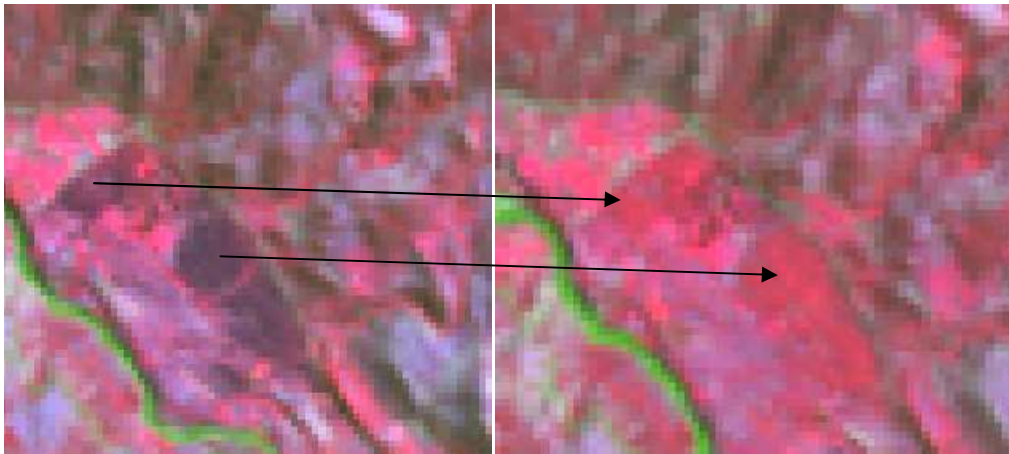


Quema controlada, vegetación pradera matorral verano 2013 Zona en el año 2011



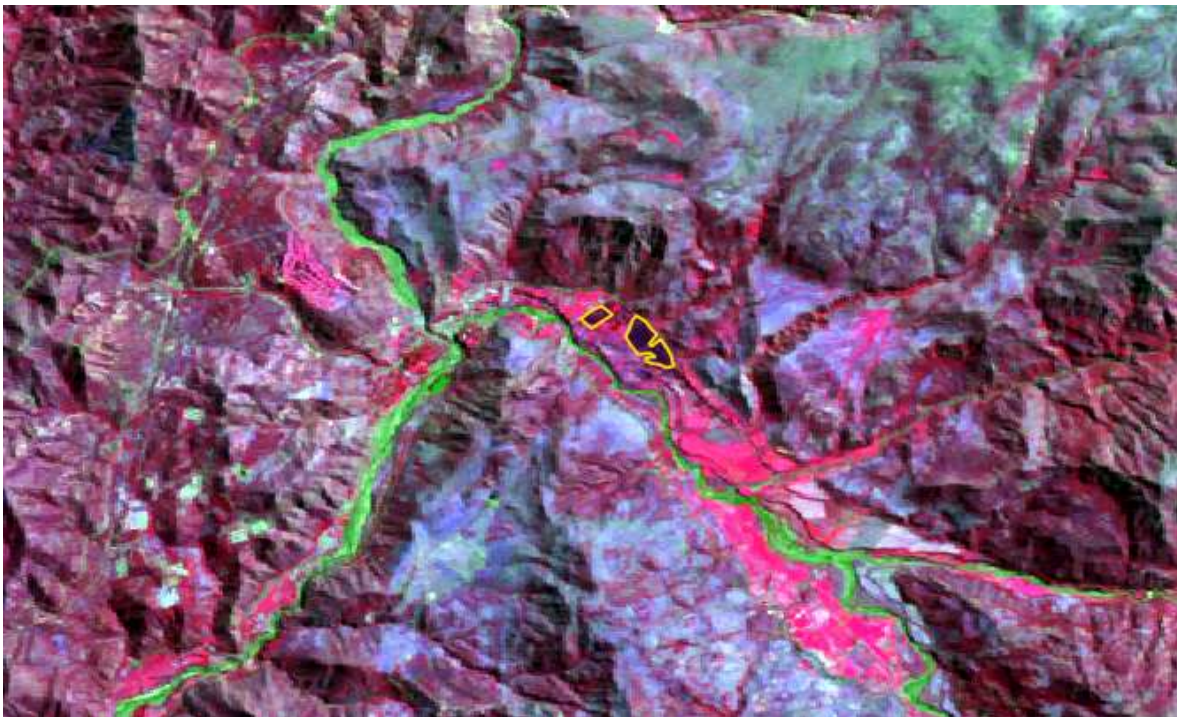
Ubicación de zona quemada, pradera matorral, quema controlada para forestación vegetación nativa. Superficie 204 hectáreas.

Año 2011:



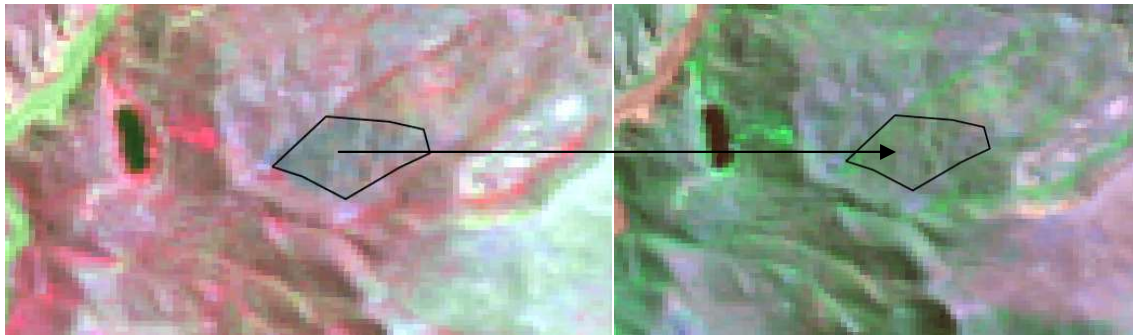
Quema área agrícola verano 2011

Zona en el año 2010



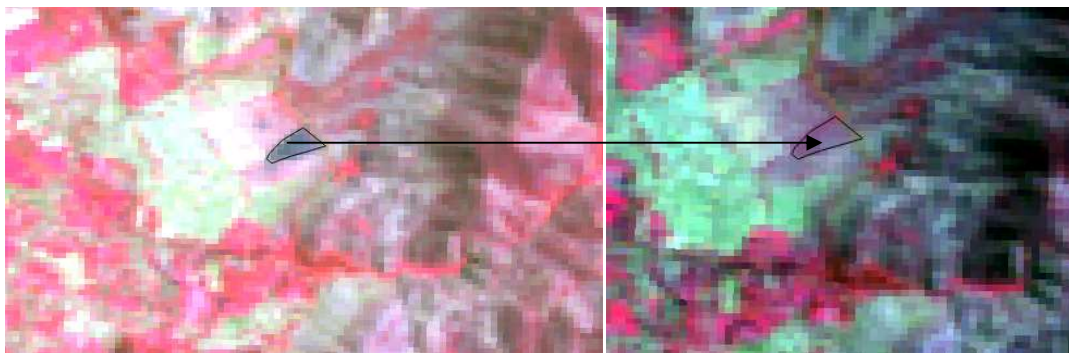
Ubicación de quema, zona agrícola al este del pueblo de Coya. Superficie 19 y 5,7 hectáreas.

Año 2010:



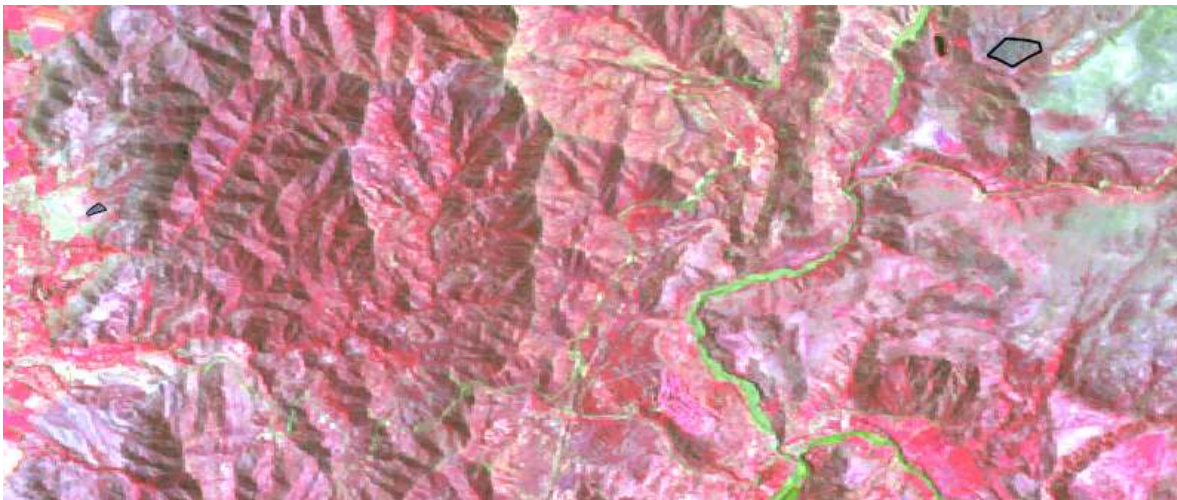
Incendio renoval nativo 2010

Zona en el año 2009.



Quema agrícola 2010

Zona en el año 2009.



Ubicación zonas quemadas en el año 2010, superficie de renoval nativo 20,8 hectáreas parte alta subcuenca río Coya y quema agrícola en valle central 2,5 hectáreas.

Resumen de superficies quemadas entre el año 2010 y 2017

Tabla N° 14. Áreas quemadas (hectáreas)

Año	Incendio Veg Nat.	Quema agrícola-forestal
2017	46.3	3.7
2016	45.3	0
2015	152.2	25.7
2014	110.6	
	206.3	
2013	0	204
2011	0	19
	0	5.7
2010	20.8	2.5
Total	581.5	260.6

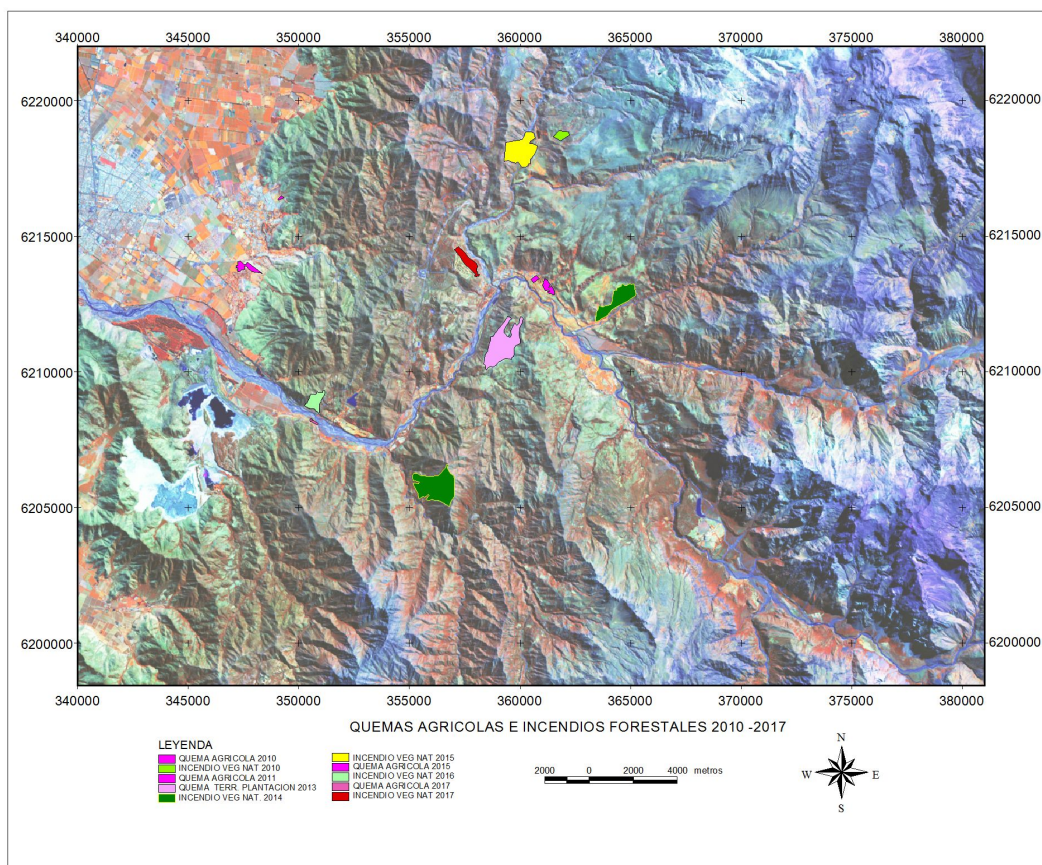


Figura N° 47. Ubicación de áreas quemadas periodo 2010-2017

De acuerdo a los datos obtenidos la superficie de incendios forestales (que implicaron quema de vegetación nativa) en el área de estudio en las últimas cuatro temporadas

entrega un promedio anual de 140,2 hectáreas, relacionada principalmente con vegetación nativa esclerófila, lo que implica un aumento significativo si se compara con las tres temporadas anteriores (2010-2013) cuyo promedio fue de 6,9 hectáreas, mientras que CONAF reporta para la comuna de Machalí entre el año 2000-2016 8,4 hectáreas/año de superficie quemada, promedio.

4.7 Superficies Intervenidas, Riesgo de Deslizamiento y Acarreo.

La distribución y espacialización de las superficies intervenidas en el área de estudio, se presentan en la Figura N°48.

Las superficies intervenidas por acción antrópica en el área de estudio se deben principalmente a las actividades de la minería, especialmente las desarrolladas por CODELCO en las subcuencas del río Coya y en el estero Cauquenes (en la parte baja del área de estudio), donde la intervención, sin contar caminos se presenta en una superficie de 5.840 hectáreas y en segundo lugar a la actividad de generación eléctrica mediante Centrales de Paso, lo que incluye el emplazamiento de las centrales, bocatomas y canalización y transporte del agua, la superficie intervenida corresponde a 117,4 hectáreas.

Se agrega a lo anterior, la actividad de extracción de áridos cuyos zonas están asociadas a las cajas de ríos, en total se cuantificaron para éste fin 6,9 hectáreas.

En relación a los procesos de deslizamiento de material definidos en zonas de alta pendiente, sin o nula cobertura vegetal y relacionadas con curso de agua u obras como caminos o construcciones y los acarreo definidos en cursos de agua que por procesos de deslizamiento y transporte de material desde las zonas altas se encuentran colmatados y disponibles para ser arrastrados por los escurrimientos de agua hacia las zonas bajas, donde se relacionan con curso de agua principales, caminos y obras. La superficie cuantificada para estas zonas de intervención de procesos naturales es de 1.165 hectáreas. Las zonas se ubican preferencialmente en las subcuencas del río Pangal, Cortaderal y la cuenca propia del río Cachapoal.

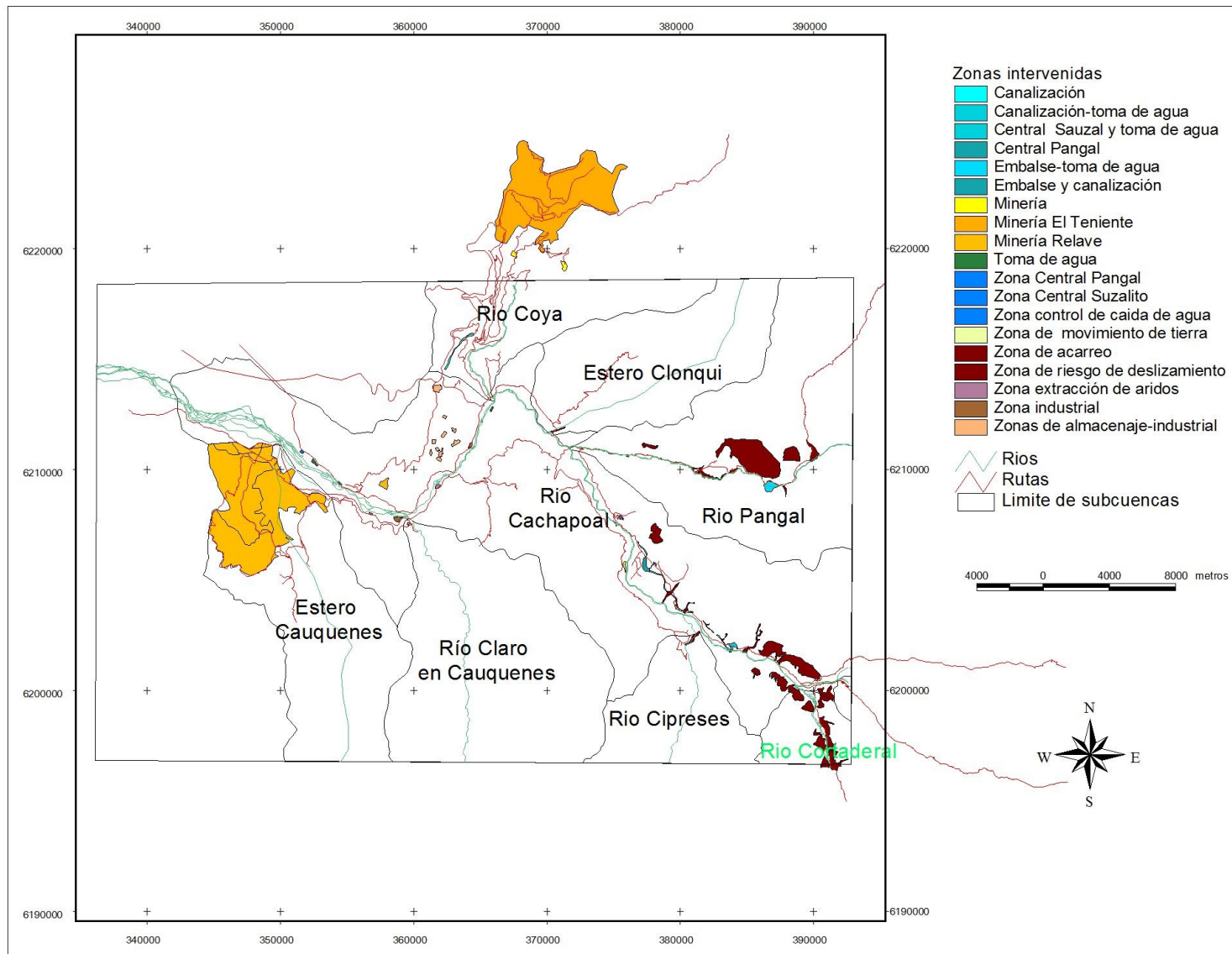


Figura N°48. Superficies intervenidas área de estudio.

4.8 Propiedades

La información existente de propiedades en el área de estudio se limita a la zona baja, tal como se muestra en la Figura N° 49.

En general la propiedad de la tierra en el área de estudio es privada, con excepción de la Reserva Nacional Río Cipreses, correspondiente a la subcuenca de dicho río.

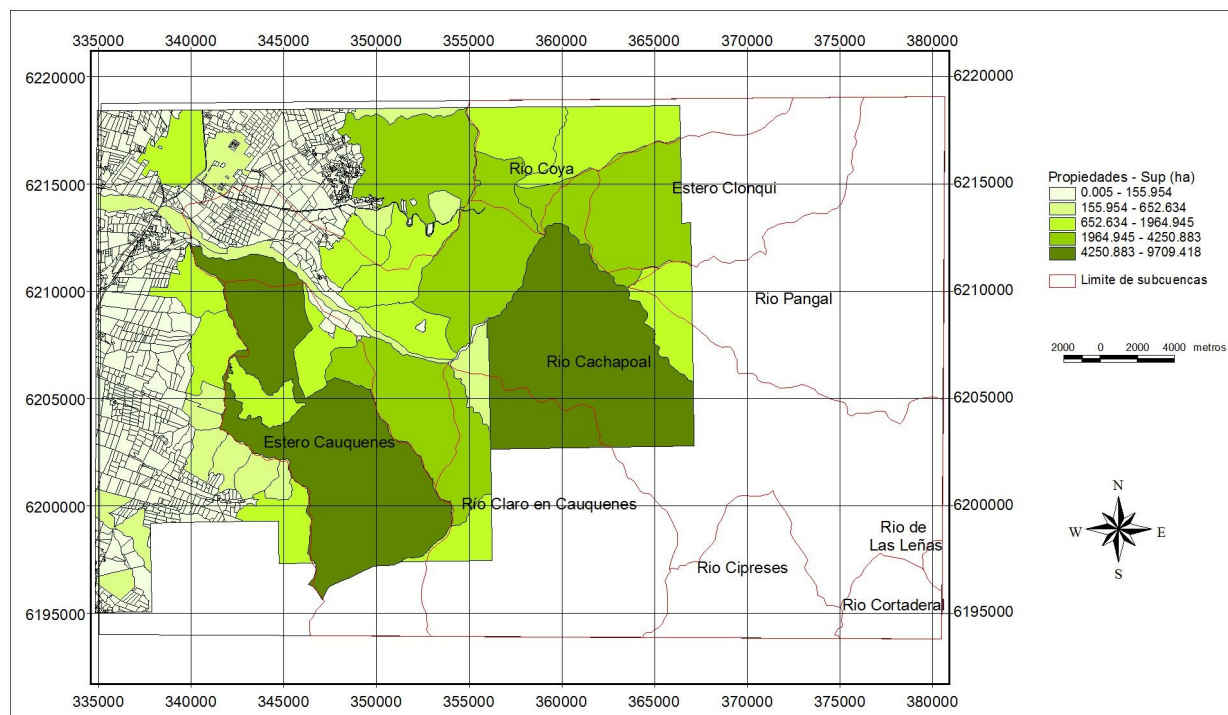


Figura N° 49. Propiedades AE, según superficie predial.

De acuerdo a la superficie, las propiedades menores a 156 hectáreas se distribuyen en las zonas bajas, asociadas al valle central, mientras que las propiedades sobre las 652 hectáreas se ubican en las zonas montañas y serranías de las subcuencas.

5. BIOTIPOS RELEVANTES

Se consideran biotipos relevantes los sitios asociados a la fauna, especialmente los relacionados con el hábitat del loro trichahue (*Cyanoliseus patagonus byroni*) por ser especie en categoría de conservación (en peligro), al igual que la especie *Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera), los humedales presentes en el área de estudio, que corresponden a vegas foliáceas y junciforme, humedal asociado a la laguna Cauquenes y a las unidades productivas (agícolas) existentes en el AE.

En el caso del loro trichahue, tal como se indicó en el punto de cobertura de vegetación y uso de la tierra (ver 4.5) su hábitat está asociado a las riberas de ríos, a las formaciones vegetacionales de bosque esclerófilo denso y semidenso, matorral arborescente, matorral, rotación cultivo-pradera y a las zonas agrícolas, de tal manera que considerando los puntos de ubicación de las loreras en el área de estudio se identificaron los biotipos relacionados, según se presentan en la Figura N°50.

Los sitios se asocian principalmente a las subcuencas de los ríos Coya, Pangal, Cipreses y cuenca propia del río Cachapoal. Las superficies por biotipos se indica en la siguiente tabla (N°15):

Tabla N°15. Superficie (ha) zonas relevantes como hábitat del loro trichahue.

BOSQUE NATIVO ADULTO	6.1
BOSQUE NATIVO RENOVAL	6860
MATORRAL ARBORESCENTE	352.2
MATORRAL	370.2
ROTACION CULTIVO PRADERA	631
TERRENO USO AGRICOLA	558.3
TOTAL	8777.8

Los sitios definidos por la presencia de ciprés de la cordillera se encuentran principalmente en la subcuenca del río Cipreses y en la zona propia de la cuenca del río Cachapoal, tal como se indica en la Figura N°51.

En cuanto a los humedales, se presentan en la Figura N°52.

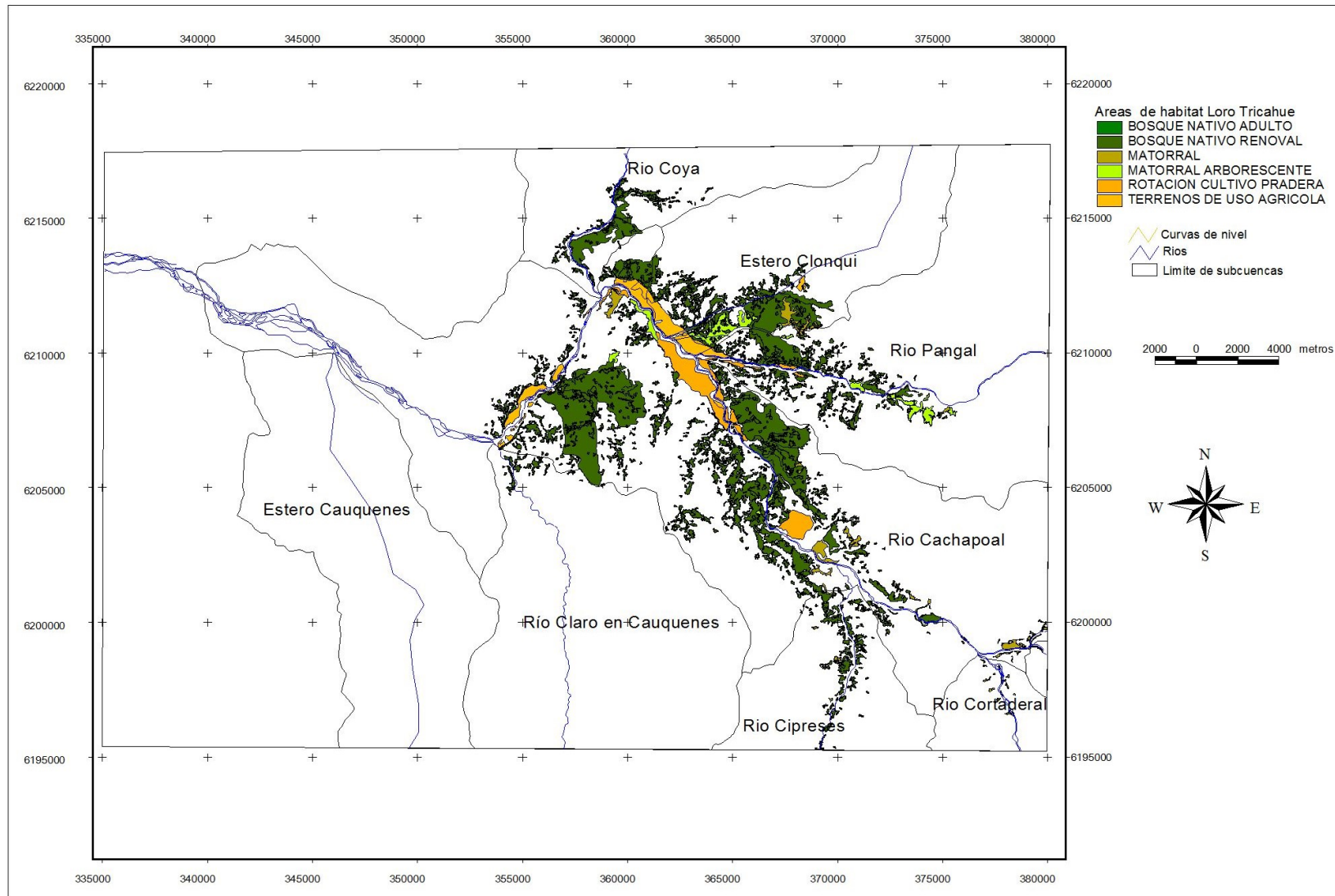


Figura N°50. Biotipos asociados al loro trichahue y fauna de la zona

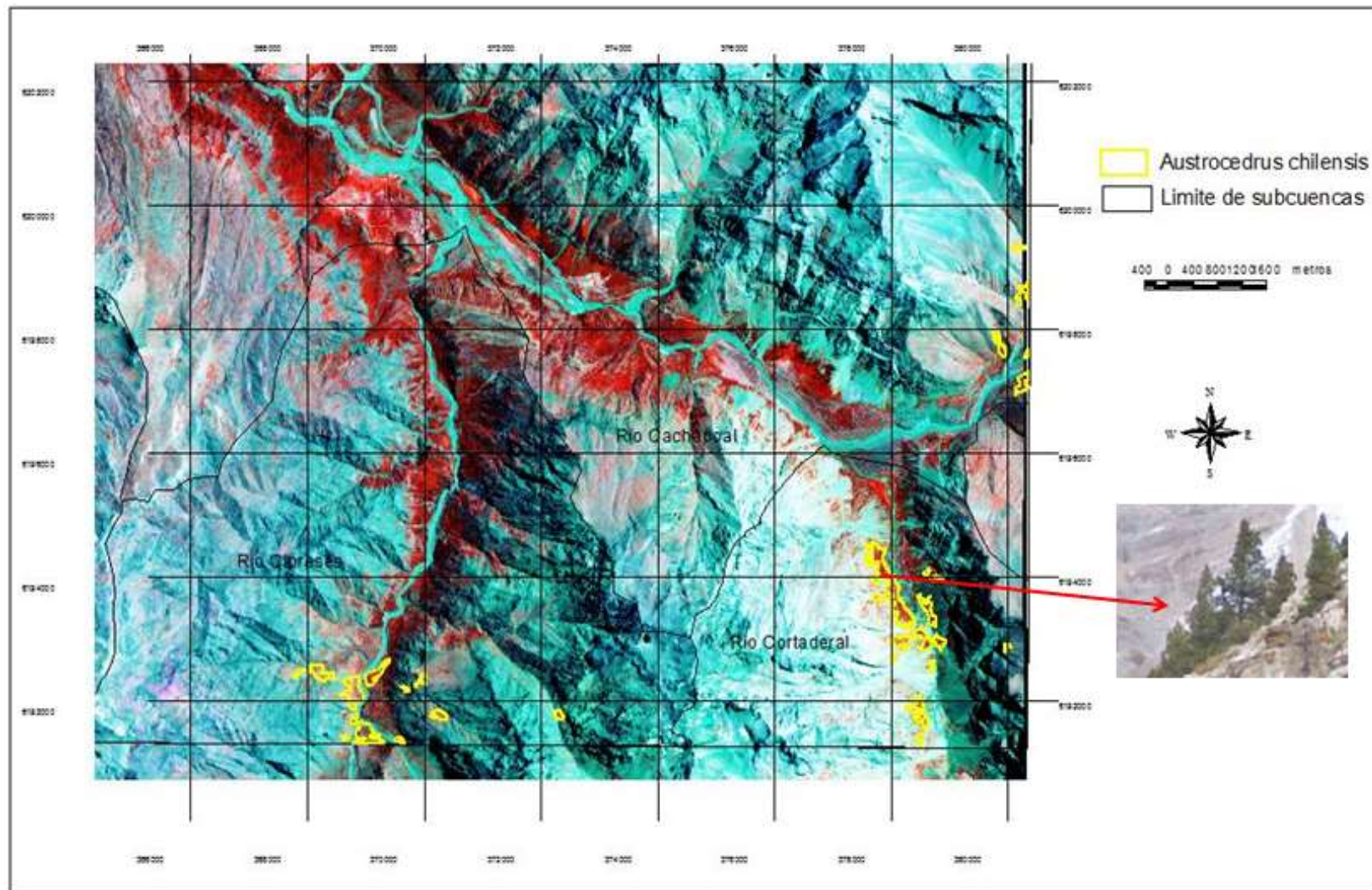


Figura N°51 Rodales correspondientes ciprés de la cordillera en el área de estudio. La superficie total de los rodales con presencia de ciprés es de 98,3 hectáreas.

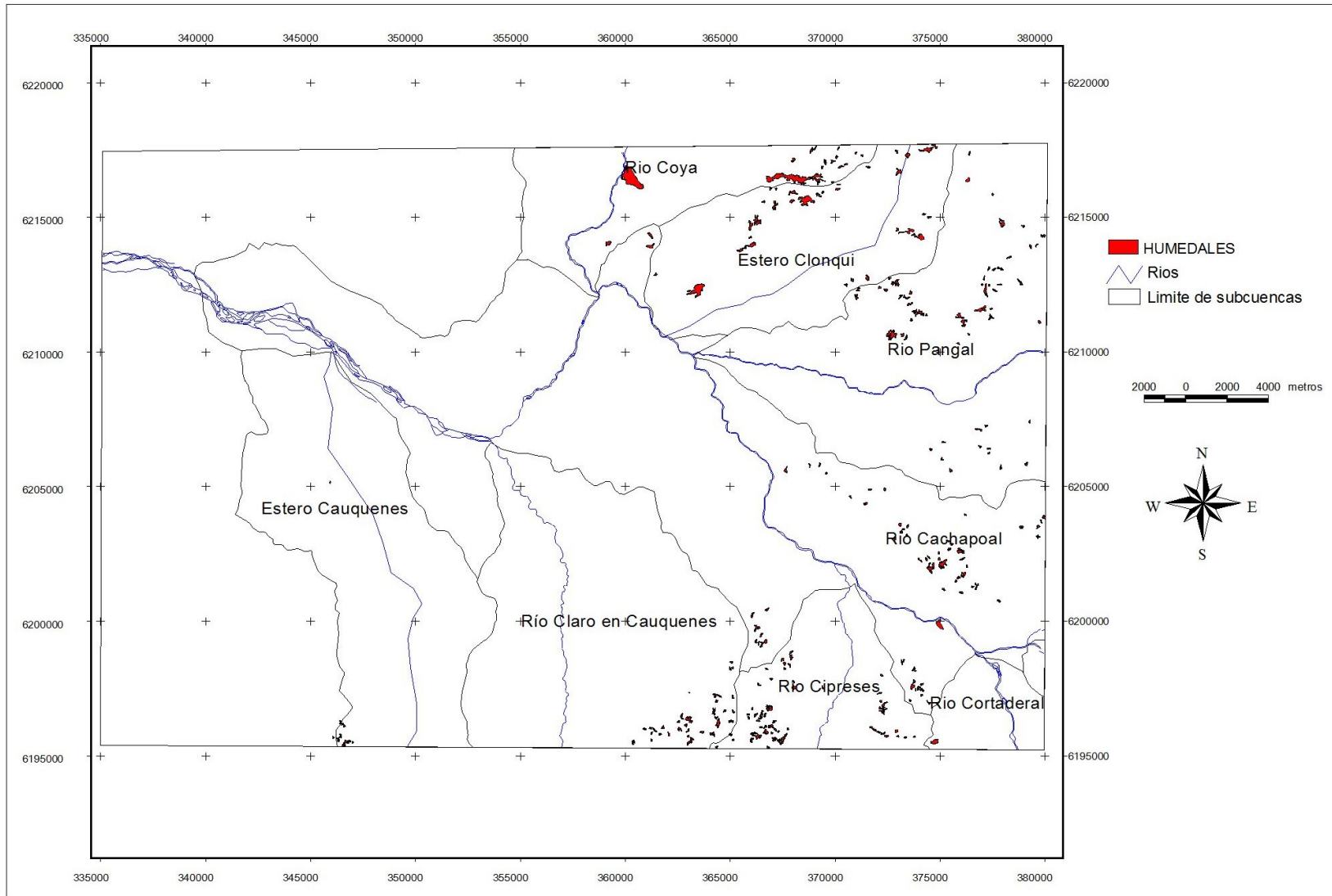


Figura N°52. Humedales.

Las vegas (tanto junciformes como foliáceas) se distribuyen principalmente en la zona alta de las subcuencas de los ríos Coya, estero Clonqui, río Pangal, cuenca alta río Cachapoal, río Cipreses y río Claro en Cauquenes; en total suman una superficie de 554,4 ha. mientras que el único humedal asociado a laguna en el área de estudio se vincula a zona de recuperación de la laguna con relave Cauquenes en la subcuenca del estero Cauquenes con una superficie de 0,6 hectáreas. El total de humedales distribuidos en rangos de superficie se indican en la siguiente tabla (Tabla N°16):

Tabla N°16. Humedales por rango de superficie (hectáreas).

	Sup. (ha)	%	Cantidad	%
0.2 - 0.5	3.7	0.7	9	3.3
0.5 - 1	104.9	19.0	144	52.2
1 - 5	211.7	38.3	106	38.4
5 - 20	104.6	18.9	14	5.1
20 - 54.5	127.5	23.1	3	1.1
Total	552.4	100	276	100.0

Del total de 276 humedales identificados, 93,9% son menores a 5 hectáreas y 55,5% menores a una hectárea. Sólo 3 humedales superan las 20 hectáreas los cuales se ubican en la subcuenca del río Coya (2) y en la subcuenca del estero Clonqui (1), en la parte superior del área de estudio,

En términos generales, de acuerdo a los datos recogidos en terreno en el estudio del SAG-UNICIT las vegas junciformes que se presentan en el área de estudio se caracterizan por la siguiente composición de cubiertas no vegetales: suelo desnudo 19,6%, piedras 4,3%, rocas 5,06%, mantillo 2,19%, fecas 3,76%.

La composición de especies en vegas junciformes, ordenadas según el porcentaje de presencia en la formación y luego por su porcentaje promedio de cobertura es la siguiente: *Cyperus eragrostis* (27,8%), *Eleocharis macrostachya* (17,8%), *Festuca sp* (13,2), *Plantago lanceolata* (7,5%), *Trifolium repens* (4,4%), *Juncus lessueuri* (8,7%) y *Juncus sp* (5%) además de otras herbáceas, como *Taraxacum laevigatum*, *Cynodon dactylon*, *Poa tristigmática*, *Hordeum comosum*, más matorrales bajos de *Maytenus boaria* y *Baccharis sp* en zonas más bajas.

Dependiendo de la condición en que se desarrollen, las vegas foleaceas sólo presentan variación respecto al hidromorfismo. En las zonas medias-altas del área de estudio, por lo general, presentan hidromorfismo temporal, mientras que en las zonas más altas de la zona andina el hidromorfismo es mayor.

Las vegas foleaceas presentan la siguiente composición de cubiertas no vegetales: suelo desnudo 4,1%, piedras 3,7%, rocas 2,53%, mantillo 0,5%, fecas 3,4%. La cobertura vegetal mantiene un promedio de 85%.

La composición de especies presentes en vegas foleaceas, ordenadas según el porcentaje de presencia en la formación y luego por su porcentaje promedio de cobertura es la siguiente: *Trifolium repens* (11,2%), *Hordeum comosum* (14,6%), *Poa tristigmática* (27,6%), *Poa languilosa* (24,9%), *Juncus bufonius* (17%), *Eleocharis macrostachya* (16,8%), *Festuca sp* (13,3%), *Agrostis sp* (22%) además se encuentran otras herbáceas como *Holcus lanatus*, *Plantago lanceolata*, *Medicago lupulina*. Este tipo de vega se caracteriza por mantener una presencia alta de *Juncus sp* y *Eleocharis macrostachya*, al igual que en las vegas junciformes, lo que se debe a un mayor hidromorfismo.

En las zonas altas del área de estudio la fisonomía de las vegas puede cambiar de un año a otro, debido a los permanentes derrumbes o aludes, provenientes de conos de deyección o conos de derrubio de los ambientes rocosos altos y a la variabilidad de la superficie de nieve anual que reciben, lo que también depende de la superficie de cada unidad de vega, siendo más alteradas las de menor tamaño.

6. CARACTERIZACION Y ANALISIS DE SUBCUENCAS

De acuerdo a lo descrito en el punto 4.2 el área de estudio está definida principalmente por la cuenca media-alta del río Cachapoal, recibiendo los aportes de las principales subcuencas que la integran desde el límite superior. Las subcuencas son las correspondientes al río Coya, estero Cauquenes, río Claro en Cauquenes, río Cipreses, estero Clonqui, río Pangal, río Las Leñas, río Cortaderal y la cuenca alta del propio río Cachapoal. De estas subcuencas, las de mayor superficie situadas en la parte alta de la cuenca son las del río Pangal (61.004 ha), río Cortaderal (42.902 ha), río Cipreses (34.554 ha) y la propia cuenca alta del río Cachapoal (32.952 ha) tal como se muestran en la Figura N°53.

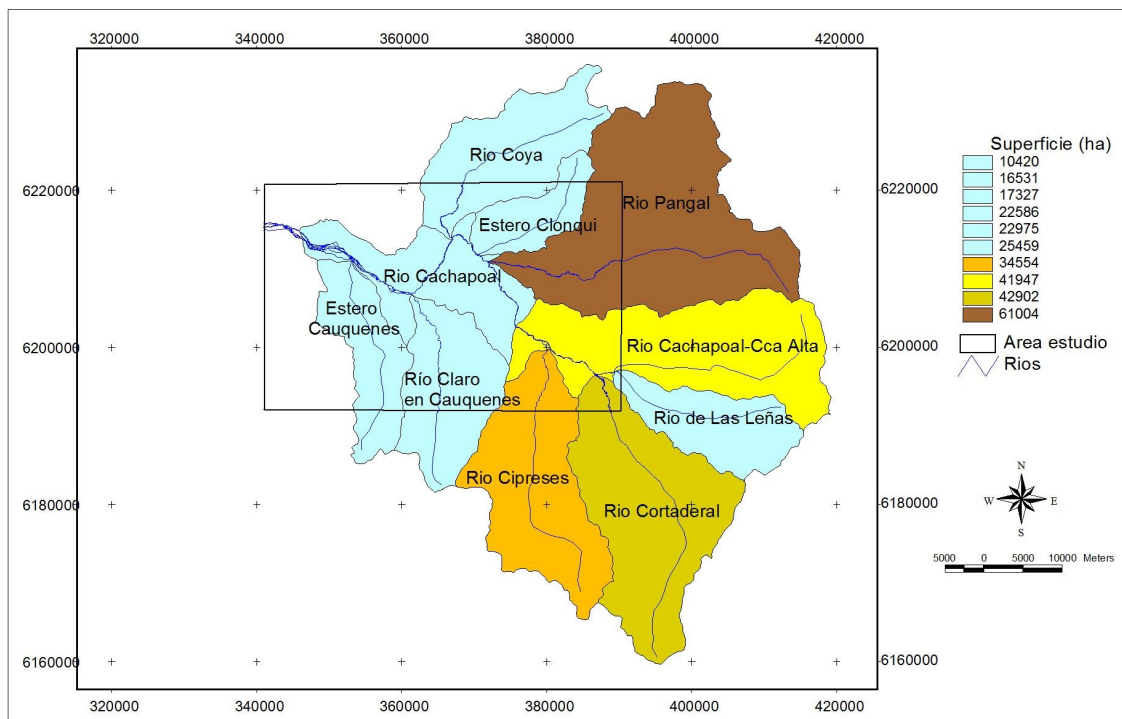


Figura N°53. Superficie de subcuencas relacionadas con el área de estudio.

Con la finalidad de caracterizar el aporte de cada una de las subcuencas en relación con el aporte actual de agua a las zonas bajas y sitios relevantes descritos en el punto 5, a continuación se caracterizan cada una de ellas en función de la morfometría y

estructura hídrica, la cobertura vegetal, el potencial pastoril y la intervención antrópica y natural.

Así se estructuran cuatro indicadores que dan cuenta del aporte de agua a la zona de estudio, la protección al suelo, la presión potencial por el uso ganadero y el grado relativo de intervención antrópica y natural de las subcuencas, los cuales son la base para explicar la tendencia multitemporal de la cobertura vegetal en el área de estudio.

6.1 Índice de Aporte de Agua (IAAF)

La forma de una cuenca (subcuenca en este caso) tiene una estrecha relación con el comportamiento de la escorrentía superficial, especialmente con la concentración de ésta, por consiguiente tiene relación con el tiempo de permanencia del agua en la cuenca, según determinadas pendientes y tipos de suelo presentes.

La estructura hídrica de las cuencas, por otro lado, pueden ser obtenidas mediante indicadores simples, como el orden de cauces o drenes existentes en las subcuencas, densidad de drenaje el cual se relaciona con la cantidad de agua en la cuenca al igual que el índice de ramificación los cuales dan origen al índice de disponibilidad de agua.

○ Forma de la cuenca

Uno de los indicadores que dan cuenta de la forma de las cuencas es el Coeficiente de Compacidad de Gravelius (K_c). Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de K_c nunca serán inferiores a 1. El K_c se obtiene al relacionar el perímetro de la cuenca, con el perímetro de un círculo, que tiene la misma área de la cuenca:

$$K_c = 0.28 * P / \sqrt{A}$$

Donde:

K_c : Coeficiente de compacidad de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca en Km.

A: Área de la cuenca en Km²

Es la relación entre el perímetro de la subcuenca y el de un círculo que tenga igual área que ésta; en la medida que el índice se acerque más a la unidad, la forma tiende a ser más redondeada y con mayor peligro de que se produzcan avenidas máximas.

El grado de aproximación de este índice a la unidad indica la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua, tal como se indica en las siguientes clases (FAO, 1985):

Clase Kc1: Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.

Clase Kc2: Rango entre 1.25 y 1.5. Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.

Clase Kc3: Rango entre 1.5 y 1.75. Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.

Clase Kc4: Rango mayor a 1.75. Corresponde a forma rectangular oblonga.

El resultado obtenido para el caso de las subcuencas en el área de estudio se presenta en la Tabla N° 17 junto a los indicadores que se desarrollan a continuación.

○ **Pendiente media y tamaño de la subcuenca.**

Sin duda la pendiente de la cuenca es determinante en la velocidad del escurrimiento superficial y en particular la de los cauces da cuenta de la torrencialidad de ellos en relación a las superficies de agua dada por el tamaño de la cuenca, siendo estas características junto con la forma relevantes para explicar los flujos hídricos, tanto superficiales, subsuperficiales y subterráneos.

La obtención de estos indicadores, a partir de los modelos de elevación digital como el descrito anteriormente es automática basada en algoritmos definidos en la mayoría de los programas de procesamiento de datos raster, en éste caso se presenta en la Figura N° 54 la espacialización de la pendiente, la que fue extraída (promedio) posteriormente para cada subcuenca, al igual que el área (Tabla N°17).

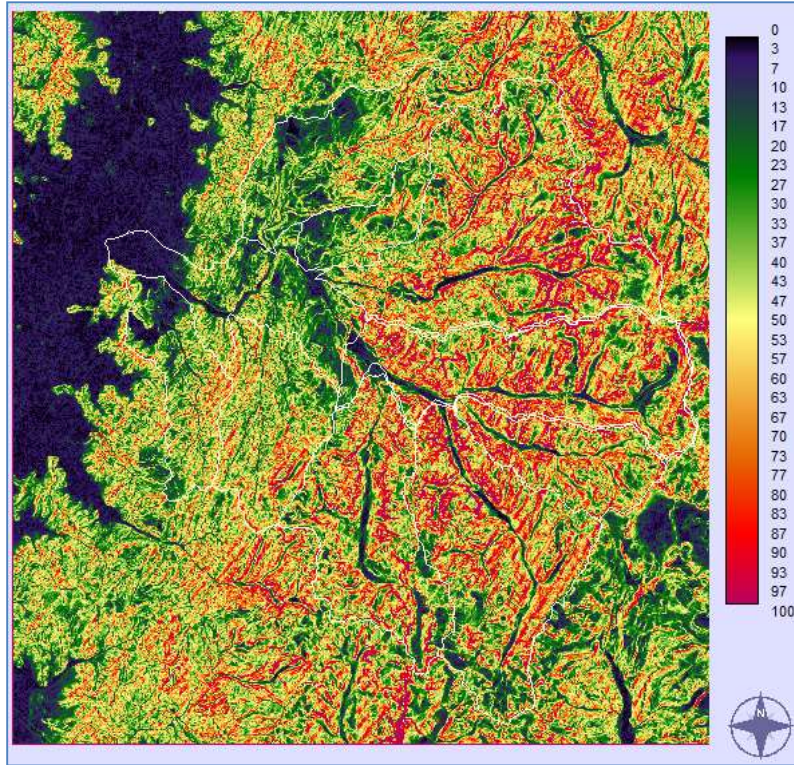


Figura N° 54. Pendiente en porcentaje.

A partir de los datos de forma (k_c), pendiente y el área de la subcuenca se obtuvo el Índice de Aporte de Agua Morfométrico (IAAM), según la siguiente expresión:

$$IAAM = (Kc / P) * \text{Área}$$

Los resultados se presentan en la Tabla N°17.

- **Orden de drenes**

El orden de drenes de una cuenca entrega una idea clara de la estructura de la red de cada subcuenca, así una subcuenca de mayor estructura (mayor orden de dren) es una cuenca con mayor posibilidades de infiltración de agua, lo que dice relación con tiempos más prolongados de disponibilidad.

La clasificación aplicada fue definida por Shreve (1966) y considera que todos los primeros tributarios son de primer orden y en cada unión la corriente resultante toma como orden el número de tributarios que llegan, por consiguiente un dren de quinto orden conduce más agua que uno de cuarto (Figura N° 55).

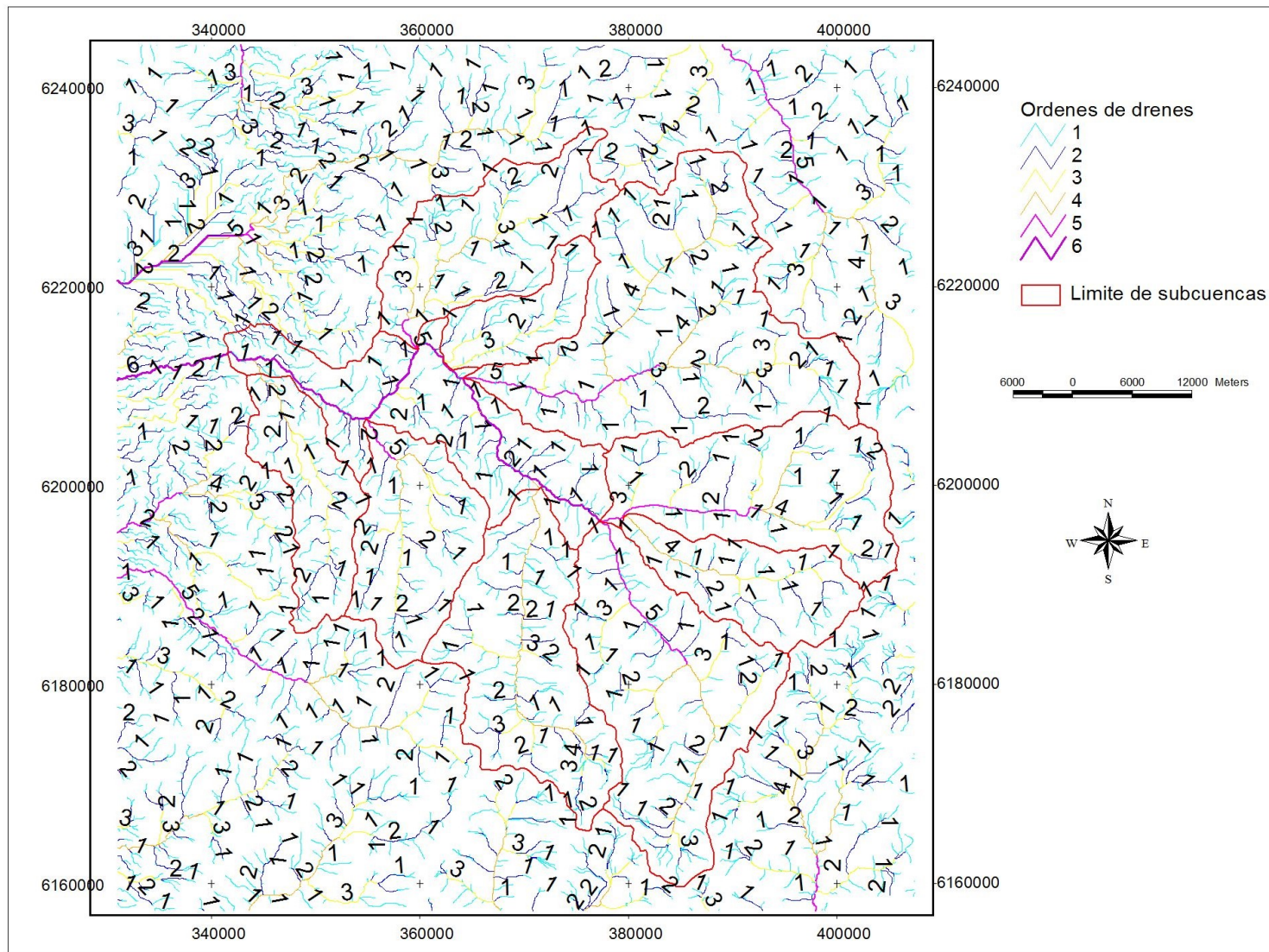


Figura N° 55. Ordenes de drenes por subcuencas.

El resultado indica que las subcuencas de Pangal, Cuenca alta del río Cachapoal, la subcuenca del río Cortaderal, Coya y río Claro en Cauquenes poseen drenes de quinto orden, por consiguiente son las subcuencas que poseen una mayor estructura hídrica.

- **Densidad de drenes**

La densidad de drenes de una cuenca dice relación con la estructura geológica que posee y por ende tiene relación con el grado de permeabilidad, así una baja densidad está asociada a cuencas con elevada permeabilidad, cobertura vegetal adecuada y relieves moderados, por el contrario la densidad de drenaje baja se asocia a baja permeabilidad, cobertura vegetal baja o escasa y relieve accidentado.

La densidad de drenaje se define como el cociente entre la longitud total de los drenes existentes en la cuenca y la superficie de la cuenca (Área).

$$ID = \sum l_i / A$$

Realizados los cálculos, el resultado obtenido se presenta en la Tabla N° 17 e indica que las diferencias entre las subcuentas son de dos decimales (densidad se encuentra entre 0,5 y 0,7).

- **Ramificación o frecuencia de drenaje**

Se define como el cociente entre el número de drenes existentes en la cuenca y la superficie.

$$I_r (\text{índice de ramificación}) = \sum N_i / A, \text{ donde } N = \text{número total de drenes.}$$

La valorización total de la cuenca (subcuenca en éste caso) resulta de la valorización de los dos indicadores, normalizados de la siguiente forma:

$$I'd = (ID / \sum ID) * 100 \text{ y el } I'r = (I_r / \sum I_r) * 100$$

Siendo el resultado final el Índice de Disponibilidad de Agua (IDAH), expresado de la siguiente forma:

$$IDAH = (3 * I'd + I'r) / 4$$

El resultado final, considerando el IAAM y el IDAH, se obtiene al multiplicar ambos índices, generándose el Índice de Aporte de Agua Final (IAAF), el cual se muestra en la Tabla N°17 en orden descendente.

Tabla N°17. Indicadores Morfo-hídricos de las subcuencas e Índice de Aporte de Agua Final.

Nombre subccca	Coefic. de Forma	sup Km2	Pend. Prom %	IAAM	I-densidad drenes	I-ramific	IDAH	IAAF
Pangal	1.9	610	56.4	20.6239	0.62	0.74	10.64	219.5
Cachapoal-alta	2.2	418.3	57.3	15.9707	0.59	0.74	10.31	164.6
Coya	1.9	254.6	35.6	13.3028	0.70	0.74	11.70	155.6
Cortaderal	1.8	429	55.8	13.7919	0.62	0.75	10.74	148.2
Cipreses	1.9	345.5	51.8	12.3583	0.68	0.79	11.72	144.8
estero								
Cauquenes	2.0	164.7	35	9.22989	0.69	0.85	12.04	111.1
Claro en Cauquenes	1.6	225.8	46	8.03076	0.65	0.71	11.05	88.8
Clonqui	1.8	104.2	33.6	5.43567	0.72	0.89	12.52	68.0
Las Leñas	1.8	173.3	58	5.38286	0.54	0.63	9.28	49.9

De la tabla se desprende que las subcuencas que realizan los mayores aportes de agua al área de estudio son: Pangal, Cachapoal alta, Coya y Cortaderal (Figura N°56).

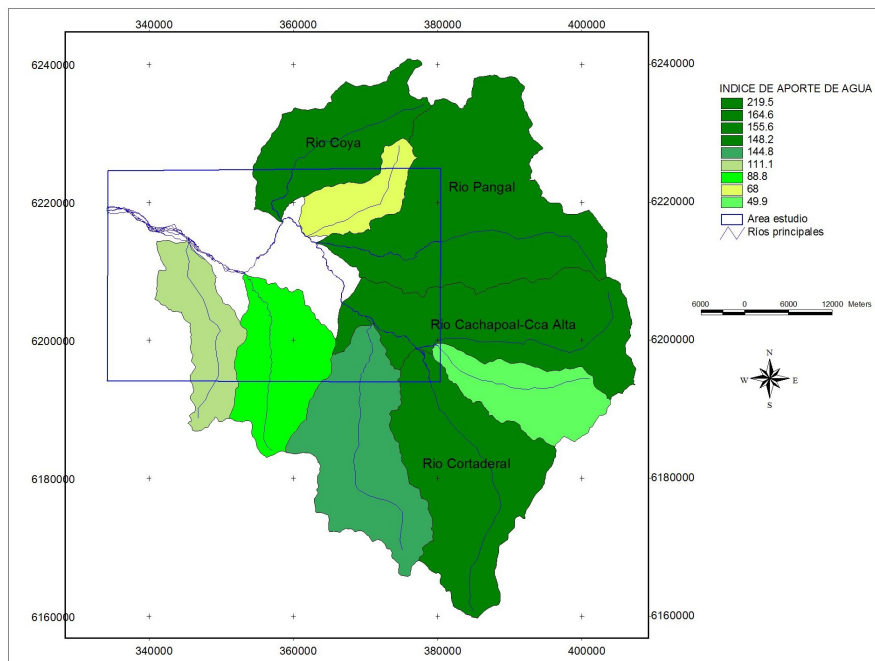


Figura N°56. Aporte de agua de subcuencas según datos morfométricos-hidro (IAAF).

6.2 Índice de Protección al Suelo (IPS)

De acuerdo a lo que se describió en el punto 4.5 las bases cartográficas existentes entregan distintas clases vegetacionales con especificación de las clases intervalares de porcentajes de cubierta de dosel (muy abierta, abierta, semidensa y densa). En base a dichas clases y el tipo de formación vegetal se obtiene para cada subcuenca un índice de protección del suelo, el cual se relaciona directamente con la capacidad de retención de agua, estableciéndose una relación directa, es decir, en la medida que se tiene mayor protección mayor es la capacidad de retención de agua y por consiguiente mayor disponibilidad de agua por más tiempo. Con éste fin se utilizó la base del Catastro Nacional de Vegetación Nativa (CONAF, 2013), sin modificaciones, cuyas ponderaciones por clases se presentan en la Tabla N°18.

Tabla N°18. Ponderación de clases de uso de la tierra según porcentaje de cobertura.

AFLORAMIENTOS ROCOSOS	1	MATORRAL ARBORESCENTE SEMIDENSO	3
BOSQUE NATIVO ACHAPARRADO ABIERTO	2	MATORRAL CON SUCULENTAS ABIERTO	2
BOSQUE NATIVO ADULTO ABIERTO	2	MATORRAL CON SUCULENTAS MUY ABIERTO	1
BOSQUE NATIVO ADULTO DENSO	4	MATORRAL CON SUCULENTAS SEMIDENSO	3
BOSQUE NATIVO ADULTO RENOVAL ABIERTO	2	MATORRAL DENSO	4
BOSQUE NATIVO ADULTO SEMIDENSO	3	MATORRAL MUY ABIERTO	1
BOSQUE NATIVO PLANTACION ABIERTO	2	MATORRAL PRADERA ABIERTO	2
BOSQUE NATIVO RENOVAL ABIERTO	2	MATORRAL PRADERA SEMIDENSO	3
BOSQUE NATIVO RENOVAL DENSO	4	MATORRAL SEMIDENSO	3
BOSQUE NATIVO RENOVAL SEMIDENSO	3	MINERIA INDUSTRIAL	1
CAJAS DE RIO	1	NIEVES	1
CIUDADES PUEBLOS ZONAS INDUSTRIALES	1	OTROS TERRENOS SIN VEGETACION	1
ESTEPA ANDINA CENTRAL	2	PLANTACION	3
GLACIARES	1	PLANTACION JOVEN RECIEN COSECHADA	1
LAGO-LAGUNA-EMBALSE-TRANQUE	1	PRADERAS ANUALES	2
MATORRAL ABIERTO	2	ROTACION CULTIVO PRADERA	1
MATORRAL ARBORESCENTE ABIERTO	2	TERRENOS DE USO AGRICOLA	1
MATORRAL ARBORESCENTE DENSO	4	VEGAS	4
MATORRAL ARBORESCENTE MUY ABIERTO	1	VEGETACION HERBACEA EN ORILLAS DE RIOS	2

El resultado de dicha ponderación por superficie de la clase en relación al total de la superficie de la subcuenca y la correspondiente sumatoria de las clases vegetacionales origina el Índice de Protección al Suelo $[IPs = \text{SUM} ((A_i * p) / A_c)]$ de la subcuenca, tal como se indica en la Tabla N°19 y en la Figura N°57.

Tabla N°19. Índice de protección al suelo

Subcuenca	IPs
Río Coya	0,51
Estero Cauquenes	0,79
Río Claro en Cauquenes	0,62
Río Cipreses	0,29
Estero Clonqui	0,9
Río Pangal	0,35
Río Las Leñas	0,2
Río Cortaderal	0,15
Río Cachapoal-alta	0,29

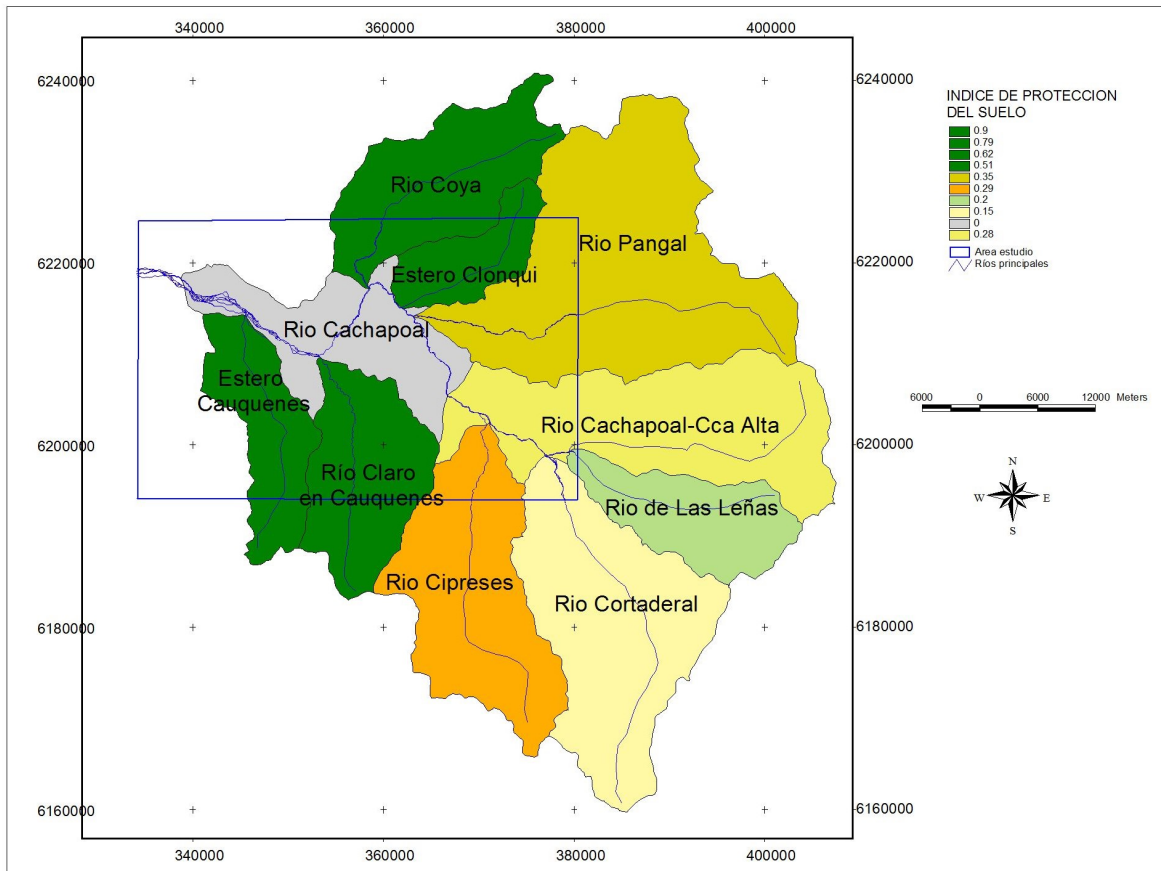


Figura N°57. Índice de Protección del Suelo.

Las subcuencas de mayor desprotección corresponden a las ubicadas en la zona alto-Andina, mientras que las subcuencas bajas son las de mayor Índice de Protección.

6.3 Índice Superficie Pastoril (ISP).

El índice se obtiene a partir de la existencia de la cobertura pastoril de cada subcuenca, incluida la superficie de humedales (Tabla N°20). El supuesto es que 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 o potencial de deterioro de la condición. La superficie pastoril total en las subcuencas, tal como se indica en el punto 4.4.2, es de 54.602 hectáreas, las cuales sustentan una capacidad de carga promedio por hectárea de 0,045 unidades bovinas equivalentes, considerando una temporada de 5 meses.

Las superficies pastoriles se definieron considerando las siguientes clases (SAG-UNICIT, 2002): Bosque mixto de borde, Coirón, Coirón- Matorral, Matorral, Pradera anual, Pradera anual-Matorral, Pastos y cultivos, Renoval de borde, Vegas, cuyas superficies se indican en la Tabla N°20 y en la Figura N°58, constituyéndose al mismo tiempo como indicador ganadero de cada subcuenca.

Tabla N°20. Superficie pastoril de subcuencas.

Subcuenca	Superficie pastoril (ha)
Río Cachapoal-alta	11500
Río Cipreses	9284
Río Cortaderal	7656
Río Pangal	6288.5
Río Coya	5934
Río Las Leñas	5593
Estero Clonqui	4696
Río Claro en Cauquenes	2904
Estero Cauquenes	746

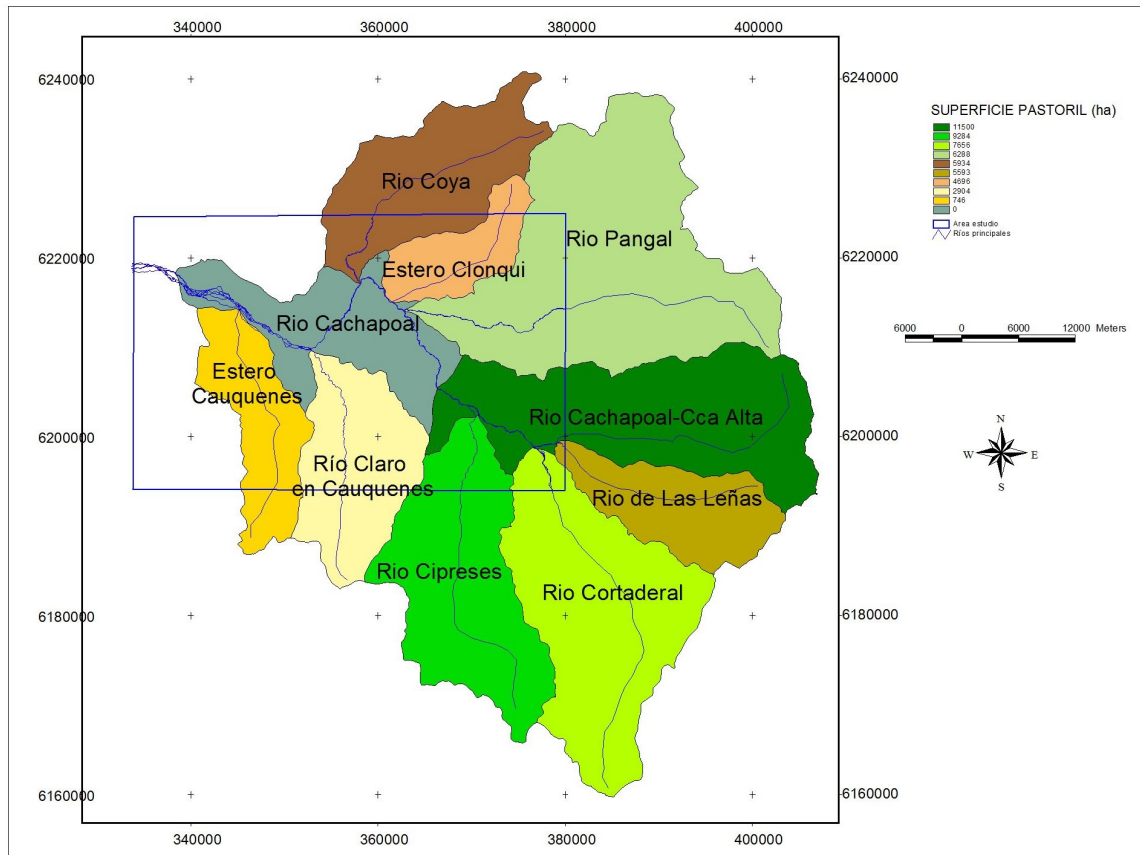


Figura N°58. Superficie pastoril. Las subcuencas más relevantes son la del río Cachapoal-alto, Pangal, Cortaderal y Cipreses.

En el caso de río Cipreses, la ganadería se encuentra restringida en concordancia con la calidad de Reserva Nacional, de tal forma que su uso ganadero puede considerarse potencial.

6.4 Índice de Intervención Antrópica y Natural (IINT).

El índice de intervención de las subcuencas da cuenta del grado de intervención antrópica y natural (deslizamientos y acarrees), además de la accesibilidad dada por la longitud de caminos existentes en cada una, el caso de intervención antrópica por el número de obras y superficie que ocupan más la longitud de ductos de agua existentes (Tabla N° 21). Se considera que a mayor grado de intervención y accesibilidad mayor probabilidad de alteración de los ecosistemas (Figura N°59).

Tabla N°21. Índice de intervención (IINT)

Subcuenca	Km de caminos	Long. de ductos (m)	Sup. Intervenidas (ha)	Cantidad obras	% sup int.	% Log.ductos	%obras	% caminos	IINT
Río Coya	127	0	2633.4	4	35.9901599	0	7.547169811	41.6393443	21.29
Estero Cauquenes	52.2	11.196	3182	4	43.4877682	0.039519678	7.547169811	17.1147541	17.05
Río Claro en Cauquenes	2	4510	1.9	1	0.02596693	15.91941318	1.886792453	0.6557377	4.62
Río Cipreses	3.7		15.4	1	0.21046877	0	1.886792453	1.21311475	0.83
Estero Clonqui	13.4	3298	5.2	1	0.07106738	11.6412915	1.886792453	4.39344262	4.50
Río Pangal	34.6	12637	709.4	10	9.69523029	44.60612513	18.86792453	11.3442623	21.13
Río Las Leñas	18.1	0	0.2	1	0.00273336	0	1.886792453	5.93442623	1.96
Río Cortaderal	13.1	0	290.3	10	3.96747301	0	18.86792453	4.29508197	6.78
Río Cachapoal-alta	40.9	7871	479.6	21	6.55459888	27.78308229	39.62264151	13.4098361	21.84
Total	305	28327.196	7317.4	53					

El resultado es el promedio de la suma de la normalización (respecto del total) de longitud de caminos, de ductos, superficie intervenida y cantidad de obras existentes por subcuencas.

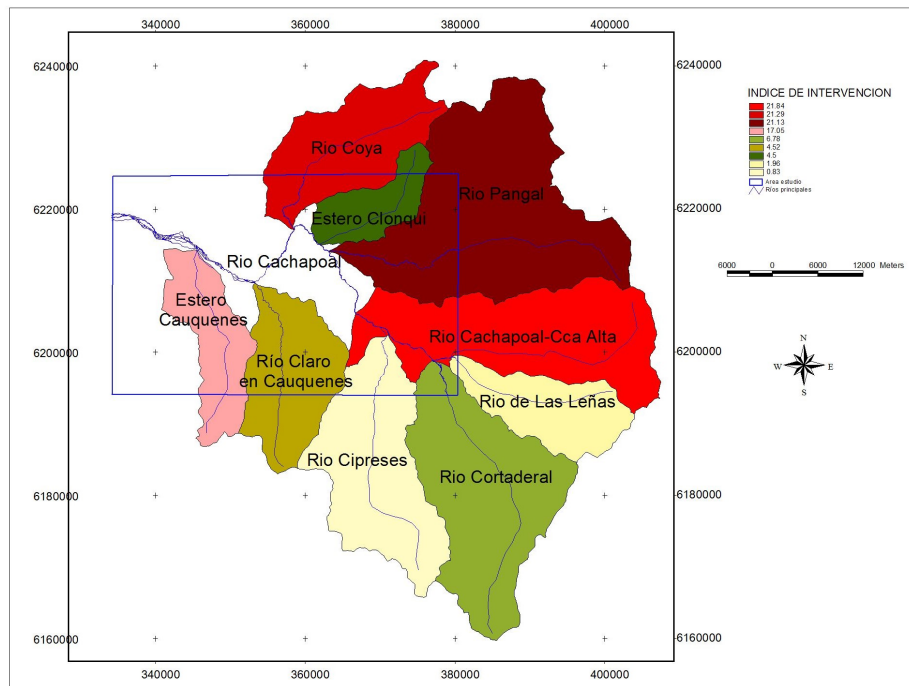


Figura N°59. Índice de intervención antrópica y natural de subcuencas.

El resultado indica que los niveles mayores de intervención se encuentran en las subcuencas del río Cachapoal Alto, Pangal y Coya, siendo las dos primeras una combinación de intervención antrópica y natural, Coya con intervención antrópica y luego sigue estero Cauquenes principalmente por la laguna de relave ubicada en la zona baja.

6.5 Índice de Prioridad de Gestión de Subcuencas (IPG).

El Índice de Prioridad de Gestión da cuenta en forma directa del potencial de degradación de los ecosistemas vegetacionales que se encuentran en el territorio y específicamente en el área de estudio, basado en las consideraciones siguientes:

a) El Índice de Aporte de Agua (IAAF) basado en la morfometría y estructura hídrica se encuentra en relación directa con la capacidad de retención y almacenamiento de agua en el territorio de la subcuenca y por consiguiente con la disponibilidad de agua para sustentar las formaciones vegetacionales existentes. Así, a mayor IAAF mayor capacidad de mantener las actuales coberturas vegetacionales como fuente de biodiversidad, refugio y alimento de la fauna y de conservar los ciclos hidrológicos para sustentar las unidades productivas agrícolas y ganaderas.

b) El Índice de Protección al Suelo (IPS), basado en protección del suelo por la cobertura vegetal, da cuenta de la estructura y composición de las unidades vegetacionales y se encuentra en relación directa con la capacidad de retención y almacenamiento de agua en concordancia con la textura, estructura y desarrollo del suelo, de tal manera que a mayor IPS mayor es la sostenibilidad de las propias formaciones vegetacionales.

c) El Índice de Superficie Pastoril (ISP) se relaciona directamente con la capacidad sustento ganadero de las subcuencas y con las actuales capacidad de carga, de tal forma que se relaciona directamente con la mayor presión y degradación que ejerce esta actividad productiva en el territorio. A mayor ISP mayor es el potencial degradativo que poseen las formaciones vegetacionales que definen la superficie pastoril existente.

d) El Índice de Intervención Antrópica y Natural (IINT) se encuentra en relación directa con la alteración que ha tenido el territorio y las formaciones vegetacionales existentes, por consiguiente a mayor IINT mayor potencial y actual degradación del territorio y con ello alteración de los hábitat de fauna y modificación de las unidades agrícolas.

Considerando lo expuesto y los resultados obtenidos de los índices descritos, dispuestos en escala de 1 a 9, donde el 1 es la prioridad de gestión más baja y 9 la prioridad más urgente (Tabla N° 22), al sumarlos por cada subcuenca entrega el resultado de prioridad (IPG) correspondiente, el cual se presenta en la Figura N° 60.

Tabla N° 22. Resumen de índices del IPG

Nombre	Id	Area	Sup_ha	IAAF	IPS	Spastor/ha	IINT	Fgjabf	Fgips	Fgspast	Fgint	Ipa.I
Rio Coya	1	90894	25459	155.6	0.51	5934	21.29	3	4	5	9	21
Estero Cauquenes	2	12122	16531	111.1	0.79	746	17.05	6	2	1	6	15
Río Claro en Cauquenes	3	60202	22586	88.8	0.62	2904	4.52	7	3	2	4	16
Río Cipreses	4	39419	34554	144.8	0.29	9284	0.83	5	6	8	2	21
Estero Clonqui	5	00035	10420	68.0	0.90	4696	4.50	8	1	3	3	15
Río Pangal	6	37479	61004	219.5	0.35	6288	21.13	1	5	6	7	19
Río de Las Leñas	7	73423	17327	49.9	0.20	5593	1.96	9	8	4	1	22
Río Cortaderal	8	20475	42902	148.2	0.15	7656	6.78	4	9	7	5	25
Río Cachapoal	9	54338	22975	0.0	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0
Río Cachapoal-Cca Alta	9	72514	41947	164.6	0.28	11500	21.84	2	7	9	8	26

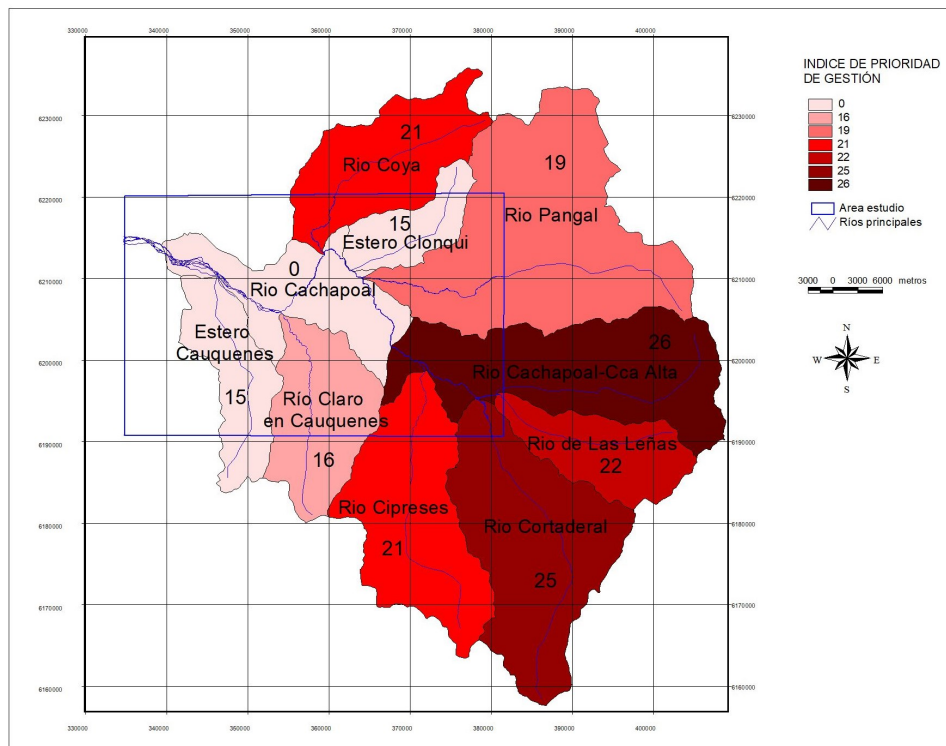


Figura N°60. Índice de prioridad de gestión de subcuencas.

El resultado indica que la subcuenca de Cachapoal alto es la de mayor prioridad, luego le siguen las subcuencas de río Cortaderal, Las leñas, Cipreses, Coya y Pangal.

7. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA VEGETACIÓN.

El análisis multitemporal de la vegetación del área de estudio tiene como objetivo identificar los elementos sensibles de los sistemas azonales hídricos o ecosistemas dependientes de agua superficial que permiten albergar flora y fauna y los sistemas productivos (agrícola y ganadero) que dependen del uso del recurso hídrico en la zona. El análisis multitemporal permite determinar el comportamiento de la vegetación en el tiempo, en éste caso en el periodo definido entre el año 2000 y 2017, medido mediante índices espectrales que dan cuenta del vigor vegetacional de la vegetación, que es la expresión del comportamiento fotosintético de las plantas y por consiguiente con el estado de la planta según las condiciones de sitio y características ambientales, especialmente climáticas asociadas en el tiempo de análisis. Condiciones de sitio que son modificables según las intervenciones del territorio y de variación de temperaturas y precipitaciones.

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)⁷ 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 de la vegetación, especialmente en el caso de humedales y praderas, al igual que en el caso de la zona productiva agrícola, frutícola y forestal está dada por la

⁷ 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 indices for LAI and APAR assessment. Remote Sensing of Environment. 35: 161 – 173.

disponibilidad de agua, lo que se traduce directamente en el comportamiento espectral de la vegetación, tal como se muestra en la Figura N°61.

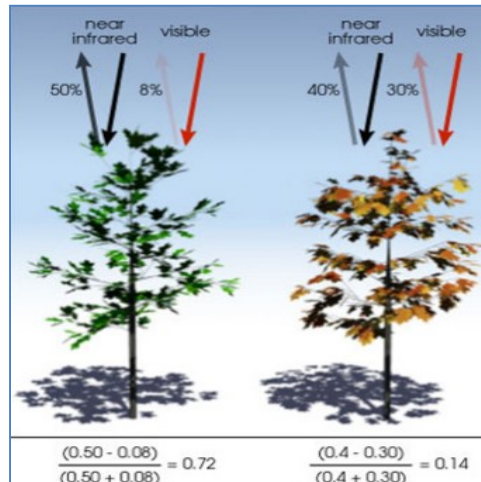


Figura N°61. Respuesta espectral de la vegetación vigorosa versus vegetación enferma en las bandas del infrarrojo cercano y del rojo.

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 la vegetación.

En el presente estudio, siguiendo metodologías ya realizadas en otros monitoreos de vegetación (Castro et al, 2017), se analiza para el área de estudio los datos satelitales anuales entre el año 2000 y 2017, teniendo presente que dichos datos corresponden a los meses de enero a marzo, periodo concordantes con los meses de mayor crecimiento de las formaciones vegetales en el área de estudio.

7.1 Adquisición de Datos Satelitales

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

- Datos en lo posible provenientes de un mismo programa satelital, cuyos sensores permiten 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 permitan 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, En total se encontraron 220 escenas disponibles, de las cuales 20 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.

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 descargar las bandas y la metadata asociada. Permitió analizar la data disponible de Landsat 4 (TM), Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM) y Landsat 8 (OLI), más la data de SELTINEL2.

SENTINEL 2.

Con la interface Land Viewer se analizaron los datos disponibles de SENTINEL 2 desde el año 2015 hasta la fecha. 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. Al mismo tiempo los datos Sentinel 2 están disponibles sólo

desde el año 2015. En definitiva, se obtuvieron los datos del año 2018 con la finalidad de actualización de la cobertura y uso de la tierra definidas por el Catastro Nacional de Vegetación nativa de CONAF (2013).

Datos LANDSAT

Las imágenes de LANDSAT disponibles se analizaron 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. Aún así, esta serie de datos fue la más completa y adecuada para proceder al estudio multitemporal.

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 son las siguientes (Tabla N°23).

Tabla N°23. Sensor y fecha de la imagen

Imagen	Día / mes	Año	Sensor
LE07_L1TP_233084_20000331_20170212_01_T1	31-mar	2000	ETM+
LE07_L1TP_233084_20010302_20170206_01_T1	02-mar	2001	ETM+
LT05_L1TP_233084_20010310_20161212_01_T1	10-mar	2001	TM
LT05_L1TP_233084_20020225_20161209_01_T1	25-feb	2002	TM
LE07_L1TP_233084_20030324_20170126_01_T1	24-mar	2003	ETM+
LT05_L1TP_233084_20040318_20161202_01_T1	18-mar	2004	TM
LT05_L1TP_233084_20050321_20161126_01_T1	21-mar	2005	TM
LT05_L1TP_233084_20060308_20161122_01_T1	08-mar	2006	TM
LT05_L1TP_233084_20070311_20161116_01_T1	11-mar	2007	TM
LT05_L1TP_233084_20080313_20161101_01_T1	13-mar	2008	TM
LT05_L1TP_233084_20090316_20161027_01_T1	16-mar	2009	TM
LT05_L1TP_233084_20100319_20161016_01_T1	19-mar	2010	TM
LT05_L1TP_233084_20110322_20161208_01_T1	22-mar	2011	TM
LC08_L1TP_232084_20130402_20170505_01_T1	02-abr	2013	OLI
LC08_L1TP_233084_20140415_20170423_01_T1	15-abr	2014	OLI
LC08_L1TP_233084_20150317_20170412_01_T1	17-mar	2015	OLI
LC08_L1TP_233084_20160319_20170328_01_T1	19-mar	2016	OLI
LC08_L1TP_233084_20170306_20170316_01_T1	06-mar	2017	OLI
LC08_L1TP_233084_20180325_20180404_01_T1	25-mar	2018	OLI

En general se obtuvieron 3 imágenes del sensor ETM+, 10 del sensor TM y 6 del sensor OLI, todos del programa LANDSAT. A modo de ejemplo, se presentan los datos correspondientes al sensor OLI del 2017 (Figura N° 62).

Las bandas espectrales del sensor OLI corresponden a las que se indican en la siguiente tabla (N°24), correspondientes las bandas del rojo, NIR, SWIR1 y banda 11 del infrarrojo térmico.

Tabla N° 24. 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)

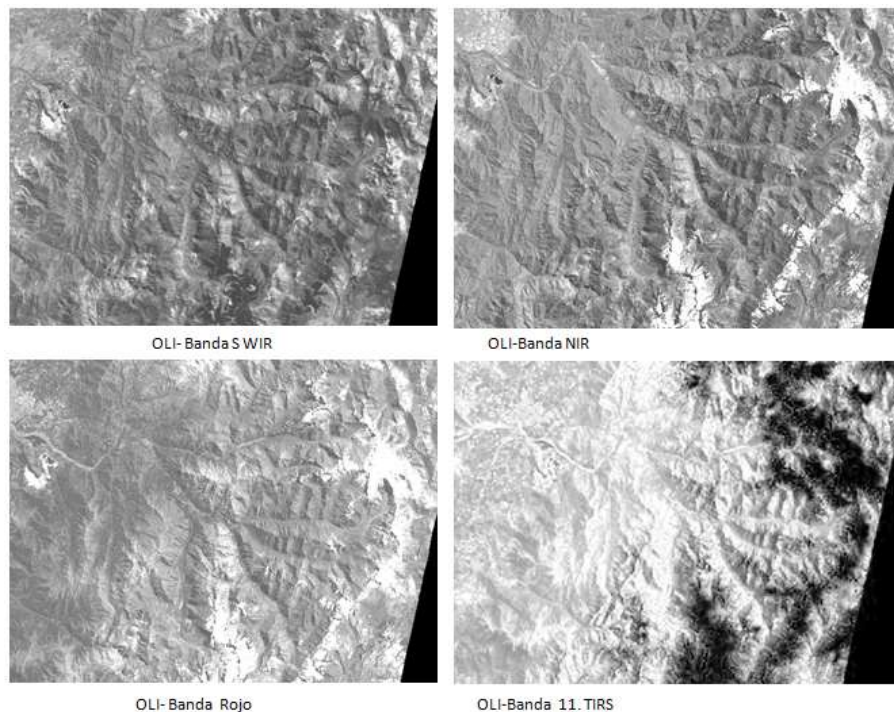


Figura N° 62. Ejemplo de bandas (OLI 2017).

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 (°C), anulando en el primer caso, el efecto de la atmosfera.

Para lo anterior se utilizó la programación de los algoritmos de conversión disponibles del 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 * μm))] está dada por (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 es el ratio de la energía reflejada con respecto al total de la energía incidente (NASA, 2011). Se calcula como:

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

Donde:

L_λ = 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)

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

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

Es importante notar que para las imágenes 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).

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 (ρ), 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 ρ (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).

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 Landsat se encuentran en la Tabla N° 25.

Tabla N° 25. 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°26. 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:

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

donde:

K_1 = constante de conversión térmica específica de la banda (en vatios /metro cuadrado * ster * μm).

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 * μm).

Las constantes K_1 y K_2 para sensores Landsat son proporcionadas en la Tabla N° 27.

Tabla N°27. 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): $K_1 = c_1/\lambda_5$, $K_2 = c_2/\lambda$

donde (Mohr, Newell, & Taylor, 2015):

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

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):

$$T = TB/[1 + (\lambda * TB/c_2) * \ln(e)]$$

donde:

λ = longitud de onda de la radiancia emitida

$c_2 = \lambda * c/s = 1,4388 * 10^{-2} m K$

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

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

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

Los valores de λ para las bandas térmicas de los satélites Landsat y ASTER pueden ser calculadas a partir de las tablas Satélite Landsat 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° 28 (de Mallick, et al. 2012):

Tabla N°28. 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). Algunos resultados, a modo de ejemplo, se muestran en las figuras N°63 y 64.

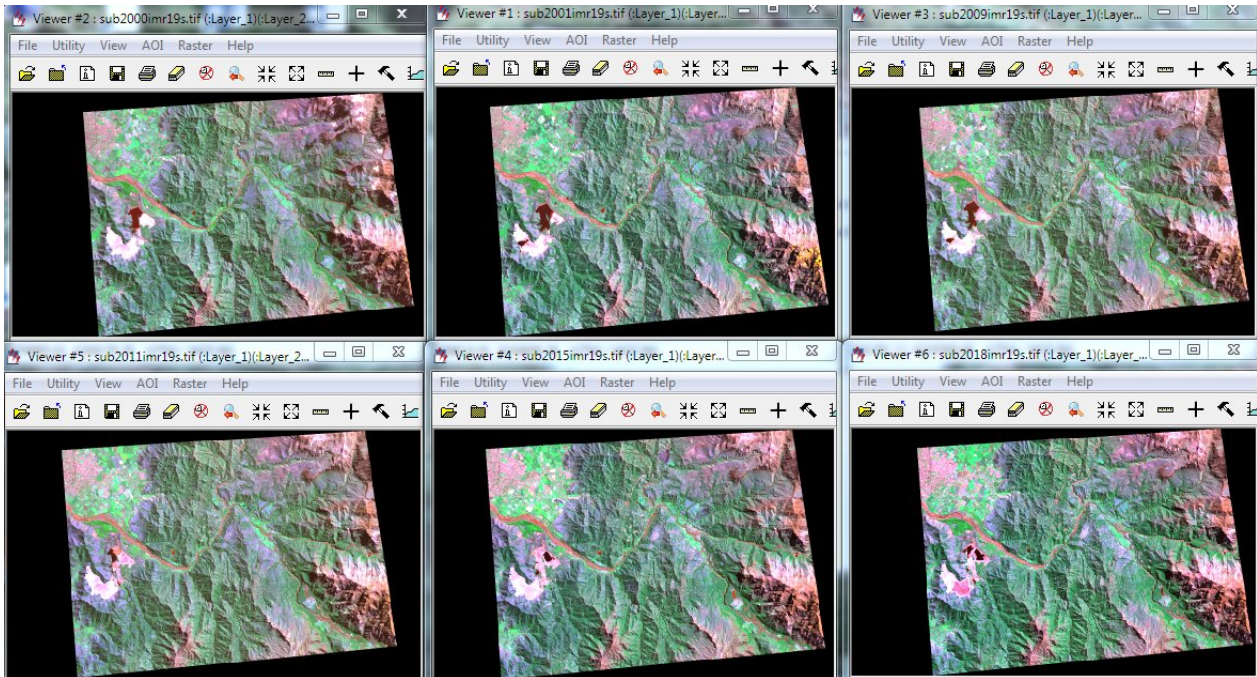


Figura N° 63. Subescenas del área de estudio. Composición NIR, SWIR, Rojo.

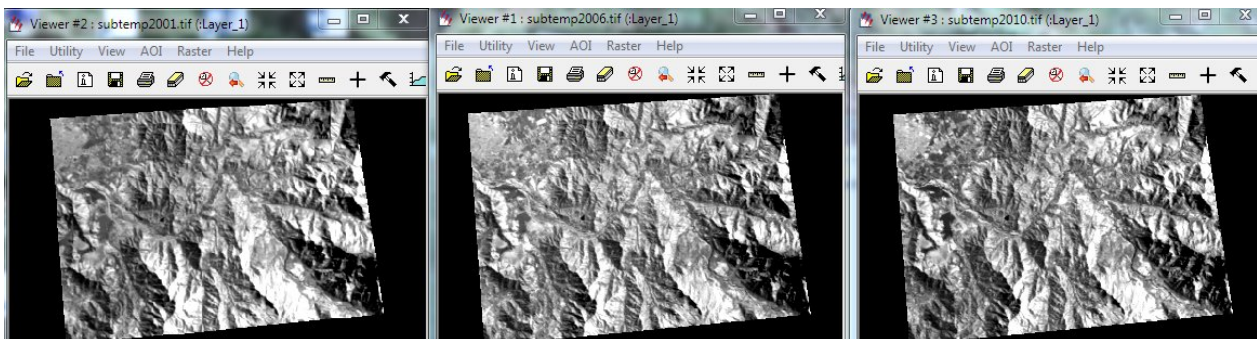


Figura N° 64. Subescenas del área de estudio. Banda termal.

7.3 Tendencia del Estado de la Vegetación.

La vulnerabilidad de la vegetación, especialmente de los sitios relacionados con condiciones hídricas 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 y por ende, las

funciones que realiza en relación a la biodiversidad y conservación de la vegetación, fauna y como sistema socio ecológico andino.

Las aproximaciones, por consiguiente, para determinar la vulnerabilidad son complejas, sin embargo, considerando que lo central es tener un acercamiento al grado de resiliencia o de salud de la vegetación para efectos de enfrentar los impactos, en este trabajo se consideró el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) que registra la actividad fotosintética de la vegetación, utilizando para ello la reflectividad de los componentes vegetativos 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.

Este índice se adoptó una vez que se probó para la zona junto con el Índice Normalizado de Diferencia de Humedad (NDWI) (sigla en inglés), el cual subestima la presencia de vegetación en el área de estudio, tal como se muestra en la Figura N°65.

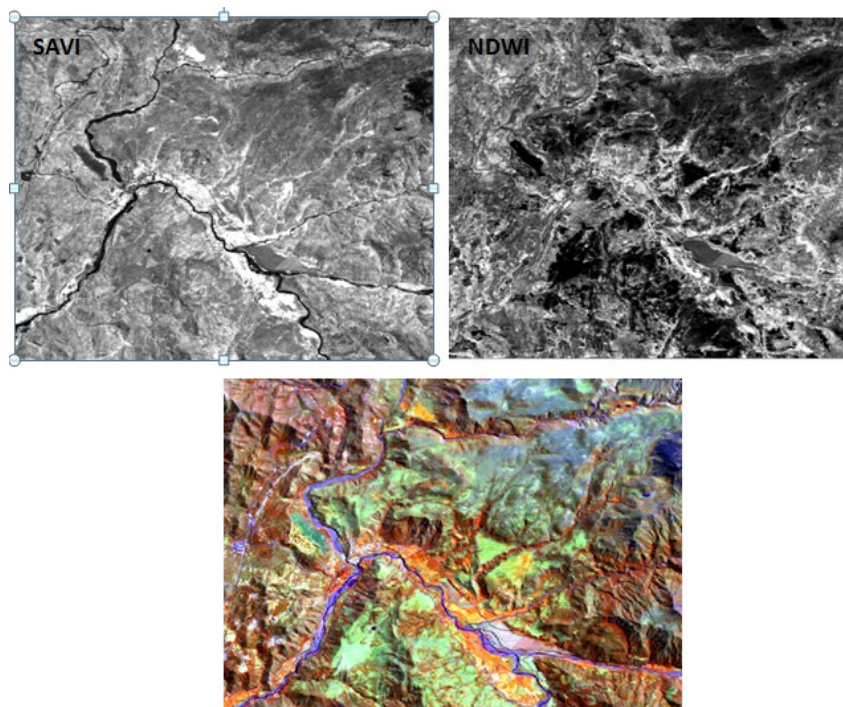


Figura N°65. Comparación SAVI-NDWI (año 2017) con composición multiespectral.

El SAVI en este caso, delimita de manera menos confusa las formaciones vegetacionales, en cambio el NDWI define mejor la vegetación asociada a agua, como son las vegas.

El SAVI se define de acuerdo a la siguiente expresión:

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

Donde:

ρ_{IR} : reflectividad Infrarrojo cercano

ρ_R : reflectividad del rojo

$L = 0,5$ (valor de ajuste para formaciones vegetacionales de densidad de cobertura media).

Los valores obtenidos (entre -1 y +1) fueron escalados entre 0 a 200 (se sumo 1 y se multiplicó por 100), donde el valor 100 marca la diferencia entre las zonas con vegetación y sin vegetación (menores a 100). Las imágenes resultantes para la serie se presentan en la Figura N°66.

7.3.1 Tendencia multitemporal

Con los SAVI obtenidos para cada año entre el mes de marzo, con excepción de los años 2013 y 2014 cuyos datos son del 2 y 15 de abril respectivamente, se procedió a calcular la tendencia multitemporal de la serie, mediante la tendencia relativa del SAVI (TMR), tendencia que determina la variación de los datos al mínimo o al máximo, teniendo como referencia el año 2018, cálculo realizado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$TMR(SAVI) = ((SAVI_{2018} - SAVI_{min2000-18}) / (SAVI_{max2000-18} - SAVI_{min2000-18})) * 100$$

donde,

TMR (SAVI) es la tendencia multitemporal de verdor relativo del SAVI, expresado en porcentaje.

SAVimin2000-18) es el valor mínimo en cada pixel entre el año 2000 y 2018.

SAVimax2000-18) es el valor máximo en cada pixel entre el año 2000 y 2018

SAVI2018, valores del SAVI obtenidos para el año 2018.

El resultado obtenido corresponde a la imagen de la Figura N° 67 y determina que en general la tendencia del estado vegetacional comparado con el del 2018 es a mejorar y los decrementos dicen relación principalmente con los valles y zonas intervenidas en dicho periodo como canalizaciones y obras.

De igual forma, se calculó la tendencia relativa del SAVI, utilizando el promedio del SAVI para la serie como situación de referencia. La expresión de cálculo es igual a la indicada variando solamente el valor del SAVI2018 por el valor PROMSAVI2000-18. El resultado se presenta en la Figura N°68. En éste caso se muestra una tendencia general a la disminución salvo zonas relacionadas con plantaciones nativas y con plantaciones frutícolas en los valles.

Otro indicador de cambios temporales que permite estimar la tendencia respecto de una determinada fecha es la diferencia temporal (Δt) expresada en éste caso como:

$$\Delta t(2018) = (\text{SAVI}2018 / \text{SAVI}prom2000-18) * 100$$

Donde,

SAVIprom2000-18 es el promedio del SAVI de la serie de los años 2000 al 2018.

El resultado permite ver si la tendencia del vigor vegetacional del año 2018 es la esperable respecto del promedio de vigor de la serie temporal en estudio, tal como se presenta en la Figura N° 69, donde se puede ver la predominancia de cambios a la disminución de la vegetación con distintos grados de intensidad.

En general, si se toma los dos últimos índices de tendencia (que se relacionan con el promedio del vigor de la serie) se muestra que la variación del estado actual (marzo

2018) de la cobertura vegetal es negativa, es decir existe una tendencia a la degradación y disminución de las distintas formaciones vegetales respecto del promedio de vigor de la serie.

Los tres resultados coinciden en mostrar una tendencia general al deterioro centrado en los valles.

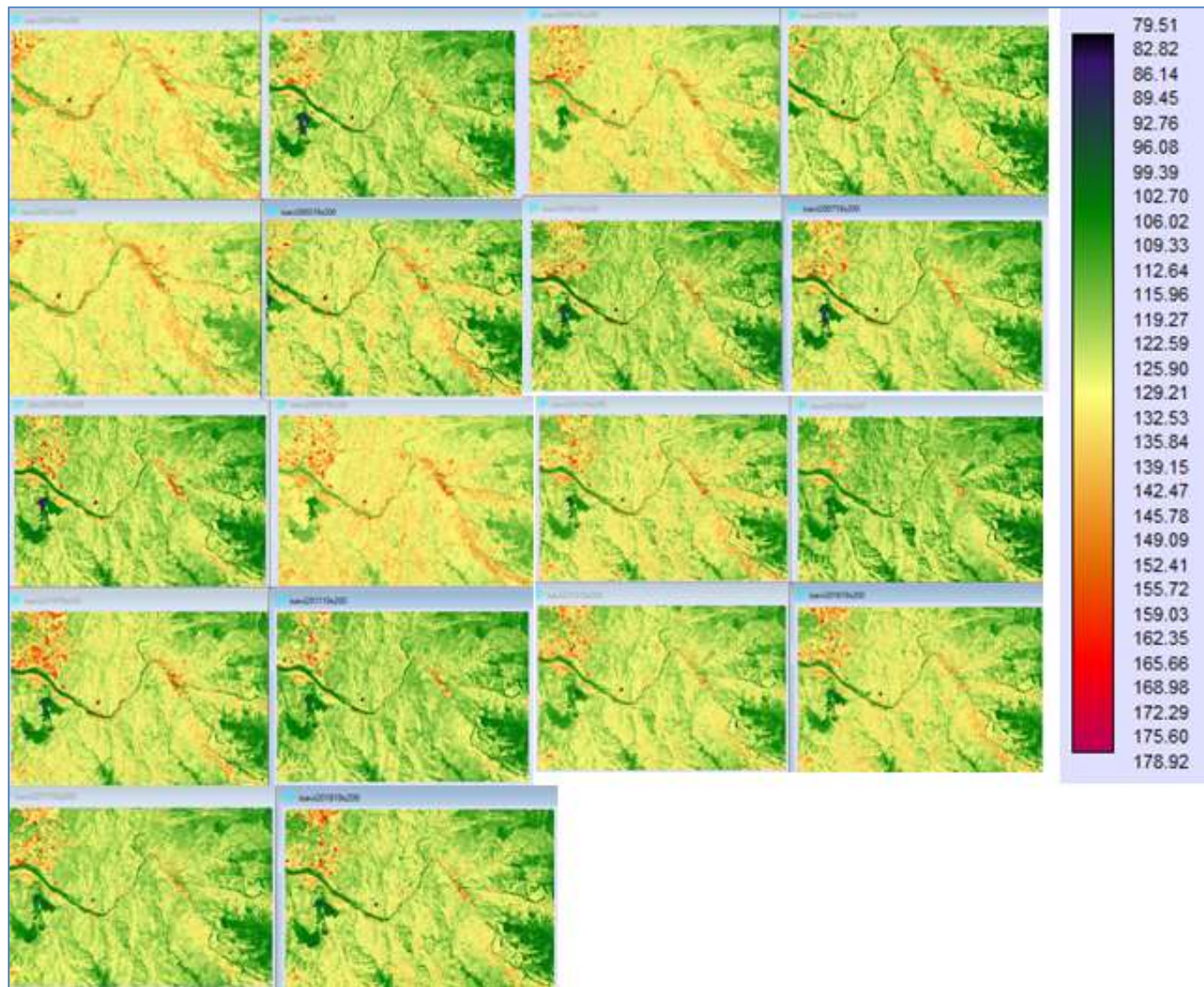


Figura N°66. SAVI serie temporal 2000 al 2018

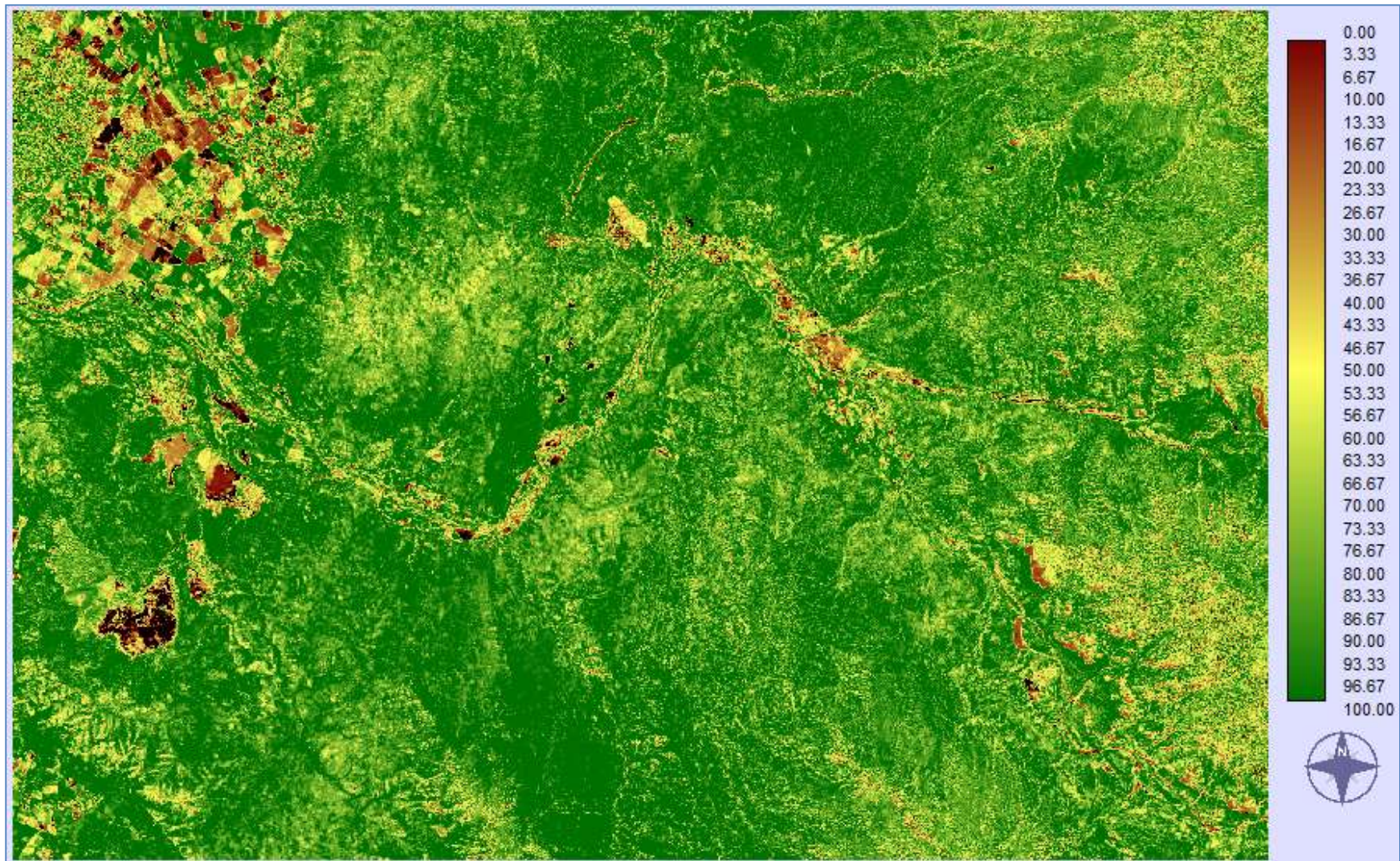


Figura N°67. Tendencia multitemporal del SAVI respecto del año 2018

Los valores mayores a 50% indican tendencia de cambios positivos, los menores cambios negativos en la tendencia.

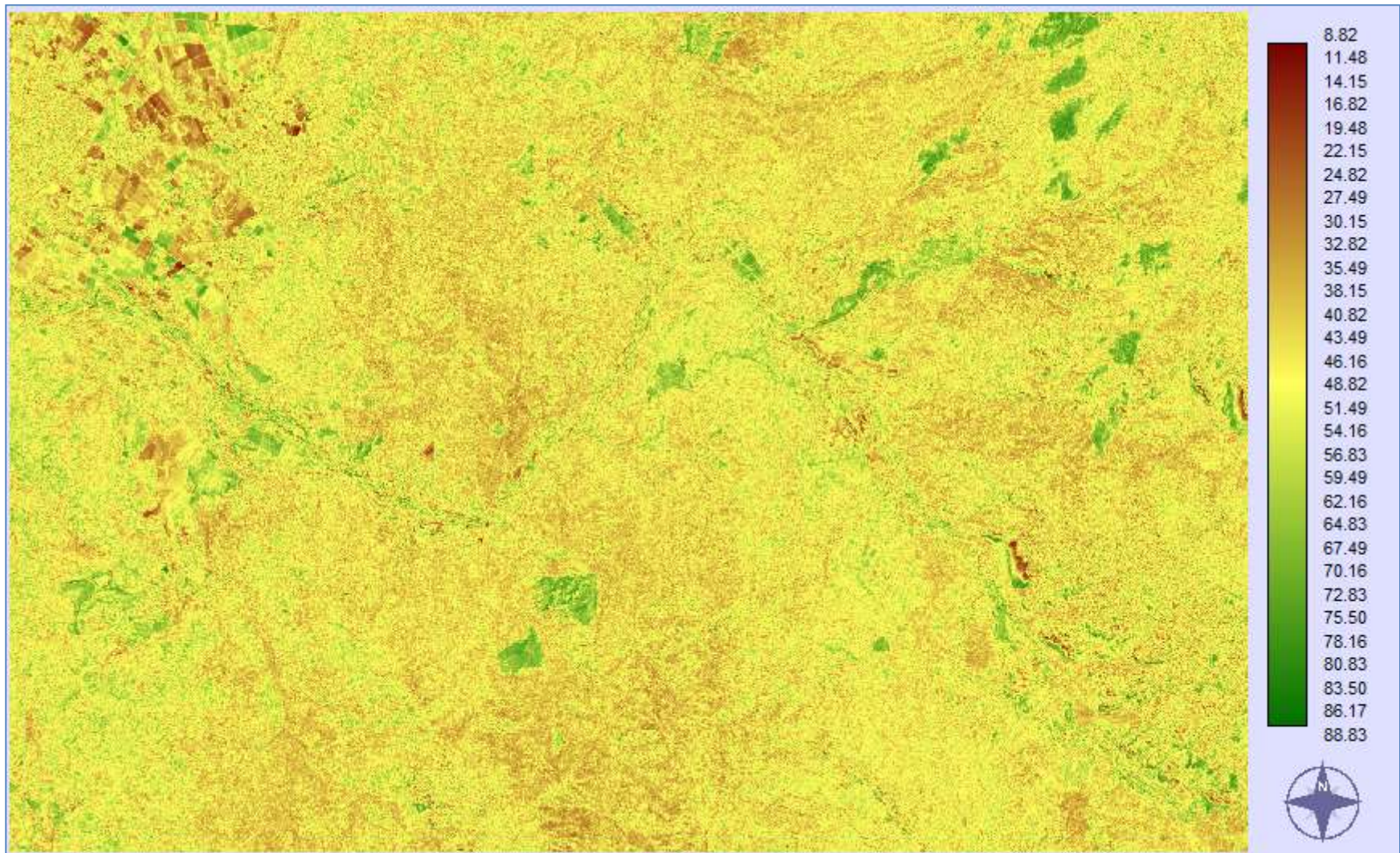


Figura N°68. Tendencia multitemporal del SAVI respecto de los valores promedios de vigor (serie 2000-2018).

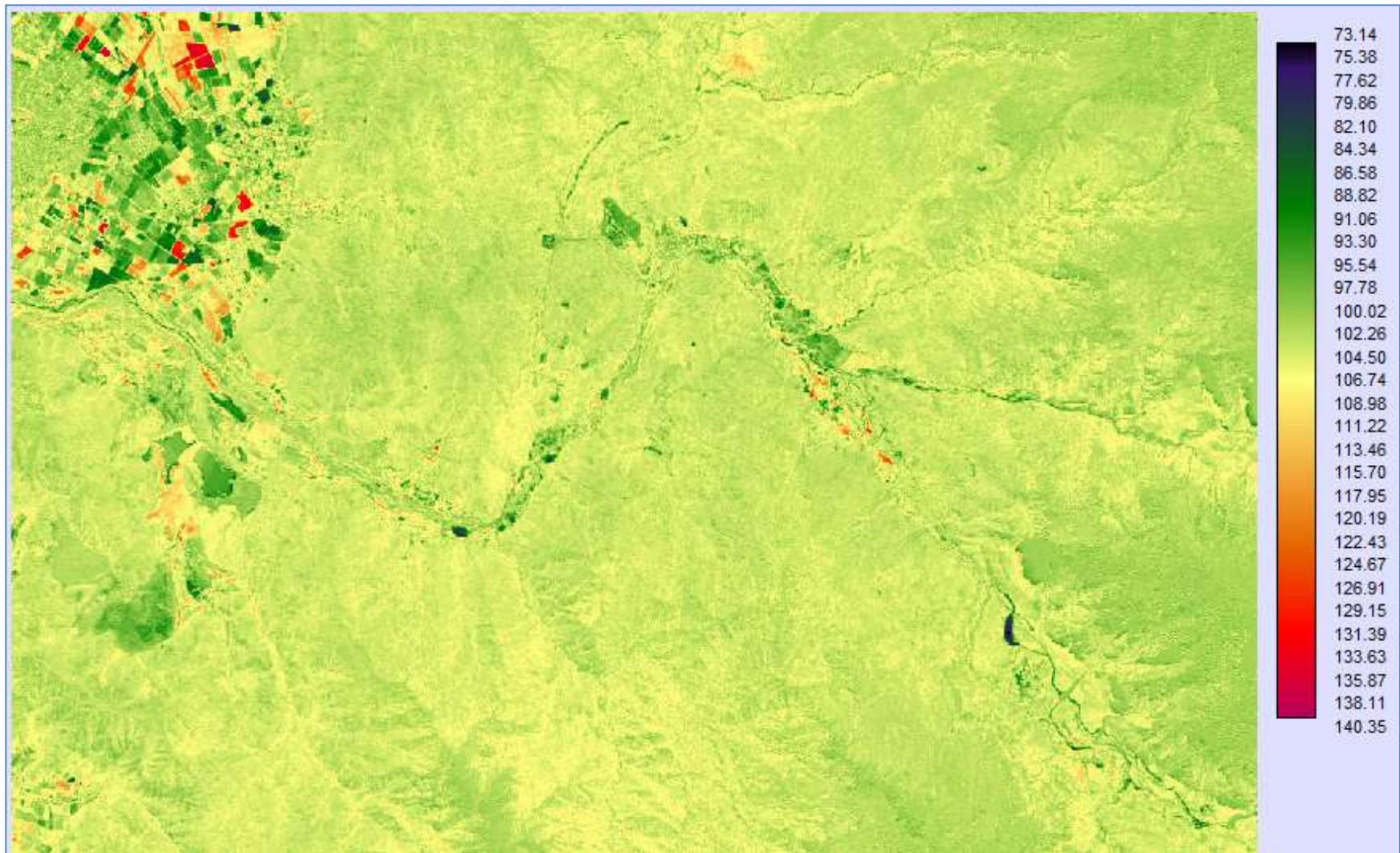


Figura N°69. Diferencia de los valores del SAVI del año 2018 respecto del promedio de la serie 2000-2018.

7.3.2 Tendencia multitemporal de sitios relevantes.

Los sitios relevantes definidos en el punto 5 corresponden a las formaciones vegetacionales riparias, bosque esclerófilo denso y semidenso, matorral arborescente, matorral, rotación cultivo-pradera, zonas agrícolas, humedales y las zonas pastoriles de las cuencas altas.

Para obtener la tendencia de estos sitios se procedió a rasterizar la información vectorial y extraer el valor de tendencia del promedio de los valores de los pixeles de cada una de las Unidades Cartográficas Homogéneas (UCH) en cada caso.

Tendencia (respecto del promedio de la serie) de sitios relevantes definidos para el hábitat del loro trichahue y fauna relevante, incluidos sitios productivos agrícolas.

El resultado de la tendencia relativa obtenida respecto del valor promedio de la serie, se procesó mediante clasificación del algoritmo de quiebres naturales (modificado para fijar el límite de cambios positivos y negativos en el origen que es el valor de 50%) obteniéndose los resultados que se indican en la Tabla N°29 y Figura N°70.

Tabla N°29. Tendencia de sitios relevantes (definidos como hábitat del loro trichahue y zonas agrícolas productivas). Periodo 2000-2018.

ID	Clase de tendencia %	Descripción	Superficie (ha)	Total de UCH
1	26 - 43.5	Decremento alto	1557.8	350
2	43.5 - 50	Decremento Medio-bajo	5774.2	542
3	50 - 56.3	Aumento medio-bajo	961.9	179
4	56.3 - 71.4	Aumento alto.	230.2	55
	Total		8524.1	1126

El 79,2% de las Unidades de Paisaje Homogéneas (UPH) tienen una tendencia al decremento en el periodo.

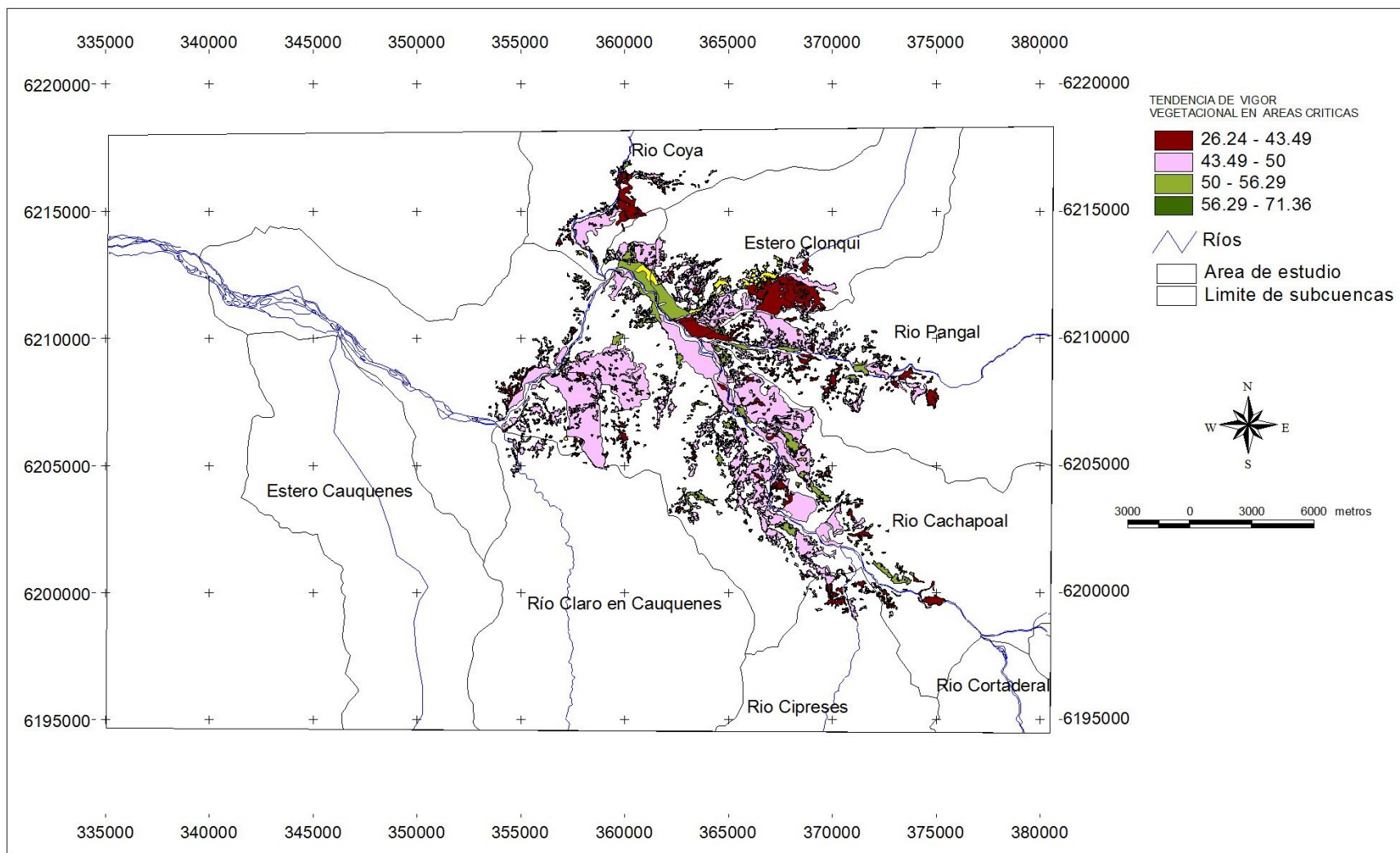


Figura N°70. Tendencia del estado de las formaciones vegetacionales y unidades productivas relevantes.

Lo anterior, desglosado para las formaciones vegetacionales de mayor superficie involucradas (Bosque nativo y agrícola, más rotación cultivo pradera), se muestran en las Figura N° 71, 72 y en las tablas N° 30 y 31.

Tabla N°30. Tendencia de Bosque Nativo

Valor de TMr	Tendencia	Superficie (ha)	N° UCH
< 50	Decremento	5979.5	848
<=43.49	Decremento alto	1307.7	335
>=50	Aumento	973.1	227
Total		6952.6	1075

El 86 % de la superficie de Bosque tiene una tendencia al decremento y el 21,8% de ésta superficie corresponde a decremento alto.

Tabla N°31. Tendencia de zonas agrícolas y cultivo-pradera

Valor de TMr	Tendencia	Superficie (ha)	N° UCH
< 50	Decremento	866.7	26
<=43.49	Decremento alto	133.3	4
>=50	Aumento	304.1	6
Total		1170.8	32

El 75,7% de la superficie de cultivo tiene una tendencia al decremento y el 15,3% de ésta superficie corresponde a decremento alto. Sólo el 26% de la superficie total tiene tendencia positiva.

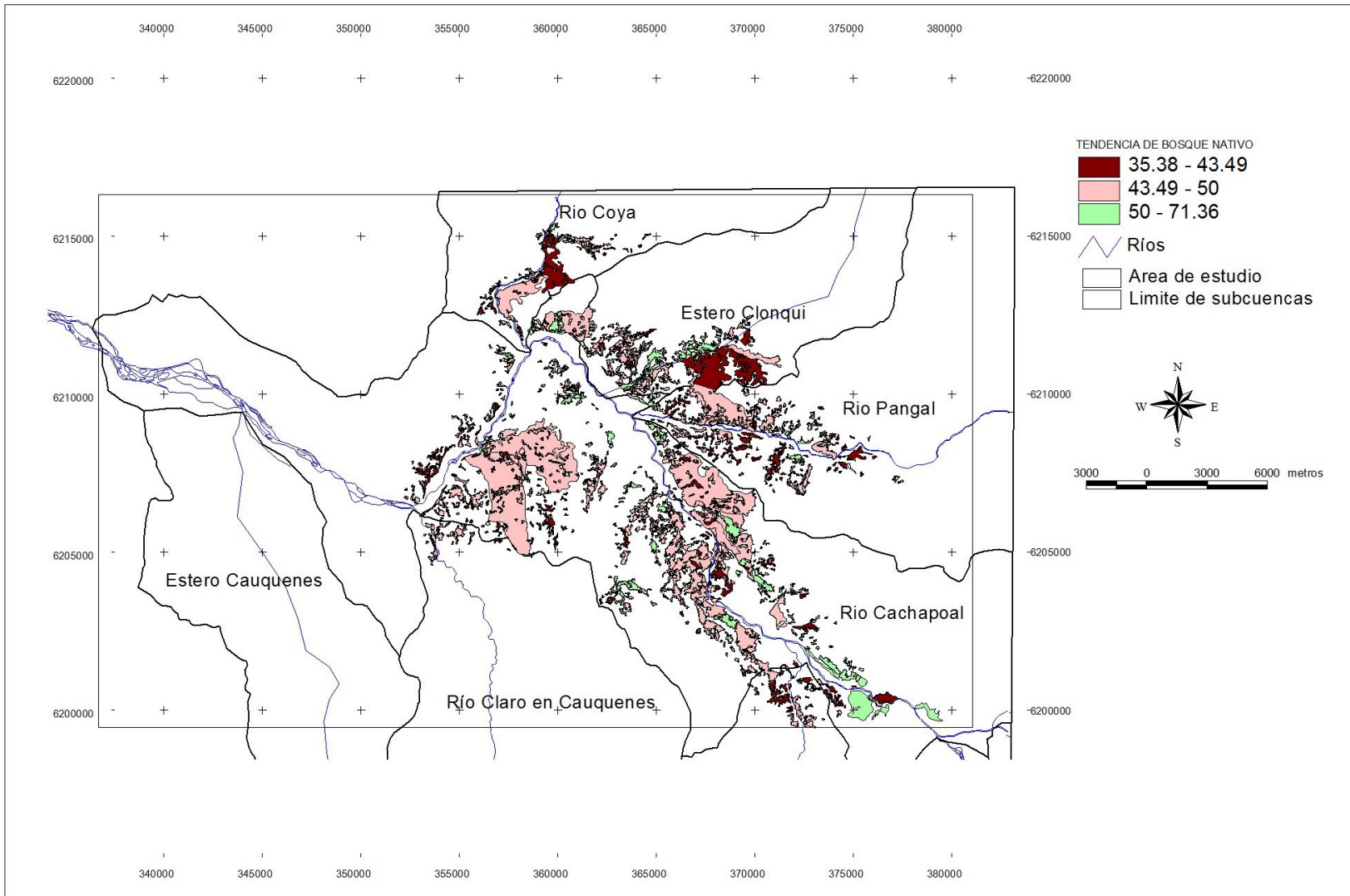


Figura N° 71. Tendencia del Bosque Nativo de las áreas relevantes.

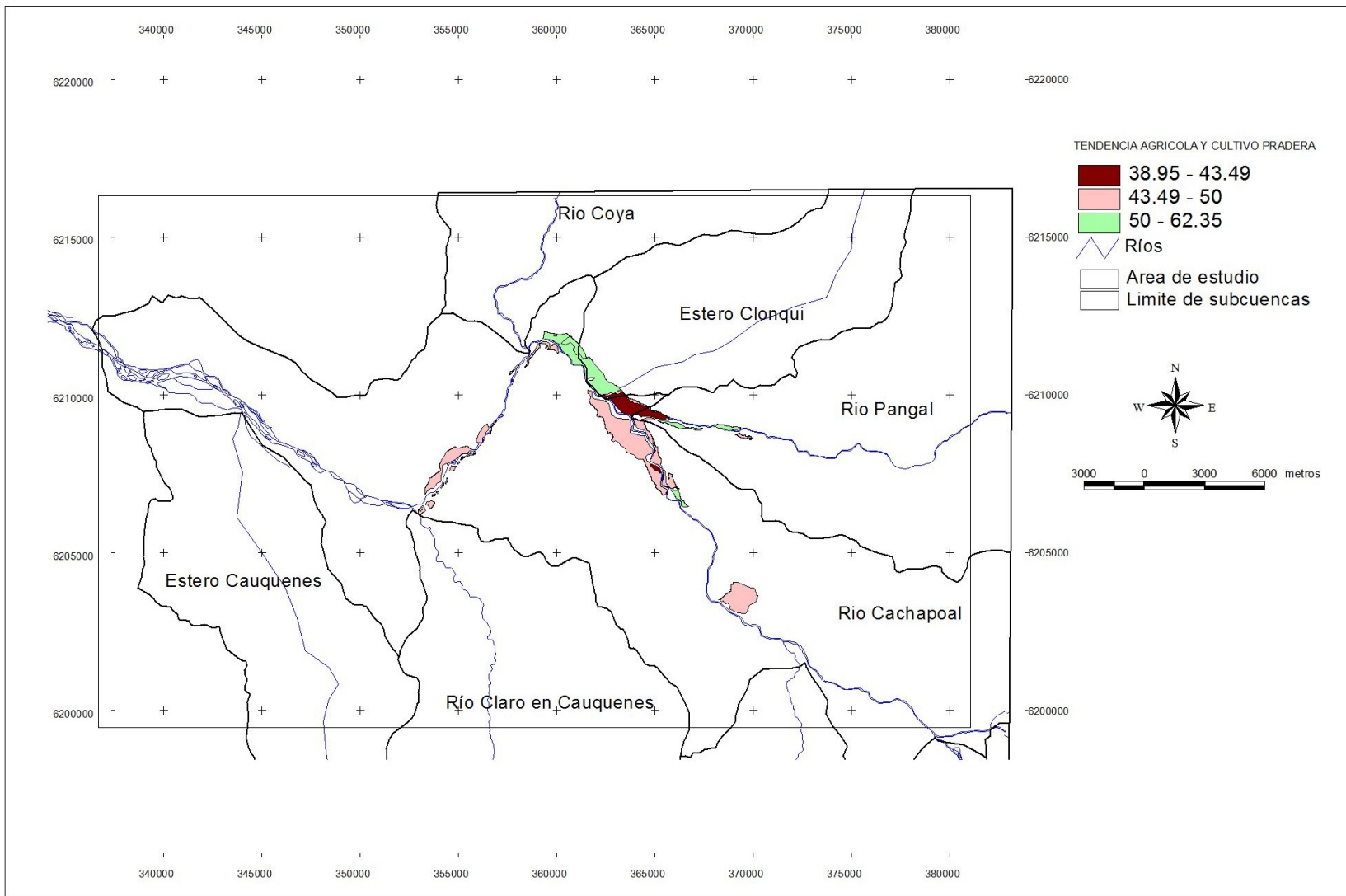


Figura N° 72. Tendencia de Zonas agrícolas y Cultivos –pradera.

Humedales

La misma situación anterior, correspondiente a la tendencia respecto del promedio de la serie, para el caso de los humedales se presenta en la Tabla N° 32 y en la Figura N°73.

Tabla N° 32. Tendencia de humedales periodo 2000 - 2018

ID	Clase de tendencia %	Descripción	Superficie (ha)	Total de UCH
1	33 -44.02	Decremento alto	25.94	20
2	44.02 - 50	Decremento medio-bajo	227.37	33
3	50 - 59.15	Aumento medio-bajo	27.15	17
4	59.15 - 72.4	Aumento alto.	17.17	17
	Total		297.63	87

Del total de humedales (Unidades Cartográficas Homogéneas (UCH) existentes) el 60,9% tiene una tendencia, en el periodo estudiado, al decremento del vigor vegetacional.

Cambios de vigor en sitios relevantes del año 2018 respecto del promedio de la serie.

Este indicador entrega la situación vegetacional (SAVI) de las unidades críticas en estudio en el año 2018 comparada con el promedio de la serie. Los valores menores de 100 indican decremento del estado vegetacional en el año 2018 y los superiores indican aumento del estado vegetacional.

Las Tablas N°33 y 34 y las Figuras N°74 y 75 indican la cuantificación de las superficies de cambios y espacialización de las clases para el caso de los humedales y de las zonas relevantes relacionadas con el loro trichahue-áreas y agrícolas respectivamente.

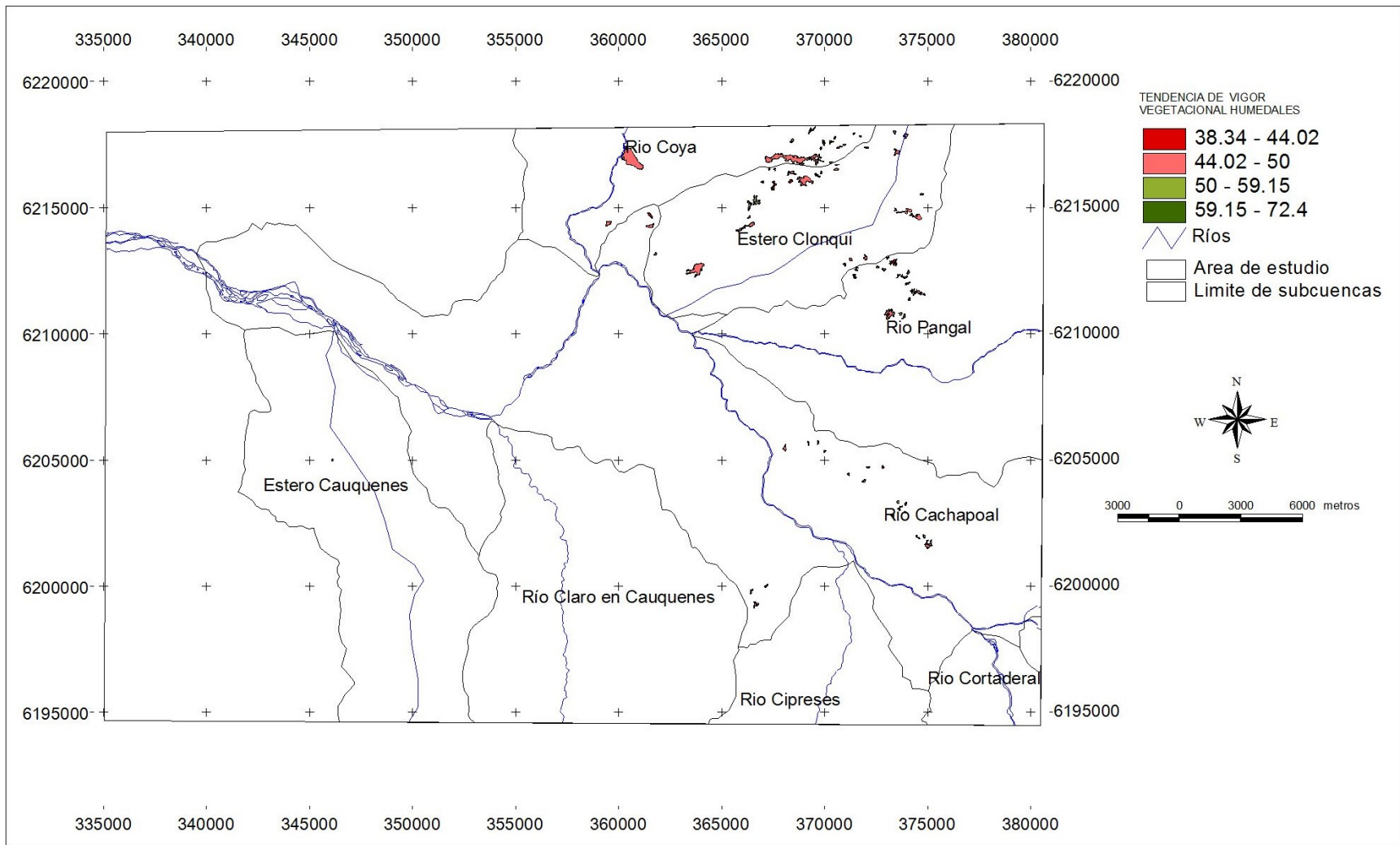


Figura N° 73. Tendencia del estado de vigor de los humedales.

Tabla N° 33. Cambios del estado vegetacional del año 2018 respecto del promedio de la serie. Humedales.

ID	Clase de tendencia %	Descripción	Superficie (ha)	Total de UCH
1	98.04 - 100	Decremento	2.14	3
2	100 - 102.99	Aumento bajo	108.82	46
3	102.99 - 105.01	Aumento medio	128.21	33
4	105.01 - 108.73	Aumento alto	58.46	5
	Total		297.63	87

El estado de vigor de los humedales en el año 2018 respecto del promedio de la serie indica que existe un aumento de vigor vegetacional en el 95,5% de ellos, con una superficie equivalente a 295,5 hectáreas, es decir la mayoría de los humedales en el año 2018 mejoraron su estado respecto del promedio obtenido para la serie, lo que contrasta con la tendencia de la serie que indica que el 63,2% disminuyó su estado de vigor vegetacional.

Tabla N° 34. Cambios del estado vegetacional del año 2018 respecto del promedio de la serie. Áreas relevantes (Tricahue).

ID	Clase de tendencia %	Descripción	Superficie (ha)	Total de UCH
1	87.82 - 100	Decremento	69.5	23
2	100 - 103.03	Aumento bajo	1864.7	232
3	100.03 - 104.76	Aumento medio	5782.8	597
4	104.76 - 116.02	Aumento alto	807.04	274
	Total		8524.04	1126

En el caso de las formaciones relevantes vinculadas a los hábitat del loro tricahue y fauna relevante, el comportamiento en el año 2018 también fue al aumento en un 97,9% de las UCH.

En general se tiene que todas las formaciones vegetacionales cambiaron el 2018 en forma positiva, mientras que la tendencia de la serie indica lo contrario, por lo siguiente el año 2018 puede representar un punto de quiebre de la tendencia negativa que resulta del análisis de la serie completa mediante el algoritmo de tendencia de vigor relativo aplicado.

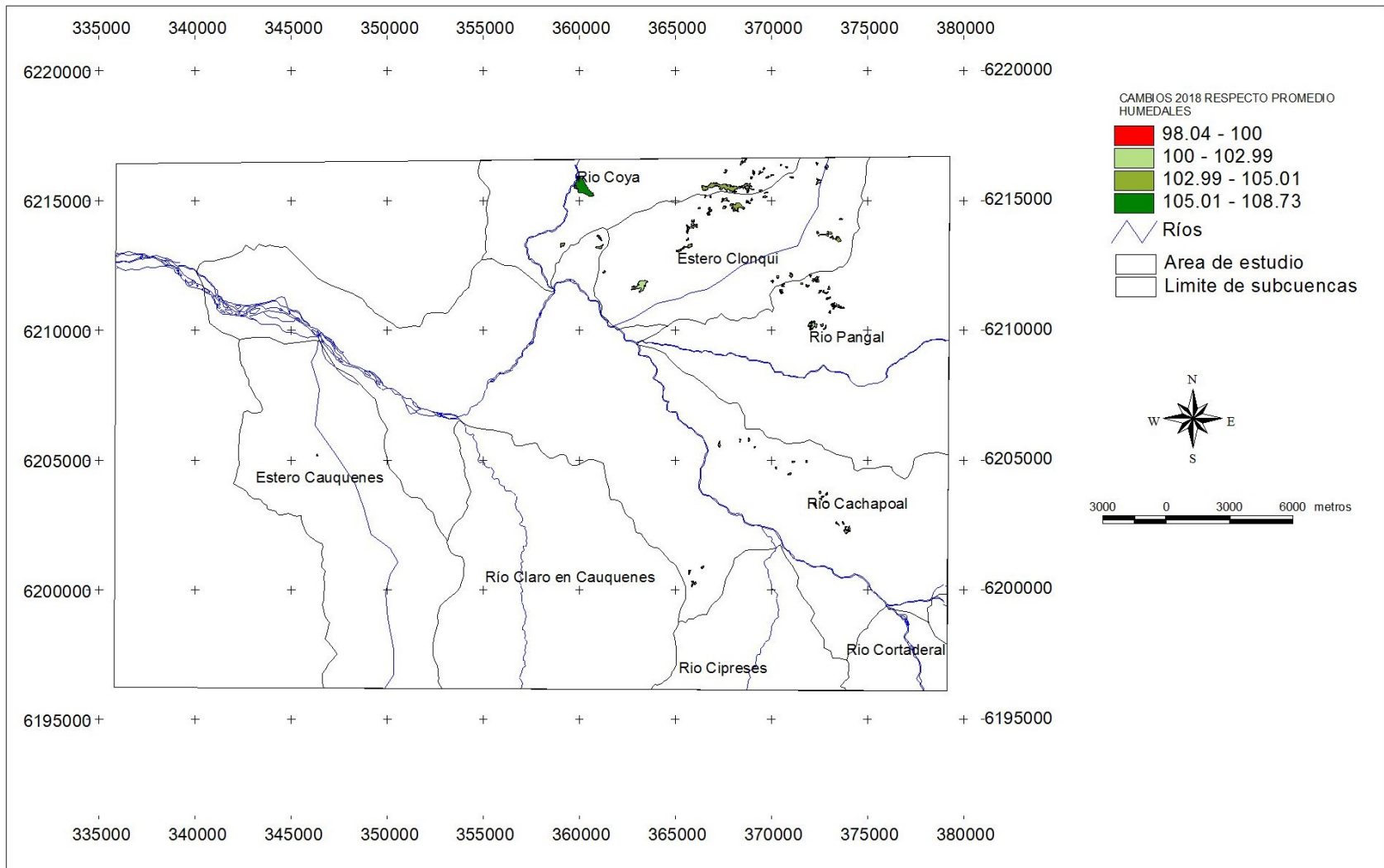


Figura N°74. Estado del vigor de los humedales en el año 2018 respecto promedio de la serie.

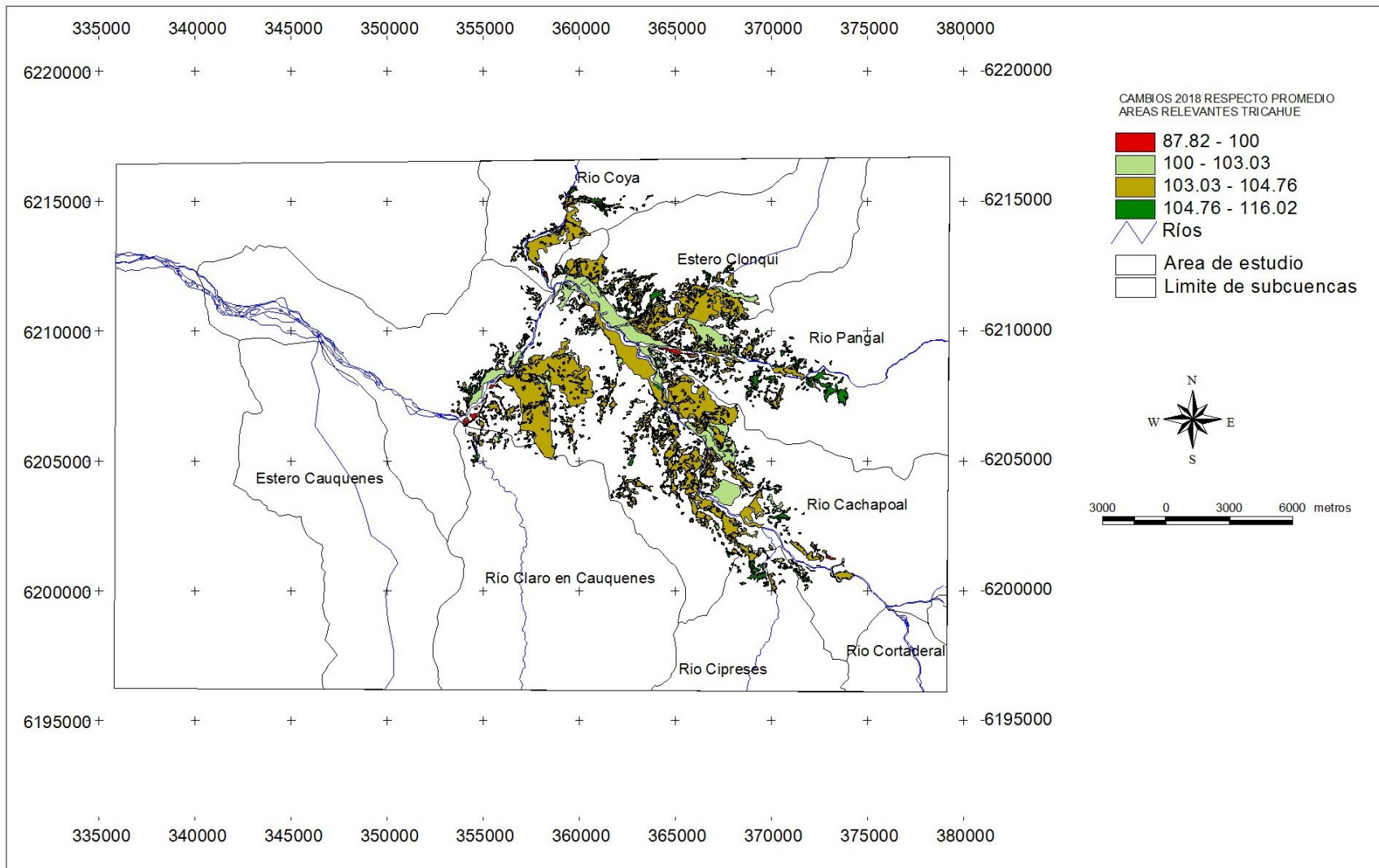


Figura N°75. Estado del vigor de las unidades vegetacionales en el año 2018 respecto promedio de la serie.

8. LEVANTAMIENTO DE DATOS DE TERRENO.

El levantamiento de datos en terreno se realizaron el 25 de abril, el 9 y 17 de mayo, cubriendo tres rutas (Figura N°76), con los siguientes objetivos:

- a) Cubrir las obras de las Centrales hidroeléctricas de paso ubicadas en los ríos Pangal y Cachapoal.
- b) Describir las obras de captación de agua asociadas a riego y a las centrales.
- c) Identificar la red de canalización de agua relacionada con las Centrales y con riego.
- d) Describir las formaciones vegetacionales y sitios agrícolas de riego entorno del valle Cachapoal.
- e) Capturar registros de imágenes y fotográficos de puntos relevantes mediante dron y cámara terrestre.

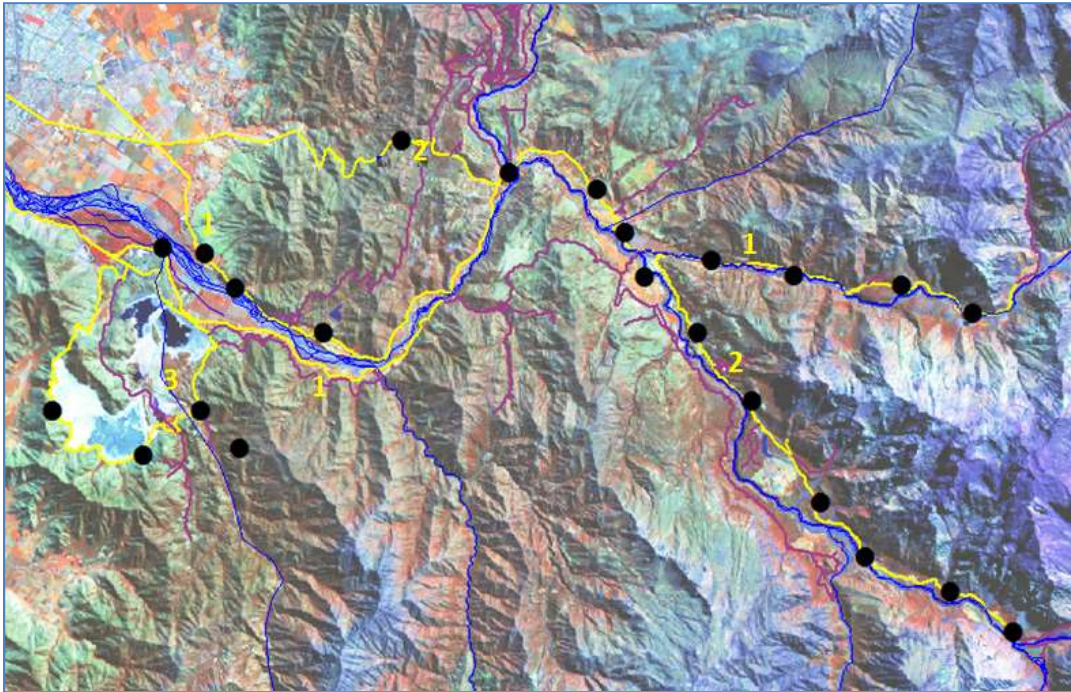


Figura N°76. En amarillo rutas de terreno. En negro puntos de descripción de las formaciones vegetacionales y sitios relevantes.

1. Corresponde a la ruta desde Sauzalito hasta la bocatoma en río Pangal y ribera sur del río Cachapoal.
2. Ruta que corresponde a camino del Cobre hasta bocatoma de Central Chacayes
3. Ruta en subcuenca del estero Cauquenes, incluyendo bocatoma en Estero León.

En cada punto se describió la composición vegetacional, la cobertura y el grado de intervención de los sitios (georreferenciados en coordenadas WGS84 UTM 19S) y se realizaron vuelos con DRON para efectos de apoyar la interpretación de la cartografía de cobertura y uso de la tierra que se elaboró a partir de la base de CONAF (2013), la cartografía de obras e intervención y la cartografía de canalización, bocatomas y centrales e identificación de zonas relevantes como hábitat de fauna, especialmente de loro trichahue y el puma.

Se suma a lo anterior, los datos de terreno levantados por el estudio SAG-UNICIT . (Castro et al, 2002) para las veranadas alto andinas de las subcuencas las Leñas y Cortaderal del área de estudio.

8.1 Ruta 1. Machalí-Sauzalito-Sauzal-Poblado de Coya-Central Pangal-Bocatoma Pangal- Sector bajo ribera sur río Cachapoal.

Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	348270 E	6210039 N
<p>Descripción unidad vegetacional: Vegetación riparia, ribera tranque Central Sauzalito. Especies principales: Sauce, espino, aromos, romerillo, zarzamora, rosa mosqueta. Zona de alta intervención.</p>		
<p>Fotografías:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		

Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	349816 E	6208620 N

Descripción unidad vegetacional:

Bosque nativo esclerófilo. Ladera sur río Cachapoal, unidad recuperada de la intervención por la Central, cobertura semidensa, especies principales quillay, boldo, peumo, maitén, quila, chagual. Intervención alta.

Fotografías




Central Sauzal





Canalización de devolución de Central Sauzal







Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	350093 E	6207602 N
<p>Descripción unidad vegetacional: Bosque esclerófilo renoval semidenso, ubicación ladera norte en el sector ubicado frente a mineraducto. Especies principales : Litre, espino, peumo, quillay puya y quisco (<i>Echinopsis chilensis</i>). <i>Intervención media. Intervención baja</i></p>		
<p>Fotografías</p> 		

Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	351722 E	6207602 N
<p>Descripción unidad vegetacional: Rotación cultivo pradera. <i>Intervención alta</i></p>		
<p>Fotografías</p> 		

Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	354502 E	6207751 N
Descripción unidad vegetacional: Agrícola, plantación de vid. Intervención alta.		
<p>Fotografías</p> 		



Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	359496 E	6213858 N
<p>Descripción unidad vegetacional: (derecha caída de Central Coya). Matorral arborescente abierto, especies: litre, tevo, quillay, boldo. Intervención media</p>		
<p>Fotografías</p> 		

Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	361507 E	6213512 N
Descripción unidad vegetacional: Plantación frutal adulto (Nogal). Intervención alta		
<p>Fotografías</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		

Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	366456 E	6210557 N
Descripción unidad vegetacional: Bosque Nativo Esclerófilo Semidenso Especies: Peumo, quillay, litre, maqui, kageneckia, bollen. Intervención no aparente.		
<p>Fotografías</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		

Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	369609E	6210407N
<p>Descripción unidad vegetacional: Bosque Nativo Esclerófilo Renoval Denso. Especies: Quillay, Peumo, Boldo, retamilla, baccharis, rom us. Intervención no aparente.</p>		
<p>Fotografías</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		

Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	375099E	6210437N
<p>Descripción unidad vegetacional: Praderas, Estepa andina, luego en la parte superior unidad de Roca. Especies: Acaena, festucas.</p>		
<p>Fotografías</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		

Simbología	Coordenadas de referencia UTM	
	376788E	6208437N
Descripción unidad vegetacional: Pradera anual mejorada. Intervención media		
Fotografías <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>		

Imágenes DRON

La zona de la bocatoma de agua de la Central Pangal (coordenadas: 375448, 6208665) fue apoyada con imágenes tomadas con DRON (Figura N°77).

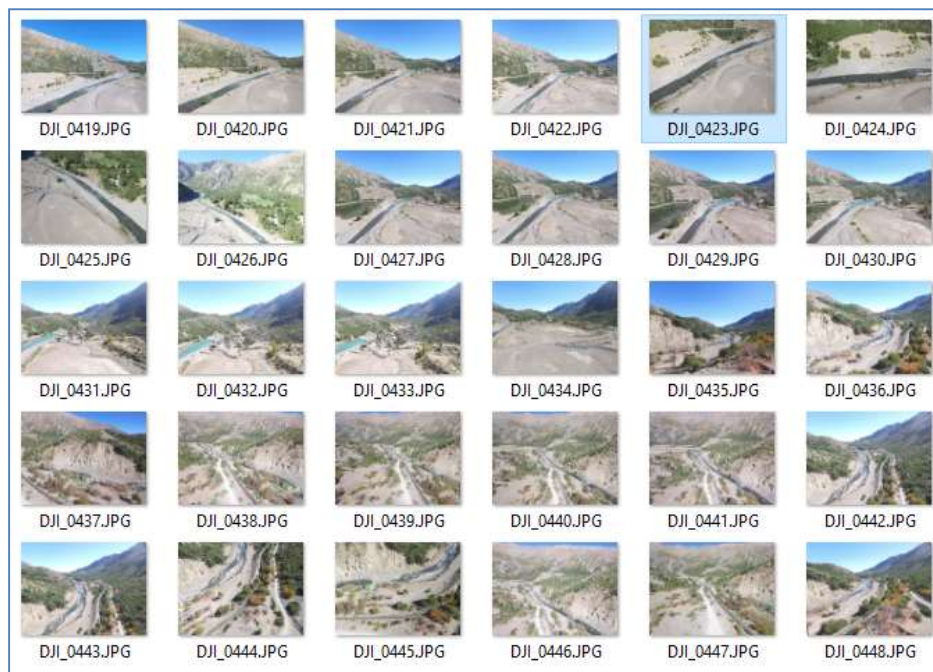


Figura N°77. Imágenes DRON. Sector Bocatoma Central Pangal

8.2 Ruta 2. Camino del Cobre hasta Bocatoma de Central Chacayes

Sector Unión río Pangal con río Cachapoal.



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°12'22,66" S	70°30'23,19" O	838 metros
Descripción unidad vegetacional: Plantación de nogales de 6 – 8 años.			
Fotografías			
▲	34°14'10,47" S	70°28'40,62" O	868 metros
Descripción unidad vegetacional:			
Vegetación riparia, herbáceas, <i>Baccharis sp.</i> , matorral espinoso, <i>Acacia caven</i> (espino), aramo, álamos.			
▲	34°14'21,43" S	70°28'17,25" O	947 metros
Descripción unidad vegetacional:			
Bosque esclerófilo semidenso; Litre (<i>Lithraea caustica</i>), Peumo (<i>Cryptocarya</i>			

alba, Quillay (*Quillaja saponaria*), Maitén (*Maytenus boaria*) y Boldo (*Peumus boldus*). Además se observa Olmo en la formación vegetal (familia *Ulmaceae*) y también *Acacia caven* (espino) en los bordes. En este sector se avistaron especies como el chincol y chercán

Fotografías



34°14'45,58" S

70°28'05,29" O

950 metros

Descripción unidad vegetacional: Rotación cultivo –pradera con pasto y en descanso.

Fotografías



Sector ubicado frente a Central Los Chacayes



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°16'50,81" S	70°27'05,17" O	1063 metros
Descripción unidad vegetacional: Bosque nativo esclerófilo semidenso. Especies quillay, peumo, boldo, litre, colliguay			
Fotografías			
▲	34°16'40,77" S	70°27'07,06" O	998 metros
Descripción unidad vegetacional: Matorral muy abierto con suculentas, especies: colliguay, chagual, retamilla, baccharis. Ubicación en ladera norte del río Cachapoal, frente a Central Chachayes.			
Fotografías			

Sector embalse de agua de canalización (a 10 km de la unión del río Pangal, aguas arriba del río Cachapoal.



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°17'31,53" S	70° 26'09,23" O	1090 metros
Descripción unidad vegetacional: Matorral abierto, especies: <i>Baccharis sp</i> , ephedra, espino. Terraza aluvial.			
Fotografías			
▲	34°17'26,33" S	70°26'01,39" O	1105 metros
Descripción unidad vegetacional: Bosque nativo esclerófilo denso. Especies: litre, quillay, kageneckia, maqui, peumo.			
▲	34°18'02,06" S	70°25'36,9" O	1127 metros
Descripción unidad vegetacional: Bosque nativo abierto: quillay, maitén, litre, peumo, baccharis.			

Fotografía:



34°18'00,28" S

70°25'21,98" O

1149 metros

Descripción unidad vegetacional:

Bosque nativo denso, especies: quillay, peumo, litre, maqui.

Fotografía:



Sector de acarreo de estero a 11 km de la unión del río Pangal.



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°18'52,55" S	70°24'54,93" O	1129 metros
Descripción: Acarreo de material por estero hacia río Cachapoal. Construcción de Badén.			
Fotografías:			
			

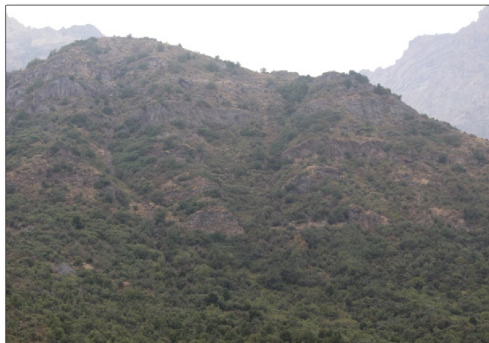
Sector desembocadura de río Cipreses a río Cachapoal.



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°20'28,49" S	70°22'47,53" O	1142 metros
Descripción unidad vegetacional: Bosque nativo esclerófilo denso, ladera sur parte baja. Especies: quillay, peumo, litre, maqui, romerillo, huamil. Este sitio se observaron loro trichahue dos bandadas de al menos 15 ejemplares cada una,			

debiendo encontrarse, dada la proximidad al río y barrancos además de alimentación, zonas de loreras.

Fotografías:



34°20'02,44" S

70°23'24,21" O

1148 metros

Descripción unidad vegetacional: Bosque esclerófilo denso, similar al anterior

Fotografías:



34°20'17,56" S



70°23'44,46" O

1084 metros

Descripción unidad vegetacional: Matorral abierto, especies: litre, romerillo, huanil

Fotografías:



▲	34°20'45,48" S	70°23'00,84" O	1101 metros
Descripción unidad vegetacional: Matorral muy abierto- suculentas, especies litre, chagual, colliguay, quisco.			
Fotografías:			
			

Sector toma de agua de Central Chacayes



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°20'21,29" S	70°23'19,08" O	1091 metros
▲	34°20'31,24" S	70°23'07,86" O	1100 metros
Descripción unidad vegetacional: Ambas unidades corresponde a matorral muy abierto en terraza aluvial intervenida, donde la principal especies es <i>Baccharis</i>			

linearis y *Proustia cuneifolia*.

Fotografías:



Imágenes DRON

Las imágenes fueron tomadas desde la zona de la bocatoma de agua de la Central Chacayes hasta el sector agrícola en la unión del río Pangal con el río Cachapoal (Figura N°78).

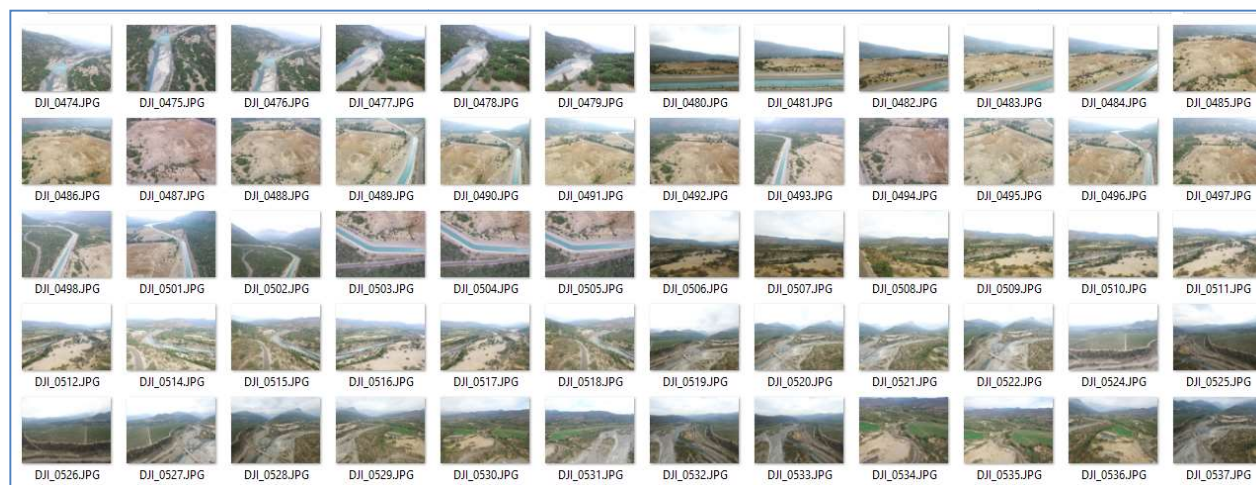


Figura N°78. Imágenes aéreas (DRON) de la ruta 2.

8.3 Ruta 3. Subcuenca del Estero Cauquenes, Bocatoma en Estero León.

Sector Laguna Cauquenes



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°13'13,05" S	70°43'34,08" O	647 metros
Descripción unidad vegetacional: Agrícola (plantación de frutales), talud de laguna Cauquenes.			
Fotografías:			
▲	34°13'10,31" S	70°42'07,34" O	577 metros
Descripción unidad vegetacional: Plantación exótica adulta de eucalipto			
Fotografía:			



34°14'03,49"S

70°40'22,20" O

652 metros







Descripción unidad vegetacional: Matorral abierto con suculentas: Especies, Colliguay, avena, puya, eulychnia (quisco), kageneckia, litre.

Fotografías:







Sector ladera oeste, lado este del inicio de Laguna Cauquenes.






Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°16'56,07" S	70°39'23,83" O	762 metros
	34°16'35,52" S	70°39'26,35" O	757 metros
Descripción unidad vegetacional: Bosque nativo renoval esclerófilo, Peumo, quillay, litre, partes bajas intervenidas especie, romerillo.			
Fotografías:			
			
			
			
			
▲	34°17'20,75" S	70°39'15,46" O	735 metros
Descripción unidad vegetacional: Bosque nativo renoval esclerófilo semidenso, quillay, peumo, boldo, maqui.			
Fotografías:			
			
			

Sector Casas Antiguas de hacienda Cauquenes (Campamento Parrones).



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°16'42,70" S	70°40'57,53" O	716 metros
Descripción unidad vegetacional: Plantaciones recientes nativas (quillay, litre, maitén, peumo, boldo)			
Fotografías:			
			
▲	34°18'09,37" S	70°41'54,21" O	790 metros
Descripción unidad vegetacional: <i>Reforestación avellanita (Avellanita bustillosii).</i>			
Fotografía:			
		 <p style="font-size: small;">Avellanita (Avellanita bustillosii) - fruto 2016 Lucía Abello</p>	

▲	36°17'10,01" S	70°39'59,55" O	697 metros
<p>Descripción unidad vegetacional: Plantación exótica adulta (<i>Pinus radiata</i>).</p> <p>Fotografía:</p> <div style="text-align: center;">  </div>			
▲	34°17'04,38" S	70°40'27,41" O	690 metros
<p>Descripción unidad vegetacional: Humedal, juncos y totoras.</p> <p>Fotografías:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p>En este sector también denominado “foco de interés ecológico” se pudo evidenciar una zona de restauración donde vegetación característica de humedal como juncos y totorales han colonizado el borde de una laguna de relaves antigua, la que actualmente se encuentra con algunas especies de avifauna como tagüitas y patos silvestres. En la visita se pudieron avistar al menos 60 ejemplares de patos y aproximadamente 10 tagüitas. Adicionalmente se avistaron varias parejas de caiquenes.</p>			

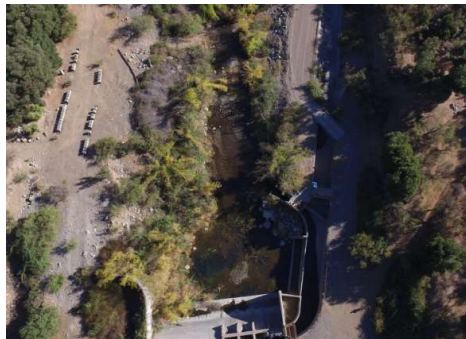


Sector de bocatoma, estero Los Leones



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°17'46,95" S	70°39'09,88" O	740 metros
<p>Descripción unidad vegetacional: Bosque nativo esclerófilo semidenso, especies Litre, Peumo, Maqui, Quillay. Ladera sur, bocatoma de agua estero Los Leones.</p> <p>En este sitio, se evidenciaron un número importante de cantos de aves donde destaca zorzales, golondrinas y tórtolas.</p>			

Fotografías:



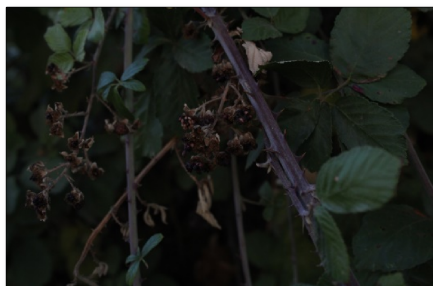
34°17'37,38" S

70°39'51,64" O

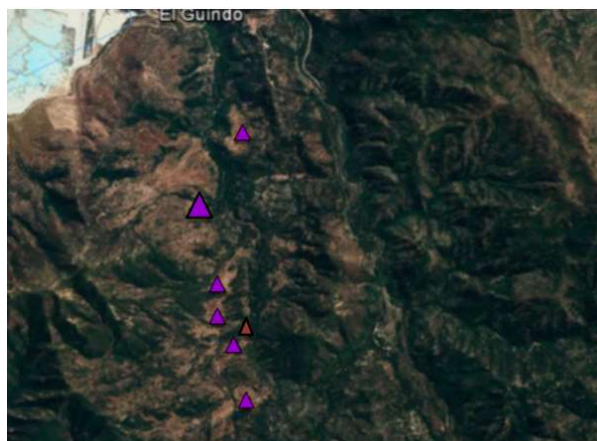
716 metros






Descripción unidad vegetacional: Vegetación ripariana, especies sauce amargo, zarzamora, aromo

Fotografías:



Sector alto del estero sin nombre (frente al sector el Guindo)



Simbología	Coordenadas de referencia		Elevación
▲	34°18'13,15" S	70°39'53,15" O	751 metros
<p>Descripción unidad vegetacional: Plantaciones nativas recientes: Especies: Quillay (<i>Quillaja saponaria</i>), Peumo (<i>Cryptocarya alba</i>) boldo (<i>Peumus boldus</i>), maitén (<i>Maitenus boaria</i>).</p> <p>Fotografías:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>			
▲	34°18'23,50" S	70°39'46,11" O	755 metros
<p>Descripción unidad vegetacional: Bosque nativo adulto denso. Lingue (<i>Persea lingue</i>), culén (<i>Psoralea glandulosa</i>), Arrayan (<i>Luma apiculata</i>), quillay (<i>Quillaja saponaria</i>), maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>)</p> <p>Fotografías:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div>			

Imágenes DRON

Las imágenes fueron tomadas en puntos de observación, que se indican a continuación:

Observación 1. En sector de ingreso a hacienda Cauquenes, coordenadas: 346820, 6.208.657 (Figura N°79).

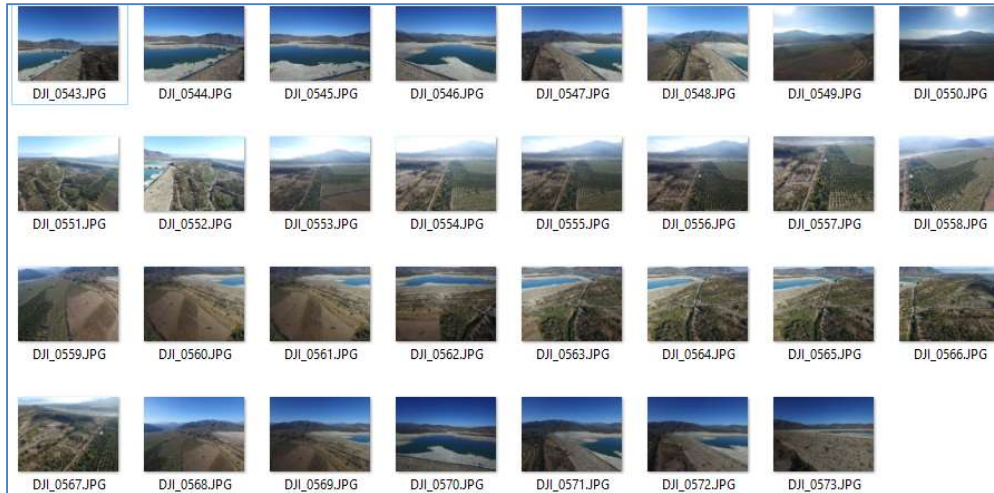


Figura N°79. Imágenes aéreas punto 1 de observación. Ruta 3.

Observación 2. En sector de bocatoma de agua del estero León. Coordenadas: 347993, 6203607 (Figura N°80).

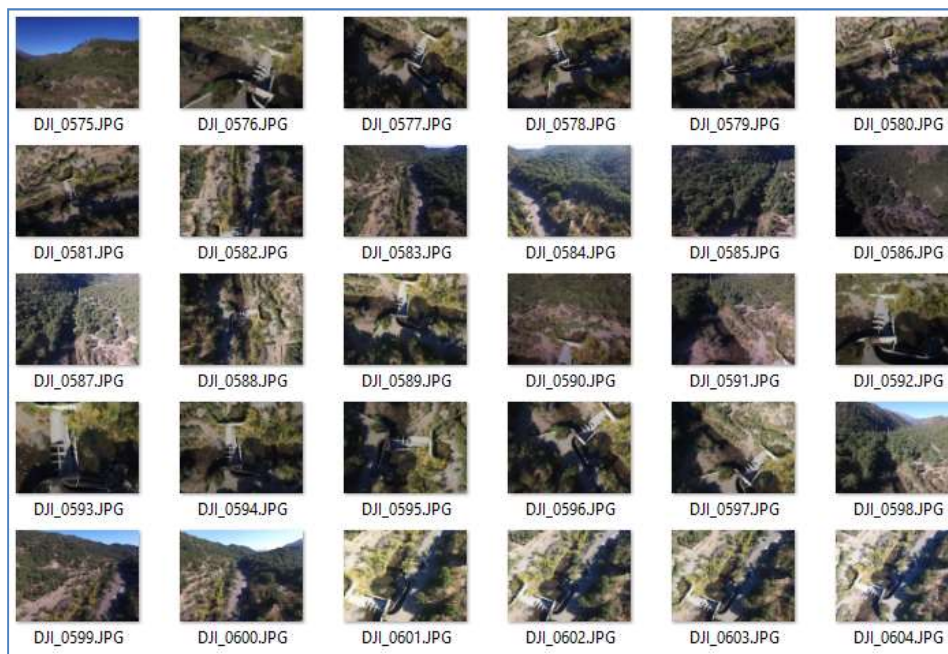


Figura N°80. Imágenes aéreas de sector bocatoma del estero León.

Observación 3. En sector en unión de estero León a laguna Cauquenes. Coordenadas:347071, 6205128 (Figura N°81).

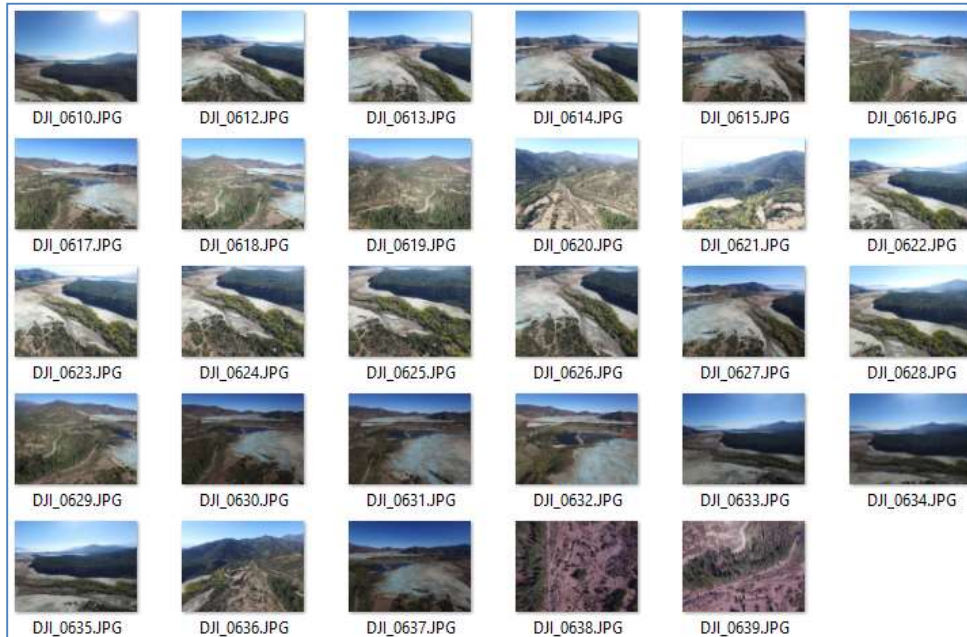


Figura N°81. Imágenes aéreas del sector de unión estero león a laguna.

Observación 4. Sector de plantaciones recientes (nativas) en serranía del predio. Coordenadas: 347234, 6200424 (Figura N°82).

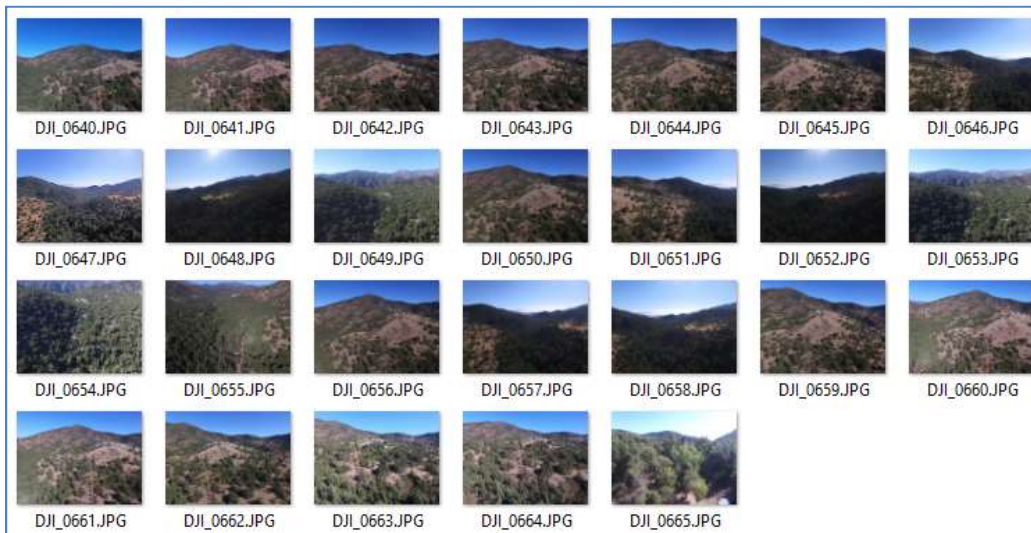


Figura N°82. Imágenes aéreas del sector de plantaciones nativas recientes en serranía del sector centrosur-este del predio.

Observación 5. En sector del humedal de laguna Cauquenes, coordenadas: 345939, 6204761 (Figura N°83).

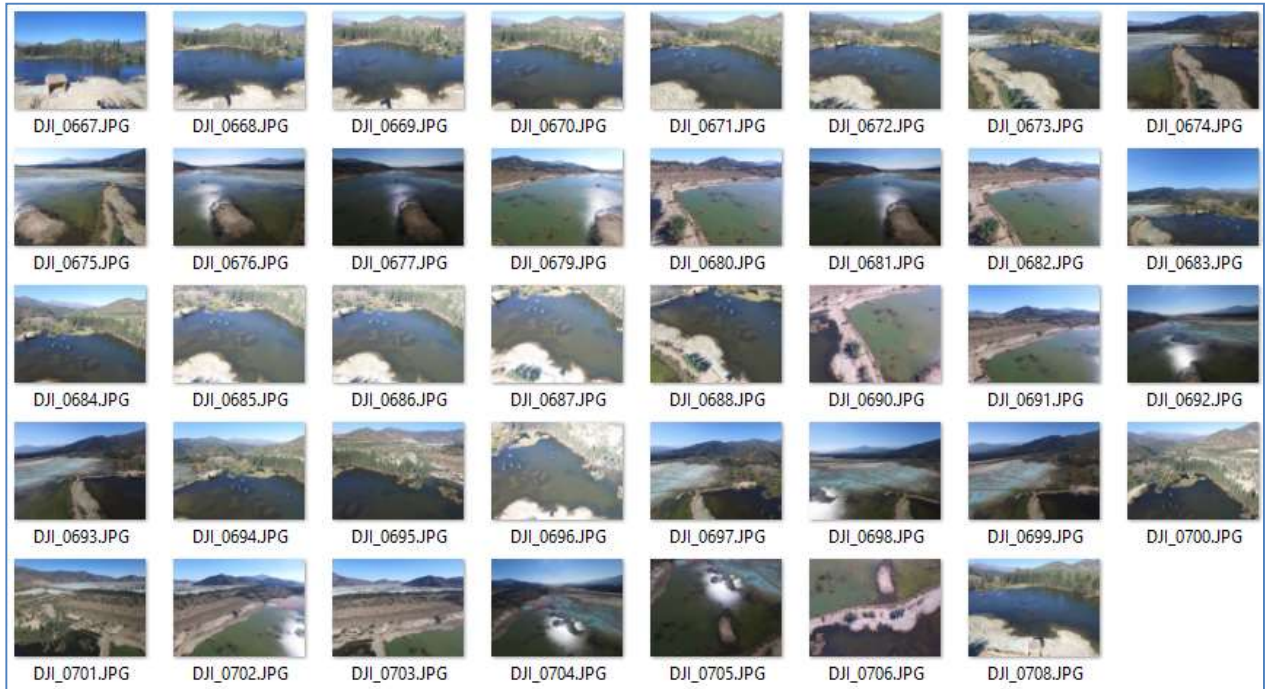


Figura N°83. Imágenes aéreas del humedal en laguna Cauquenes.

Observación 6. En sector de plantaciones nativas recientes sector sur oeste de la laguna, coordenadas: 343960, 6208049 (Figura N°84).

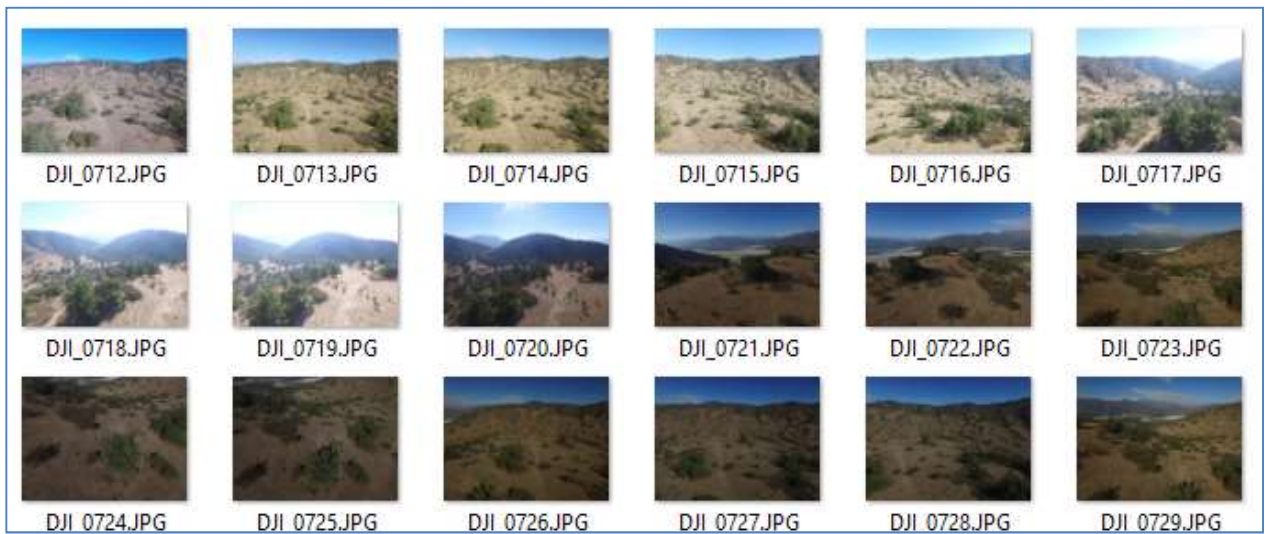


Figura N°84. Imágenes aéreas sector 6. Ruta 3.

8.4 Fichas de Terreno de Veranadas (SAG-UNICIT, 2002).

UCH 60013		COMPONENTES DE LA UNIDAD (UCH) %	
Cuenca	Río Cachapoal	Rocas	15
Sub cuenca	Río Las Leñas	Árboles	0
Veranada	Laguna El Yeso	Arbustos	0
Fecha	19/01/2002	Pradera	85
		Otras	0

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA UNIDAD MUESTREADA

Nº Sub U	Form Veg	%	Geo morfo.	Pend.	Exp. Sol	Exp. Vto.	Prof. Suelo	Text Suelo	Pedreg	Inund.	Coord UTM
1	CMB	10	4	42	NW	W	10	4	SI	NO	391572 6190098
2	CP	45	4	25	N	W	10	4	SI	NO	391790 6190458
3	PA	45	4	50	S	W	20	4	SI	NO	391983 6191197

TABLA DE INDICADOR VISUAL DE PRODUCTIVIDAD

Nº Sub U	Altura	Cob.	Diam Champa	Huecos cent. %	L. Tallo floral	Nº tallos florales	Spp asociadas
1	50	20	15	0	50	13	
2	25	30	50	0	70	9	

UCH 6001301
Veranada Laguna El Yeso

Sub U	1	m. s. n. m.	2240
Especies	Código	Número	Cobertura
<i>Margyricarpus cetosus</i>	mace	10	33
<i>Festuca acanthophylla</i>	feac	4	13
<i>Tropaeolum sp</i>	trsp	4	13
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	Chop	3	10
<i>Alstroemeria sp</i>	alsp	1	3
Total Cobertura Vegetal		22	73
Musgos y Liq.		0	0
Suelo Desnudo		1	3
Piedras		7	23
Rocas		0	0
Mantillo		0	0
Fecas		0	0
Otras		0	0
Total otras coberturas		8	27
Total		30	100

Observación: Cobertura en %

UCH 6001302
Veranada Laguna El Yeso

Sub U	2	m.s.n.m	2240
Especies	Código	Número	Cobertura
<i>Festuca acanthophylla</i>	feac	7	26
<i>Poa sp</i>	posp	3	11
<i>Ephedra andina</i>	Epan	2	7
<i>Bromus setifolius</i>	brse	1	4
Otros		2	7
Total Cobertura Vegetal		15	56
Musgos y Liq.		0	0
Suelo Desnudo		8	30
Piedras		0	0
Rocas		3	11
Mantillo		0	0
Fecas		1	4
Otras		0	0
Total otras coberturas		12	44
Total		27	100

Observación: Cobertura en %

UCH 6001303
Veranada Laguna El Yeso

Sub U	3	m.s.n.m	2234
Especies	Código	Numero	Cobertura
<i>Hypochoeris radicata</i>	hyra	3	10
<i>Poa sp</i>	posp	4	13
<i>Laretia acaulis</i>	laac	2	7
<i>Pernettya sp</i>	Pesp	2	7
<i>Mullinum spinosum</i>	Musp	2	7
Otros		3	10
Total Cobertura Vegetal		16	53
Musgos y Liq.		0	0
Suelo Desnudo		9	30
Piedras		4	13
Rocas		0	0
Mantillo		0	0
Fecas		1	3
Otras		0	0
Total otras coberturas		14	47
Total		30	100

Observación: Cobertura en %



Foto 1. Detalle de la Subunidad 1.

Nombre: Cajón río Las Leñas; sector Laguna El Yeso (Foto 1.)

Ubicación: 391572 – 6190098 UTM. Sexta región.

Código cartográfico: UCH 060013; Subunidad 1.

Descripción: La formación corresponde a un coironal matorral ubicado en ladera cóncava con pendiente de 30% y exposición NW. Altitud 2.240m.s.n.m. Textura de suelo franco-arcilloso con profundidad de 10cm. y pedregosidad abundante. Las especies principales son *Margyricarpus cetosus* (33,3%), *Festuca acanthophylla* (13,3%), *Trisetum sp* (13,3%) y *Chuquiraga oppositifolia* (10%). Cobertura vegetal total de 73,3%. La productividad de la pradera es de 355Kg. ms/ha/año.



Foto 2 Vista general del cajón río Las Leñas sector Laguna El Yeso.



Foto 3. Detalle de la Subunidad 3.

Nombre: Cajón río Las Leñas; sector Laguna El Yeso; (Fotos 2 y 3).

Ubicación: 391983 – 6191197 UTM. Sexta región.

Código cartográfico: UCH 060013; Subunidad 3.

Descripción: La formación corresponde a una pradera de altura ubicado en ladera cóncava con pendiente de 50% y exposición S. Altitud 2.234m.s.n.m. Textura de suelo franco-arcilloso con profundidad de 20cm. Las especies principales son *Poa sp* (13,3%), *Hypochoeris radicata* (10%), *Laretia acaulis* (6,7%). Cobertura vegetal total de 53,3%. La productividad de la pradera es de 310Kg.ms/ha/año.

COMPONENTES DE LA UNIDAD (UCH) %

UCH 60017
Cuenca Río Cachapoal
Sub cuenca Río Cachapoal
Veranada Carrizalillo
Fecha 15/01/2002

Rocas	5
Árboles	5
Arbustos	15
Pradera	75
Otras	0

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA UNIDAD MUESTREADA

Nº Sub U	Form Veg	%	Geo morfo.	Pend.	Exp. Sol	Exp. Vto.	Prof. Suelo	Text Suelo	Pedreg	Inund.	Coord UTM
1	PA	60	6	1	W	W	5	12	SI	NO	376814 6197314
2	VJ	40	6	1	W	W	25	4	5	SI	375820 6198006

UCH 6001701
Veranada Carrizalillo

Sub U	1	m.s.n.m	1174
Especies	Código	Número	Cobertura
<i>Erodium cicutarium</i>	erci	0	0
<i>Vulpia sp</i>	vusp	3	15
<i>Medicago sativa</i>	mesa	2	10
<i>Baccharis rosmanirifolia</i>	Baro	1	5
Total Cobertura Vegetal		6	30
Musgos y Liq.		0	0
Suelo Desnudo		2	10
Piedras		0	0
Rocas		0	0
Mantillo		6	30
Fecas		1	5
Otras		0	0
Total otras coberturas		9	45
Total		20	100

Observación: Cobertura en %

UCH 6001702
Veranada Carrizalillo

Sub U	2	m.s.n.m	1174
Especies	Código	Número	Cobertura
<i>Cyperus eragrostis</i>	cyer	38	75
<i>Baccharis rosmanirifolia</i>	Baro	7	15
Total Cobertura Vegetal		45	90
Musgos y Liq.		0	0
Suelo Desnudo		0	0
Piedras		0	0
Rocas		0	0
Mantillo		3	5
Fecas		2	5
Otras		0	0
Total otras coberturas		5	10
Total		50	100

Observación: Cobertura en %



Foto 4. Vista general del cajón río Cachapoal.

Nombre: Cajón río Cachapoal; veranada Carrizalillo (Foto 4).

Ubicación: 376814 – 6197314 UTM. Sexta región.

Código cartográfico: UCH 060017; Subunidad 2.

Descripción: La formación corresponde a una vega junciforme ubicada en llano aluvial con pendiente de 0 a 2%. Altitud 1.174m.s.n.m. Textura de suelo franco-arenoso con profundidad de 30cm. y pedregosidad abundante. Las especies principales son *Cyperus sp* (75%), *Baccharis rosmanirifolia* (15%). Cobertura vegetal total de 90%. No hay datos de productividad ya que la pradera se encuentra talada.

UCH 60018
Cuenca Río Cachapoal
Sub cuenca Río Cortaderal
Veranada Puente Cimbra
Fecha 17/01/2002

COMPONENTES DE LA UNIDAD (UCH) %

Rocas	0
Árboles	65
Arbustos	25
Pradera	10
Otras	0

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA UNIDAD MUESTREADA

Nº Sub U	Form Veg	%	Geo morfo.	Pend.	Exp. Sol	Exp. Vto.	Prof. Suelo	Text Suelo	Pedreg	Inund.	Coord UTM
1	VJ	25	6	0	plano	W	30	12	NO	T	378444 6195950
2	VJ	75	6	0	plano	W	30	12	NO	T	378446 6195948

UCH 6001801
Veranada Pte Cimbra

Sub U	1	m. s. n. m	1194
Especies	Código	Número	Cobertura
<i>Cyperus eragrostis</i>	cyer	5	25
<i>Plantago lanceolata</i>	plla	2	10
Total Cobertura Vegetal		7	35
Musgos y Liq.		0	0
Suelo Desnudo		11	55
Piedras		0	0
Rocas		0	0
Mantillo		0	0
Fecas		2	10
Otras		0	0
Total otras coberturas		13	65
Total		20	100

Observación: Cobertura en %

UCH 6001802
Veranada Pte Cimbra

Sub U	2	m. s. n. m	1194
Especies	Código	Número	Cobertura
<i>Bacchaaris rosmarinifolia</i>	Baro	2	10
<i>Plantago lanceolata</i>	plla	1	5
<i>Cyperus eragrostis</i>	cyer	1	3
Otras		11	55
Total Cobertura Vegetal		15	73
Musgos y Liq.		0	0
Suelo Desnudo		5	25
Piedras		0	0
Rocas		0	0
Mantillo		1	1
Fecas		1	1
Otras		0	0
Total otras coberturas		7	27
Total		22	100

Observación: Cobertura en %



Foto 5. Vista general del cajón río Cortaderal.

Nombre: Cajón río Cortaderal; veranada Puente Cimbra (Foto 5).

Ubicación: 378444 – 6195950 UTM. Sexta región.

Código cartográfico: UCH 060018; Subunidad 1.

Descripción:

La formación corresponde a una vega junciforme ubicado en llano aluvial con pendiente de 0 a 2%. Altitud 1.194m.s.n.m. Textura de suelo areno-limoso con profundidad de 30cm. Las especies principales son *Cyperus sp* (25%), *Plantago lanceolata* (10%). Cobertura vegetal total de 35%.

9. ANALISIS DE RIESGO.

Una vez corroborados los resultados en terreno, las unidades (UPH) descritas en el punto 7.3.2 definidas según tendencia (respecto del promedio de la serie) de sitios relevantes definidos para el hábitat del loro trichahue y fauna relevante, incluidos sitios productivos agrícolas y los humedales, se consideraron como finales y a las cuales se analiza a continuación la vulnerabilidad y el riesgo asociado.

Se asume como riesgo la probabilidad que se produzca un determinado daño en las unidades vegetacionales hídricas (humedales), zonas ganaderas o zonas de vegetación que albergan fauna o flora potencial, debido a un determinado grado de amenaza dado por la intervención antrópica o cambios climáticos en el AE, en correlación con el grado de vulnerabilidad propio de la condición de las unidades vegetacionales en estudio. En resumen el riesgo se determinó de la siguiente forma:

$$\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} * \text{Amenaza}$$

donde,

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”⁸. La vulnerabilidad es propia del ecosistema y son muchos los factores que la determinan, tanto de carácter sociológico como biológicos, en éste caso la vulnerabilidad se asume como la tendencia obtenida para cada UPH mediante el índice TMR (SAVI) de verdor relativo expresado en porcentaje, definido en el punto 7.3.1.

⁸ 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, 210p.

Amenaza

La amenaza o peligro (HAZARD) se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso que se puede producir sobre las unidades vegetacionales 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 de la propia unidad vegetacional. En el caso del AE las amenazas son climáticas (cambio climático, disminución de precipitación (nival y lluvia) y aumento de temperaturas, cambios en los patrones hídricos por las actividades antrópicas (directas o indirectas), uso del territorio, entre ellas la ganadería intensiva, el turismo desregulado e intervención directa del territorio por construcción de caminos y obras de canalización y transporte de agua, incendios forestales y zonas de derrumbes.

De todas las variables y con la finalidad de definir el riesgo en términos simples, de acuerdo a los datos existentes, se aplicaron como amenaza las variables de cercanía de las UPH a las obras de canalización y transporte del agua y la distancia a caminos, asumiendo que en la medida que las unidades vegetacionales se encuentran en el área de influencia de las obras de canalización y transporte (tubos) reciben mayor presión tanto en forma directa como por la modificación de las condiciones hidrológicas directas del río y el área del eje húmedo de éste, lo que impacta negativamente en la presencia de especies adaptadas a dichas condiciones, dado que tanto las especies riparias como la totalidad de la vegetación aledaña se ve afectada por la variación de humedad del eje del río (corredor fluvial), al variar los caudales.

Por otro lado, el grado de mayor o menor accesibilidad a las unidades de vegetación implica una potencial acción de deterioro directa en las unidades y un impacto indirecto por el tránsito vehicular (emisión de gases, ruido y particulado (polvo)) y al mismo tiempo se facilita el desplazamiento ganadero, con daño directo tanto por ramoneo como por la acción de compactación del suelo. Todo, al mismo tiempo, influye en la utilización de las unidades vegetacionales por parte de la fauna como refugio y alimento, desplazándose hacia zonas menos intervenidas.

9.1 Unidades Relevantes de Fauna y Uso Agrícola.

La vulnerabilidad para las unidades relevantes de fauna y uso agrícola se definió en tres clases, tal como se presenta a continuación (Tabla N°35):

Tabla N°35. Clases de vulnerabilidad

Vulnerabilidad	Valor	TMR(SAVI)
Baja o nula	1	50 a 100
Media	2	43,5 a 50
Alta	3	0 a 43,5

La amenaza se determinó considerando un buffer de influencia en torno del eje de los ríos con obras de canalización, asignándole el valor 1 a todas las UPH contenidas en dicho buffer y 0 a las que están fuera.

Por otro lado, la definición de la distancia media de la UPH respecto de los caminos se clasificó de acuerdo a la siguiente Tabla (N°36).

Tabla N°36. Amenaza según distancia a caminos

Amenza	Valor	Dist-cam
Baja o nula	3	0 a 742 m
Media	2	742 a 1963 m
Alta	1	1963 a 4500 m

La amenaza final corresponde a la suma del valor asignado por influencia de la canalización entorno de los ríos y el de distancia a caminos, de tal manera que el valor bajo o nulo (1) corresponde a los valores de la suma 1 o 2 (caso de estar incluida en el buffer), el valor medio (2) a los valores 2 o 3, valor alto (3) a los valores 3 o 4.

Finalmente el resultado de la asignación de riesgo se realizó de acuerdo al modelo de tabulación cruzada de la Tabla N°37 obteniéndose como resultado la superficie y número de UPH por cada rango, según se indica en la Tabla N°38 y la distribución espacial en la Figura N° 85.

Tabla N°37. Modelo de asignación final de riesgo.

		Amenaza		
		1	2	3
	1	1	2	2
Vulnerabilidad	2	2	3	3
	3	3	3	3

Tabla N° 38. Riesgo, superficies y UPH.

RIESGO	Valor	Sup. (ha)	N° UPH
Bajo o nulo	1	236	63
Medio	2	2660.4	472
Alto	3	5851.6	615

9.2 Humedales

En el caso de los humedales la vulnerabilidad se definió de acuerdo a los valores de TMR (SAVI) que se indican en la Tabla N° 39 y la amenaza de acuerdo a la Tabla N°40.

Tabla N°39. Vulnerabilidad humedales

Vulnerabilidad	Valor	TMR(SAVI)
Baja o nula	1	50 a 100
Media	2	44,02 a 50
Alta	3	0 a 44,02

Tabla N°40. Amenaza humedales

Amenza	Valor	Dist-cam
Baja o nula	3	4889 a 6000 m
Media	2	2438 a 4889 m
Alta	1	0 a 2438 m

El riesgo final se obtuvo de acuerdo al modelo de tabulación cruzada de la Tabla N°41.

Tabla N°41. Modelo de asignación de riesgo humedales.

		Amenaza		
		1	2	3
	1	1	2	2
Vulnerabilidad	2	1	2	3
	3	2	3	3

El resultado se presenta en la Tabla N°42 y en la Figura N° 86.

Tabla N°42. Riesgo humedales, superficie y unidades.

RIESGO	Valor	Sup. (ha)	N° vegas
Bajo o nulo	1	24.1	10
Medio	2	117.6	45
Alto	3	163.5	35

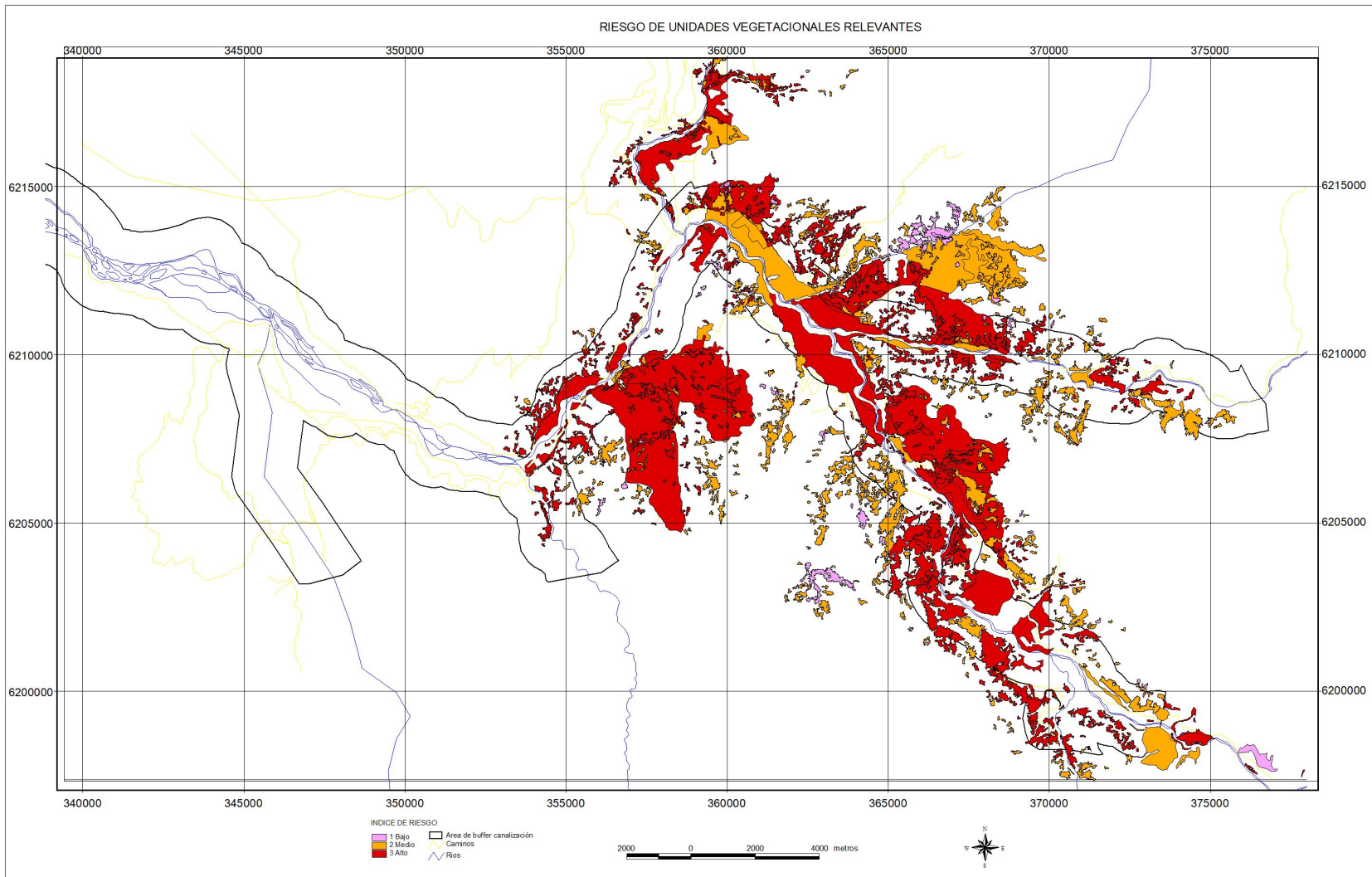


Figura N°85. Riesgo de unidades relevantes de fauna y uso agrícola.

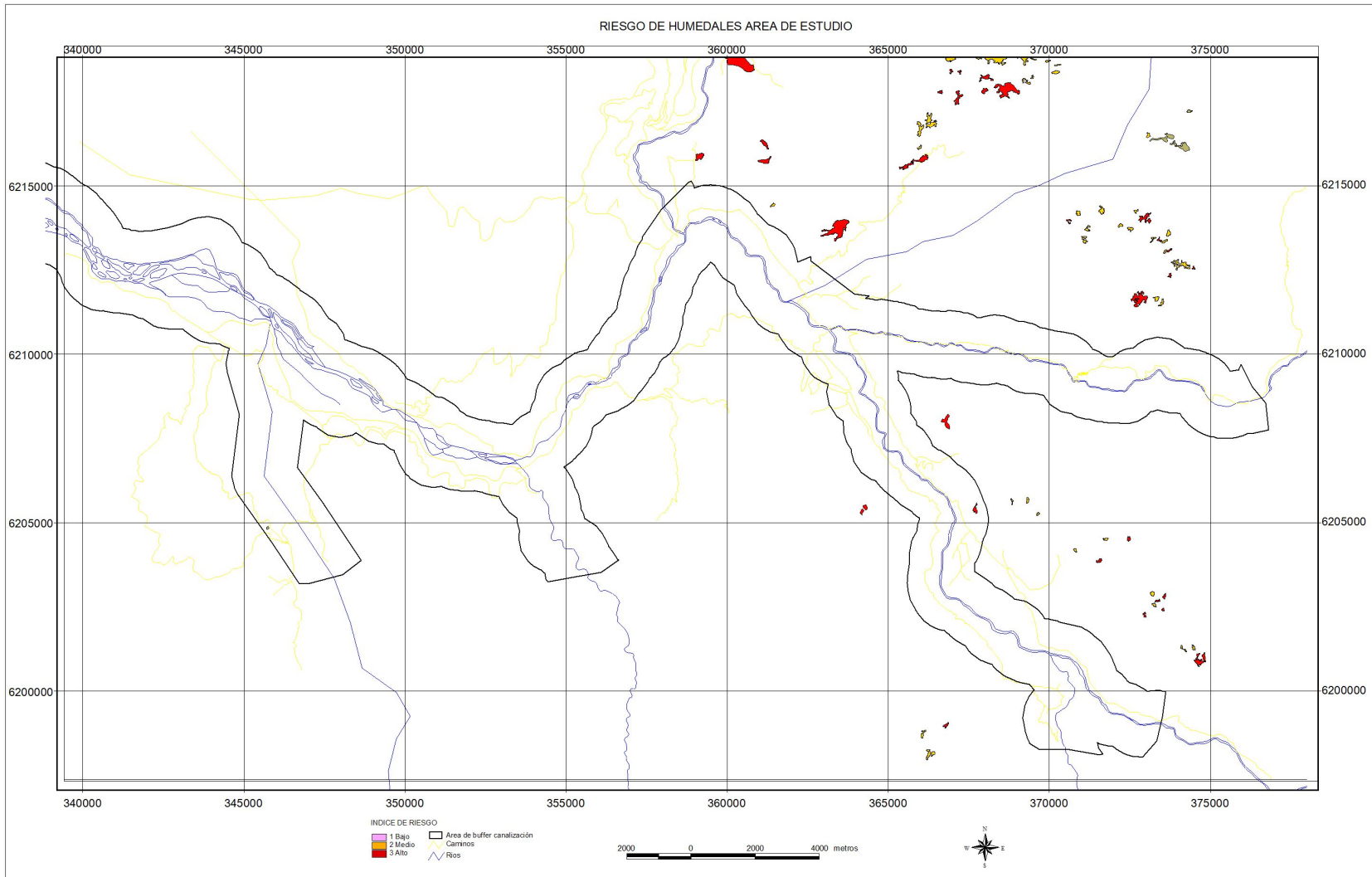


Figura N°86. Riesgo de humedales área de estudio.

La unidades (UPH) relevantes de fauna y uso agrícola de riesgo alto se ubican mayoritariamente en la cuenca del río Cachapoal desde la desembocadura del río Cortaderal hasta la desembocadura del río Claro en Cauquenes, tanto por las ribera norte como sur, luego en la subcuenca del río Pangal desde la bocatoma de la Central Hidroeléctrica de paso Pangal hasta la desembocadura al río Cachapoal, en la subcuenca del estero Clonqui, parte baja y en la parte baja de la subcuenca del río Coya, parte baja sector este.

Los humedales de riesgo alto, por otro lado, se ubican en mayor número en la cuenca propia del río Cachapoal, mientras que los tres humedales de mayor superficie (id: 230, 241 y 274) que en conjunto suman 90,6 hectáreas se encuentran en la subcuenca del estero Clonqui y río Coya.

10. INTERVENCIÓN ANTROPICA Y UNIDADES VEGETACIONALES CON RIESGO ALTO.

De acuerdo a lo desarrollado en el punto 4.4 (accesibilidad y actividades productivas en el área de estudio), las principales actividades antrópicas que se desarrollan en el área de estudio son la ganadería, la cual a aumentado en los últimos 20 años del orden del 89% pasando de 1.511 (1987) unidades de bovinos equivalentes a 2.855 en el presente, lo que impacta directamente en los ecosistemas vegetacionales hídricos, tanto en el ripario como en los humedales. Sin embargo, no es posible establecer una relación temporal con el estado de dichos ecosistemas por la ausencia de datos sistemáticos de la actividad ganadera en su conjunto.

Otra de las actividades corresponde a la minería, la cual se concentra, de acuerdo a los antecedentes presentados, en forma significativa en la subcuenca del río Coya, donde ocupa una extensión de 2.589 hectáreas, lo que representa el 10,2% de la superficie de la subcuenca, a lo que se suma una red densa de caminos e intervenciones puntuales asociadas a zonas de carga y transporte. Como se muestra en la Figura N°87 las unidades vegetacionales en riesgo alto se encuentra asociadas en la parte baja sector este de la subcuenca y corresponden a una superficie de 401 hectáreas, de las cuales 54,7 corresponden a unidades de humedales.

Otro impacto significativo de la minería en el área de estudio se da por la existencia de ductos y canalización para el transporte del material de relave, especialmente en la laguna Cauquenes en la subcuenca del estero del mismo nombre, ubicada en la parte baja, vertiente sur del río Cachapoal.

En esta subcuenca la totalidad de la laguna está colmatada con material de relave y al mismo tiempo se extrae agua del estero Los Leones, mediante canal, para utilizarla en las faenas de recuperación de mineral. El relave en la actualidad no se encuentra recibiendo material y se están ejecutando programas de recuperación de algunas zonas de la laguna con fines de anidamiento de aves y de vegetación húmeda. La subcuenca

se utiliza también como zona de compensación ambiental de proyectos del Teniente, utilizando zonas para forestación con especies nativas (esclerófilas) en distintos puntos de la subcuenca. La identificación tanto de la zona húmeda en recuperación como las plantaciones nativas se identificaron en la cartografía de vegetación y uso que acompaña el presente estudio.

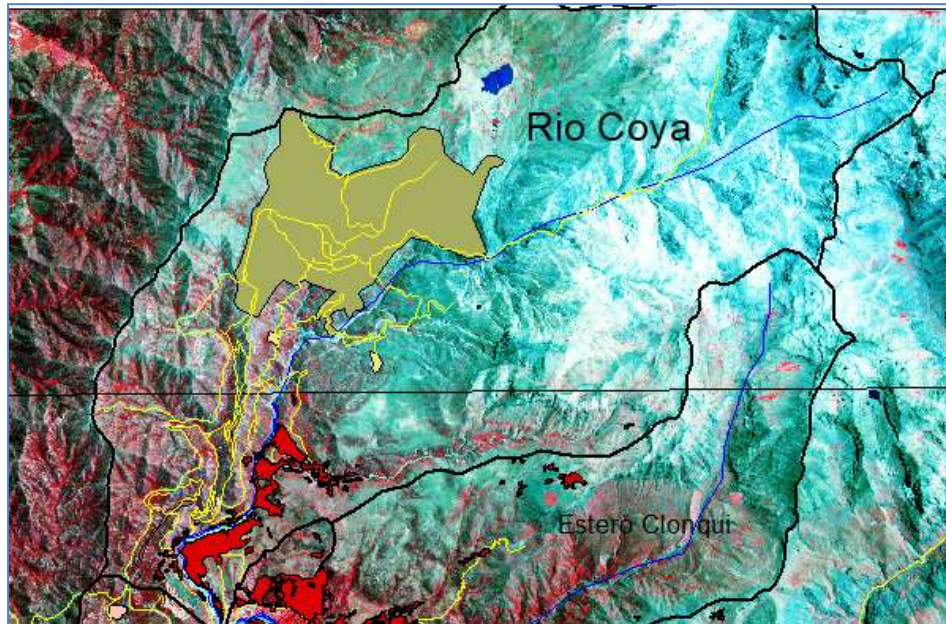


Figura N° 87. Subcuenca del río Coya.

En color verde claro la superficie intervenida por la minería y en rojo las unidades vegetacionales de riesgo alto.

Finalmente, se suma a ésta actividad (minera) el impacto de caminos, cuya red es la más densa de toda el área de estudio, entregando accesibilidad (a las actividades mineras, ganaderas y turísticas) a las unidades vegetacionales nativas y la alteración directa de éstas.

La siguiente actividad productiva y la de mayor importancia en la disponibilidad de agua en la cuenca es la generación de energía eléctrica mediante centrales de paso, las cuales fueron descritas en el punto 4.4.5.

La intervención directa del territorio para la instalación de dichas centrales y los canales y ductos de transporte de agua desde los puntos de toma hasta las Centrales fue realizada en los años 1911, 1921, 1948 y 1959 en el caso de Coya, Pangal, Sauzal y Sauzalito respectivamente y en el año 2011 para el caso de la Central Chacayes, de tal manera que la alteración directa de la vegetación ya fue recuperada en la mayor parte de la superficie, no obstante de permanecer algunos sectores en las subcuencas del río Pangal.

En el caso de las intervenciones directas que se han producido en la construcción de canales y ductos de transporte de la Central Chacayes, así como la red de caminos y tranques relacionadas con el proyecto, impactos que se encuentran vigentes en la actualidad y que están tratados en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada. Alteraciones que se evidencian en la siguiente secuencia de imágenes satelitales (Figuras N° 88, 89 y 90).

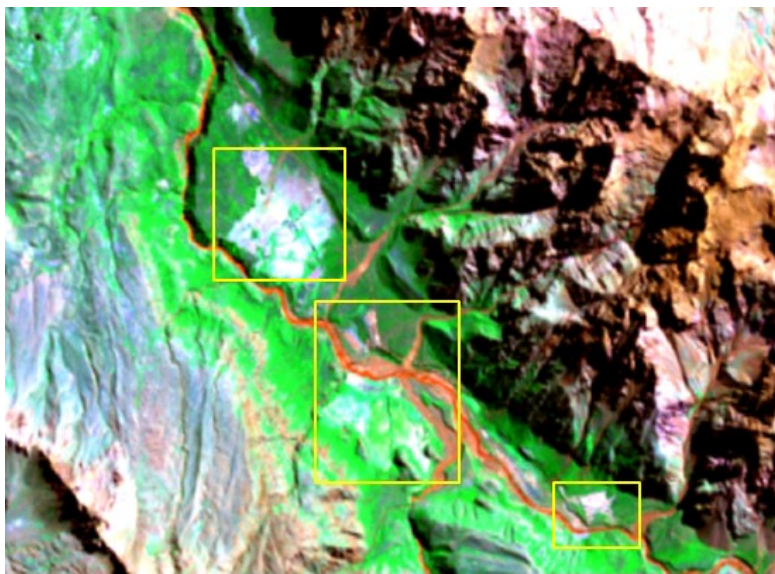


Figura N°88. Imagen satelital del Año 2009. En tonos blancos, aledaños al curso del río Cachapoal, se encuentran las zonas que se habilitaron en el año 2009 para el proyecto Chacayes.

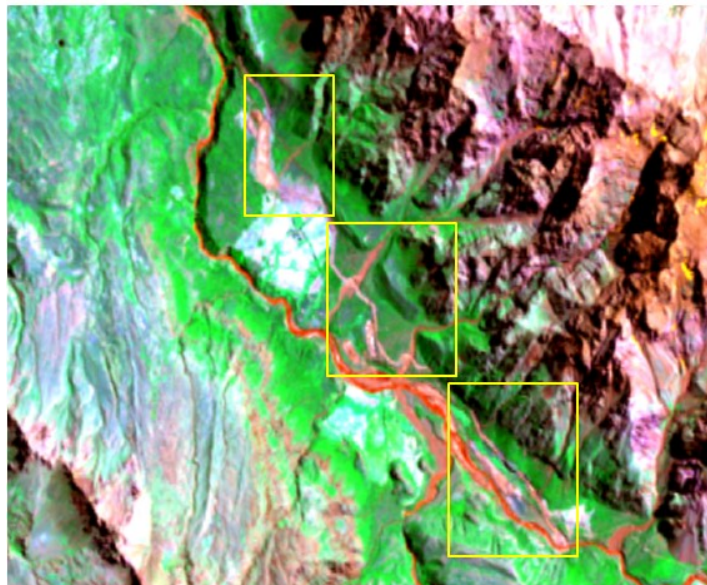


Figura N°89. Imagen satelital del Año 2010. En la zona baja paralela al curso del río Cachapoal se aprecia la canalización, tranque y camino desde la zona de toma de agua del río Cachapoal hasta que dicha canalización ingresa a ducto bajo túnel en la parte superior de la imagen.

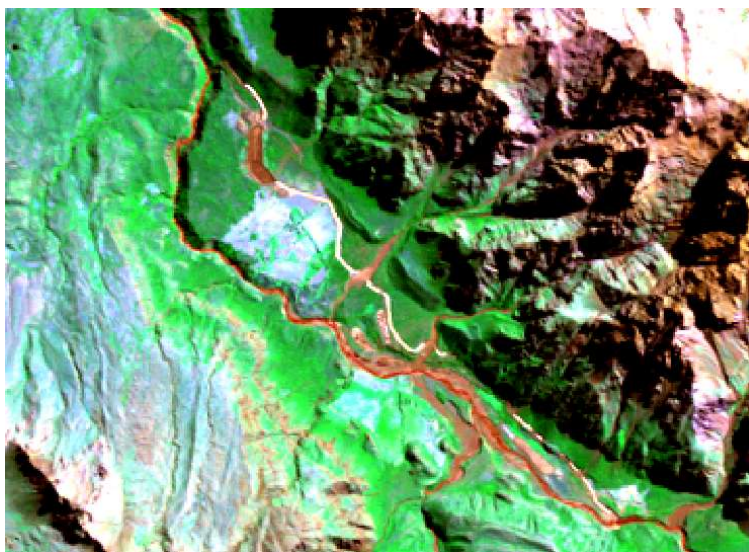


Figura N°90. Imagen satelital del Año 2011. Se muestran las mismas obras que la imagen del año 2010 pero más consolidadas y aparece con mayor realce la canalización que va desde la desembocadura del río Cipreses hasta la toma de agua en el propio río Cachapoal, situada aguas arriba del punto anterior (parte baja de la imagen).

La zona que se indica en la secuencia de las imágenes anteriores constituye hasta hoy la zona de mayor intervención del proyecto Central Chacayes, por cuyos caminos se mantiene una constante actividad de transporte, tanto de camiones como de camionetas vinculadas al proyecto y directamente en faenas de mantención, durante todo el año.

Se suma a lo anterior, el tránsito vehicular de particulares con distintos fines, entre otros los turísticos y ganaderos. Lo anterior, tiene impacto directo (por ruidos y alteración de las unidades vegetacionales) en los sectores de loreras que se ubican en el sector y cuyo hábitat está asociado a las formaciones vegetacionales existentes. Situación similar se encuentra en las demás subcuencas donde se encuentran los proyectos de Centrales de Paso.

La alteración del caudal del río Pangal y del río Cachapoal por los transporte de agua mediante canales y tuberías, afectaron y afectan la vegetación ribereña y el propio ciclo del agua, al tomar el agua desde las zonas altas y devolverlas en las zonas bajas en las cantidades que se indican en el punto 4.4.5.

Las unidades vegetacionales de riesgo alto asociadas a la canalización de las Centrales se presentan en la Figura N°91 y corresponden a una superficie de 3.285 hectáreas, distribuidas principalmente entorno de curso del río Cachapoal y del río Pangal.

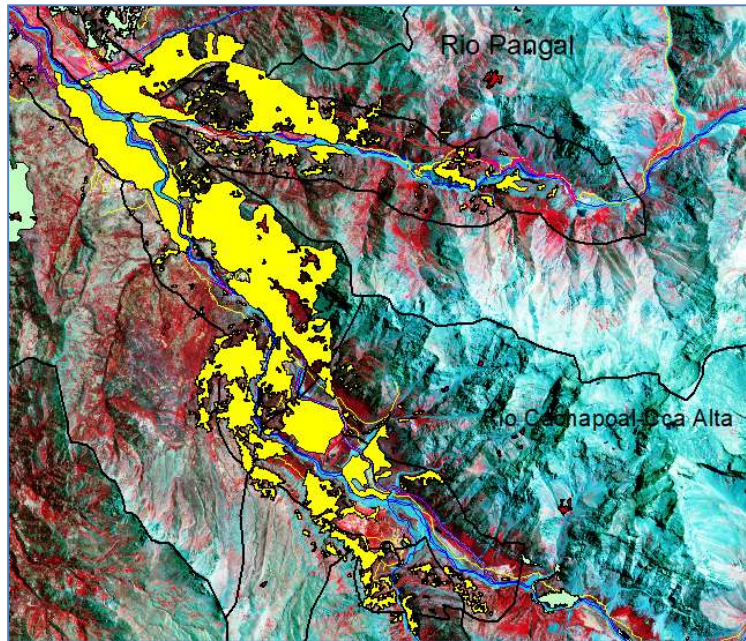


Figura N°91. Unidades vegetacionales y productivas vulnerables y riesgo alto por proyectos de Centrales de paso (Coya, Pangal y Chacayes).

En las Unidades anteriores se encuentran dos de las unidades productivas agrícolas (frutales y praderas artificiales) de mayor extensión presentes en el área de estudio, asociadas a los suelos de terrazas aluviales del río Pangal y Cachapoal, con una superficie de 441 hectáreas, las que se identifican en la Figura N°92.



Figura N°92. Unidades productivas agrícolas con riesgo alto (en color amarillo).

10.1 Cambios Anuales de las Unidades de Riesgo Alto

Para el análisis de los cambios anuales de la condición de la vegetación se aplicó el índice espectral de condición (Figura N° 93), el cual compara el vigor vegetacional de un año respecto del anterior, en una escala de 0 a 200, donde los valores menores de 100 indican una condición de disminución, mientras que los valores sobre 100 una condición positiva, calculado de la siguiente forma:

$$I_{\text{cond}} = ((\text{SAVI}_{t2} - \text{SAVI}_{t1}) / (\text{SAVI}_{t2} + \text{SAVI}_{t1})) + 1) * 100$$

Donde. SAVI es índice espectral de vegetación ajustado al suelo.

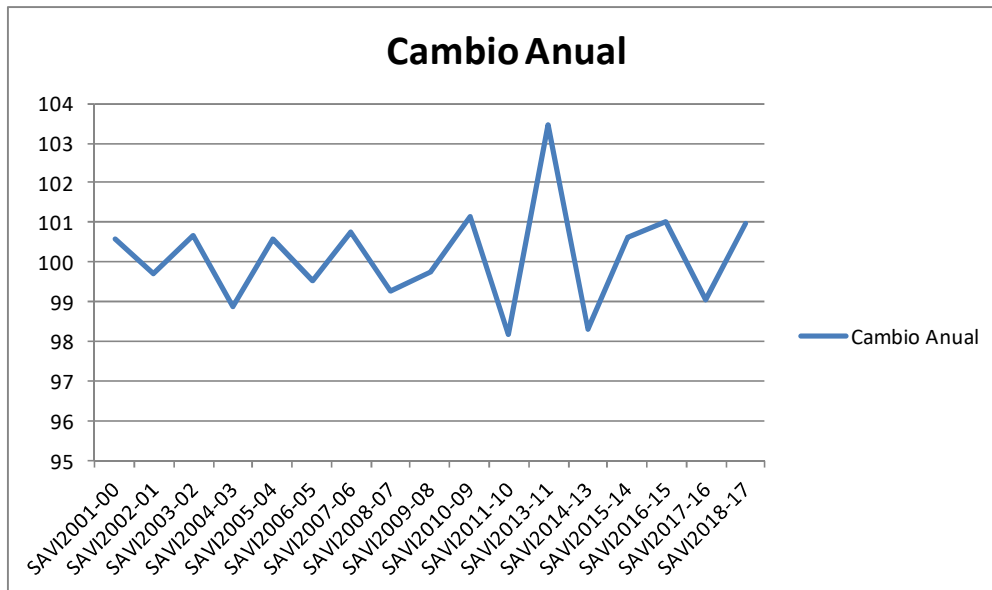


Figura N° 93. Índice de condición de la vegetación respecto del año anterior.

El resultado indica que los años 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009, 2011, 2014 y 2017 es decir 9 años de los 17 analizados la condición de las unidades críticas (riesgo alto) disminuyó. Sobresale la condición positiva del año 2013, cuya diferencia se explica en parte por ser la diferencia respecto del año 2011 (dado que no existen datos para el año 2012), condición que cae en el año 2014 para volver a subir en el año 2015 en torno de la variación normal de la serie, al igual que la disminución que se produce en el año 2017 y el nuevo aumento que se produce en marzo del presente año (2018).

11. RELACIÓN DE LA CONDICIÓN VEGETACIONAL DE RIESGO ALTO CON LA VARIACIÓN CLIMÁTICA.

11.1 Comportamiento Climático

De los datos climáticos presentados en el punto 4.1 se infiere que los caudales y agua disponible en el área de estudio está condicionada por el régimen pluvio-nival y por una temperatura que ha ido en aumento desde el año 2000 a la fecha y por otra parte, la superficie de nieve en el área de estudio se mantiene en forma similar en términos anuales, no así la precipitación pluvial que tiene una tendencia general a una drástica disminución en el periodo de tiempo estudiado, cuya línea de ajuste comienza (año 2002) en los 1400 mm/anuales y llega a los 580 mm/anuales en el año 2017 (Figura N° 94)

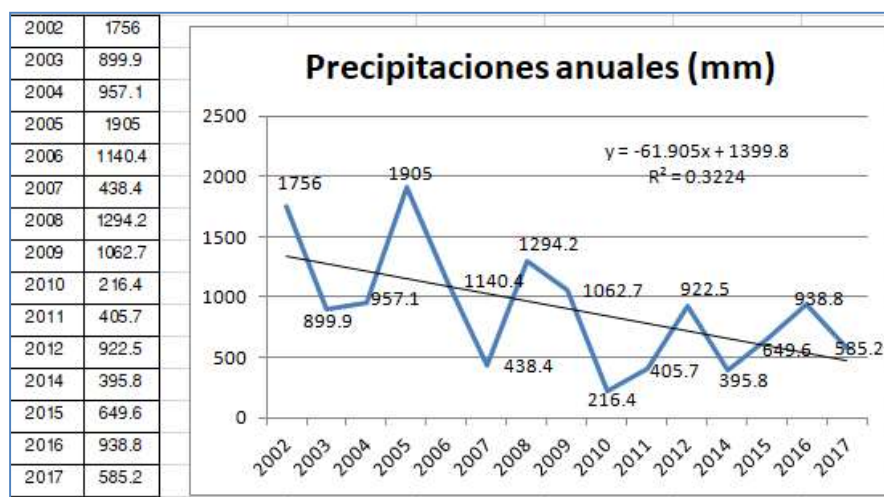


Figura N°94. Precipitaciones anuales entre el año 2002 y 2017 (Fuente: DGA).

Los datos anteriores indican dos fases de comportamiento, una de fuerte disminución entre los años 2002 y 2010 y otra positiva de recuperación moderada entre el año 2011 y 2017, tal como se muestra en las Figuras N° 95 y 96, con una tendencia entre los 1500 y 600 mm/anuales en el primer caso y entre los 570 y 740 mm/anuales en el segundo caso.

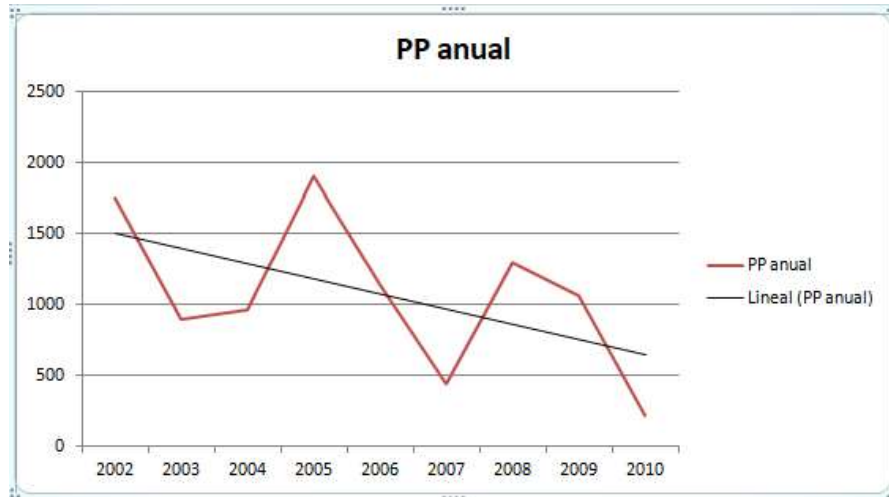


Figura N°95. Precipitaciones con tendencia negativa entre el año 2002 y 2010

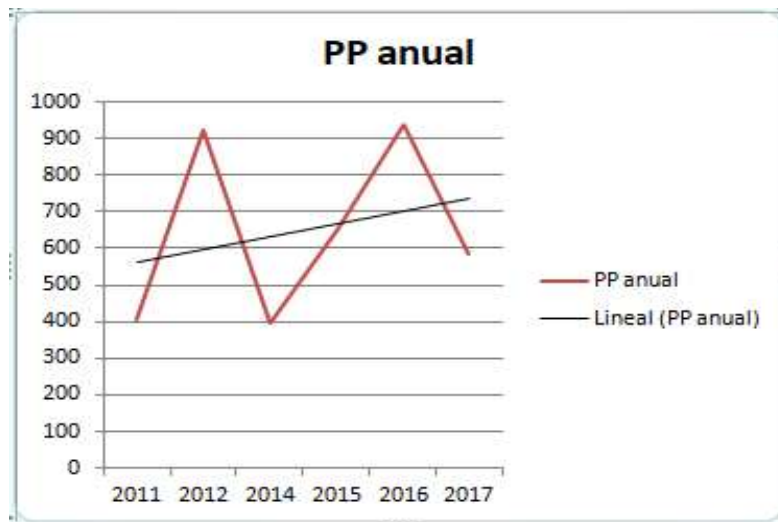


Figura N°96. Precipitaciones con tendencia positiva entre el año 2011 y 2017.

11.2 Comportamiento del Estado Vegetacional de las Unidades con Riesgo Alto (críticas).

Para la obtención del comportamiento multitemporal para las series de año de las dos tendencias climáticas que se presentan en el área de estudio, se procedió a calcular para cada año el valor del SAVI (promedio) de las unidades de vegetación con riesgo alto y dichos datos se analizaron mediante un algoritmo de tendencia de series de tiempo, lo cual entregó los resultados que se presentan en las Figuras N° 97 y 98 para

el caso de las UPH de vegetación nativa y productivas y las Figuras N°99 y 100 para el caso de las unidades de humedales.

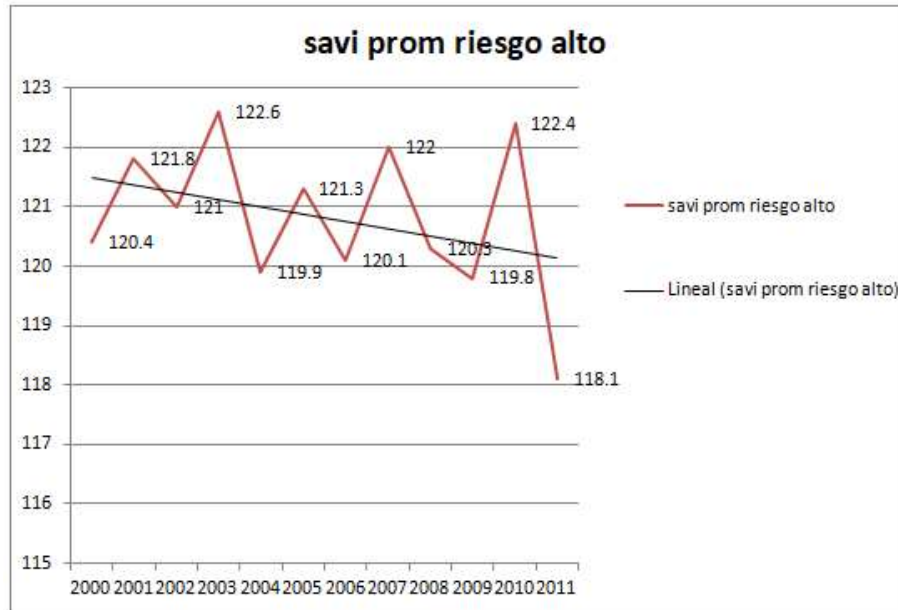


Figura N°97. Comportamiento del SAVI para UPH nativas y agrícolas. Año 2000-2011.



Figura N°98. Comportamiento del SAVI para UPH nativas y agrícolas. Año 2013-2018.

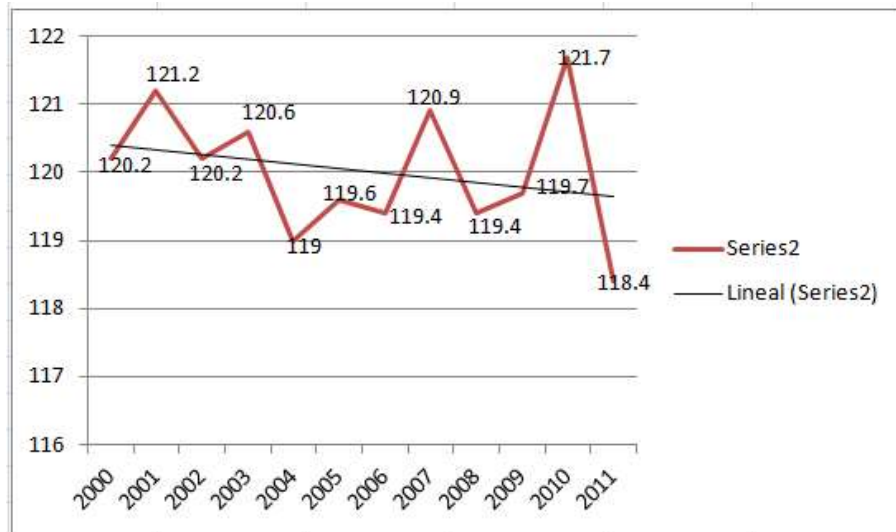


Figura N°99. Comportamiento del SAVI para unidades de humedales. Año 2000-2011.

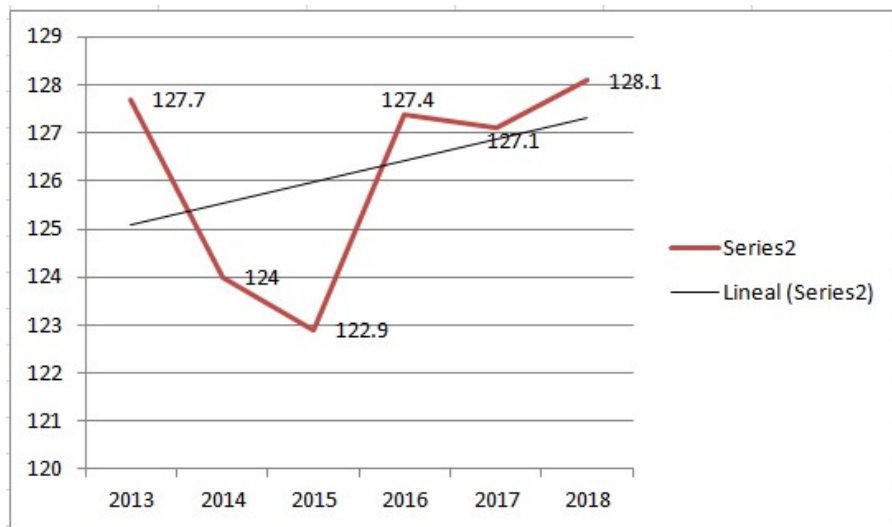


Figura N°100. Comportamiento del SAVI para unidades de humedales. Año 2013-2018.

Así, los datos de tendencia vegetacional, tanto las UPH nativas-productivas como las de humedales indican un comportamiento de tendencia similar en los periodos indicados, tendencia que guarda relación directa con la tendencia de los datos pluviales en periodos similares, con desplazamiento de un año, lo que indica que el comportamiento climático de un año impacta en la vegetación con el mismo tiempo de desfase, de tal manera que el año de menor agua caída se presenta el año 2010, mientras que el menor valor de SAVI se presenta en el año 2011.

Las tendencias entre la precipitación pluvial y el estado vegetacional se cuantifica mediante la correlación de Pearson que indica para la primera fase (de disminución) un $r = 0,54$ y un r^2 de $0,291$ y para segunda fase un r de $0,49$ y un r^2 de $0,291$ lo que ratifica la relación entre ambas variables, tal como se presenta en las Figura N°101.

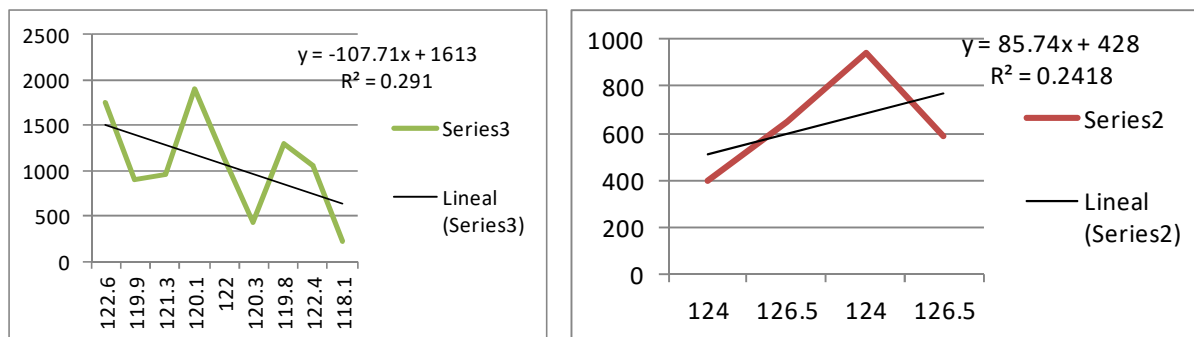


Figura N° 101. Correlación entre precipitación anual y estado vegetacional. En color verde la variación y tendencia de la precipitación anual (eje Y) y el SAVI (eje X) en el periodo 2002-2010 y en rojo variación y tendencia de la relación entre 2014 al 2017.

Dado los resultados anteriores, la disponibilidad de agua de las unidades vegetacionales nativas, unidades agrícolas y humedales están en correlación directa con la precipitación anual, lo cual indica que la tendencia general del estado de la vegetación entre los años 2000 al 2018 (verano) es a la disminución y sólo a partir del año 2011 existe una recuperación en forma moderada, situación que constituye una amenaza que se agrava si se suma la tendencia de la temperatura a aumentar en dicho periodo (en $0,5$ grados Celsius). Así, se aumentan las tasas de evapotranspiración y con ello los requerimientos de agua de la vegetación en el área de estudio.

Lo anterior, acentúa el riesgo de las unidades vegetacionales y productivas definidas con riesgo alto en base a la influencia de las obras asociadas a los proyectos de Centrales de Paso en funcionamiento y las que se encuentran autorizadas en el área de estudio (Centrales Nido de Águila y Cipresillos).

12. PLAN DE SEGUIMIENTO

Las actividades productivas en el área de estudio y la tendencia negativa de las condiciones climáticas representan una amenaza que aumenta el riesgo de las unidades vegetacionales existentes, cuya vulnerabilidad está determinada por la disponibilidad de agua. De especial importancia es la actividad y obras relacionadas con la producción de energía que realizan las Centrales de Paso, siendo las más relevantes la de Chacayes – Coya y Pangal-Coya, a cuya actividad se suma la ganadera que ha tenido un crecimiento significativo y la minera en el caso de la subcuenca del río Coya.

De acuerdo a lo anterior, las unidades vegetacionales de mayor riesgo que se sugiere como unidades de seguimiento son las relacionadas con la vegetación nativa, zonas agrícolas y unidades de humedales que se presentan en la Figura N° 102 y 103.

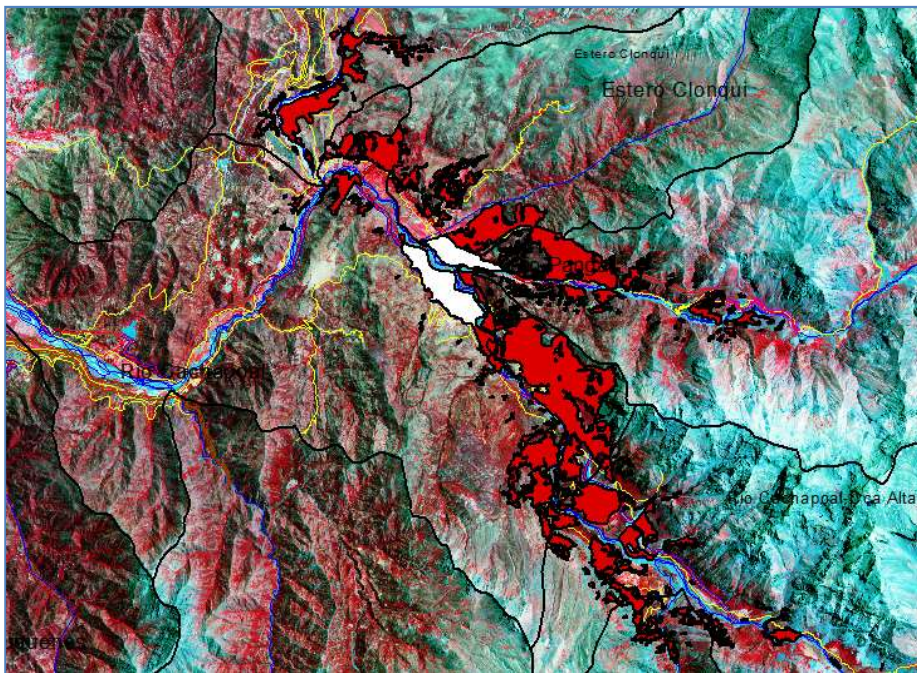


Figura N° 102. Unidades vegetacionales nativas (color rojo) y agrícola (en blanco) para seguimiento.

Las unidades se ubican entorno del río Cachapoal, río Pangal y en la parte baja de la subcuenca del río Coya.

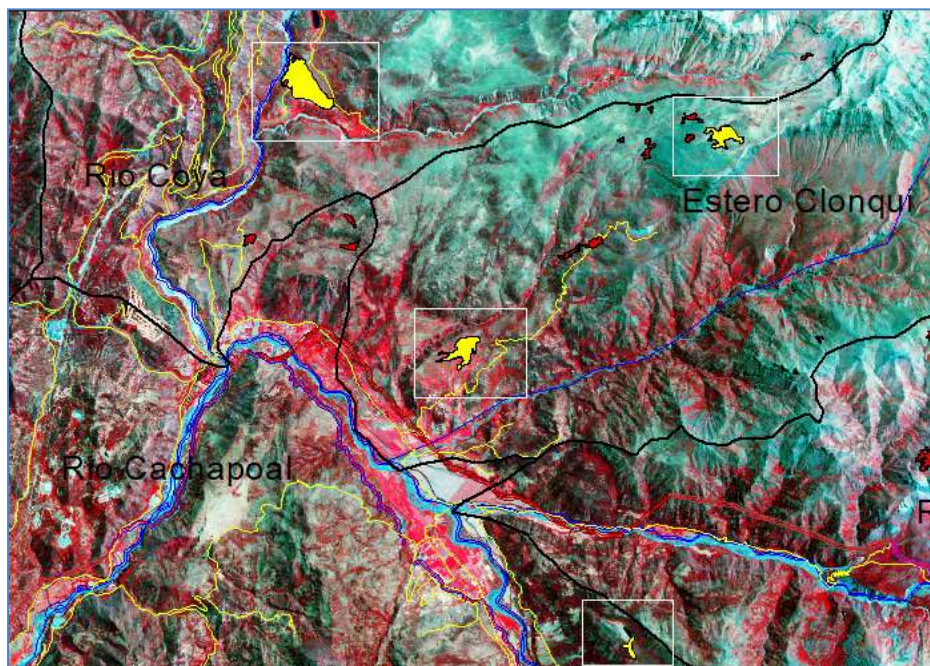


Figura N° 103. Unidades de humedales para seguimiento (color amarillo en recuadro).

Las unidades de seguimiento corresponden a cuatro humedales asociados a presión ganadera y turística, además de las condiciones climáticas, el primero se encuentra en la subcuenca del río Coya y los dos siguientes (de norte a sur) se ubican en la subcuenca del estero Clonqui, uno en la parte baja y otro en la zona alta y el cuarto se ubica en ladera sur - oeste del río Cachapoal asociado a la laguna El Venado. Las superficies de éstas unidades, en el mismo orden descrito, son 50.9, 22, 17.6 y 4.97 hectáreas.

Para realizar el seguimiento se proponen las siguientes actividades:

a) Monitorear anualmente la condición de las unidades mediante el índice espectral de condición que se indica en el punto 10.1, con énfasis en las unidades de vegetación nativa que se encuentran en la terraza aluvial de los ríos Cachapoal y Coya, en las unidades agrícolas ubicadas en la zona de la desembocadura del río Pangal al Cachapoal y las cuatro unidades de humedales que se señalan en la Figura N° 103.

Dicho monitoreo, dará cuenta de la condición de la vegetación respecto del año anterior, lo que se debe complementar con el análisis de tendencia del vigor de dichas unidades aplicando el índice de verdor relativo respecto del promedio de la serie estudiada. Así, se tendrá el dato de la condición anual y la tendencia de cambio respecto del promedio de la condición entre el año 2000 y 2018.

Para lo anterior, se puede seguir utilizando los datos satelitales LANDSAT (OLI) o SENTINEL 2, disponibles en forma gratuita.

Fecha de desarrollo: entre los meses de febrero y marzo de cada año.

b) Cuantificar las variaciones de superficies de los humedales, tomando como base las superficies que se entregan en la cartografía "iriesgohumedalalto.shp" campo "área", para ello utilizar los datos de SENTINEL 2 u otro dato satelital con mayor resolución espectral.

Fecha de desarrollo: meses de marzo abril de cada año.

c) Contrastar la información anterior con datos de poblaciones de loros, con base en las loreras existentes en el área de estudio (sector del río Cachapoal con zona de desembocadura del río Cipreses) y con el número de animales, en unidades de bovinos equivalentes, que se autorizan a subir a las veranadas de la cuenca del río Cachapoal, por parte del SAG.

Fecha de desarrollo: mes de abril de cada año.

d) Seguimiento de obras, apertura de caminos, superficies de acarreo y deslizamientos de material en las laderas norte y sur del río Cachapoal y Pangal, mediante datos satelitales y verificación de terreno.

Fecha de desarrollo: mes de mayo de cada año.

e) Análisis de datos de caudales mensuales de los ríos Pangal y Cachapoal y de los caudales que se extraen de las bocatomas para las Centrales Pangal y Chacayes (Datos que son registrados por DGA y las empresas dueñas de las Centrales).

Fecha de desarrollo: mes de enero de cada año.

f) Monitoreo de obras de intervención de los cursos de agua asociados a las Centrales (a poner en funcionamiento) Nido de Águila y Cipresillos asociadas al río Cortaderal.

Fecha de desarrollo: cada seis meses desde las primeras obras.

g) Monitoreo de nieve caída anualmente y precipitación anual, tomando como base la estación Pangal de la DGA y datos satelitales.

Fecha de desarrollo: mes de enero de cada año.

13. CONCLUSIONES

Considerando los TDR de la licitación, el estudio se planteo analizar, en el contexto de las líneas de acción del SAG, una zona de ambiente andino de la región de O'Higgins correspondiente a ecosistemas dependientes de agua superficial (sitios para albergar flora y fauna), que son sustento para la alimentación de ganado doméstico y a su vez lugar de hábitat y refugio para la fauna silvestre, zonas que han experimentado “presiones por el uso territorial, las cuales han venido en aumento en la última década, especialmente por acción de incendios y centrales generadoras de energía”. Con éste fin se desarrolló una metodología basada en análisis de cuencas y en el seguimiento multitemporal de la condición de la vegetación en un periodo de 17 años, asumiendo que la vulnerabilidad de la vegetación está directamente relacionada con la disponibilidad de agua que caracteriza el ecosistema en su conjunto y en particular los sitios con presencia vegetal.

De acuerdo a lo anterior, se caracterizó las variables climáticas (precipitación y temperatura) que definen el área de estudio (AE), las actividades productivas y las obras que presionan el territorio, entre ellas la generación de energía por las centrales de paso que existen el AE, los biotipos relevantes existentes en el AE, la caracterización y prioridad de gestión de las subcuencas relacionadas, la intervención antrópica directa en el territorio (obras e incendios forestales) y la intervención natural de las formaciones vegetacionales por deslizamientos y material de acarreo, el seguimiento multitemporal de la condición de la vegetación mediante índices espectrales (SAVI) derivados de datos satelitales, levantamiento de datos de terreno, determinando unidades críticas de alto riesgo definidas por alta vulnerabilidad y amenazas antrópicas, así como la relación de éstas con la tendencia climática que caracteriza la zona andina, para con ello proponer actividades de seguimiento que permitan apoyar la toma de decisiones de cara a la sustentabilidad de la vegetación, la flora asociada y la fauna respectiva.

Los resultados obtenidos permiten formular las siguientes conclusiones:

a) El área de estudio (andina) se caracteriza por tener un 67% de la superficie en distritos serrano y montano (pendientes sobre 34,5%) y sólo el 7% de la superficie corresponde al distrito plano (pendientes menores a 10,5%), superficie asociada a las terrazas aluviales del río Cachapoal y Pangal, las cuales al mismo tiempo constituyen los principales sitios agrícolas existentes en el área de estudio. Por otro lado, las principales formaciones vegetacionales, de acuerdo al Catastro de Vegetación Nativa (CONAF, 2013), corresponden a Bosque nativo renoval (42,3%), Matorral (12,5%), mientras que la vegetación riparia está representada sólo en un 0,03%, terrenos agrícolas con un 11,2% y las vegas con 0,4% (555 hectáreas).

El área de estudio está situada en la parte media-baja de la cuenca del río Cachapoal y es parte del territorio de las siguientes subcuencas: subcuenca propia del río Cachapoal, subcuenca del río Cortaderal, subcuenca río Cipreses, subcuenca del río Las Leñas, subcuenca del río Pangal, del estero Clonqui, del río Coya, del río Claro en Cauquenes y del estero Cauquenes.

El área agrícola productiva se ubica en las terrazas aluviales de los ríos Cachapoal y Pangal, especialmente en la zona aledaña a la desembocadura del río Pangal al Cachapoal, por ambas riberas, donde los principales cultivos son nogales y praderas artificiales. En las terrazas ubicadas aguas abajo al oeste de la Central Coya cobran importancia las plantaciones de vides.

b) Las variables que definen el clima como son la precipitación y la temperatura tienen un comportamiento en correlación con la tendencia general del cambio climático, es decir la precipitación desde el año 2002 al 2017, según datos de la DGA en estación Pangal (2018), disminuyó de 1.756 mm/anuales a 585,2 mm/anuales, mientras que la temperatura desde el año 2000 al 2016 pasó de 22,5 °C a 27,7 °C.

c) La presión sobre el territorio en el AE está dada por las obras e intervenciones de las principales actividades productivas que son la minera, la ganadera y la producción de energía mediante Centrales de Paso, todas las cuales han aumentado

significativamente en la última década. En el caso de la minería el impacto se presenta preferentemente en la subcuenca del río Coya y en la subcuenca del estero Cauquenes.

La ganadería presiona las zonas altas, especialmente las vegas y formaciones andinas altas (matorrales y praderas andinas zonales), por ser ganadería trashumante que utiliza las zonas de veranadas entre los meses de noviembre a marzo, las principales subcuencas vinculadas son la subcuenca alta propia del río Cachapoal, la subcuenca del río Cipreses, la del río Cortaderal, río Las Leñas, río Pangal, estero Clonqui y río Coya.

La generación de energía presiona el territorio de los valles y laderas adyacentes a los ríos Cachapoal y río Pangal, siendo éstas áreas donde se concentran las actividades y obras (bocatomas, sistema de conducción de agua, caminos) vinculadas a la estación Pangal y Chacayes. Por otro lado, la conducción de agua desde las bocatomas ubicadas en las partes altas del río Cachapoal y Pangal hasta la ubicación de las Centrales Pangal, Chacayes, luego a Coya y de ahí a las estaciones Sauzal y Sauzalito donde recién se devuelve una parte al río Cachapoal, dado que otra parte es derivada a canales de riego en el Valle Central, así se intervienen 13,5 km del río Pangal y 43,5 Km del río Cachapoal, tramos donde el cauce, la vegetación riparia y nativa de las laderas adyacentes y el propio ciclo de agua es impactado.

d) Los incendios forestales como eventos antrópicos que alteran la vegetación y la fauna se localizan en la subcuenca del río Coya, en el estero Clonqui y subcuenca del río Claro en Cauquenes. En general los impactos por incendios forestales en los últimos cuatro años son localizados y comprenden una superficie anual promedio de 140,2 hectáreas, que representa el 0,1% del área de estudio.

En cuanto a la intervención por acarreos y zonas de deslizamiento los impactos también son localizados y específicamente en la zona alta de la subcuenca del río Pangal y cuenca propia del río Cachapoal, en una superficie de 1.165 hectáreas.

e) En relación a la biota relevante, las formaciones vegetacionales, asociadas al mismo tiempo a la fauna especialmente a la actividad del loro Tricahue y por otro lado a zonas productivas agrícolas, comprenden una superficie de 8.779 hectáreas, distribuidas principalmente en la cuenca propia del río Cachapoal y río Pangal, las que corresponden en un 78% a bosque nativo renoval, 8,2% a matorral y el 6,3% a superficie productiva agrícola.

En cuanto a los humedales existente en el AE, se identificaron 276 unidades con una superficie total de 552,4 hectáreas, de los cuales existen tres humedales con superficies mayores a 20 ha que representan el 23,1% de la superficie total de humedales, los cuales al mismo tiempo fueron catalogados en riesgo alto.

f) Desde la perspectiva de la prioridad de la gestión de las subcuencas, considerando la producción de agua (IAA), estructura hídrica, morfometría, cobertura vegetal (IPS), potencial pastoril (ISP) e intervención (IINT), las subcuencas más relevantes, en orden de prioridad son la del río Cachapoal, la del río Cortaderal, Las leñas, Cipreses, Coya y Pangal.

g) La tendencia relativa (considerando la situación actual respecto del promedio de la serie temporal) de las zonas de vegetación relevante, incluidas las agrícolas, indica que el 83,6% de la superficie total de éstas unidades (se consideró como superficie total 8.524,1 hectáreas, por ajuste del área a las coordenadas de los TDR) tienen una tendencia al decremento de la condición vegetal, lo que corresponde 892 Unidades de Paisaje Homogéneas de un total de 1.126 Unidades identificadas.

En el caso de los humedales se concluye que el 85,1% de la superficie, equivalente a 53 de las 87 unidades totales, tiene una tendencia al decremento del vigor vegetal.

No obstante lo anterior, el análisis del índice de cambios, obtenido mediante la aplicación del algoritmo de Diferencia Temporal (Δt), aplicado al año 2018 en relación

al promedio de la serie, indica que tanto las unidades relevante nativas como los humedales aumentan la condición vegetacional, lo que indica una recuperación respecto de los años anteriores, situación que es coincidente con la tendencia de la condición de la serie cuando se analiza desde el año 2000 al 2011 y del 2013 al 2018, donde el primer periodo tiene una tendencia negativa, mientras que el segundo dicha tendencia es positiva.

h) En base a la vulnerabilidad definida en base a tendencia de la condición vegetacional y a las amenazas antrópicas, se determinaron que un total de 615 unidades equivalentes a 53,4% del total, con una superficie de 5.851,6 hectáreas se definen con riesgo alto. Y en el caso de humedales 35 (38,8%) que corresponden a 163,5 hectáreas se definieron con riesgo alto. En el primer caso las unidades se ubican en la cuenca propia del río Cachapoal, subcuenca del río Pangal, parte baja del río Coya y del estero Clonqui y en el caso de los humedales se distribuyen en la cuenca propia del río Cachapoal, río Coya y estero Clonqui.

i) Las unidades con riesgo alto, tiene un comportamiento de la condición vegetacional de cambio anual mayoritariamente negativa (de disminución), nueve años de 17, verificándose un cambio positivo (aumento moderado) desde el año 2013 al 2018.

Por otro lado, se concluye que existe una clara relación entre la condición de la vegetación con la tendencia de la precipitación pluvial anual, lo cual indica que la tendencia general del estado de la vegetación entre los años 2000 al 2018 (verano) es a la disminución y sólo a partir del año 2011 existe una recuperación en forma moderada, situación que constituye una amenaza climática, que se agrava si se suma la tendencia de la temperatura a aumentar en dicho periodo (en 0,5 grados Celsius), lo que aumenta las tasas de evapotranspiración y con ello los requerimientos de agua de la vegetación en el área de estudio.

Todo lo anterior, hace relevante la aplicación del plan de seguimiento que se propone en el punto 12.

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.
- Armesto J.J. & Willson M. F.** (2003). Efectos de la Fragmentación de bosques para las aves de los bosques australes chilenos. Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA. Vol XIX n° 3 y 4: pp 54 - 59.
- 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 Environment. 35: 161 – 173.
- Bioamérica Consultores.** 2017. Puma y arriero en el alto Cachapoal hacia la resolución de un conflicto. Edit. Kactus. 100p.
- 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.
- Castro, C. Soto, María. Chavez, C.** 2003. Modern contribution of volume and its implication in the definition of levels of natural risk . Univ. del Bío Bío.
- Chavez, C.** 2005. "Amenazas Naturales en Media y Baja Montaña Asociadas al Corredor de Comercio Las Leñas, VI Región del Libertador Bernardo O'higgins". Memoria de Título. Escuela de Geografía, Universidad de Chile. Santiago, Chile. Pp. 104.
- 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.** 1996. Estudio Agrológico. Descripciones de Suelos. Materiales y Símbolos. VI Región. Santiago, Chile. Publicación 114. Tomo 1.
- 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.
- CONAF.** 2013. Catastro Nacional de Vegetación Nativa. <https://sit.conaf.cl/>

Couve, E. Vidal, C., Ruíz, J. (2016), *Aves de Chile sus Islas Oceánicas y Península Antártica*, Punta Arenas, Chile, Far South Expeditions Ltda.

Espinosa, J. 1988. Estudio preliminar sobre ordenación de veranadas y la exclusión de ganado doméstico VI Región. Ministerio de Agricultura. SAG-DIPROREN. Estudio y Diagnóstico R:N.R. 59p.

Fauna Australis. Lab. PUC. 2007. "Evaluación del Conflicto entre Carnívoros Silvestres y Ganadería" . Inf. Final SAG. 94p.

Franco, L. Delgado, J. y Andrade, G. 2011. Protocolo para la Evaluación de Vulnerabilidad y Resiliencia de los Humedales Altoandinos frente al Cambio Climático Global. Informe Final – Documento 2. ECOPETROL. 58p.

García-Ruiz, J. M. 1990; La montaña: una perspectiva geocológica. Geocología de las áreas de montaña. J. M. García-Ruiz, Edr. Geoforma Ediciones, 15-31. Logroño.

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

Gómez, T. 2013. Evaluación del impacto del cambio climático en centrales hidroeléctricas de la cuenca del alto Cachapoal. Univ. de Chile. Dpto de Ingeniería Civil. 139p.

Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Año 2000, Levantamiento de Bocatomas en cauces naturales, Vol. 1. http://documentos.dga.cl/INF2621_v1.pdf.

Ministerio de Obras Públicas. 2007. Infraestructura para la competitividad. Minería. 45p.

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.

PacificHydro, 2008. Publicación Ecosistema: Territorio, Elementos y procesos. Primera edición.

Pacific Hydro, 2006. Estudio de Impacto Ambiental, Central Hidroeléctrica Chacayes; Capítulo 4. Línea Base. Estudio de Seguimiento de especies sensibles.

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

Sala EO, FS Chapin III, JJ Armesto, E Berlow, J Bloomfield, R Dirzo, E Huber-Sanwald, LF Huenneke, RB Jackson, A Kinzig, R Leemans, DM Lodge, HA Mooney, M Oesterheld, NL Poff, MT Sykes, BH Walker, M Walter & DH Wall, 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science 287: pp 1770-1774.

SAG-UNICIT. 2002. "Cartografía de la Vegetación de Veranadas entre la VI y IX regiones de Chile y Determinación de la Capacidad de Carga". Castro et al.

SAG, 2014. Reseña de la Vegetación de Chile División de Protección de los Recursos Naturales – Vida Silvestre.

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

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.

Universidad de Chile. Dpto. de Geofísica. 2006. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Cambios Climáticos Regionales. Informe Final.

Quintanilla, V. 1983. Biogeografía. Tomo III, Capítulo 4. Instituto Geográfico Militar (IGM). Santiago, Chile.

Videla Giering Yohann. 2013. Modelación hidrológica de la cuenca alta del río maipo mediante la aplicación del software "Cold region hydrological model" (2008-2012) Memoria para optar al título de Geógrafo. Univ. de Chile. 157p.

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

Inventario nacional de especies de Chile

<http://www.catalogueoflife.org/col/details/species/id/81d0266345e1e407e0c55c9464937>

[19d](#), Catálogo mundial de especies, desarrollada por [Naturalis Biodiversity Center](#)

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

<http://avesdechile.cl/059.htm> Base de datos. Enciclopedia interactiva de plantas chilenas. Nómina de aves de Chile, Índice por nombres científicos, *Cyanoliseus patagonus*.

<http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/default.aspx>. Inventario Nacional de especies de Chile.

<http://www.catalogueoflife.org/>. Catálogo mundial de especies, desarrollada por Naturalis Biodiversity Center.

<http://www.iucnredlist.org> Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza. Lista roja de especies amenazadas.

http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-cespedes_m/html/index-frames.html
Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

<http://www.conaf.cl/humedales-chilenos-altoandinos-ecosistemas-estrategicos-de-importancia-internacional/>

Ministerio de Agricultura, CONAF, Humedales chilenos altoandinos, ecosistemas estratégicos de importancia internacional.

http://mma.gob.cl/clasificacionespecies/fichas7proceso/fichas_pac/Puma_concolor_P07.pdf. Secretaría Técnica Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres, Revisado por Secretaría Técnica Comité de Clasificación de Especies (2010)

ANEXO. BASE DE DATOS

BASE DE DATOS VECTORIALES

Capa de información	Archivo	Datos (campos asociados)
Área de estudio	Areaestutm.shp	Área, sup-ha.
Ríos principales (1:50.000)	Ríos ppales.shp	PolyLine
Red hídrica (1:20.000)	Drenes fin.shp	Red hídrica detallada natural de toda el área de estudio. Campo: orden de cada dren (order).
Caminos	Rutas.shp	Campos: Name, Layer (tipo de camino) , Length
Subcuencas	Subcuencas.shp	Nombre, Id, Área, Sup-ha, laaf (índice de aporte de agua), Ips (índice de protección del suelo), Spastoril, lint (índice de intervención), IPG-F (índice de prioridad de gestión final)
Red de canalización	Tub-canales.shp	Id, length, Linetype (tipo de canalización),
Curvas de nivel (1:50.000)	Curcachapoal3.shp	Curvas_id, Elevation (equidistancia 50m).
Propiedades	Propiedades-ae2.shp	Rol, Propietari, Nom_predio, Superficie, desccomu, Area
Ubicación Central de Paso y toma de agua.	puntos-centrales.shp	Id, Central (nombre de central y bocatomas)
Cobertura y uso actual	Vegeta2013ae-v5.shp	Id, Área, Superf_ha, Formación (Nombre de la formación vegetal o del uso para cada UPH.
Humedales Área	Humedales ae.shp	Subuso, Especi1_ci..Especi6_ci

Estudio		(nombre de especies), Área, Sup_ha, Formacion, Tmrsavihum (tendencia de savi respecto del promedio de la serie), Dpromr (Distancia promedio del humedal respecto de caminos).
Suelo	Suelos-aest-ciren.shp	Sibvari (variación de la serie), textcaus (capacidad de uso), textsuca (limitante), RNG (Serie), desc-serie.
Áreas quemadas	Quema2017a.shp	Quema agrícola 2017
	Quema2017.shp	Incendio (nativo) 2017
	Aquema2016.shp	Incendio (nativo) 2016
	Quema2015n.shp	Incendio (nativo) 2015
	Quema2015a.shp	Quema agrícola 2015
	Quema2014.shp	Incendios (nativo) 2014
	Quema2013.shp	Quema terreno para plantación 2013
	Quema2011.shp	Quema agrícola 2011.
	Quema2010ag.shp	Quema agrícola 2010.
	Quema2010.shp	Incendio (nativo) 2010
	Intervenciones antrópicas y naturales	Zintervenidas-ccas.shp
Unidades relevantes	Uph-id-tricahue-ae.shp	Cada UPH contiene: Superf_ha, Area, Formación, Tmrsavotri (tendencia relativa del savi respecto del promedio de la serie), Deltatri (Diferencia SAVI del año 2018 respecto del promedio), Dpromr (Distancia promedio de la UPH respecto de caminos)
Tendencia de humedales	Deltahumedales.shp	Área, Superf_ha, Tmrsavihum (tendencia promedio (humedal) del SAVI en el 2018 en relación al promedio de

		la serie), Deltahum (cambio del SAVI del año 2018 respecto del promedio de la serie).
Uph riesgo	Uphid-tricahue-ae2.shp	Área, Superf_ha, Formacion, ivulnerabil (vulnerabilidad), iamanazaf1 (índice de amenaza), Iriesgo.
Riesgo de humedales	Humedales-ae2.shp	Área, Superf_ha, Formacion, ivulnerabi (vulnerabilidad), iamenaza (índice de amenaza), Iriesgo.
Índice de riesgo alto	Iriesgoalto-uph-singlepart.shp	Área, Iriesgo
Índice riesgo alto humedales	Iriesgohumedalalto.shp	Área, Superf_ha, Formacion, Iriesgo

BASE DE DATOS RASTER

Imagen Sentinel 2A	Sentineleq19s1901018.img	Bandas 4,3 y 2. Resolución espacial 10 m. fecha: 19 enero 2018.
Imagen LANDSAT 8	L8b45604042018-19s255.img	Bandas 4.5 y 6. Resol. Espacial 30 m.
Modelo de Elevación (DEM)	Asterdemcachapoal.img	Tamaño pixel 30 * 30 m.
Imágenes LANDSAT e índices espectrales	Dir: Escenas IRC	Contiene archivos del año 2000 al 2018 de imagen LANDSAT en composición IRC.
	Dir: Indices espectrales	Contiene para la serie (2000-2018) los ISAVI (en formato

		geotif y rst de IDRISI, Indices de tendencia (Tmr..) y de cambios, (DELTA..).
Temperatura	Dir: Temperatura	Banda LANDSAT de temperatura en grfados Celsius.
Cambios anuales	Dir: Cambioanual	Bandas resultantes de cambios anuales.
Imágenes DRON	Dir: terreno 9-5 (dron)	Imágenes de DRON del 9 de mayo 2018
	Dir: terreno 17-5 (dron)	Imágenes de dron de 6 paradas (puntos de levantamiento), subcuenca estero Cauquenes.
	Dir: terreno 25-4(dron)	Imágenes de dron terreno 25 de abril 20018. Pangal.