



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

**EL ANTROPOCENO OBSERVADO A TRAVÉS DE LA INFLUENCIA DE LOS
CAMBIOS DE USO Y COBERTURA DEL SUELO EN LOS ECOSISTEMAS DE
CHILE CENTRAL ENTRE 1975 Y 2020**

Memoria para optar al título profesional de Geógrafa

CAMILA ALEJANDRA TAPIA BERRÍOS

Profesor Guía: Dr. Pablo Sarricolea

Profesora Co-Guía: Dra. Magdalena Fuentealba

SANTIAGO – CHILE

2021

Agradecimientos

Shinzou Wo Sasageyo

Resumen

Las actividades humanas, que se han intensificado en las últimas décadas, son el principal motor del Cambio Global actual. Aunque las consecuencias del accionar humano son conocidas: cambio climático, pérdidas de biodiversidad, y degradación de los ecosistemas naturales, falta investigar a fondo la interrelación que existe entre diferentes mecanismos asociados al cambio climático versus el impacto humano directo en los ecosistemas. En Chile central, las actividades humanas vinculadas con los cambios de uso y cobertura del suelo (LUCC) son las responsables de diversos problemas ambientales, tales como pérdida del bosque nativo además de disminuciones en la superficie de agua dulce. Sin embargo, las últimas décadas han estado marcadas por un cambio climático severo en esta región asociado al comienzo de la mega sequía.

El presente estudio aborda la situación de los últimos 45 años en cuencas de Chile Central que han presentado una pérdida importante y deterioro de bosque nativo además de una disminución de la lámina de agua de sus lagunas. En este sentido, se muestran los principales cambios de uso y cobertura de suelo de las microcuencas laguna Matanzas (33°45'S, 71° 40'W, 7 msnm), laguna Aculeo (33°50'S, 70°54'W, 355 msnm) laguna del Encañado (33°40'S 70° 07'W, 2490 msnm) y laguna Negra (33°39'S 70°07'O, 2700 msnm) los cuales se relacionan con datos climáticos históricos para diferenciar el impacto antrópico de los cambios naturales del ecosistema.

Conceptos clave: Impacto antrópico, Cambio Global, Cambios de uso y cobertura de suelo, Deterioro ambiental.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	8
1.1 Introducción	8
1.2 Planteamiento del problema y estado del asunto	9
1.2.1 El Antropoceno.....	9
1.2.1.1 Cambios de uso y cobertura de suelo	10
1.2.2 Cambio climático.....	11
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo General.....	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
1.4 Área de estudio	14
1.4.1 Caracterización geográfica microcuenca Laguna Matanzas	15
1.4.2 Caracterización geográfica microcuenca Laguna Aculeo	16
1.4.3 Caracterización geográfica microcuenca Laguna del Encañado y Laguna Negra	17
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	18
2.1 Identificación de usos y coberturas de suelo	18
2.2 Cambios de usos y cobertura de suelo.	21
2.2.1 Matriz de cambios	21
2.3 Vegetación en las cuencas hidrográficas de Chile Central	23
2.4 Datos climáticos históricos	23
CAPÍTULO 3: RESULTADOS	25
3.1 Microcuenca Laguna Matanzas	25
3.1.1 Uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Matanzas para el periodo 1975-2020.....	25
3.1.2 Cambios de uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Matanzas para el periodo 1975-2020.	28
3.2 Microcuenca Laguna Aculeo	29
3.2.1 Uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Aculeo para el periodo 1975-2020.....	29
3.2.2 Cambios de uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Aculeo para el periodo 1975-2020.....	32

3.3 Microcuenca Laguna del Encañado	34
3.3.1 Uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna del Encañado para el periodo 1975-2020.....	34
3.3.2 Cambios de uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna del Encañado para el periodo 1975-2020.	36
3.4 Microcuenca Laguna Negra.....	37
3.4.1 Uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Negra para el periodo 1975-2020	37
3.4.2 Cambios de uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Negra para el periodo 1975-2020.....	40
3.5 Cambios en la vegetación y su relación con el clima	41
3.5.1 Variación de la vegetación y las precipitaciones	41
3.5.2 Variación de la vegetación y la temperatura	44
3.6 Cambios en la superficie de lagunas y su relación con el clima.....	46
3.6.1 Variación de superficie laguna Matanzas entre 1975-2020	46
3.6.2 Variación de superficie laguna Aculeo entre 1975-2020.....	47
3.6.3 Variación de superficie laguna del Encañado entre 1975-2020.....	49
3.6.4 Variación de superficie laguna Negra entre 1975-2020.....	50
CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	52
4.1 Discusión	52
4.2 Conclusión	53
CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Límites planetarios	10
Figura 2. Área de estudio.....	14
Figura 3. Lagunas de la Reserva Nacional El Yali.....	15
Figura 4. Esteros en el sector de Laguna Aculeo, Región Metropolitana.	16
Figura 5. Esquema pasos metodológicos.....	18
Figura 6. Delimitación microcuenca Laguna del Encañado.	19
Figura 7. Ejemplo de resultado obtenido mediante la herramienta Raster Calculator.	22

Figura 8. Código utilizado en la plataforma Google Earth Engine para obtener valores de NDVI y EVI.	23
Figura 9. Cambios de uso y cobertura del suelo en la microcuenca Laguna Matanzas entre 1975-2020. En la gráfica se observa una disminución sostenida de bosque nativo y un incremento de plantaciones y agricultura.	25
Figura 10. Usos y coberturas de suelo microcuenca Laguna Matanzas para el periodo 1975-2020. Distribución espacial y cambios en los usos de suelo de la zona de estudio.....	28
Figura 11. Cambios de uso y cobertura del suelo de la microcuenca de Laguna Aculeo. ...	29
Figura 12. Usos y coberturas de suelo microcuenca Laguna Aculeo para el periodo 1975-2020.	32
Figura 13. Cambios de uso y cobertura del suelo en la microcuenca Laguna del Encañado entre 1975 y 2020.	34
Figura 14. Usos de suelo microcuenca Laguna del Encañado para el periodo 1975 – 2020.	36
Figura 15. Cambios de uso y cobertura del suelo en la microcuenca Laguna Negra entre 1975-2020.	37
Figura 16. Usos de suelo microcuenca Laguna Negra para el periodo 1975-2020.....	40
Figura 17. Correlación entre valores de vegetación y precipitación anual por año hidrológico entre 2000-2020.....	43
Figura 18. Correlación entre valores de vegetación y temperatura anual por año hidrológico entre 2000-2020.....	45
Figura 19. Evolución de la superficie de laguna Matanzas (Ha) y precipitaciones anuales (mm) por año hidrológico para el periodo 1974-2020.	46
Figura 20. Evolución de la superficie de lagunas Matanzas (Ha) y temperatura media anual (°C) por año hidrológico para el periodo 1974-2020.	47
Figura 21. Evolución de la superficie de laguna Aculeo (Ha) y precipitaciones anuales (mm) por año hidrológico para el periodo 1974-2020.	48
Figura 22. Evolución de la superficie de laguna Aculeo (Ha) y temperatura media anual (°C) por año hidrológico para el periodo 1974-2020.	48
Figura 23. Evolución de la superficie de laguna del Encañado (Ha) entre 1975-2020 y precipitaciones anuales (mm) por año hidrológico para el periodo 1984-2020.	49
Figura 24. Evolución de la superficie de laguna del Encañado (Ha) entre 1975-2020 y temperatura media anual (°C) por año hidrológico para el periodo 1984-2020.....	50
Figura 25. Evolución de la superficie de laguna Negra (Ha) entre 1975-2020 y precipitaciones anuales (mm) por año hidrológico para el periodo 1984-2020.	51
Figura 26. Evolución de la superficie de laguna del Negra (Ha) entre 1975-2020 y temperaturas medias anuales (°C) por año hidrológico para el periodo 1984-2020.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro resumen de imágenes satelitales.	19
Tabla 2. Usos y coberturas de suelo escogidos para las cuatro microcuencas.	20
Tabla 3. Matriz de cambios de uso y cobertura de suelo.	22
Tabla 4. Resumen de plataformas para obtener datos de precipitación y temperaturas para laguna Matanzas, laguna Aculeo, laguna Del Encañado y laguna Negra.	24
Tabla 5. Tabla de resumen usos y coberturas de suelo microcuenca Laguna Matanzas.	25
Tabla 6. Matriz de cambio microcuenca Laguna Matanzas.	29
Tabla 7. Tabla de resumen usos de suelo microcuenca Laguna Aculeo.	30
Tabla 8. Matriz de cambio microcuenca Laguna Aculeo.	33
Tabla 9. Tabla de resumen usos de suelo microcuenca Laguna del Encañado.	34
Tabla 10. Matriz de cambio microcuenca Laguna del Encañado.	37
Tabla 11. Tabla de resumen usos de suelo microcuenca Laguna Negra.	38
Tabla 12. Matriz de cambio microcuenca Laguna Negra.	41

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

Los ecosistemas se encuentran sometidos a variaciones constantes, que se producen a diferentes escalas espaciales y temporales (Altamirano & Lara, 2010). Entre las principales variaciones que los afectan están las ligadas a las actividades antrópicas, en especial los cambios de uso y cobertura del suelo (LUCC), estas son las responsables de pérdida de biodiversidad nativa y disponibilidad de agua dulce. El reemplazo de la cobertura natural del suelo, las prácticas agrícolas y la urbanización, además de producir deforestación, aceleran los procesos de erosión y pérdidas de nutrientes del suelo los que son transportados a los lagos mediante la red de drenaje afectando su estado trófico (Robertson & Vioutusek, 2009).

En Chile central, uno de los principales impactos de los LUCC, es la pérdida de bosque nativo. El reemplazo de este por las actividades silvoagropecuarias ha traído serios problemas ambientales como el incremento de incendios forestales, pérdidas de biodiversidad y disponibilidad de agua dulce (Sarricolea et al., 2020; Fuentealba et al., 2020), afectando por completo los ecosistemas, los servicios ecosistémicos que ellos prestan y la calidad de vida de la población. Además, el crecimiento de las viviendas, acompañado del incremento en el consumo de agua, ha generado una presión sobre los cuerpos de agua que incluso ha terminado secando varias lagunas de Chile Central.

Esta memoria de título tiene como objetivo realizar una reconstrucción de los LUCC entre 1975 y 2020 de cuatro microcuencas hidrográficas de Chile Central, las cuales son, Laguna Matanzas (33°45'S, 71° 40'O) ubicada en la Región de Valparaíso, Laguna de Aculeo (33°50'S, 70°54'O), Laguna del Encañado (33°40'S 70° 07'O) y Laguna Negra (33°39'S 70°07'O) ubicadas en la Región Metropolitana. Las dos primeras microcuencas se encuentran con una fuerte presión antrópica desde las últimas décadas que ha generado la sequía de sus lagunas. En este sentido, se pretende relacionar dichos cambios con datos climáticos históricos de precipitación y temperatura con el fin de evidenciar el impacto antrópico y diferenciarlo del impacto natural de las variaciones climáticas. A su vez, se trabajarán con mayor detalle los usos y coberturas de suelo correspondientes a vegetación y cuerpos de agua, debido a que estas categorías son susceptibles a sufrir cambios en sus superficies debido a variaciones climáticas. Para esto, se utilizarán técnicas de teledetección mediante imágenes satelitales y procesamiento de información de fuentes secundarias.

Dicho esto, entender cómo los cambios en el paisaje tanto humanos como naturales afectan los ecosistemas resulta de vital importancia para una gestión correcta del territorio que permita conservar recursos naturales valiosos como lo son la biodiversidad y los cuerpos de agua dulce.

1.2 Planteamiento del problema y estado del asunto

Las actividades antrópicas a nivel mundial han presentado un gran aumento en las últimas décadas dando origen a la era denominada Antropoceno (Crutzen & Stoermer, 2000) Este periodo es caracterizado por una predominancia de las actividades humanas en el territorio, principalmente extractivistas, las cuales han ocasionado lo que se conoce como Cambio Global. Dicho término, hace referencia a los cambios ambientales que se viven en los ecosistemas a raíz de la intensidad de estas actividades. Estos cambios se producen a escalas locales o regionales, sin embargo, su impacto puede afectar de manera global el funcionamiento de la Tierra (Zamora, 2016). Dentro de las principales consecuencias del accionar humano se encuentra: cambios de uso y cobertura de suelo que generan pérdidas de biodiversidad y degradación de los ecosistemas naturales y cambio climático.

1.2.1 El Antropoceno

Desde el inicio de la humanidad se han presentado cambios en los ecosistemas, tales como, introducción de especies exóticas, contaminación de aguas, pérdida de biodiversidad y cambios de uso de cobertura y suelo debido al aumento en la demanda de alimentos y la extracción de materias primas. Durante años estos cambios fueron transitorios y revertidos mediante procesos naturales del ecosistema, sin embargo, debido al aumento significativo de las actividades antrópicas, es cada vez más difícil atenuar estos cambios. Este periodo en donde el impacto humano influye de manera significativa en los procesos de transformación de la naturaleza se le conoce como Antropoceno. (Armesto, 2010) Esta fase vino a reemplazar a la era geológica denominada Holoceno, en donde, el clima se mantenía estable y permitió el desarrollo del ser humano en la tierra, abarcando entre 10.000 y 12.000 años (Svampa, 2019).

A pesar de no tener claro el inicio del Antropoceno, debido a los múltiples debates científicos, se evidencian cambios significativos en los territorios desde la intensificación de la agricultura y el inicio de la revolución industrial, en donde se producen aumentos notables y constantes de CO₂ y CH₄ en la atmósfera. (Ruddiman, 2005, citado en Zamora, 2016).

En este sentido, Röckstrom et al. 2009 para poder explicar la magnitud de las actividades antrópicas proponen los *límites planetarios (planetary boundaries)*. Los límites planetarios señalan 10 procesos que se deben evaluar ya que son fundamentales para la estabilidad del planeta, los cuales son: Crisis climática, Acidificación de los océanos, Agujero de ozono, Ciclo del nitrógeno, Ciclo del fósforo, Uso del agua, Deforestación y otros cambios de uso de suelo, Pérdida de biodiversidad, Contaminación de partículas de la atmósfera y Contaminación química. En la figura 1 se observa cada proceso con su límite planetario, en donde, la pérdida de biodiversidad y el ciclo del nitrógeno, ambos procesos ligados a

actividades humanas han superado los límites planetarios generando problemas para el desarrollo de la población.

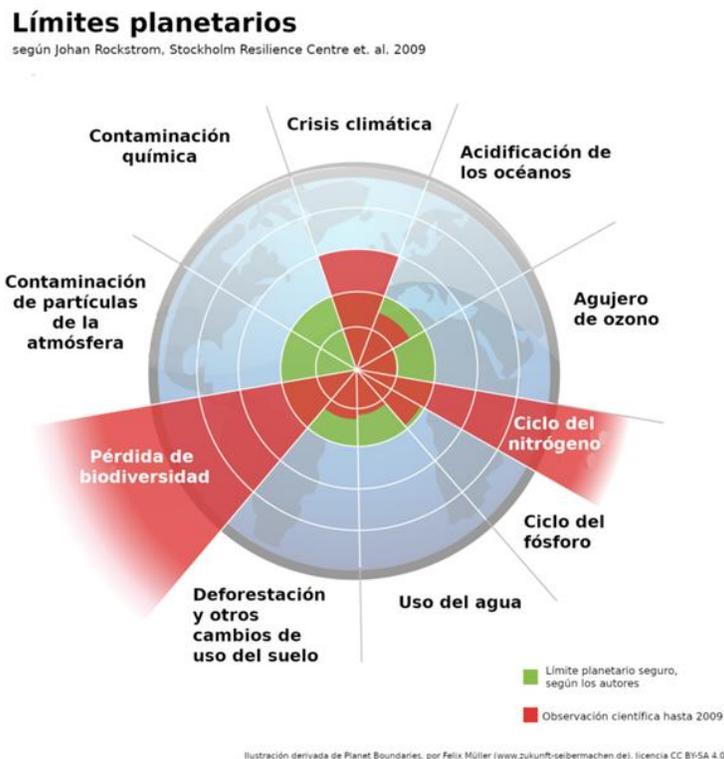


Figura 1. Límites planetarios (Planetary boundaries propuesto por Röckstrom, et al. 2009).

En el caso de Latinoamérica, se intensifican los procesos de extracción de recursos desde la época de la Conquista y la Colonia. Estos procesos ligados principalmente a la minería, la agroindustria y el monocultivo, se relacionan con transformaciones climáticas que producen cambios en la naturaleza, territorio y en las poblaciones, dando origen a desigualdades ambientales (Ulloa, 2017), provocando un gran impacto en los territorios de América del Sur debido a la pérdida de grandes zonas de biodiversidad. (Armesto, 2010)

En el caso de Chile, el Antropoceno se evidencia principalmente en los cambios de uso de suelo, que generan impactos negativos como, por ejemplo: en la biodiversidad y la disponibilidad hídrica (Gallardo, 2016).

1.2.1.1 Cambios de uso y cobertura de suelo

El reemplazo del uso y cobertura natural del suelo ha sido uno de los principales motores para la aceleración del cambio climático, ya que altera la composición del suelo y afecta la calidad de los ecosistemas debido a su pérdida, modificación y fragmentación. Esto se traduce en una disminución de la biodiversidad a nivel mundial debido al aumento de actividades del sector agrícola, ganadero, forestal y urbano (Sala et al. 2000 citado en Aguayo, et al. 2009).

En el caso de Chile, en las últimas décadas se ha producido un aumento acelerado de dichas actividades. La agricultura por su parte fue la responsable de las primeras transformaciones en el territorio principalmente en Chile Central. Luego, se expande la industria forestal, presente en Chile desde el siglo XX (Donoso & Lara 1995) y se intensifica a partir de la década de 1940, debido a la ley de bosques (DFL 1931- 1974) que favorece el crecimiento de esta industria mediante incentivos económicos. Sin embargo, otra de las actividades responsables de un remplazo del uso y cobertura de suelo son las nuevas urbanizaciones. Durante los últimos años, la actividad residencial ha crecido de manera exponencial (Bergh & Promis, 2011) Estas nuevas residencias se ubican en su mayoría en la zona centro del país, principalmente en la Región Metropolitana que para el año 2017 concentra el 40,7% de población total del país (INE, 2018), generando una presión constante en las cuencas de la zona central de Chile.

Las principales coberturas naturales que se encuentran afectadas por la presión antrópica en las cuencas corresponden al bosque nativo y a las lagunas. Debido a su importancia para los ecosistemas y las funciones que estos cumplen, estos usos de suelo son altamente frágiles y susceptibles a sufrir daños en sus superficies.

La sequía de lagunas y la pérdida de grandes sectores de bosque nativo son problemas ambientales que están presentes cada vez en mayor cantidad, por ejemplo, la sequía de laguna Matanzas en el año 2016 y la sequía de laguna Aculeo en el año 2018. La primera de estas lagunas se ubica en un sector costero que se encuentra parcelado para desarrollar de manera intensiva la actividad agrícola y ganadera (Contreras-López, et al., 2014) lo que ha generado un deterioro en el ecosistema del sector (Contreras et al. 2012).

En el caso de Laguna de Aculeo, desde 1950, la atracción turística de la laguna significó un fuerte aumento en la construcción de residencias y campings (Armijo & Caviedes, 1996a). En este sentido la cuenca de laguna de Aculeo se convierte en un sector de veraneo, en donde el negocio inmobiliario comienza a expandirse de manera desmedida, ocupando amplios sectores de la cuenca (Armijo & Caviedes, 1996b). El turismo en verano ha provocado impactos negativos en la laguna, como por ejemplo la contaminación, además de presión sobre el ecosistema en general, principalmente en los sectores de vegetación nativa. Esta creciente actividad turística en el sector se vincula a los cambios de uso de suelo agrícola y por ende a la transformación del paisaje en general (Armijo, 1993).

1.2.2 Cambio climático

El clima se compone de una serie de variables meteorológicas, como, por ejemplo, las precipitaciones y las temperaturas. A su vez, este puede sufrir diferentes variaciones de la mano de fenómenos de El Niño y de La Niña, que producen un calentamiento o enfriamiento

respectivamente, en el Pacífico Ecuatorial central y oriental (López, 2017). Sin embargo, las actividades antrópicas han generado un aumento en la temperatura superficial del planeta debido a los gases de efecto invernadero, lo que conlleva a periodos más cálidos afectando, además, el régimen de precipitación.

En el caso de Chile, debido a su ubicación en una zona de transición entre condiciones oceánicas frías y cálidas, se dificulta el análisis de las precipitaciones debido a las oscilaciones interanuales que caracterizan el territorio chileno, aun así, en el sector centro-sur del país se evidencia una disminución de hasta 100 mm/década de pp. (Garreaud, 2011), que se ha acentuado en las últimas décadas debido a la megasequía que afecta desde el año 2010 (Boisier et al., 2016; Garreaud et al., 2017; Serrano-Notivoli et al., 2021).

Dentro de los principales impactos que ocurren en el territorio con respecto al cambio climático, es la variación en los cuerpos de agua dulce. En Chile central, los caudales han presentado una disminución que ha ido aumentando de manera progresiva en las últimas décadas. En el caso del hielo acumulado en los glaciares, estos siguen la tendencia de retroceso lo que significaría una disminución de superficie en las lagunas que son alimentadas por estos. (CEPAL, 2009).

En base a estos antecedentes se espera que el cambio climático impacte en los recursos hídricos de las cuencas. Esto se traduce como una menor disponibilidad de agua dulce que se intensifica en el periodo estival debido al alza en las temperaturas. Este escenario significa un impacto negativo para actividades como la agricultura (CEPAL, 2009).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Caracterizar y evaluar los efectos de los cambios de uso y cobertura del suelo y del clima en Chile central entre 1975 – 2020, y reflexionar sobre los impactos del Antropoceno en la región.

1.3.2 Objetivos específicos

- 1) Identificar y analizar los usos y coberturas de suelo durante el periodo 1975 – 2020 para las microcuencas de Laguna Matanzas, Laguna Aculeo, Laguna del Encañado y Laguna Negra.
- 2) Reconocer los principales cambios de uso y cobertura de suelo de las microcuencas analizadas durante el periodo 1975 – 2020.
- 3) Analizar en qué medida el clima influye en la vegetación y en los cambios de uso y cobertura del suelo de las microcuencas estudiadas.

1.4 Área de estudio

El área de estudio (Fig. 2) se inserta en el clima mediterráneo (Luebert & Pliscoff, 2006; Sarricolea et al. 2017). Este macroclima presenta variabilidad según factores geográficos y debido a la irregularidad de mecanismos atmosféricos que lo dirigen (Gómez-Zotano, et. al, 2015). En el caso de Chile central, el sector se caracteriza por un ecosistema con una disponibilidad hídrica limitada y diferencias notables, diurnas o nocturnas, en las temperaturas. (Santibáñez & Uribe 1992 citado en Marino, 2002).

Por su parte, las cuencas hidrográficas escogidas se ubican en la zona de transición entre el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) y el Cinturón de Vientos del Oeste (CVW) que intensifica las precipitaciones. Debido a esta ubicación geográfica el clima mediterráneo presenta una estacionalidad marcada, dominado por una estación seca prolongada en periodo estival y una estación húmeda en invierno en donde se concentra la mayoría de las precipitaciones. Este fenómeno climático se debe al desplazamiento hacia el norte del APS durante el invierno dando paso a la actividad frontal del Cinturón de Vientos del Oeste y en verano el APS se desplaza hacia el sur dominando condiciones cálidas y secas (Avaria, et al., 2004). Además, la zona norte de Chile Central (30°S-34°S) se encuentra influenciada por fenómenos de la Oscilación del Sur (SO), de fases negativas (eventos El Niño) y fases positivas (eventos La Niña) que pueden generar anomalías en las precipitaciones, especialmente los relacionados a los eventos El Niño (ENSO) (Villa, 2002).

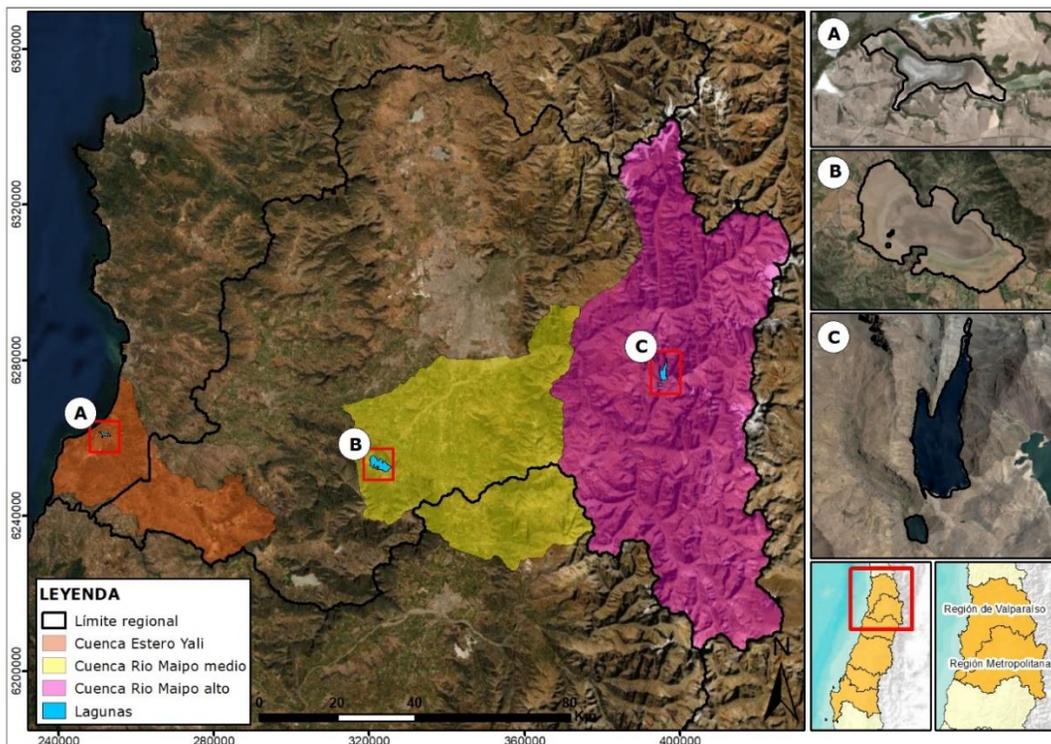


Figura 2. Área de estudio. Vista general de las cuencas de Chile central localizadas en un transecto altitudinal. **A)** Laguna Matanzas, Humedal del Yali. **B)** Laguna Aculeo, Paine. **C)** Laguna del Encañado y Laguna Negra, San José de Maipo.

1.4.1 Caracterización geográfica microcuenca Laguna Matanzas

La laguna Matanzas (Fig. 2A) ubicada en la comuna de Santo Domingo, Región de Valparaíso, corresponde a la cuenca costera Estero Yali, que comprende dicha región y la Región Metropolitana. Dicha laguna es una laguna interior (7 m. s.n. m.) (Meza et al.,2013), cuyo principal afluente es el estero Las Rosas. Al pertenecer a una cuenca costera, tiene régimen pluvial, lo que significa que el estero principal y sus afluentes permanecen períodos de tiempo secos, generalmente en periodo estival y luego en invierno vuelven a recuperar superficie. (DGA, 2000 citado en Galdames, 2006)

Se encuentra dentro de La Reserva Nacional El Yali, sitio Ramsar N°878 de 530,37 hectáreas, que se define como un sector de gran valor ecosistémico debido a su alta biodiversidad (CONAF, SF). Dentro de esta zona protegida hay otras dos lagunas a) una laguna interior de régimen estacional: Colejuda y b) Una laguna costera o albufera: Cabildo (Meza et al.,2013; Fig. 3)



Figura 3. Lagunas de la Reserva Nacional El Yali. En la figura se observa A) Laguna Colejuda B) Laguna Matanzas y C) Laguna Cabildo. Fuente: Google Earth, 2020.

La vegetación es de tipo Matorral Espinoso del Secano Costero (Gajardo, 1994), compuesto principalmente por Espino (*Acacia Caven*) de baja densidad y moldeados por el viento y la salinidad del mar. A las orillas del mar se caracteriza por vegetación de pajonales principalmente del género *Scirpus sp.* y *Typha angustifolia* y remanentes de bosque nativo como, por ejemplo, especies de Boldo (*Peumus Boldus*), Molle (*Schinus latifolius*) y Peumo (*Cryptocarya alba*). Por otro lado, cercano a las lagunas hay amplias plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y Pino (*Pino insigne*), que también se distribuyen en el sector norte de la cuenca. Luego de estas plantaciones se presentan amplios parches de terrenos destinados al uso agrícola y ganadero. (Leiva, 1995)

1.4.2 Caracterización geográfica microcuenca Laguna Aculeo

La laguna Aculeo (Fig. 2B) está inserta en la cuenca del Río Maipo medio, en la comuna de Paine correspondiente al sector centro-sur de la Región Metropolitana y su principal afluente es el Estero Pintué. Dentro de la cuenca hay otros esteros: Las Cabras, Santa Aculeo o Santa Marta, Abrantes, Huiticalan y Peralillo (Fig. 4) sin embargo, actualmente la mayoría se encuentran secos (Meneses, 2019) La cuenca de laguna Aculeo es de origen endorreico, es decir, no tiene salida hacia el océano (Rivas, 2019).



Figura 4. Esteros en el sector de Laguna Aculeo, Región Metropolitana. Fuente: Elaboración propia, 2020 en base a BCN, 2008.

En cuanto a la vegetación de la cuenca en donde se encuentra la laguna, se presentan amplias zonas de bosque nativo especialmente especies de Peumo (*Cryptocarya alba*), Quillay (*Quillaja Saponaria*) y Litre (*Lithraea Caustica*) (Hoffman, 2012). Estas especies están en su mayoría inmersas en la Reserva Nacional Altos de Cantillana declarada Santuario de la naturaleza el año 2009, constituyendo un sector rodeado por cordones montañosos que delimitan la laguna, presentando un alto riesgo de remociones en masa debido a su geomorfología. Por otro lado, la cuenca se encuentra rodeada por amplios sectores de praderas, residencias y agricultura especialmente cultivos de trigo, maíz y grano seco además de cultivos frutales de gran consumo hídrico como kiwi, cereza y ciruela. (Rivas, 2019).

1.4.3 Caracterización geográfica microcuenca Laguna del Encañado y Laguna Negra

Con respecto a laguna del Encañado y laguna Negra (Fig. 2C) ambas se ubican en la cuenca del Río Maipo Alto, siendo parte de la zona cordillerana de Chile central, en la comuna de San José de Maipo, Región Metropolitana. Estas lagunas se nutren a partir del derretimiento de nieve del glaciar Echaurren. Debido a la altura en donde se ubican estas lagunas las temperaturas presentan un fuerte contraste entre verano e invierno, alcanzando mínimas de -15°C y máximas sobre 30°C en periodo estival. Con respecto a las precipitaciones estas se suelen presentar en forma de nieve y a medida que aumenta la altura el clima se define como Frío de altura, característico de sectores con gran presencia de nieve y gran cantidad de embalses. (Dionizis, 2018)

El sector presenta una geografía dominante de morrenas que cubren el valle glacial del Río Yeso. Además, la zona se encuentra marcada por una gran presencia de lagunas y embalses.

Con respecto a las actividades presentes en la cuenca, si bien no posee actividades humanas directas a excepción de un turismo a baja escala (Cornejo, Saavedra & Vera, 2006) el agua de la laguna está destinada al consumo humano de la ciudad de Santiago alcanzando un 70% de la demanda actual (Bustos, 2011 citado en Dionizis, 2018).

En cuanto a la vegetación del sector debido a la altura es principalmente de pastizal y matorrales.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

La metodología propuesta para realizar los objetivos fue de carácter mixta, ya que se utilizan datos tanto cualitativos como cuantitativos (Hernández, 2006). En la siguiente figura se observan los principales pasos metodológicos en función de sus objetivos específicos:

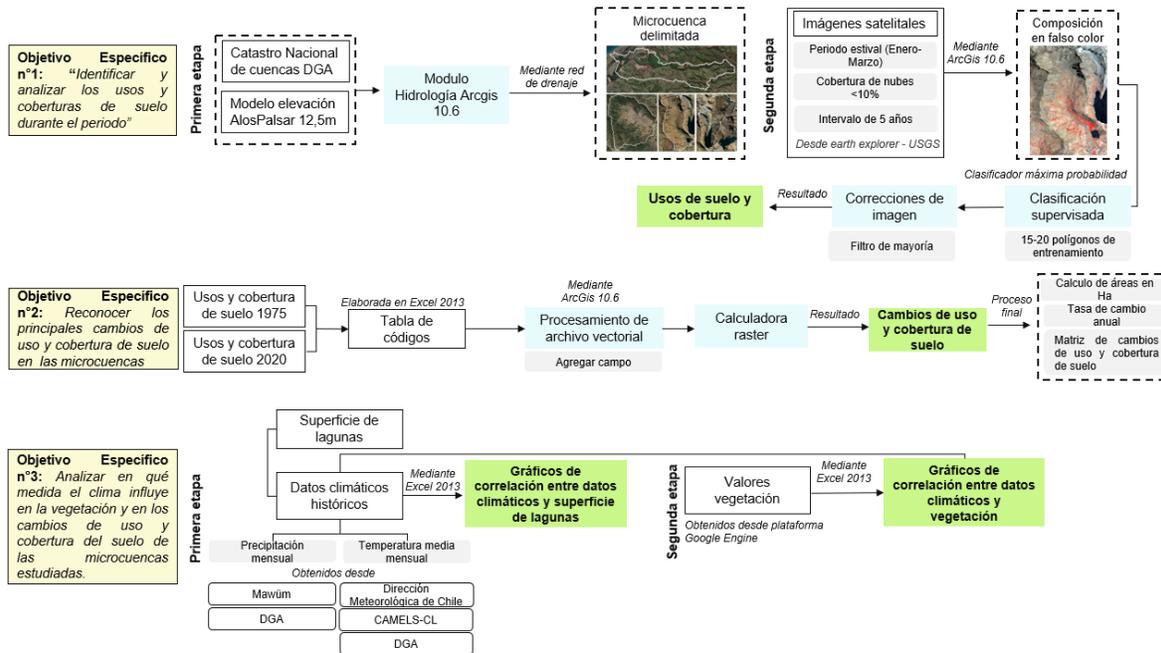


Figura 5. Esquema pasos metodológicos. Etapas para desarrollar los tres objetivos específicos planteados en el estudio.

2.1 Identificación de usos y coberturas de suelo

Para poder identificar los usos y coberturas de suelo durante el periodo 1975-2020 en las cuatro lagunas del estudio fue necesario en primer lugar delimitar las microcuencas de estas. Para esto se utilizó como base el Catastro nacional de cuencas disponible en la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (DGA). A partir de este catálogo, en conjunto con el modelo digital de elevación AlosPalsar (resolución 12.5 metros, IDEChile) se trazó la red de drenaje y se delimitaron las cuencas correspondientes a cada cuerpo de agua en el módulo Hydrology del software ArcGis 10.6.

Para delimitar la cuenca se realizaron los siguientes pasos metodológicos:

1) Mediante el modelo de elevación digital AlosPalsar, se realizaron los geoprosesos *Fill*, *Flow direction* y *Flow accumulation* del módulo Hydrology de ArcGis 10.6 que entregaron los siguientes resultados: corrección de sumideros que presentaba el modelo de elevación, dirección del flujo de agua según la pendiente y red hídrica, respectivamente.

2) Se creó una capa de puntos en donde se ubicó, mediante el resultado obtenido del geoproceso *Flow accumulation*, el punto de desfogue de la cuenca, este punto se interpoló con el modelo de elevación para agregarle las coordenadas Z.

3) Con los resultados obtenidos mediante el geoproceso *Flow direction* y el punto interpolado, se utilizó la herramienta *Watershed*, para obtener la microcuenca delimitada. En el caso de laguna del Encañado, se corrigió el resultado de manera manual según criterio de experto (Fig. 6).

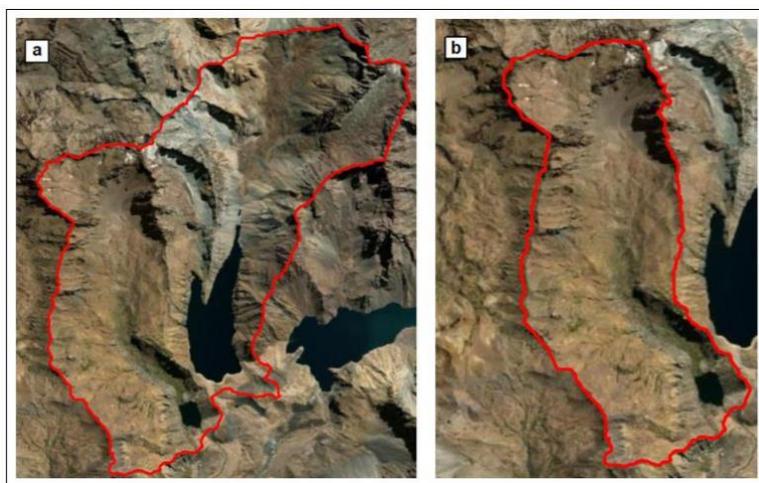


Figura 6. Delimitación microcuenca Laguna del Encañado. A) Resultado entregado mediante la herramienta *Watershed* B) Corrección manual de la microcuenca mediante criterio de experto.

En segundo lugar, se escogieron imágenes satelitales de periodo estival, con una cobertura de nubes menor al 10% y con un intervalo de 5 años, a excepción del periodo 1975 – 1985 debido a que no se encontraron imágenes satelitales del área de estudio. Estas fueron descargadas de la plataforma online del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y trabajadas en el software ArcGis 10.6:

Satélite	Sensor	Fecha	Resolución
Landsat	MSS	22/03/1975	60m
Landsat	TM	10/02/1985	30m
Landsat	TM	15/01/1990	30m
Landsat	TM	26/03/1995	30m
Landsat	ETM+	28/02/2000	30m
Landsat	TM	05/03/2005	30m
Landsat	TM	14/01/2010	30m
Landsat	OLI	01/03/2015	30m
Landsat	OLI	10/01/2020	30m

Tabla 1. Cuadro resumen de imágenes satelitales. Se observa el tipo de satélite, sensor, fecha y resolución de cada imagen utilizada.

Con las imágenes satelitales se realizó una clasificación supervisada de usos y cobertura de suelo con el Clasificador de máxima probabilidad mediante zonas de entrenamiento. Estas zonas fueron escogidas con el software Google Earth Pro a través de fotointerpretación y el Catastro vegetacional de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) del año 2013. Se estimó

el área de estas, con el fin de cuantificar los cambios en sus superficies, y se elaboró una base de datos en Excel 2013. Por último, con el fin de identificar cómo ha evolucionado el uso y la cobertura de suelo en los cuatro sectores, se sistematizó la información obtenida en las diferentes etapas, mediante la elaboración de cartografías.

Para la clasificación supervisada se realizaron los siguientes pasos metodológicos:

1) La imagen satelital obtenida de la plataforma USGSS estaba proyectada en huso 19N por lo que mediante la herramienta *Project Raster*, se cambió su huso dejándolo en 19S.

2) Luego, se ocupó la herramienta *Clip* para recortar la imagen con el área de estudio que corresponde a las microcuencas delimitadas anteriormente.

3) Mediante la herramienta *Composite bands* se realizó la composición en falso color para los años 1975,1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020. Esta composición se escoge debido a que se resaltan los valores de vegetación.

4) En el caso de los años 2015 y 2020, luego de realizada la composición de bandas se le agregó la banda pancromática (banda 8) mediante la herramienta *Create Pansharpened Raster Dataset*. Este proceso aumenta la resolución de la imagen, pasando de 30m a 15m.

5) Mediante el módulo *Image classification*, se dibujaron de 20-30 polígonos por cada uso y cobertura de suelo. Estos fueron trabajados mediante el clasificador de máxima probabilidad, entregando la clasificación supervisada para cada año. Estos usos y coberturas de suelo se escogieron mediante el Catastro de uso y cobertura de suelo (CONAF, 2013) y se detallan a continuación:

Usos y coberturas de suelo	Microcuenca laguna Matanzas	Microcuenca laguna Aculeo	Microcuenca laguna del Encañado	Microcuenca laguna Negra
	Laguna	Laguna	Laguna	Laguna
	Duna	Bosque nativo	Nieve	Nieve
	Bosque nativo	Plantación	Vega	Vega
	Plantación	Agricultura	Pastizal	Pastizal
	Agricultura	Suelo desnudo	Material rocoso	Material rocoso
	Matorral	Matorral		
	Pradera	Pradera		
		Residencial		

Tabla 2. Usos y coberturas de suelo escogidos para las cuatro microcuencas. Elaborado en base a Catastro nacional de uso y cobertura de suelo. CONAF (2013)

6) Se corrigió la clasificación supervisada mediante las herramientas: *Majority filter*, esto con el fin de eliminar el efecto conocido como “sal y pimienta” que consiste en polígonos aislados o mal clasificados.

Como segunda etapa, teniendo la capa corregida se convirtió el archivo raster en un archivo de carácter vectorial de cada uso y cobertura de suelo en las microcuencas del área de estudio, mediante la herramienta *Raster to polygon*. Luego, se aplicó la herramienta *Dissolve* para agrupar las categorías y se calcularon en hectáreas las áreas de cada uso y cobertura de suelo mediante la herramienta *Calculate Geometry* de la tabla de atributos. Una vez generados estos datos mediante el software Excel 2013, se elaboraron tablas y gráficos con el objetivo de visualizar los cambios en los usos de suelo a lo largo del periodo estudiado.

2.2 Cambios de usos y cobertura de suelo.

Para identificar los principales cambios de uso y cobertura de suelo ocurridos en las microcuencas estudiadas se utilizaron los archivos de uso y cobertura de suelo de los años 1975 y 2020. Luego, se elaboró una matriz de cambios en Excel 2013 y se estimó la tasa de cambio correspondiente a cada categoría con el objetivo de evidenciar cuales han sido las principales modificaciones en las microcuencas durante el periodo en estudio.

2.2.1 Matriz de cambios

1) Mediante el software Excel 2013 se elaboró una tabla (anexo N°1) para asignarle un código a cada categoría de uso y cobertura de suelo entre los años 1975 y 2020 esto con el objetivo de poder cruzar la información de ambas capas. Dicha tabla sirve de insumo para realizar los procesamientos posteriores.

2) Mediante el software Arcgis 10.6 se agregó un nuevo campo a la tabla de atributos de los archivos de uso y cobertura de suelo de los años 1975 y 2020 en donde se les asignó el código establecido en las tablas generadas anteriormente.

3) Luego, esta capa se convierte a un archivo raster manteniendo los códigos asignados a cada categoría de uso y cobertura de suelo.

4) Por último, mediante la herramienta *Raster calculator* se realizó una suma de las capas de uso y cobertura de suelo del año 1975 y 2020, obteniendo cada cambio mediante códigos (Fig. 7). Esta capa se transforma a archivo vectorial utilizando la herramienta *Raster to polygon*.

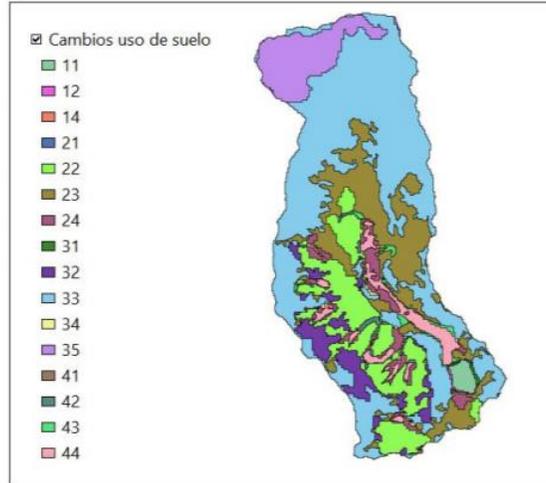


Figura 7. Ejemplo de resultado obtenido mediante la herramienta Raster Calculator. El resultado observado consistió en una capa de cambios de uso y cobertura de suelo del periodo 1975-2020 en códigos. Estos códigos se pueden interpretar a partir de la tabla generada en Excel 2013 (Anexo N°2)

Posteriormente se agruparon las categorías correspondientes a cada código. Luego, mediante la herramienta *Calculate geometry* de la tabla de atributos se calculó el área de estos en hectáreas. Posteriormente se elaboró la matriz de cambios (Tabla 3) en Excel, reemplazando cada código por el cambio de uso y cobertura de suelo en una tabla de interpretación (Anexo N°2)

Nombre Laguna						
1975	2020					Total
	Categoría 1 año 2020	Categoría 2 año 2020	Categoría 3 año 2020	Categoría 4 año 2020	Categoría 5 año 2020	
Categoría 1 año 1975	Código 11	Código 21	Código 31	Código 41	Código 51	Total categoría 1 año 1975
Categoría 2 año 1975	Código 12	Código 22	Código 32	Código 42	Código 52	Total categoría 2 año 1975
Categoría 3 año 1975	Código 13	Código 23	Código 33	Código 43	Código 53	Total categoría 3 año 1975
Categoría 4 año 1975	Código 14	Código 24	Código 34	Código 44	Código 54	Total categoría 4 año 1975
Categoría 5 año 1975	Código 15	Código 25	Código 35	Código 45	Código 55	Total categoría 5 año 1975
Total	Total categoría 1 año 2020	Total categoría 2 año 2020	Total categoría 3 año 2020	Total categoría 4 año 2020	Total categoría 5 año 2020	Suma de los totales

Tabla 3. Matriz de cambios de uso y cobertura de suelo. Se observa el molde de la matriz de cambios construida mediante los códigos entregados en la etapa n°1 de los pasos metodológicos. La matriz de cambios varía según cada microcuenca y sus categorías de uso de suelo, cada código se rellenó con la superficie en hectáreas.

Por último, a partir de la matriz de cambios se calcularon las tasas de cambio en porcentaje en base a la ecuación propuesta por FAO (1996):

$$t = (S2/S1) 1/n - 1$$

En donde: t corresponde a la tasa de cambio; S2 corresponde a la superficie de la fecha más actual (2020); S1 es la superficie de la fecha más antigua (1975) y; n corresponde a los años transcurridos entre ambas fechas. El resultado se multiplica por 100 para obtener la tasa de cambio en porcentaje.

2.3 Vegetación en las cuencas hidrográficas de Chile Central

Mediante la plataforma Google Earth Engine (Fig. 8) se utilizó la base de datos del instrumento MODIS (Espectro radiómetro de imágenes de media resolución) para identificar las variaciones en cuanto a la vegetación para cada área de estudio para el periodo 2000-2020. Esta base de datos contempla una capa de valores del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) y otra capa del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) los cuales son trabajados en conjunto.

Por su parte el NDVI, es uno de los índices más empleados en teledetección a la hora de analizar la evolución de las coberturas vegetales. Este índice utiliza la banda roja e infrarroja del espectro electromagnético. En el caso del EVI utiliza, además, la banda azul para atenuar las limitaciones atmosféricas que presenta el NDVI por lo que es más recomendado para zonas con alta densidad de vegetación. Ambos índices entregan valores en un rango desde 1 a -1 en donde los valores más cercanos a 1 representa zonas de vegetación densa. Estos valores fueron descargados en formato .csv para procesarlos en el programa Excel 2013, en donde, se calculó un promedio simple mensual de los valores de vegetación según año hidrológico.

```
var ndvi = ee.ImageCollection (imageCollection2).filterDate('2000-01-01','2020-11-10')
  .select('NDVI') ;

var ndvi1 = ndvi.map(function(img) {return img.multiply(0.0001).copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
});

// Charts Long-Term Time Series de evapo
var ndvi2 = Chart.image.series(ndvi1, geometry, ee.Reducer.mean(), 250, 'system:time_start').setOptions({title: 'ndvi', vAxis: {title: 'ndvi'},
});
print(ndvi2);
```

Figura 8. Código utilizado en la plataforma Google Earth Engine para obtener valores de NDVI y EVI.

2.4 Datos climáticos históricos

Se utilizaron datos climáticos de temperaturas medias mensuales y precipitación mensual. Para obtener el valor anual, en el caso de temperaturas se calculó un promedio simple y para las precipitaciones se realizó una sumatoria. Debido a la ausencia de datos del año 1975 se considera el periodo comprendido entre 1985-2020. Dicho esto, para relacionar ambas variables con los cambios de superficie en las lagunas se consideró el año hidrológico, comprendido desde Abril a Marzo.

En el caso de laguna Matanzas y laguna Aculeo, las precipitaciones se obtuvieron de la plataforma Mawün (<http://mawun.cr2.cl/>) del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)². En el caso de laguna del Encañado y laguna Negra, se obtuvieron desde la Dirección General de Aguas (DGA) mediante la estación meteorológica “Yeso Embalse”. Por otro lado, las temperaturas en el caso de laguna Matanzas se obtuvieron desde la Dirección Meteorológica de Chile, en cuanto a laguna Aculeo, las temperaturas se obtuvieron desde la plataforma CAMELS-CL (<http://camels.cr2.cl/>) del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)². Por último, las temperaturas de laguna del Encañado y laguna Negra se obtuvieron desde la Dirección General de Aguas (DGA) (Tabla 4).

Laguna	Precipitación	Temperatura
Matanzas	Mawün	Dirección meteorológica de Chile
Aculeo	Mawün	CAMELS-CL
Del Encañado	DGA	DGA
Negra	DGA	DGA

Tabla 4. Resumen de plataformas para obtener datos de precipitación y temperaturas para laguna Matanzas, laguna Aculeo, laguna Del Encañado y laguna Negra.

Los datos climatológicos obtenidos y procesados se relacionaron con la variación de superficie de lagunas y con la variación de los valores de los índices de vegetación mediante gráficos elaborados en Excel 2013 con el fin de analizar el comportamiento de estas variables a lo largo del periodo estudiado.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

3.1 Microcuenca Laguna Matanzas

3.1.1 Uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Matanzas para el periodo 1975-2020

A modo general, se observa que en la microcuenca Laguna Matanzas predomina el uso de suelo de Praderas durante todo el periodo. Además, se observa un aumento del uso de suelo Agrícola y de Plantaciones, una disminución del uso de suelo correspondiente a Bosque nativo y un comportamiento estable de la superficie Dunar y de Matorral. (Fig. 9)

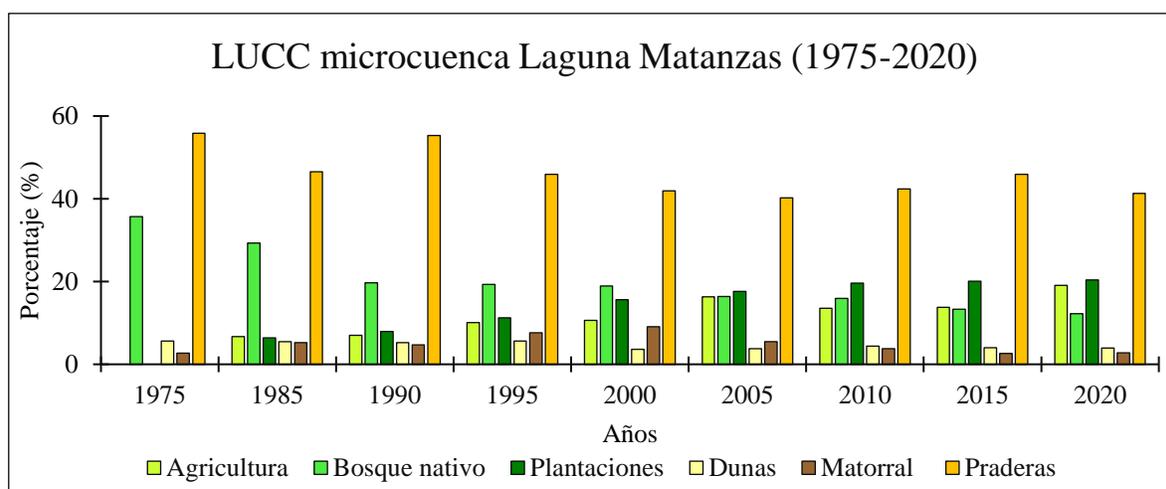


Figura 9. Cambios de uso y cobertura del suelo en la microcuenca Laguna Matanzas entre 1975-2020. En la gráfica se observa una disminución sostenida de bosque nativo y un incremento de plantaciones y agricultura.

Los usos y coberturas de suelo mencionados anteriormente se encuentran expresados en porcentaje en la siguiente tabla:

Usos de suelo	Años									
	1975	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	
Agricultura	-	6,7%	7%	10,1%	10,6%	16,3%	13,5%	13,8%	19,1%	
Bosque nativo	35,7%	29,3%	19,7%	19,3%	18,9%	16,4%	15,9%	13,3%	12,2%	
Plantaciones	-	6,4%	7,9%	11,2%	15,6%	17,3%	19,6%	20,1%	20,4%	
Dunas	5,6%	5,5%	5,2%	5,6%	3,6%	3,8%	4,4%	4%	3,9%	
Matorral	2,7%	5,2%	4,7%	7,6%	9,1%	5,5%	3,8%	2,6%	2,8%	
Praderas	55,8%	46,5%	55,3%	45,9%	41,9%	40,2%	42,4%	45,9%	41,3%	

Tabla 5. Tabla de resumen usos y coberturas de suelo microcuenca Laguna Matanzas. Las categorías se encuentran representadas en porcentaje con respecto al total de la superficie para el periodo 1975-2020.

Se observa que en el año 1975 predomina la superficie correspondiente a Praderas (55,8%) y Bosque nativo (35,7%). Ambos usos de suelo abarcan casi la totalidad de la microcuenca Laguna Matanzas para este año, además el bosque nativo se encuentra ubicado alrededor de la superficie dunar y de las lagunas. Las coberturas de Dunas y Matorral alcanzan al 5,6% y 2,7% de superficie de la cuenca respectivamente, este último se encuentra localizado en el

centro de la cuenca (Fig. 10A) La Agricultura y las Plantaciones no están presentes en este año.

Para el año 1985, se observa una disminución de las Praderas (46,5%) y de Bosque nativo (29,3%) y se mantiene su ubicación espacial con respecto al año anterior (Fig. 10B). Además, en el sector aparece la Agricultura con una superficie de 6,7% ubicada al centro y las Plantaciones con un 6,4% rodeando las zonas de Agricultura (fig. 9B) La superficie de Dunas se mantiene estable con respecto a la década anterior y los matorrales presentan aumento de alrededor de un 3% de superficie (Tabla 5)

En el caso de 1990 (Fig. 10C) se presenta un aumento de la superficie de Praderas (55,3%) por el contrario, una disminución de casi un 10% de superficie de Bosque Nativo (19,7%). La agricultura se mantiene estable con respecto al año anterior y en el caso de las Plantaciones estas aumentan a un 7,9%, los matorrales por su parte se ubican alrededor de áreas de plantaciones y representan un 4,7% de superficie en la microcuenca. (Tabla 5)

En la Tabla 5 se observa que, en el año 1995 el uso de suelo de Praderas disminuye cerca de un 10% con respecto al año anterior abarcando un 45,9% de superficie. El Bosque nativo por su parte, presenta nuevamente una disminución con respecto al año anterior (19,3%). La Agricultura en el sector aumenta a un 10,1% de superficie. Las Plantaciones siguen en aumento con un 11,2% de superficie y aparecen grandes zonas al sector este de la microcuenca. Por último, las Dunas se mantienen estables con respecto a 1990 y los Matorrales aumentan y abarcan una superficie cercana al 8%. Estos últimos en conjunto con las Plantaciones se ubican alrededor de las lagunas disminuyendo la superficie que antes era ocupada por Bosque nativo. (Fig. 10D)

Para el año 2000 (Fig. 10E) las praderas representan un 41,9% de superficie. En el caso del Bosque Nativo, mantiene su tendencia a disminuir con un 18,9%. La agricultura se mantiene estable con respecto al año anterior y las Plantaciones aumentan a un 15,6% apareciendo nuevas zonas alrededor de laguna Matanzas, en la zona norte de la microcuenca y rodeando la superficie de Dunas que disminuye a un 3,6%. Por último, los matorrales se localizan principalmente alrededor de zonas de agricultura y aumentan a un 9,1% de superficie. (Tabla 5)

En el año 2005, las Praderas ocupan una superficie de 40,2% con respecto al total de la microcuenca manteniéndose estable al año anterior, le sigue el uso de suelo de Bosque Nativo que disminuye un 2,5% de superficie con respecto al año 2000. Las Plantaciones aumentan a un 17,3%, estas se ubican en la zona sur de la laguna Matanzas y en la zona este del sector, reemplazando áreas de Bosque nativo (Fig. 10F). La Agricultura empieza a aumentar progresivamente, ocupando un 16,3% de superficie, manteniendo la misma ubicación de los años anterior en la zona centro de la microcuenca. Por otro lado, disminuyen las zonas de Matorral a un 5,5% y las Dunas aumentan a un 3,8% de superficie. (Tabla 5)

Por otro lado, en la tabla 5 se observa que durante el año 2010 la superficie de Praderas se mantiene estable con respecto al año anterior abarcando un 42,4% de la microcuenca. En cuanto al Bosque Nativo disminuye a un 15,9%. En el caso de la Agricultura, disminuye a un 13,5% por el contrario, las Plantaciones aumentan a un 19,6% distribuyéndose en diferentes sectores alrededor de toda la microcuenca. En el caso de la superficie de Matorral, esta disminuye a un 3,8% y las Dunas aumentan a un 4,4%. Los usos y cobertura de suelo mantienen la misma ubicación espacial que el año 2005. (Fig. 10G).

En cuanto al año 2015 (Tabla 5), la superficie de Agricultura, que sigue ubicándose en el centro de la microcuenca, se mantiene estable con respecto al año anterior al igual que las Plantaciones. Por su parte el Bosque nativo ocupa un 13,3% de superficie. Las Dunas representan un 4% y se encuentran rodeadas de Plantaciones. Los Matorrales presentan una disminución a un 2,6% de superficie. Por último, el uso de suelo correspondiente a Praderas sigue permaneciendo de manera predominante con un 45,9%. Además, se observa la pérdida considerable de laguna, especialmente laguna Matanzas, en donde el terreno correspondiente a la laguna es ocupado por Praderas y Matorral (Fig. 10H)

Por último, en el año 2020 (Tabla 5) se evidencia una transformación con respecto a los usos y coberturas de suelo de la microcuenca ya que actividades como la Agricultura con un 19,1% y las Plantaciones con un 20,4% de superficie, presentaron un aumento significativo con respecto al inicio del periodo. Estos usos de suelo se ubican principalmente en la zona centro y hacía el norte de la microcuenca (Fig. 10I) reemplazando zonas de Bosque nativo que para este año abarca solamente un 12,2% de superficie, disminuyendo en más de la mitad de superficie que representaba el año 1975. Por último, se observa una disminución de las lagunas debido a la sequía completa de la laguna Matanzas el año 2016 (Fig. 10I)

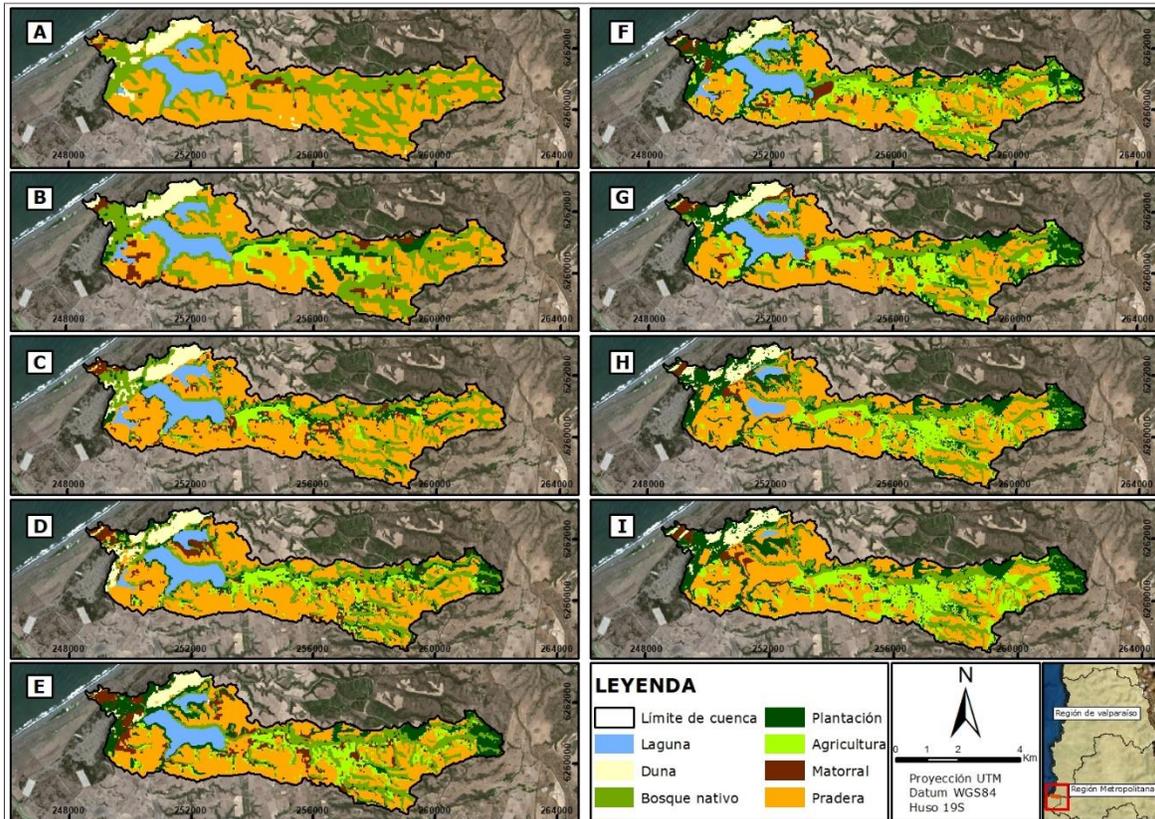


Figura 10. Usos y coberturas de suelo microcuenca Laguna Matanzas para el periodo 1975-2020. Distribución espacial y cambios en los usos de suelo de la zona de estudio. Los años presentados son: **A)** 1975, **B)** 1985, **C)** 1990, **D)** 1995, **E)** 2000, **F)** 2005, **G)** 2010, **H)** 2015, **I)** 2020.

3.1.2 Cambios de uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Matanzas para el periodo 1975-2020.

Mediante la matriz de cambios (Tabla 6) resalta la tasa de pérdida de laguna (-6,87%) en donde para el año 1975 ocupaba 198,95 Ha, mientras que en el año 2020 solamente constituye 8,08 Ha de superficie, que corresponden exclusivamente a la laguna Cabildo. Con respecto a esta categoría 136,81 Ha fueron reemplazadas por Praderas siendo el cambio más importante, además de 26,10 Ha por Matorrales, 10,18 ha por Plantaciones y 15,59 Ha por Agricultura.

Para el año 2020 el Bosque nativo con una tasa de pérdida de -2,21% ocupa una superficie de 362,53 Ha mientras que el año 1975 contaba con una superficie de 995,21 Ha. Esta superficie ha sido reemplazada en su mayoría por Plantaciones (339,19 Ha), Praderas (170,46 Ha) y Agricultura (162,59 Ha).

Con respecto a los Matorrales solo presenta cambios menores en la microcuenca con una tasa anual de cambio de 0,31%, ya que solo pierde alrededor de 10 Ha de superficie a lo largo de todo el periodo.

En el caso de las dunas, estas poseen una tasa de cambio anual de -0,64%. Durante 1975 y 2020 pierde 39,55 Ha de superficie, que fueron reemplazadas en su mayoría por Plantaciones.

Las Praderas por su parte, presentan una disminución de superficie con una tasa de pérdida de -0,52%, que han sido reemplazadas en su mayoría por el uso de suelo Agrícola (348,72 Ha) y por Plantaciones (215,26 Ha).

1975	2020							Total año 1975	Tasa de cambio en %
	Laguna	Bosque nativo	Dunas	Matorral	Pradera	Agricultura	Plantaciones		
Laguna	8,08	2,09	0,10	26,10	136,81	15,59	10,18	198,95	-6,87%
Bosque nativo	0	293,02	7,43	22,52	170,46	162,59	339,19	995,21	-2,21%
Dunas	0	0,61	99,59	0,64	15,84	8,12	32,30	157,1	-0,64%
Matorral	0	11,33	1,19	8,23	6,78	36,78	9,96	74,27	0,31%
Pradera	0	55,48	9,24	28,12	897,55	348,72	215,26	1554,42	-0,52%
Total año 2020	8,08	362,53	117,55	85,61	1227,44	571,8	606,89	2979,9	

Tabla 6. Matriz de cambio microcuenca Laguna Matanzas. Las celdas corresponden a la superficie de cada uso de suelo en hectáreas; la diagonal corresponde a las hectáreas de cada uso de suelo que se conservaron durante el periodo. La última columna corresponde a la tasa anual de cambio; los valores negativos significan una pérdida de superficie mientras que los valores positivos corresponden a una ganancia de superficie.

3.2 Microcuenca Laguna Aculeo

3.2.1 Uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Aculeo para el periodo 1975-2020.

La microcuenca de Laguna Aculeo muestra una disminución constante de las superficies destinadas a Bosque nativo y Agricultura mientras que aumentan las superficies destinadas a la actividad Residencial y las Zonas degradadas (correspondientes a Matorral y Suelo desnudo) (Fig. 11). Por último, las Praderas han tenido fluctuaciones de superficie durante el periodo.

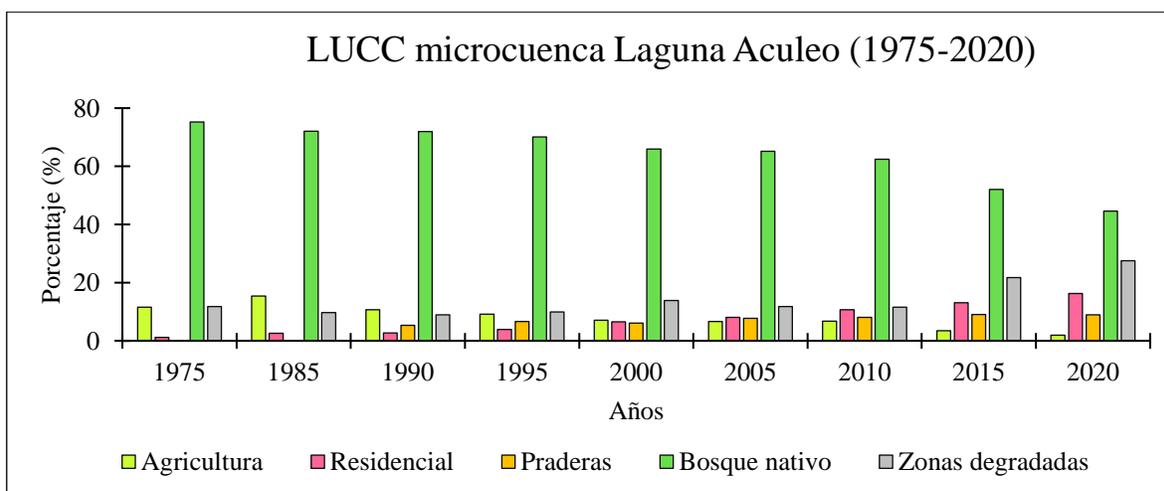


Figura 11. Cambios de uso y cobertura del suelo de la microcuenca de Laguna Aculeo. En la gráfica se observa una fuerte disminución de bosque nativo (verde oscuro) y agricultura (verde claro), un aumento de las zonas degradadas y de la superficie residencial durante el periodo 1975-2020.

Los usos y coberturas de suelo mencionados anteriormente se encuentran expresados en porcentaje en la siguiente tabla:

Usos de suelo	Años								
	1975	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Agricultura	11,6%	15,4%	10,7%	9,2%	7,1%	6,7%	6,8%	3,5%	1,9%
Bosque nativo	75,2%	72,1%	72,0%	70,1%	65,9%	65,2%	62,4%	52,0%	44,6%
Zonas degradadas	11,8%	9,7%	9,0%	9,9%	13,9%	11,8%	11,6%	21,8%	27,6%
Praderas	-	-	5,3%	6,7%	6,1%	7,7%	8,1%	9,1%	8,9%
Residencial	1,2%	2,6%	2,7%	3,9%	6,6%	8,1%	10,7%	13,1%	16,3%
Plantaciones	-	-	-	-	0,2%	0,1%	0,1%	0,3%	0,3%

Tabla 7. Tabla de resumen usos de suelo microcuenca Laguna Aculeo. Las categorías se encuentran representadas en porcentaje con respecto al total de la superficie para el periodo 1975-2020.

En base a la tabla 7, el año 1975 la Agricultura ocupa un 11,6% y las Zonas degradadas un 11,8% de la microcuenca mientras que la zona Residencial no supera el 1,2% de superficie, con respecto a la ubicación espacial de estos usos de suelo, la Agricultura se localiza en torno a la laguna, los matorrales (Zonas Degradadas) y la zona Residencial se ubican alrededor de la agricultura y se observan zonas de Suelo desnudo (Zonas degradadas) al norte y sur de la microcuenca. El Bosque nativo (75,2%) se extiende hacia los límites de la cuenca abarcando gran parte de la superficie (Fig. 12A).

Para el año 1985, del Bosque nativo (72,1%) y las Zonas degradadas (9,7%) presentan una disminución cercana a un 3% y 2% respectivamente de acuerdo con el año anterior. Por el contrario, la Agricultura (15,4%) y la zona Residencial (2,6%) incrementan en superficies. En este año se mantiene la distribución espacial de los usos y cobertura de suelo observada en el año 1975. Sin embargo, las nuevas urbanizaciones (Residencial, Fig. 12B) se localizan al noroeste de la microcuenca además de en las orillas de la laguna. Por otra parte, los Matorrales localizados en la parte norte y oeste podrían estar evidenciando la degradación del Bosque nativo en este sector.

En el caso de 1990 según la tabla 7, el Bosque nativo se mantiene estable con respecto al año anterior al igual que las Zonas degradadas. En el caso de la Agricultura disminuye a un 10,7%. Con respecto al área Residencial este abarca un 2,7% de la microcuenca y se ubica principalmente al noroeste. Además, este año aparece la superficie de Praderas abarcando un 5,3% de la microcuenca y ubicándose alrededor de la zona destinada para Agricultura (Fig. 12C)

El año 1995 (Tabla 7) la Agricultura empieza a disminuir de manera progresiva abarcando un 9,2% del total de superficie de la microcuenca. El Bosque nativo también presenta una disminución cercana al 2% con respecto al año anterior. Las Zonas degradadas aumentan su superficie a un 9,9%. En cuanto al uso de suelo Residencial, se observa un aumento a un 3,9% y se ubica cada vez más cerca de la laguna Aculeo. El uso de suelo de Praderas crece a

un 6,7% y mantiene la ubicación espacial del año anterior rodeando la superficie de Agricultura (Fig. 12D)

De acuerdo con la tabla 7, en el año 2000 la Agricultura y el Bosque nativo disminuyen en superficie abarcando un 7,1% y un 65,9% del total de la microcuenca respectivamente. En el caso de las Zonas Degradadas (Suelo desnudo y Matorral) aumentan a un 13,9% debido a que aparece una gran zona de Matorral en la parte sur de la microcuenca, deteriorándose superficie que antes correspondía a Bosque nativo. Con respecto a las Praderas, estas se mantienen estables con respecto al año anterior y el uso de suelo Residencial aumenta cerca del doble de superficie a un 6,6%. Por último, el año 2000 aparece una zona de Plantaciones sin embargo no representa una superficie considerable (0,2%) la cual se ubica cerca de la laguna. (Fig. 12E)

En el año 2005 se observan cambios con respecto a la cobertura agrícola que disminuye a un 6,7%, mientras que el Bosque nativo ocupa un 65,2 % de la superficie de la microcuenca manteniéndose sin mayores cambios con respecto al año anterior. Por otro lado, tanto las Praderas (7,7%) como la Zona residencial (8,1%) presentan un aumento de un 1,6% y un 1,5% respectivamente. Además, disminuyen las zonas degradadas representando un 11,8% de la microcuenca (Tabla 7). En cuanto a la distribución espacial de los usos, se ven las primeras transformaciones notorias del territorio. El área Residencial, aunque preferentemente entorno a la laguna, empieza a distribuirse por toda la microcuenca ocupando sectores anteriormente destinados a la Agricultura. Además, se ve un aumento importante de Matorral al sector sur y de Praderas al este de la microcuenca (Fig. 12F)

Para el año 2010, en base a la tabla 7, la Agricultura y las Zonas degradadas no presentan grandes cambios con respecto al año anterior. En cuanto al Bosque nativo, presenta una disminución de 2,8% abarcando un 62,4% de superficie. Las Praderas al igual que el sector residencial siguen aumentando progresivamente y representan un 8,1% y 10,7% respectivamente de superficie en la microcuenca. La zona Residencial se ubica cada vez más cercana a la Laguna Aculeo. (Fig. 12G)

En 2015, se presenta un cambio notorio con respecto a la Agricultura que abarca un 3,5% de superficie, la cual disminuyó un 3,3% en comparación al año 2010. El Bosque nativo también presenta una disminución considerable de un 10,4% ocupando un 52% de superficie. Por su parte las Zonas degradadas (Suelo desnudo y Matorral) aumentan a un 21,8% debido a la importante disminución de la superficie de laguna que fue reemplazada por Suelo desnudo, además aparece un amplio sector de Matorral ubicado en el límite oeste de la microcuenca (Fig. 12H). En cuanto a las Praderas y el sector Residencial, siguen en aumento abarcando un 9,1% y 13,1% respectivamente. Por último, las Plantaciones aumentan a un 0,3% sin embargo continúan sin representar de manera significativa la microcuenca (Tabla 7).

En el año 2020 según la tabla 7, la Agricultura solo representa un 1,9% de superficie, ubicándose en pequeñas zonas al sector sur y norte de la microcuenca. El Bosque nativo por

su parte presenta una disminución importante ocupando un 44,6% de superficie, una de las disminuciones más importantes debido a que para el año 1975 este uso de suelo abarcaba un 75,2%. Las Zonas degradadas (27,6%) aumentan cerca de un 7%, en donde los Matorrales se ubican en gran parte de la microcuenca y el Suelo desnudo corresponde a la superficie que antes ocupaba la laguna que actualmente se encuentra completamente seca, mientras que el uso Residencial alcanza un 16,3% aumentando cerca de un 15% durante todo el periodo y ocupando gran parte del sector principalmente en las cercanías al área donde se emplazaba la laguna. (Fig. 12I)

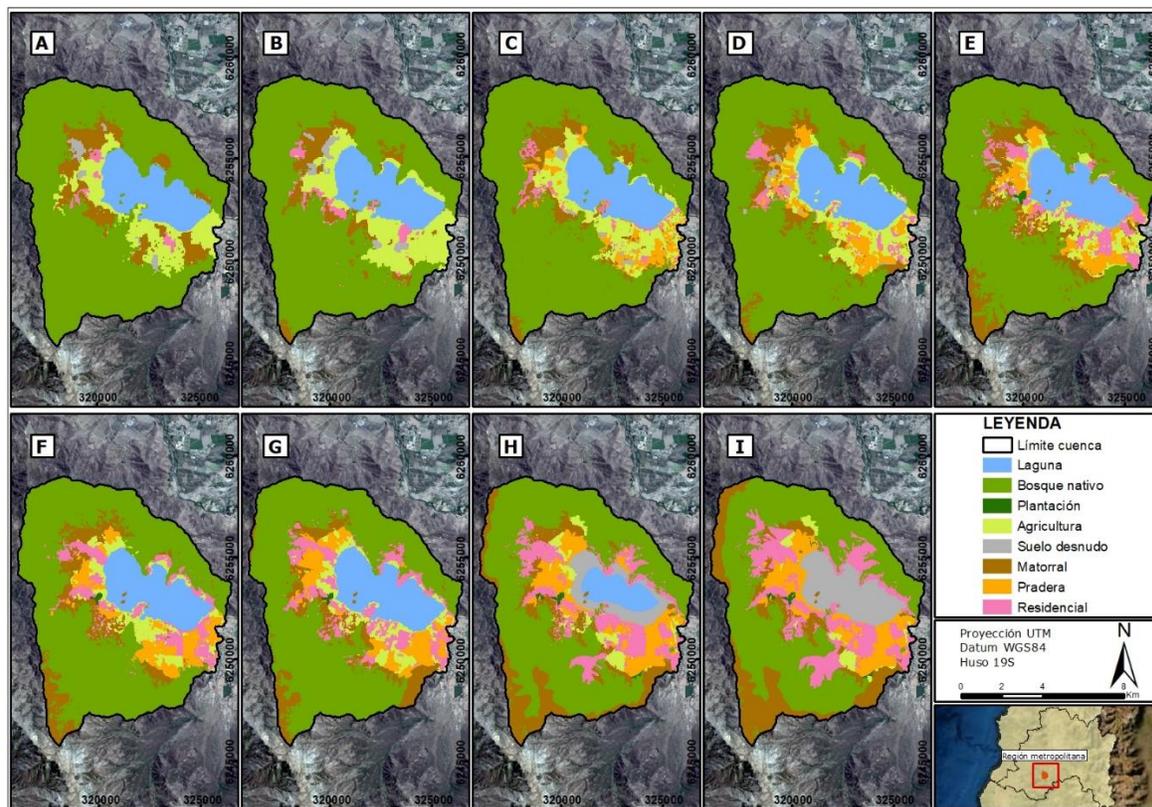


Figura 12. Usos y coberturas de suelo microcuenca Laguna Aculeo para el periodo 1975-2020. Distribución espacial y cambios en los usos de suelo de la zona de estudio. Los años presentados son: **A)** 1975, **B)** 1985, **C)** 1990, **D)** 1995, **E)** 2000, **F)** 2005, **G)** 2010, **H)** 2015, **I)** 2020.

3.2.2 Cambios de uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Aculeo para el periodo 1975-2020.

Mediante la matriz de cambios (Tabla 8) es posible observar que la tasa anual de pérdida más importante corresponde a la laguna de Aculeo (-100%) debido a que, como se menciona anteriormente, se produce su sequía en el año 2018. En la actualidad, la mayor parte de esta zona corresponde a una Zona degradada (suelo desnudo), sin embargo 36,33 Ha fueron ocupadas por residencias y 131,65 Ha por Praderas.

La Agricultura con una tasa anual de disminución de un -3,59% en 1975 ocupaba una superficie de 957,81 Ha mientras que en el año 2020 solamente ocupa 184,66 Ha de

superficie que ha sido reemplazada principalmente por zonas Residenciales (366,55 ha) y Praderas (417,36 ha).

Con respecto al Bosque nativo, también presenta una disminución con una tasa anual de cambio de -0,87%. En donde disminuye cerca de la mitad de su superficie el año 2020, ocupando solamente 4196,46 Ha de las 6218,17 Ha que abarcaba el año 1975. Esta superficie fue reemplazada principalmente por la expansión residencial que deforestó 609,46 ha y por Zonas degradadas en donde 1395,85 ha de Bosque nativo pasaron a ser Matorrales.

Dicho esto, se puede explicar la tasa anual de cambio de 6,25% del uso Residencial, ya que la mayor parte de las pérdidas de superficies de las categorías del periodo se deben al reemplazo de otros usos y coberturas de suelo por las residencias.

1975	2020							Superficie 1975 (Ha)	Tasa de cambio en %
	Laguna	Bosque nativo	Áreas degradadas	Residencial	Agricultura	Plantaciones	Praderas		
Laguna	0	0	972,49	36,33	0,70	0	131,65	1141,17	-100%
Bosque nativo	0	4111,80	1395,85	609,46	45,15	8,82	47,09	6218,17	-0,87%
Áreas degradadas	0	33,33	171,99	464,46	79,90	3,52	217,50	970,70	2,20%
Residencial	0	3,35	4,41	71,08	0,88	3,88	17,46	101,06	6,25%
Agricultura	0	47,98	46,20	366,55	58,03	21,69	417,36	957,81	-3,59%
Superficie 2020 (Ha)	0	4196,46	2590,94	1547,88	184,66	37,91	831,06	9388,91	

Tabla 8. Matriz de cambio microcuencia Laguna Aculeo. Las celdas corresponden a la superficie de cada uso de suelo en hectáreas; la diagonal corresponde a las hectáreas de cada uso de suelo que se conservaron durante el periodo. La última columna corresponde a la tasa anual de cambio; los valores negativos significan una pérdida de superficie mientras que los valores positivos corresponden a una ganancia de superficie.

3.3 Microcuenca Laguna del Encañado

3.3.1 Uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna del Encañado para el periodo 1975-2020

A modo general (Fig.13) los usos de suelo de la cuenca Laguna del Encañado se mantienen estables durante todo el periodo en estudio. Los Pastizales y el Material rocoso son las únicas coberturas que presentan fluctuaciones en sus superficies, sin embargo, no representan un cambio significativo en términos porcentuales.

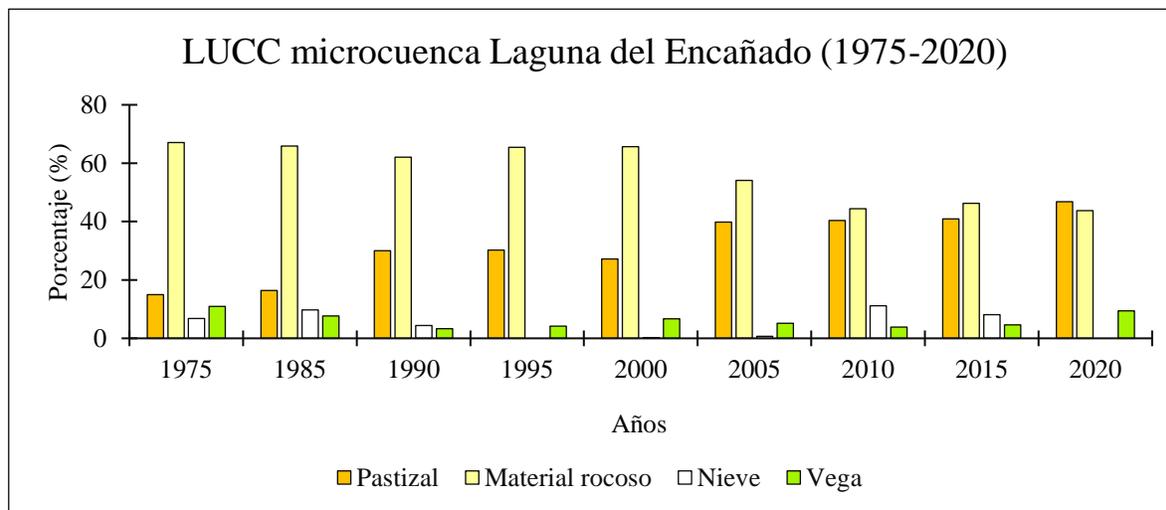


Figura 13. Cambios de uso y cobertura del suelo en la microcuenca Laguna del Encañado entre 1975 y 2020. Se observa como la cuenca se compone en su mayoría por zonas de material rocoso y pastizales.

Los usos y coberturas de suelo mencionados anteriormente se encuentran expresados en porcentaje en la siguiente tabla:

Usos de suelo	Años								
	1975	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Vegas	10,9%	7,7%	3,3%	4,2%	6,7%	5,2%	3,9%	4,6%	9,4%
Pastizales	15,0%	16,4%	30,0%	30,2%	27,2%	39,8%	40,4%	40,9%	46,8%
Material rocoso	67,1%	65,9%	62,1%	65,4%	65,7%	54,1%	44,4%	46,3%	43,7%
Nieve	6,8%	9,7%	4,4%	-	0,3%	0,7%	11,2%	8,1%	-

Tabla 9. Tabla de resumen usos de suelo microcuenca Laguna del Encañado. Las categorías se encuentran representadas en porcentaje con respecto al total de la superficie para el periodo 1975-2020.

En la Tabla 9 se observa que para el año 1975 en la microcuenca predomina el Material rocoso (67,1%) y Pastizal (15%) que ocupan entre ambos 82,1% de la superficie con respecto al total. La cobertura de Nieve, que se deposita en la zona norte de la microcuenca, para ese año ocupaba un 6,8%. Las Vegas representan un 10,9% de la superficie y se ubican en el centro y al oeste, en donde están rodeadas de Pastizales. (Fig. 14A)

Para el año 1985 en base a la tabla 9, la superficie de Vegas disminuye a un 7,7%. Por otro lado, los pastizales aumentan un 1,6% representando un 16,4% con respecto al total. En cuanto al Material rocoso este disminuye a un 65,9% sin embargo sigue ocupando gran parte

de superficie en la microcuenca. Por último, aumenta la superficie de Nieve a un 9,7%. Con respecto a la distribución espacial de los usos de suelo, se mantienen ubicados igual que en el año 1975 (Fig. 14B)

En el caso de 1990 (Tabla 9) las Vegas disminuyen a un 3,3% de superficie. Por el contrario, en el caso de los Pastizales estos presentan un cambio significativo aumentando cerca de un 15% y representando un 30% con respecto al total de la microcuenca. Este aumento se localiza principalmente en la zona este y se expande además hacia el norte del sector. (Fig. 14C) En el caso del Material rocoso (62,1%), presenta una leve disminución de un 3,9% debido al aumento de los pastizales en la zona. Por último, la superficie de Nieve disminuye un 5,3% despejando zonas de material rocoso en la parte norte de la microcuenca lo que explica la leve disminución de este uso de suelo a pesar del gran aumento de los Pastizales.

En 1995 el único cambio significativo corresponde a la pérdida de cobertura de Nieve, por ende, aumenta el área de Material rocoso (65,4%) al quedar la zona norte de la microcuenca libre de la cobertura nival (Fig. 14D) misma dinámica que se presenta en el año anterior. Los otros usos de suelo se mantienen con valores similares al año 1990 (Tabla 9).

De acuerdo con la tabla 9, en el año 2000 se produce un aumento en la superficie de Vegas que abarcan un 6,7% de superficie. En el caso de los Pastizales presentan una leve disminución de un 3% y representan un 27,2% del total de la microcuenca. El Material rocoso se mantiene estable con respecto al año anterior y la nieve se ubica en la zona norte con un 0,3% del total de superficie. (Fig. 14E)

El año 2005 las Vegas disminuyen a un 5,2%. Con respecto a los Pastizales, estos aumentan con respecto al año anterior y abarcan un 39,8% del total de la microcuenca, en donde las nuevas zonas de pastizales se ubican en el sector este cubriendo superficie de Material rocoso, cobertura que disminuye a un 54,1%. Por otro lado, la cobertura de Nieve representa un 0,7% de superficie y se ubica en la zona norte de la microcuenca. (Fig. 14F)

Durante el año 2010 según la tabla 9, la superficie de Vegas disminuye a un 3,9%. Los Pastizales por su parte presentan un leve aumento de un 0,6%. En el caso del Material rocoso, disminuye a un 44,4%. Esta disminución se debe al aumento de un 10,5% la superficie de Nieve que fue depositada en la zona norte de la microcuenca sobre el Material rocoso. (Fig. 14G).

Para el año 2015, los valores se mantienen similares al año 2010, exceptuando un déficit en la cobertura de Nieve (8,1%) ubicada al sector norte de la microcuenca. Debido a esto aumenta la superficie de Material rocoso a un 46,3% (Fig. 14H).

En la tabla 9 se observa que el año 2020 aumentan de manera considerable las Vegas en la microcuenca, estas abarcan un 9,4% de superficie, lo que corresponde a un 4,8% más de área que el año anterior. En este año los Pastizales superan la superficie de Material rocoso

(43,7%) y representan un 46,8% de la microcuenca, aumentando un 31,8% a lo largo del periodo estudiado y se ubican en gran parte de la microcuenca. (Fig. 14I)

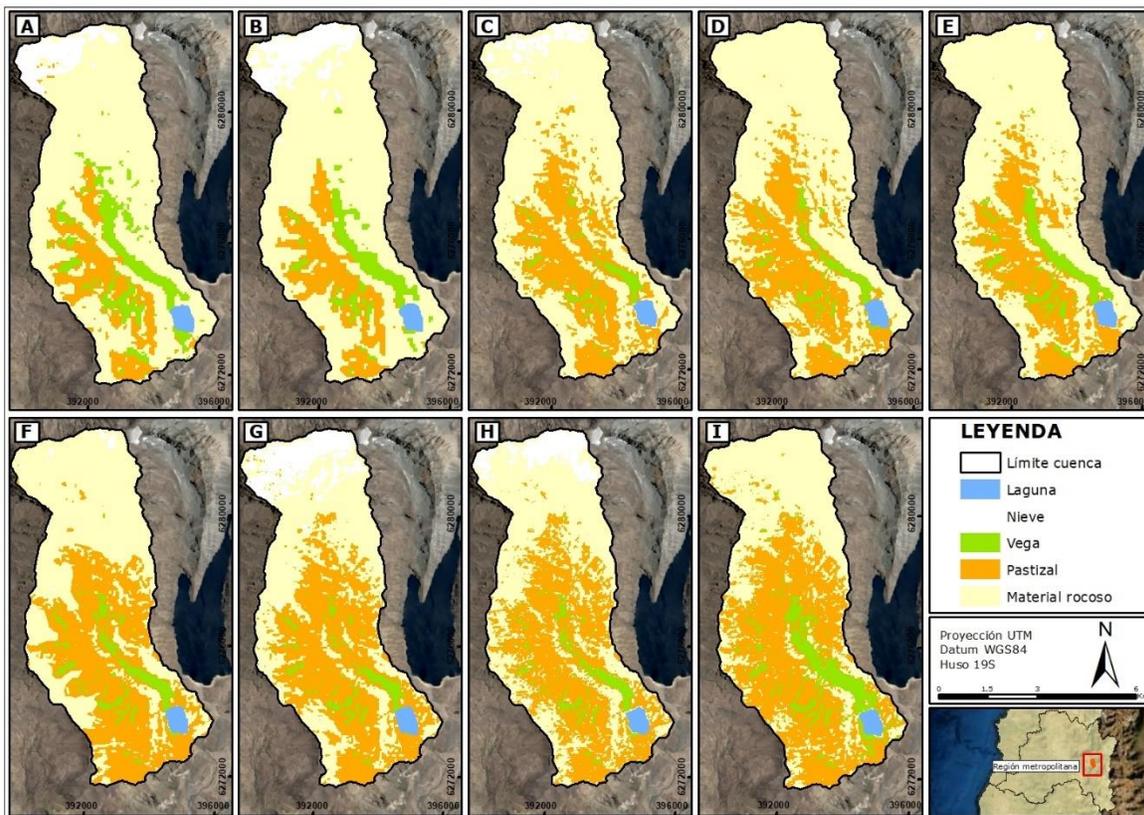


Figura 14. Usos de suelo microcuenca Laguna del Encañado para el periodo 1975 – 2020. Distribución espacial y cambios en los usos de suelo de la zona de estudio. Los años presentados son: **A)** 1975, **B)** 1985, **C)** 1990, **D)** 1995, **E)** 2000, **F)** 2005, **G)** 2010, **H)** 2015, **I)** 2020.

3.3.2 Cambios de uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna del Encañado para el periodo 1975-2020.

A partir de la Tabla 10 se observa que no hay cambios significativos en la cuenca Laguna del Encañado. Con respecto a la superficie de la laguna presenta una disminución con una tasa de cambio anual de -0,19% en donde solamente 1,87 Ha fueron reemplazadas por Material rocoso y 0,68 Ha por Pastizales, disminuyendo 3,92 Ha de superficie a lo largo del periodo.

En cuanto a los Pastizales, presentan una tasa de aumento de un 2,5%, que se debe principalmente a un reemplazo de superficie de Material rocoso con 1088 Ha y un reemplazo de 175,93 Ha de Vegas, estas últimas presentan una tasa de disminución de un -0,32% debido a esta sustitución. La cobertura de nieve tiene una tasa de cambio anual de un -100% debido a que para el año 2020 no se encuentra presente en la microcuenca, disminuyendo las 260,49 Ha que se encontraban en el sector el año 1975.

1975	2020					Superficie año 1975 (Ha)	Tasa anual de cambio (%)
	Laguna	Pastizal	Material rocoso	Vegas	Nieve		
Laguna	43,31	0,68	1,87	1,37	0	47,23	-0,19%
Pastizal	0	506,75	28,37	34,87	0	569,99	2,5%
Material rocoso	0	1088	1371,69	89,75	0	2549,44	-0,94%
Vegas	0	175,93	7,81	234,18	0	417,92	-0,32%
Nieve	0	7,93	252,56	0	0	260,49	-100%
Superficie año 2020 (Ha)	43,31	1779,29	1662,3	360,17	0	3845,07	

Tabla 10. Matriz de cambio microcuenca Laguna del Encañado. Las celdas corresponden a la superficie de cada uso de suelo en hectáreas; la diagonal corresponde a las hectáreas de cada uso de suelo que se conservaron durante el periodo. La última columna corresponde a la tasa anual de cambio; los valores negativos significan una pérdida de superficie mientras que los valores positivos corresponden a una ganancia de superficie.

3.4 Microcuenca Laguna Negra

3.4.1 Uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Negra para el periodo 1975-2020

A modo general (Fig.15) los usos de suelo de la microcuenca Laguna del Negra se mantienen estables durante todo el periodo en estudio. No se observan grandes variaciones a excepción de una disminución en la superficie de Vegas y un aumento en los Pastizales.

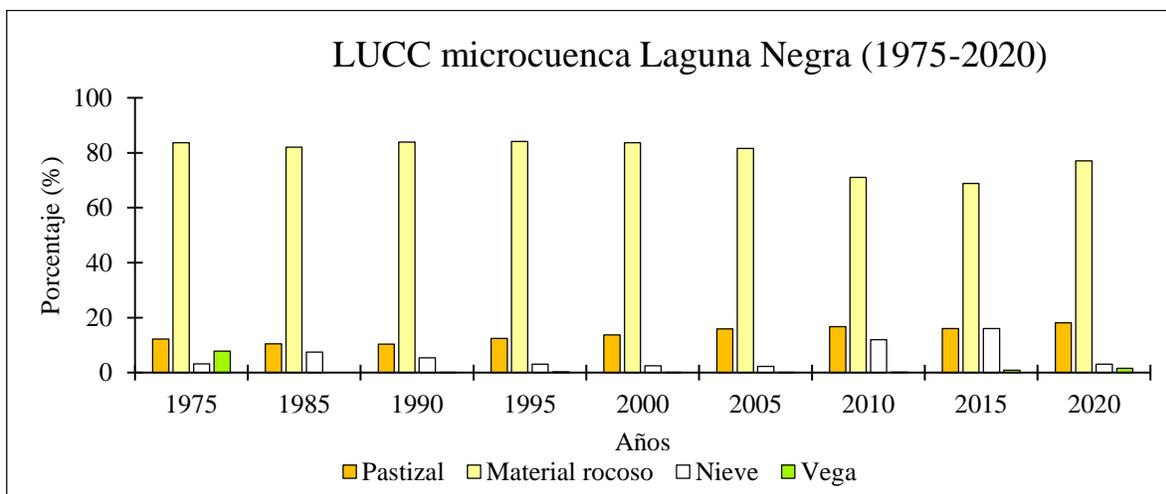


Figura 15. Cambios de uso y cobertura del suelo en la microcuenca Laguna Negra entre 1975-2020. Se observa una estabilidad general en los usos y coberturas de suelo durante el periodo. Además, se distingue la superficie de material rocoso que ocupa gran parte de la cuenca.

Los usos y coberturas de suelo mencionados anteriormente se encuentran expresados en porcentaje en la siguiente tabla:

Usos de suelo	Años								
	1975	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Vegas	7,8%	-	0,1%	0,3%	0,1%	0,1%	0,2%	0,8%	1,5%
Pastizales	12,2%	10,5%	10,4%	12,4%	13,7%	15,9%	16,7%	16%	18,1%
Material rocoso	83,6%	82%	83,9%	84,1%	83,6%	81,6%	71,0%	68,8%	77,1%
Nieve	3,2%	7,4%	5,4%	3,0%	2,5%	2,2%	12%	16,0%	3,1%

Tabla 11. Tabla de resumen usos de suelo microcuenca Laguna Negra. Las categorías se encuentran representadas en porcentaje con respecto al total de la superficie para el periodo 1975-2020.

En la tabla 11 se observa que el año 1975 la superficie de Vegas ocupaba un 7,8% de la microcuenca. Con respecto a los Pastizales estos abarcan un 12,2% de superficie. Por su parte el Material rocoso constituye la mayor parte de la cuenca representando un 83,6% de superficie. Por último, la cobertura de Nieve representa un 3,2%. En cuanto a la distribución espacial de los usos de suelo para el año 1975 (Fig. 16A) La cobertura nival se ubica en el sector noreste y noroeste. En cuanto a los pastizales, estos se distribuyen principalmente en la zona oeste bordeando la laguna y también en la zona centro.

Para el año 1985 según la tabla 11, se presenta la disminución del total de la superficie de Vegas. En cuanto a los Pastizales, disminuyen un 1,7% de superficie y abarcan un sector correspondiente al 10,5%. El material rocoso por su parte disminuye un 1,6% debido al aumento del porcentaje de cobertura de Nieve (7,4%) que se ubica en el sector noroeste de la microcuenca (Fig. 16B).

En el año 1990, aparece un 0,1% de superficie de Vega ubicada en el centro de la microcuenca alrededor de superficie de Pastizal, estos últimos se mantienen estables con respecto al año anterior. Por el contrario, aumenta la superficie de Material rocoso (83,9%) debido a la disminución de un 2% la cobertura de Nieve que se ubica sobre este uso de suelo. (Fig. 16C)

Para el año 1995 (Tabla 11) aumenta la superficie de Vegas a un 0,3% sin embargo no es un aumento significativo con respecto al año anterior (0,1%). Con respecto a los Pastizales estos aumentan un 2% pasando de abarcar un 10,4% en el año 1990 a ocupar un 12,4% de superficie en este año. Por su parte el Material rocoso aumenta a un 84,1% y la superficie de Nieve disminuye un 2,4% en la zona este de la microcuenca (Fig. 16D)

En base a lo presentado en la tabla 11, se observa que en el año 2000 la superficie de Vegas vuelve a disminuir, al igual que en el año 1995, a un 0,1%. En cuanto a los pastizales, estos aumentan a un 13,7% con respecto al total de la microcuenca. Con respecto a la superficie de Material rocoso y Nieve, ambas disminuyen a un 83,6% y 2,5% desde al año 1995. Por último, se mantiene la distribución espacial de los usos y coberturas de suelo (Fig. 16E)

En el año 2005, la superficie de Vegas se mantiene representando el mismo porcentaje que el año anterior (0,1%). En cuanto a los Pastizales, siguen aumentando en superficie y para este año abarcan un 15,9% de la microcuenca y se empiezan a ver en la zona (Fig. 16F). En

el caso de la superficie de Material Rocoso y Nieve, ambos disminuyen en superficie a un 81,6% y 2,2% respectivamente.

Según la tabla 11 para el año 2010, la superficie de Vegas se mantiene estable con respecto a los años anteriores. En el caso de los Pastizales, estos siguen en aumento y abarcan un 16,7% de superficie, y se ubican bordeando laguna Negra (Fig. 16G) En cuanto al Material rocoso presenta una notoria disminución de un 10,6% que se debe al aumento de la cobertura de Nieve (12%) ubicada al sector noroeste de la microcuenca cubriendo zonas de Material rocoso.

Para el año 2015 según la tabla 11, se observa un aumento de la superficie de Vegas pasando de abarcar un 0,2% a un 0,8% de superficie. En el caso de los Pastizales, estos disminuyen un 0,7% con respecto al año 2010. El Material rocoso por su parte disminuye a un 68,8% de superficie. Por último, la cobertura nival aumenta a un 16% cubriendo una amplia zona al sector noreste de la microcuenca (Fig. 16H).

Por último, en el año 2020 (Tabla 11) la superficie de Vegas presenta un aumento de un 0,7% y abarca una superficie del 1,5% con respecto al total de la microcuenca. En cuanto a los Pastizales para este año representan un 18,1%, este uso de suelo fue aumentando de manera progresiva durante el periodo desde un 12,2%. Por el contrario, la superficie de Material rocoso desde 1975 presenta una disminución de un 6,5%, en donde el año 2020 ocupa un 77,1% de superficie. Por último, con respecto a la cobertura de Nieve, durante este año abarca una superficie total de 3,1%, disminuyendo un 12,9% con respecto al año 2015 y se ubica en el sector noroeste de la microcuenca. (Fig. 16I)

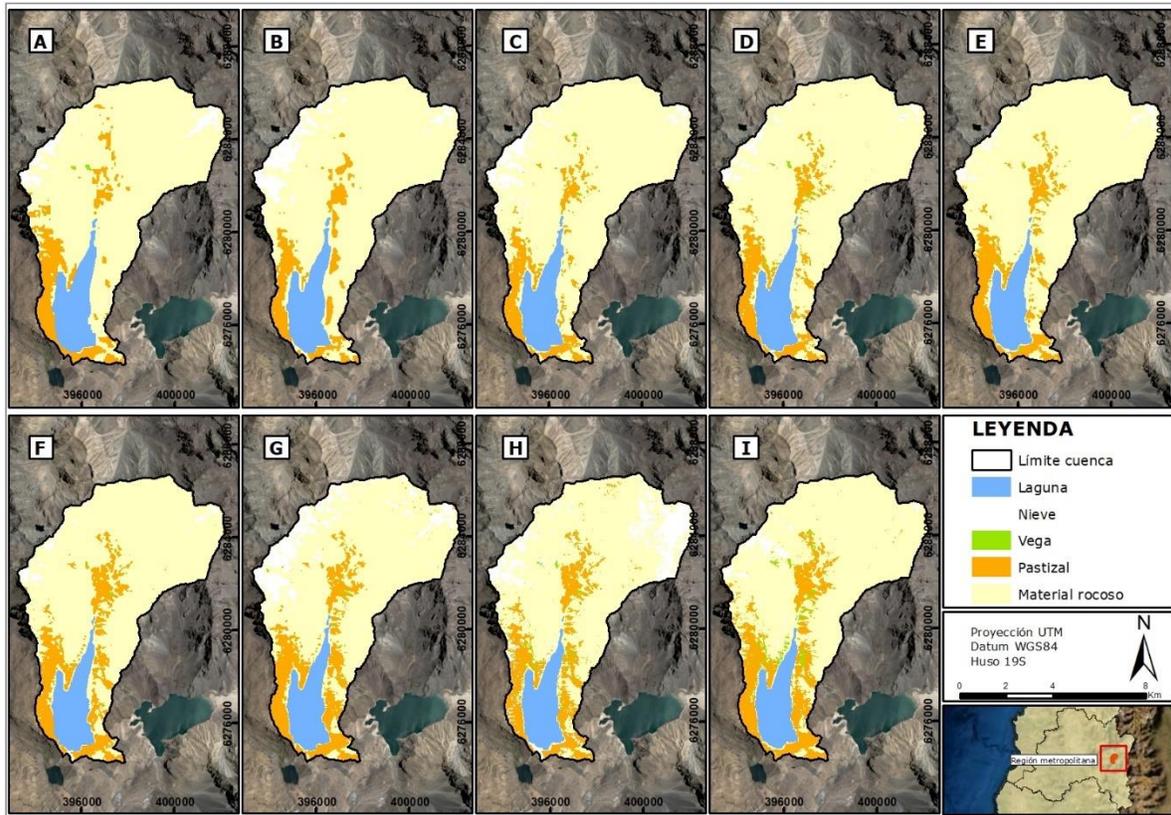


Figura 16. Usos de suelo microcuenca Laguna Negra para el periodo 1975-2020. Distribución espacial y cambios en los usos de suelo de la zona de estudio. Los años presentados son: **A)** 1975, **B)** 1985, **C)** 1990, **D)** 1995, **E)** 2000, **F)** 2005, **G)** 2010, **H)** 2015, **I)** 2020.

3.4.2 Cambios de uso y cobertura de suelo microcuenca Laguna Negra para el periodo 1975-2020.

Como se muestra en la tabla 12, la laguna presenta disminución con una tasa anual de cambio de $-0,23\%$. Esta superficie de laguna fue ocupada en su mayoría por Material rocoso (44,95 Ha) y Pastizales (11,73 Ha). Con respecto a estos últimos, presentan una tasa de aumento de un $0,87\%$, esta ganancia de superficie se debe principalmente al reemplazo de áreas correspondientes a 452,04 Ha de Material rocoso, el cual tiene una tasa de disminución anual de $-0,15\%$. Siendo uno de los cambios más importantes en la microcuenca debido a un aumento considerable de los Pastizales, ya que para el año 1975 ocupaban 670,78 Ha y el año 2020 ocupan 993,55 Ha de superficie.

La superficie de Vegas por su parte presenta una tasa de $5,62\%$, debido al aumento de alrededor de 80 Ha de superficie durante el periodo 1975-2020. Este incremento de superficie ocurre debido al reemplazo de otras coberturas de uso de suelo como el material rocoso (51,45 Ha) y los Pastizales (30,19 Ha).

Por último, en cuanto a la cobertura nival en la zona, esta presenta una tasa anual de cambio de un $-0,48\%$, esto debido a la pérdida de superficie durante el periodo de estudio de 41,63

Ha. El derretimiento de la nieve en este sector produce un aumento del Material rocoso debido a que este uso de suelo queda descubierto.

1975	2020					Superficie año 1975 (Ha)	Tasa de cambio (%)
	Laguna	Pastizal	Material rocoso	Vegas	Nieve		
Laguna	513,26	11,73	44,95	1,42	0,51	571,87	-0,23%
Pastizal	0	528,89	110,54	30,19	1,16	670,78	0,87%
Material rocoso	0	452,04	3913,4	51,45	107,82	4524,71	-0,15%
Vegas	0	0,64	2,07	4,66	0,12	7,49	5,62%
Nieve	0	0,25	150,98	0	62,20	213,43	-0,48%
Superficie año 2020 (Ha)	513,26	993,55	4221,94	87,72	171,81	6087,28	

Tabla 12. Matriz de cambio microcuenca Laguna Negra. Las celdas corresponden a la superficie de cada uso de suelo en hectáreas; la diagonal corresponde a las hectáreas de cada uso de suelo que se conservaron durante el periodo. La última columna corresponde a la tasa anual de cambio; los valores negativos significan una pérdida de superficie mientras que los valores positivos corresponden a una ganancia de superficie.

3.5 Cambios en la vegetación y su relación con el clima

3.5.1 Variación de la vegetación y las precipitaciones

Con respecto al comportamiento de la vegetación y las precipitaciones, en el caso de laguna Matanzas (Fig. 17A) y laguna Aculeo (Fig. 17B) la vegetación mantiene una relación directa con las precipitaciones, en años lluviosos el rango de vegetación aumenta y en años secos disminuye.

Para el caso de ambas microcuencas, durante el año 2007/2008 se presenta una baja tanto en las precipitaciones como en la vegetación. En laguna Matanzas, el rango disminuye desde 0,55 a 0,49 y en laguna Aculeo pasa de 0,57 a 0,53. Sin embargo, al ser el año siguiente lluvioso, estos valores se recuperan. Por último, desde el periodo 2018/2019 se observa una caída sostenida en los valores de vegetación, además de una disminución considerable de las precipitaciones que se observa desde el año 2018 en adelante. En el caso de la microcuenca laguna Matanzas, el punto de vegetación más bajo se produce en el año hidrológico 2019/2020 con un valor de 0,47. También durante este periodo ocurre el valor más bajo de vegetación en la microcuenca laguna Aculeo con un valor de 0,46.

En el caso de la microcuenca laguna del Encañado y laguna Negra (Fig. 17C), no se observa una clara tendencia con respecto a las precipitaciones y la vegetación. En el periodo 2003/2004 destaca uno de los valores más altos de vegetación correspondiente a 0,05, este valor puede deberse a la alta precipitación caída el año anterior. Luego, y hasta el año 2008/2009 se presenta una inestabilidad en los rangos de la vegetación oscilando entre aumentos y disminuciones al igual que la precipitación. Después de este periodo se presentan

una estabilidad que se mantiene hasta el año 2016/2017 en donde los valores de vegetación rondan entre 0,05 y 0,04. En los últimos años del periodo de estudio se observa un aumento sostenido de los rangos de la vegetación llegando a los 0,07 en el año 2019/2020. El comportamiento irregular que se ha presentado durante 2000-2020 puede deberse al tipo de vegetación que se encuentra en este sector, principalmente de vegas y pastizales, que no poseen el mismo patrón que la vegetación presente en otras cuencas en donde abundan cultivos, plantaciones y bosque nativo.

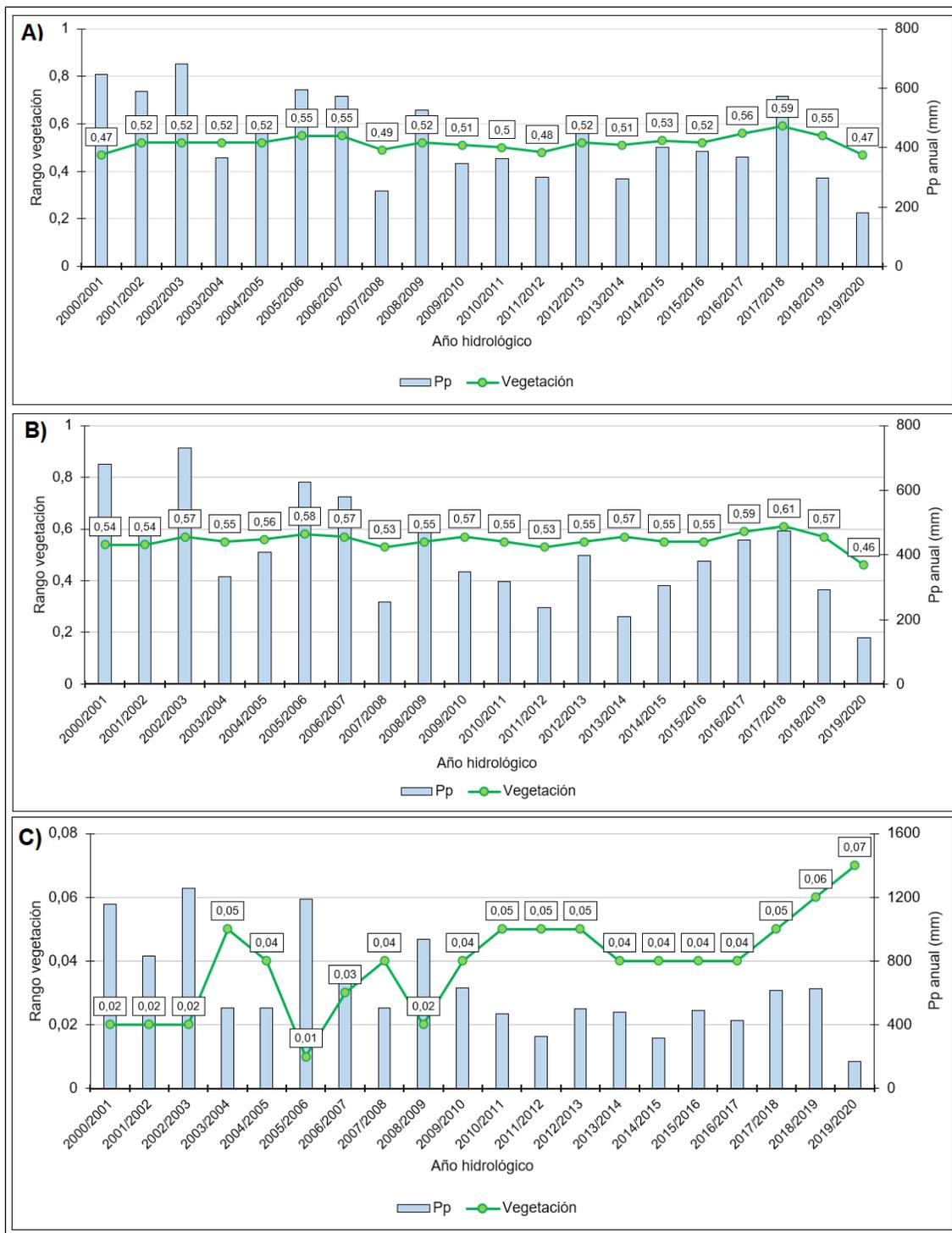


Figura 17. Correlación entre valores de vegetación y precipitación anual por año hidrológico entre 2000-2020. Se observa **A)** Microcuenca laguna Matanzas **B)** Microcuenca Laguna Aculeo y **C)** Microcuenca laguna del Encañado y Laguna Negra.

3.5.2 Variación de la vegetación y la temperatura

En la figura 18 se observa en las microcuencas correspondientes a las cuatro lagunas, la tendencia al aumento de las temperaturas en los últimos años, además, tanto en la microcuenca laguna Matanzas (Fig. 18A) como en microcuenca laguna Aculeo (Fig. 18B) en la mayor parte del periodo se observa una relación entre las variables, en donde, los años más fríos se produce una baja en los rangos de la vegetación. En ambos sectores, la disminución más drástica de vegetación se produce en el año 2007/2008 en donde concuerda con una importante disminución en las temperaturas debido a la gran cantidad de precipitación caída (Fig. 17). Sin embargo, en el caso de laguna Aculeo, durante los últimos años del periodo se produce un cambio en esta tendencia y a medida que aumenta la temperatura disminuye la vegetación y para el año 2019/2020 se presenta el nivel más bajo con un valor de 0,46.

Por otro lado, en la cuenca de laguna del Encañado y Laguna Negra (Fig. 18C), se observa una tendencia durante todo el periodo, en este caso, las variaciones entre aumento y disminución de vegetación se producen de manera drástica, en donde el cambio que más destaca ocurre entre 2003/2004 y 2005/2006 con una disminución de 0,05 a 0,01. Sin embargo, estas variaciones ocurren a lo largo de todo el periodo por lo que no presenta perturbaciones aisladas o un cambio en la tendencia como ocurre en las cuencas de laguna Matanzas y laguna Aculeo.

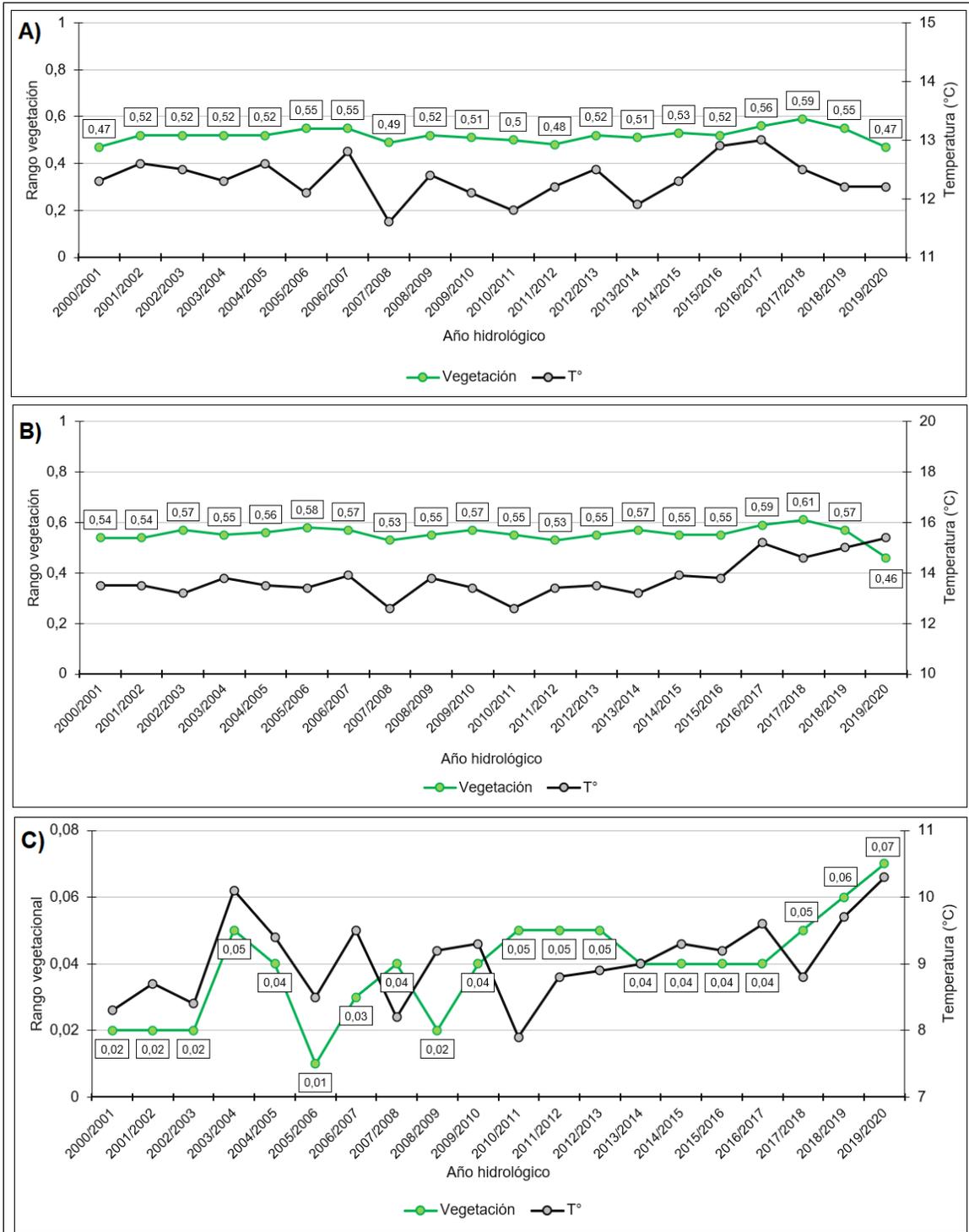


Figura 18. Correlación entre valores de vegetación y temperatura anual por año hidrológico entre 2000-2020. Se observa A) Microcuenca laguna Matanzas B) Microcuenca Laguna Aculeo y C) Microcuenca laguna del Encañado y Laguna Negra.

3.6 Cambios en la superficie de lagunas y su relación con el clima

3.6.1 Variación de superficie laguna Matanzas entre 1975-2020

En la figura 19 se puede observar los cambios de laguna Matanzas durante el periodo. No se observan variaciones hasta el año 2010 en donde empieza a perder superficie y ya en el año 2015 abarca un total de 46,3 Ha, presentando una disminución de 108,3 hectáreas con respecto al año anterior.

Por otro lado, la cuenca se ha caracterizado por oscilaciones con respecto a las precipitaciones. La precipitación máxima se observa en el año hidrológico 1984/1985 donde se evidencian 856,4 mm anuales, los otros periodos se caracterizan por precipitaciones que van desde los 300 a los 500 mm anuales aproximadamente, exceptuando los últimos dos años en donde las precipitaciones disminuyen.

Por último, no se observa una clara relación entre las precipitaciones y los cambios en la laguna, sin embargo, en el periodo hidrológico 2004/2005 correspondiente a un año lluvioso con 458,1 mm de precipitación anual, la laguna Matanzas aumenta 3,9 hectáreas de superficie. Para el año 2020 se observa la sequía completa de laguna Matanzas y además se observa una drástica disminución en las precipitaciones en donde para el año hidrológico 2019/2020 solo se observan 179,8 mm de precipitación anual.

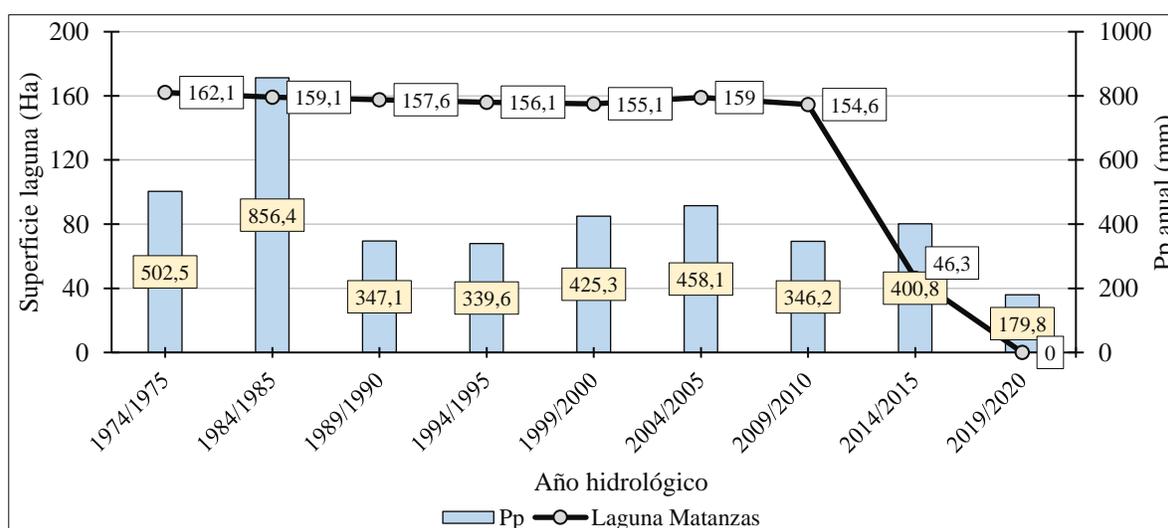


Figura 19. Evolución de la superficie de laguna Matanzas (Ha) y precipitaciones anuales (mm) por año hidrológico para el periodo 1974-2020.

Con respecto a las variaciones de temperaturas (Fig. 20) a lo largo del periodo 1975-2020. A pesar de un comportamiento irregular de éstas, se evidencia un aumento cercano a 1°C durante el periodo, lo que concuerda con la condición de cambio climático actual. La temperatura máxima alcanzada en la zona corresponde al periodo 2004/2005 en donde llega a los 12,6°C y la temperatura mínima se observa en el periodo 1984/1985 con 11,4°C, que coincide con el año más lluvioso del periodo (Fig. 19)

Por otro lado, tampoco se observa una relación estrecha con la superficie de la laguna debido a las fluctuaciones de temperatura que se evidencian durante el periodo. Sin embargo, desde 2009/2010 las temperaturas se mantienen altas en valores cercanos a los 12°C y se observa la pérdida abrupta de superficie en la laguna.

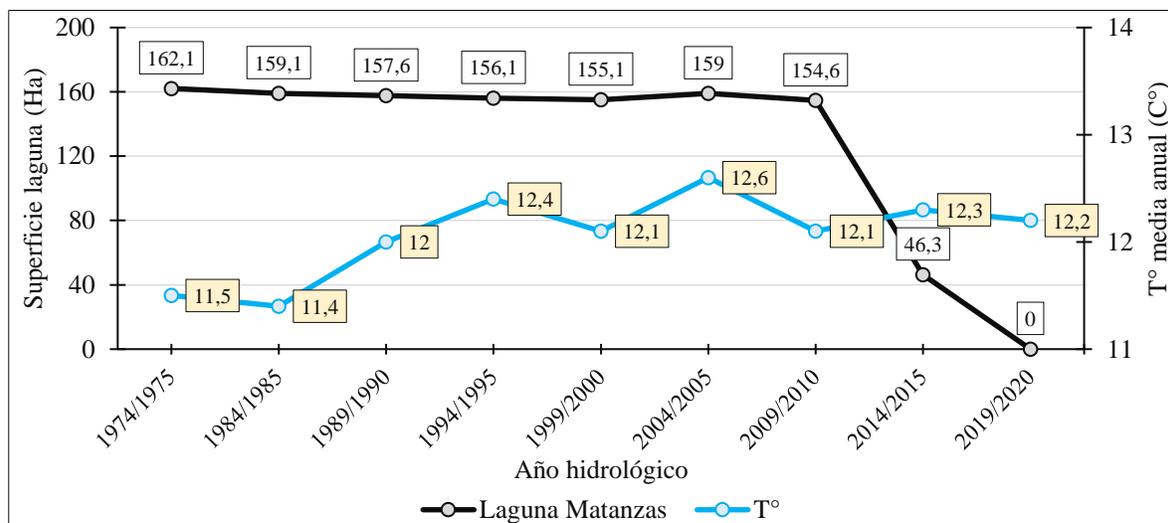


Figura 20. Evolución de la superficie de lagunas Matanzas (Ha) y temperatura media anual (°C) por año hidrológico para el periodo 1974-2020.

3.6.2 Variación de superficie laguna Aculeo entre 1975-2020

En la figura 21 se observan los cambios de superficie de laguna Aculeo, esta se mantiene estable hasta el año 1995 en donde aumenta 19,1 Ha. En el año 2000 sufre otro cambio de superficie perdiendo alrededor de 100 Ha, sin embargo, el año 2005 recupera 62,8 Ha. En el año 2010, la laguna abarca mayor cantidad de superficie que otros años a lo largo del periodo con 1149 Ha, luego de este periodo, empieza a perder superficie de manera abrupta y entre 2010-2015 se produce la pérdida más grande y la laguna Aculeo disminuye 679,7 Ha. Para el año 2020 se observa la sequía completa de la laguna.

En cuanto a las precipitaciones se observan oscilaciones características del clima de esta zona. Destaca el año hidrológico 1974/1975 y 1984/1985 en donde se evidenciaron 492,8 mm y 755,2 mm de precipitación anual, respectivamente, siendo los años más lluviosos del periodo. Durante el periodo 1989-2010 los valores de precipitación anual rondan entre los 334,1mm y 406,9 mm, este aumento en la precipitación ocurrido el año 2004/2005 coincide con un aumento en la superficie de la laguna Aculeo. Luego desde el año 2010 se logra evidenciar una disminución en las precipitaciones del sector y en el año 2019/2020 solamente se observan 143 mm de precipitación anual.

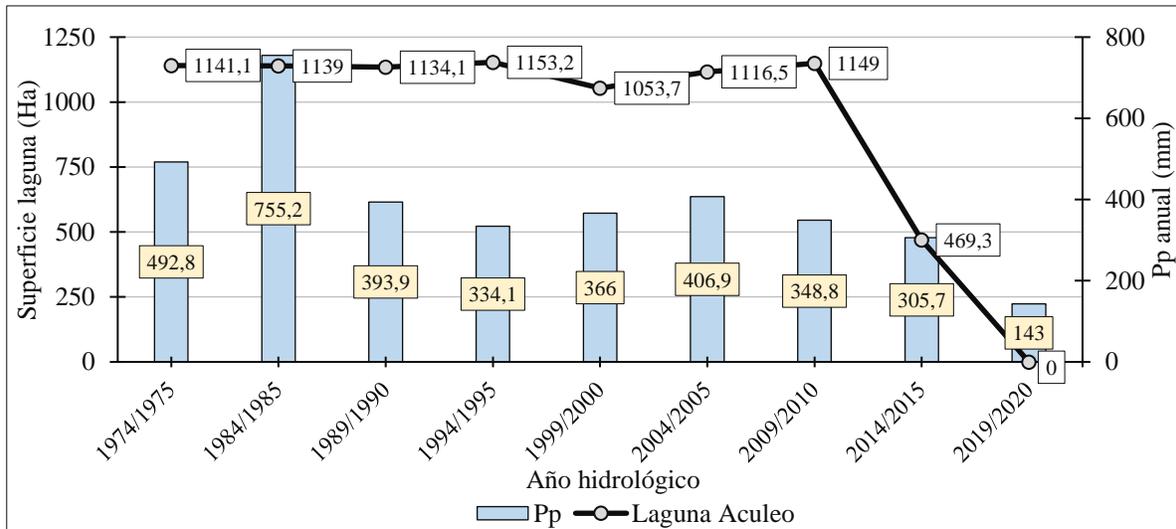


Figura 21. Evolución de la superficie de laguna Aculeo (Ha) y precipitaciones anuales (mm) por año hidrológico para el periodo 1974-2020.

Con respecto a las temperaturas en la microcuenca (Fig. 22), se producen variaciones entre periodos que oscilan entre un aumento y una disminución de las temperaturas. En el caso del año hidrológico 1984/1985 se observa la temperatura más baja durante el periodo correspondiente a 12,3°C y coincide con la máxima de precipitaciones en la cuenca (Fig.21). Luego se produce un alza en las temperaturas que se mantiene hasta el año 1994/1995 donde alcanza los 13,6°C. Luego de este periodo las temperaturas vuelven a oscilar entre un aumento y una disminución hasta el año 2009/2010 en donde empieza un aumento de las temperaturas de manera sostenida que coincide con la pérdida abrupta de superficie de laguna Aculeo, este aumento llega incluso a los 15,4°C el año 2020, estableciendo una diferencia de 3,1°C con respecto a la temperatura mínima observada durante el periodo en el año 1984/1985.

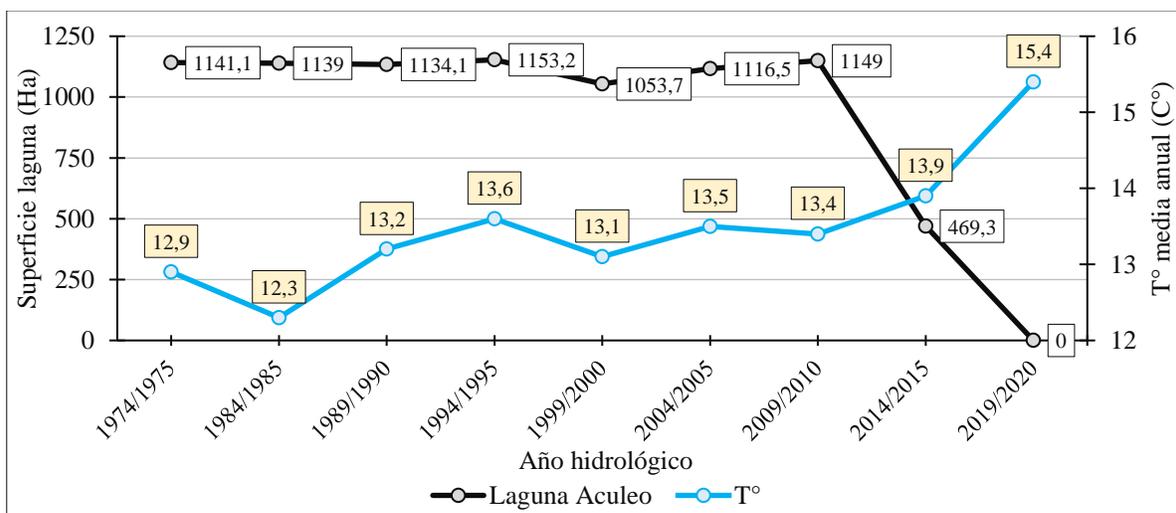


Figura 22. Evolución de la superficie de laguna Aculeo (Ha) y temperatura media anual (°C) por año hidrológico para el periodo 1974-2020.

3.6.3 Variación de superficie laguna del Encañado entre 1975-2020

En cuanto a laguna Del Encañado, se observa una tendencia a disminuir y aumentar de superficie en función de las precipitaciones (Fig. 23). El año más lluvioso del periodo 1984/1985 con 691,5 mm coincide con la mayor superficie de laguna (48,2 Ha) a su vez, los años más secos 2014/2015 y 2019/2020, presentan la superficie de laguna más baja (43,4 Ha), durante este periodo se observa un promedio de 220,4 mm, menos de la mitad de precipitaciones en promedio caídas desde 1984 a 2010. A pesar de las disminuciones abruptas de precipitación en la zona, la laguna del Encañado solo disminuye 3,8 Ha de superficie durante todo el periodo (1975-2020)

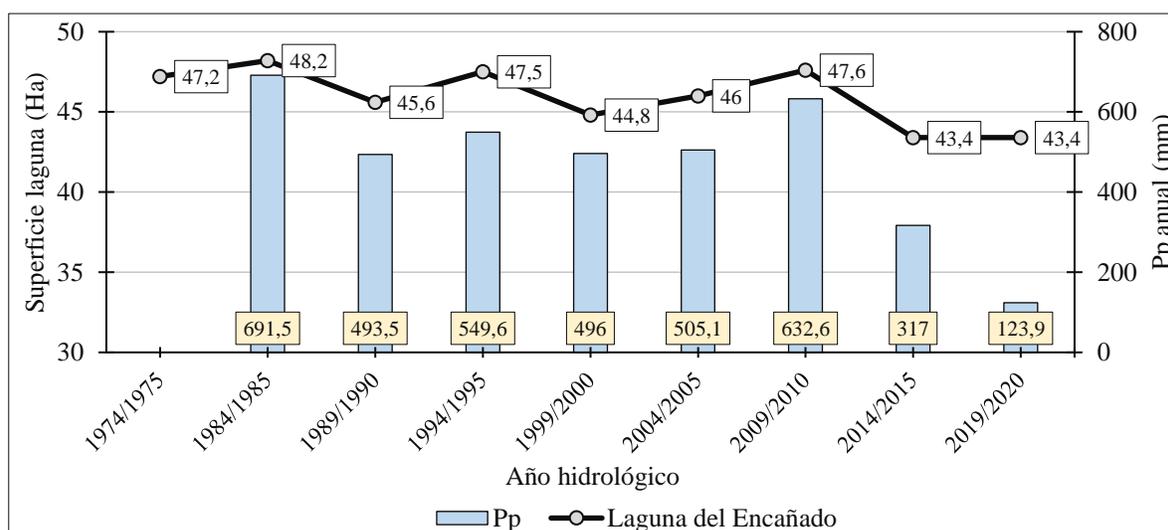


Figura 23. Evolución de la superficie de laguna del Encañado (Ha) entre 1975-2020 y precipitaciones anuales (mm) por año hidrológico para el periodo 1984-2020. No se observan datos de precipitación para el año 1974-1975 debido a la ausencia de información.

En cuanto a las temperaturas (Fig. 24), no se observa una clara tendencia en cuanto a estas y la superficie de la laguna ya que durante el periodo ambas oscilan en disminuciones y aumentos. En el caso de los años más lluviosos (1984/1985, 1994/1995 y 2009/2010) (Fig. 23) debido a la cantidad de precipitaciones caídas, se produce un aumento de la superficie de la laguna y una baja de las temperaturas debido a esto coincide la temperatura más baja del periodo ($7,3^{\circ}\text{C}$) con la mayor superficie de laguna (48,2 Ha). Con respecto a otros años, se produce la tendencia de a mayor temperatura mayor superficie de laguna, esto puede suceder debido a que la laguna es alimentada por deshielos. Sin embargo, en los años 1989/1990 y 2014/2015 se observan altas temperaturas ($9,4^{\circ}\text{C}$) y una baja en la superficie de la laguna del Encañado.

Por otro lado, cabe destacar que durante el periodo 1984/2020 se observa la tendencia a aumentar de las temperaturas, en donde para el año 2020, llega a los $10,2^{\circ}\text{C}$ casi 3°C por sobre los valores de inicios del periodo. Sin embargo, durante el periodo 1984/1985 y 1989/1990 se produce un cambio abrupto en la temperatura con un aumento de $2,1^{\circ}\text{C}$ por lo

que se debe considerar la posibilidad de un error en la obtención de datos desde la plataforma para el año 1984/1985.

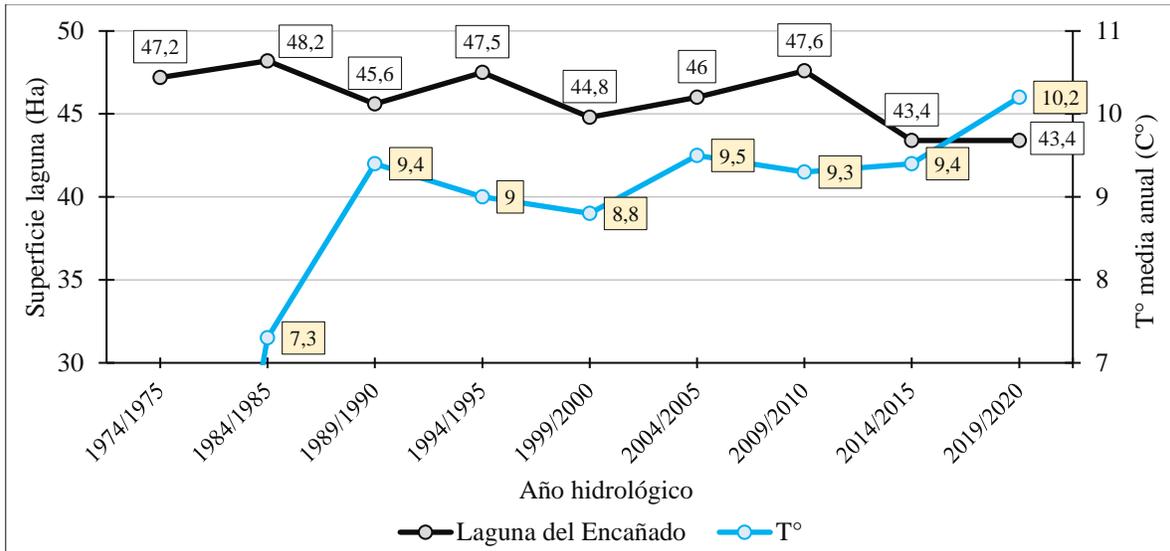


Figura 24. Evolución de la superficie de laguna del Encañado (Ha) entre 1975-2020 y temperatura media anual (°C) por año hidrológico para el periodo 1984-2020. No se observan datos de temperatura para el año 1974-1975 debido a la ausencia de información.

3.6.4 Variación de superficie laguna Negra entre 1975-2020

Con respecto a laguna Negra, se observa una disminución total de 58,6 Ha. Durante 1994/1995 y 1999/2000 presenta una gran disminución de 17,9 Ha que coincide con una baja en las precipitaciones de 56,3 mm anuales (Fig. 25). Con respecto a los aumentos que ha experimentado la laguna estos ocurren durante los años 1999-2010 donde se produce un aumento de superficie de 6 Ha que coincide con un aumento de las precipitaciones en donde para este último año alcanzan los 632,6 mm anuales. Cabe destacar que, los últimos años del periodo en donde ocurre la disminución más grande de 24,9 Ha desde 2009/2010 hasta la actualidad concuerdan con una disminución sostenida de las precipitaciones llegando incluso a 123,9 mm anuales siendo el año más seco desde 1984.

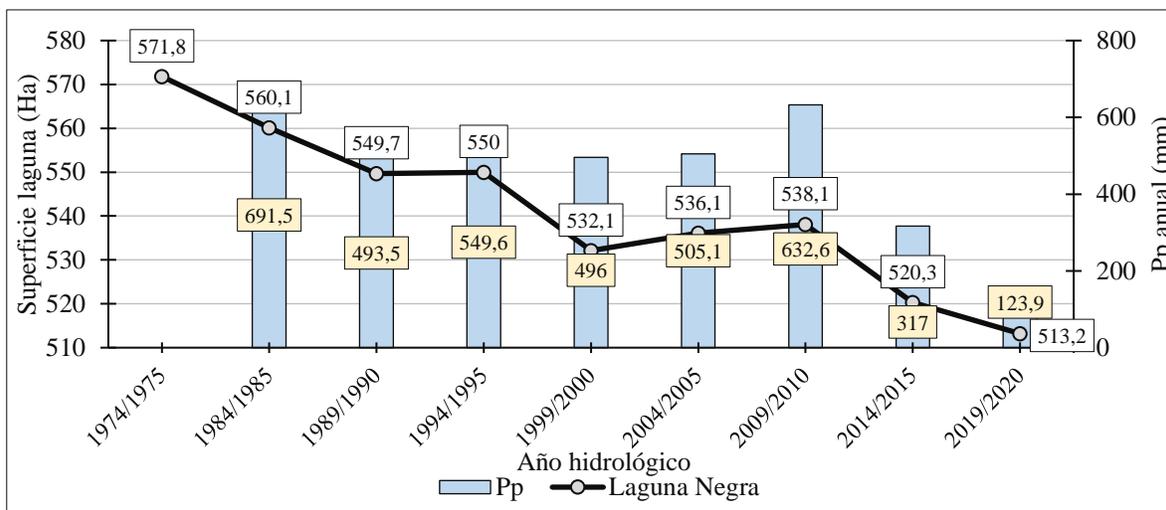


Figura 25. Evolución de la superficie de laguna Negra (Ha) entre 1975-2020 y precipitaciones anuales (mm) por año hidrológico para el periodo 1984-2020. No se observan datos de precipitación para el año 1974-1975 debido a la ausencia de información.

Con respecto a las temperaturas (Fig. 26), se observa un comportamiento similar al de laguna del Encañado. En el caso del año más frío (1984/1985) coincide con el año más lluvioso, sin embargo, este año se presenta una disminución de 11,7 Ha de superficie de laguna. Desde los años 1999-2010 se produce un aumento de la temperatura de 0,5 °C y coincide con un aumento de 6 Ha de laguna, por lo que se podría atribuir este aumento de superficie a un conjunto de procesos como el deshielo y el aumento de las precipitaciones durante este periodo (Fig 25). Por otro lado, en los últimos 10 años del periodo se observa una disminución sostenida de la superficie de lagunas (24,9 Ha) y un aumento de las temperaturas.

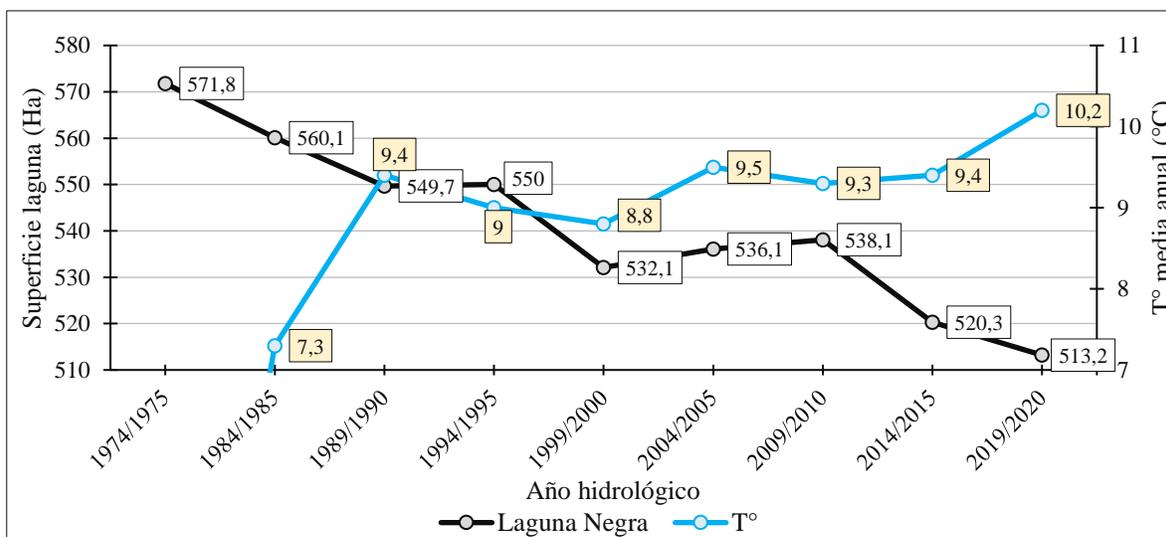


Figura 26. Evolución de la superficie de laguna del Negra (Ha) entre 1975-2020 y temperaturas medias anuales (°C) por año hidrológico para el periodo 1984-2020. No se observan datos de precipitación para el año 1974-1975 debido a la ausencia de información.

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

4.1 Discusión

En cuanto a los usos y coberturas de suelo, estos constituyen un elemento fundamental a la hora de entender los procesos y transformaciones del territorio, estos cambios se producen de manera intensa a escala global reemplazando amplias zonas de terreno principalmente de bosque nativo (Aguayo, 2009). En Chile Central en las últimas décadas se observa el reemplazo de los usos y coberturas naturales de suelo por usos de suelo ligados a actividades antrópicas. Es necesario entender estas dinámicas y su evolución para aclarar el impacto de estas en el ecosistema y prevenir futuros impactos negativos irreversibles.

De esta manera, a través de análisis de imágenes satelitales quedó en evidencia la pérdida de superficie de lagunas y de vegetación debido a las transformaciones a nivel de microcuenca, basados principalmente en un aumento de la urbanización y de actividades productivas. Como señala Pavez et al., 2010 el caso más emblemático de Chile es la Región Metropolitana, en donde se encuentra la laguna de Aculeo, laguna del Encañado y laguna Negra, este sector del país ha sufrido un aumento población significativo en las últimas décadas generando una urbanización poco planificada en zonas donde antes se emplazaban actividades agrícolas y en donde se encontraba la presencia de bosque nativo. Esto se relaciona con el caso de laguna Aculeo en donde, para cumplir la demanda de viviendas se han destinado amplios sectores al uso de suelo residencial principalmente en la Reserva Nacional Altos de Cantillana.

En el caso de Laguna Matanzas, la actividad agrícola y ganadera ha aumentado de manera significativa (Contreras-López et al., 2014) dichas actividades junto con la industria forestal que también abarca gran parte del sector han generado un deterioro ambiental en la microcuenca al igual como ocurre en laguna de Aculeo, disminuyendo amplios sectores de bosque nativo y generando una acidificación del suelo y una disminución en la disponibilidad de nutrientes afectando al ecosistema en general (Fuentealba, 2019).

Con respecto al clima de Chile central, los resultados obtenidos en las cuatro microcuencas concuerdan con lo planteado por Garreaud (2011) que señala una disminución de las precipitaciones cercana a 100 mm/década. Por otro lado, también se evidenciaron cambios relevantes en las temperaturas aumentando en las cuatro microcuencas aproximadamente 2°C, información que coincide con la proyección planteada por González, et al. (2011) en donde se espera un aumento de 2°C a 4°C a finales del siglo XXI en la zona centro-sur de Chile.

En cuanto a los resultados obtenidos estos podrían mejorarse disminuyendo el intervalo de años entre imágenes a escala anual o realizando, además, una comparación de estos usos y

coberturas de suelo no solamente en periodo estival e incorporando variables de escala local que puedan influir en el cambio del paisaje, como, por ejemplo, el aumento de segundas residencias que generan presión inmobiliaria o la ocurrencia de incendios forestales.

Además, se sugiere complementar la técnica de clasificación supervisada con la fotointerpretación de fotografías aéreas y salidas a terreno para una mayor precisión con respecto a los resultados.

Con respecto a las limitantes del estudio, se encuentra el acceso a la información principalmente de datos de precipitación y temperatura, que no se encuentran disponibles de los primeros años del periodo para las lagunas altoandinas, esto provocó que no se lograra analizar de manera completa el comportamiento del clima con los cambios que han sufrido estas lagunas.

Otra limitante corresponde al análisis de vegetación en la microcuenca Laguna Matanzas, esto debido a que se observa una gran presencia de plantaciones forestales y cultivos, lo que influye en los valores de los índices de vegetación y no permite reconocer el estado de la microcuenca únicamente con respecto al bosque nativo y su evolución.

Sin embargo, a pesar de las limitantes, se logró una aproximación completa sobre los cambios de usos y coberturas de suelo, la evolución de la vegetación y las variaciones de las cuatro lagunas estudiadas, lo cual es importante a la hora de dilucidar el estado actual de las cuencas de Chile Central.

4.2 Conclusión

A partir de los resultados obtenidos es posible afirmar que existe un impacto negativo en las cuencas con actividades antrópicas presentes en cuanto a la sustitución de usos y coberturas de suelo. Por el contrario, en la microcuenca Laguna del Encañado y Laguna Negra, sector en donde no predominan las actividades humanas, no se observan cambios de uso de suelo que afecten el ecosistema de manera significativa y tampoco disminuciones importantes en la superficie de la laguna.

En el caso de la microcuenca Laguna Aculeo, durante el periodo se vieron intensificadas las actividades relacionadas al uso residencial, esta expansión fue reemplazando otros usos de suelos presentes, dando paso incluso a la construcción de viviendas cercanas a la Reserva Altos de Cantillana, caracterizada por su biodiversidad, lo que ha generado pérdidas considerables de superficie de bosque nativo. En este sentido, la microcuenca caracterizada en sus inicios por ser un sector rural y marcado por la presencia de la agricultura se transforma a un sector mayoritariamente residencial. Dicho esto, a pesar de que la microcuenca aún conserva grandes sectores de bosque nativo se puede evidenciar como esta vegetación se encuentra cada vez más deteriorada.

En el caso de la microcuenca Laguna Matanzas, también se encuentra desde hace décadas marcada por actividades antrópicas. Al inicio del periodo (1975) la microcuenca era ocupada en su mayoría por zonas destinadas al uso de suelo de Praderas, destinadas a la ganadería. En los últimos años, en el sector se ha visto un aumento de la actividad agrícola y de plantaciones forestales, ambas distribuidas alrededor de toda la microcuenca, lo que ha generado un reemplazo de praderas y de bosque nativo por dichas actividades.

En ambas microcuencas (Aculeo y Matanzas) podemos evidenciar un deterioro ambiental significativo producto de una aceleración desmedida de actividades ligadas a una alta rentabilidad económica. La explotación del territorio ha estado principalmente ligado al reemplazo del bosque nativo por usos de suelo silvoagropecuario e inmobiliario, y se traduce en una pérdida de biodiversidad nativa y disponibilidad de agua dulce, dando origen a ecosistemas intervenidos y degradados (e.g. incremento de los matorrales, en áreas antes de bosque nativo)

Con respecto a las condiciones climáticas de Chile Central, se observan en las cuatro microcuencas, disminuciones abruptas de precipitación y aumentos de las temperaturas. Sin embargo, en el caso de laguna del Encañado y laguna Negra, a pesar de perder superficie de agua dulce debido al contexto de cambio climático y la megasequía, no sufrieron cambios extremos como el caso de laguna Matanzas y Laguna Aculeo.

En este sentido, es importante la información satelital y el monitoreo de los cambios de usos y coberturas de suelo para identificar las transformaciones territoriales y la evolución del estado de los ecosistemas. A su vez, es fundamental analizar el escenario climático actual y las consecuencias de éste en las lagunas de Chile, para proteger y habitar de manera consciente el territorio, mediante la visión integradora de la geografía, con el fin de no acelerar las nuevas modificaciones espaciales-naturales y ocasionar un deterioro ambiental que produzca la pérdida de biodiversidad nativa y recursos naturales valiosos como lo fueron la laguna de Aculeo y laguna Matanzas.

CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA

Acuña, P. Vélez-R, C. Mizobe, C. Bústos-López, C. Contreras- López, C. (2014) Mortalidad de la población de rana grande chilena (*Calyptocephalella gayi*) en la Reserva Nacional El Yali. *Anales Museo de Historia Natural de Valparaíso*: Vol. 27.

Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(3), 361-374.

Altamirano, A., Lara, A. (2010). Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro- sur de Chile. *Bosque*. Santiago, Chile.

Armijo, G. (1993) “Laguna de Acuelo. Estudios preliminares de impacto ambiental”. Escuela de Postgrado, Magister en Geografía. Facultad de Arquitectura y Urbanismo Universidad de Chile.

Armijo, G. Caviedes, H. (1996a) El avance de la urbanización del campo en la Región Metropolitana de Chile y sus efectos espaciales. Santiago: Chile.

Armijo, G. Caviedes, H. (1996b) La actual urbanización del mundo Rural de la Región Metropolitana (Area Sur) y sus efectos sobre el hábitat campesino. *Anales XVII Congreso Nacional de Geografía*, La Serena, Chile.

Armesto, J. J., Manushevich, D., Mora, A., Smith-Ramirez, C., Rozzi, R., Abarzúa, A. M., & Marquet, P. A. (2010). From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land Use Policy*, 27(2), 148-160.

Avaria, S., Carrasco, J., Rutllant, J., Yáñez, E. (2004) El Niño-La Niña 1997-2000. Sus efectos en Chile. CONA, Valparaíso, Chile.

Bergh, G., & Promis, A. (2011). Conservación de los bosques nativos de Chile—Un análisis al informe FAO sobre la evaluación de los recursos forestales nacionales. *Revista Bosque Nativo*, 48, 9-11.

Boisier, J. P., Rondanelli, R., Garreaud, R. D., & Muñoz, F. (2016). Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters*, 43(1), 413-421.

Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (2009). *La economía del cambio climático en Chile. Síntesis*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

- Contreras, M., Winckler, P., & Molina, M. (2012). Implicancias de la variación del nivel medio del mar por cambio climático en obras de ingeniería costera de Chile. *Anales del Instituto de Ingenieros; Instituto de Ingenieros de Chile: Santiago, Chile*, 124, 54-66.
- Contreras-López, M. Vergara, H. Figueroa, R. (2014). Elementos de la historia natural del sistema de humedales El Yali. *Anales Museo de Historia Natural de Valparaíso: Vol. 27*.
- Corporación Nacional Forestal (sf) Reserva Nacional El Yali. Extraído de <https://www.conaf.cl/parques/reserva-nacional-el-yali/>
- Corporación Nacional Forestal (2009). Plan de manejo Reserva Nacional El Yali. Gerencia de áreas protegidas y medio ambiente. Ministerio de Agricultura. Chile.
- Crutzen, P. J. and Stoermer, E. F. 2000. The Anthropocene. In: Global Change Newsletter. International Geosphere Biosphere Programme, 17–18.
- Dionizis, D. (2018) Análisis de las proyecciones de recursos hídricos aportantes a los sistemas Embalse El Yeso y Laguna Negra bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5. Santiago: Universidad de Chile.
- Donoso, C. & A. Lara (1995). Utilización de los bosques nativos de Chile: pasado, presente y futuro. En: J.J. Armesto, C. Villagrán & M.T.K. Arroyo (eds.), *Ecología de los Bosques Nativos de Chile*. pp. 363-388. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1996) Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. N°130: Roma.
- Fuentealba, M. (2019). Influencia de los Cambios de Uso/Cobertura del Suelo y el Clima en el Ciclo del Nitrógeno en Dos Lagos Costeros de Chile Central a Partir de la Colonización Española (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)).
- Fuentealba, M., Latorre, C., Frugone-Álvarez, M., Sarricolea, P., Giralt, S., & Contreras-Lopez, M. et al. (2020). A combined approach to establishing the timing and magnitude of anthropogenic nutrient alteration in a mediterranean coastal lake- watershed system. *Scientific Reports*, 10(1)
- Gajardo, R. (1994) La vegetación natural de Chile: Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria. Santiago.
- Gallardo, L. (2016) Antropoceno en Chile y oportunidades para un desarrollo sostenible y resiliente. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)². Santiago.
- Galdames, P., Dussailant, A., & Sun, C. (2006). Hidrología de laguna albúfera Reserva El Yali, humedal Ramsar, Chile.
- Garraud, R. (2011). Cambio Climático: Bases físicas e impactos en Chile.

Garreaud, R. D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M., ... & Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and earth system sciences*, 21(12), 6307-6327.

Gómez-Zotano, J., Alcántara-Manzanares, J., Olmedo-Cobo, J. A., & Martínez-Ibarra, E. (2015). La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande*, (61), 161-180.

González, M. E., Lara, A., Urrutia, R., & Bosnich, J. (2011). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33°-42° S). *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 215-219.

Hernández, S., Fernández, C. & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. Cuarta edición. México.

Hoffman, A. (2012) *Flora silvestre de Chile. Zona central*. Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2018). Síntesis de resultados Censo 2017. Obtenido de www.ine.cl

Marino, H. (2002). Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de altamontaña. *Revista chilena de Historia natural*, 75(3), 625-637.

Meneses, R. (2019). *Funcionamiento hidrogeológico de Aculeo*. Universidad de Chile: Santiago

Meza, V. Contreras-López, M. Rivera, C. Jofré, C. Figueroa, R. Bustillos, G. Duarte, N. Soto, E. Quiroga, E. Ugalde, A. Ramirez, P & Mizobe, C (2013) *Plan de restauración ecológica como mecanismo de adaptación al cambio climático en la Reserva Nacional El Yali, Región de Valparaíso, informe final*. Valparaíso: Universidad de Playa Ancha-Agencia de Parques de Canadá-Ministerio del Medio Ambiente de Chile.

López, N., (2017). *Efecto Del Fenómeno De El Niño En La Concentración De Ozono Troposférico En Santiago De Chile*. [online] Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María, p.13. disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23630/3560900258391UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Leiva Silva, I., Meza Herreros, J., & Móder Zambrano, L. (1995). *Fundamentos para la creación de la Reserva Nacional El Yali*.

Luebert, F., & Pliscoff, P. (2006). Los límites del clima mediterráneo en Chile. *Chagual*, 4, 64-69.

- Pavez, E. F., Lobos, G. A., & Jaksic, F. M. (2010). Cambios de largo plazo en el paisaje y los ensamblajes de micromamíferos y rapaces en Chile central. *Revista chilena de historia natural*, 83(1), 99-111.
- Rivas, C. (2019). Análisis multicriterio para la recuperación de la Laguna Aculeo. Santiago: Universidad de Chile.
- Robertson, G. P., & Vitousek, P. M. (2009). Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Annual review of environment and resources*, 34, 97-125.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E., ... & Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and society*, 14(2)..
- Ruddiman, W. (2005). Calentamiento antropogénico preindustrial. *Investigación y Ciencia*, 344: 2-39
- Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, 13(2), 66-73.
- Sarricolea, P., Serrano-Notivoli, R., Fuentealba, M., Hernández-Mora, M., de la Barrera, F., Smith, P., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2020). Recent wildfires in Central Chile: Detecting links between burned areas and population exposure in the wildland urban interface. *Science of The Total Environment*, 706, 135894.
- Serrano-Notivoli, R., Tejedor, E., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., Vuille, M., Fuentealba, M., & de Luis, M. (2021). Hydroclimatic variability in Santiago (Chile) since the 16th century. *International Journal of Climatology*, 41, E2015-E2030.
- Svampa, M. (2019). Las fronteras del neoextractivismo en América Latina: conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias (p. 144). transcript Verlag.
- Ulloa, A. (2017). Dinámicas ambientales y extractivas en el siglo XXI: ¿Es la época del Antropoceno o del Capitaloceno en Latinoamérica? *Desacatos*, (54), 58-73.
- Vidal-Abarca, R., Suarez, Ma., Figueroa, R., Enríquez, M., García, V., Domínguez, C., Arce, Ma. (2011) Caracterización hidroquímica del complejo de humedales El Yali, Chile Central. *Limnetica*.
- Villa, R. (2002) Historia del clima y la vegetación de Chile central durante el Holoceno: Una reconstrucción basada en el análisis de polen, sedimentos, microalgas y carbón. Santiago: Universidad de Chile.
- Zamora, M. E., Huerta, A. H., Maqueo, O. P., Badillo, G. B., & Bernal, S. I. (2016). Cambio global: el Antropoceno. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 23(1), 67-75.

ANEXOS

Anexo N°1: Tabla de códigos para la cuenca de lagunas Matanzas, laguna Aculeo, laguna del Encañado y laguna Negra.

Microcuenca laguna Matanzas			2020						
			Laguna	Bosque nativo	Dunas	Matorral	Pradera	Agricultura	Plantaciones
			10	20	30	40	50	60	70
1975	Laguna	1	11	21	31	41	51	61	71
	Bosque nativo	2	12	22	32	42	52	62	72
	Dunas	3	13	23	33	43	53	63	73
	Matorral	4	14	24	34	44	54	64	74
	Pradera	5	15	25	35	45	55	65	75

Microcuenca laguna Aculeo			2020					
			Bosque nativo	Zona degradada	Residencial	Agricultura	Plantaciones	Praderas
			10	20	30	40	50	60
1975	Laguna	1	11	21	31	41	51	61
	Bosque nativo	2	12	22	32	42	52	62
	Zona degradada	3	13	23	33	43	53	63
	Residencial	4	14	24	34	44	54	64
	Agricultura	5	15	25	35	45	55	65

Microcuenca Laguna del Encañado			2020			
			Laguna	Pastizal	Suelo desnudo rocoso	Vegas
			10	20	30	40
1975	Laguna	1	11	21	31	41
	Pastizal	2	12	22	32	42
	Suelo desnudo rocoso	3	13	23	33	43
	Vegas	4	14	24	34	44
	Nieve	5	15	25	35	45

Microcuenca Laguna Negra			2020				
			Laguna	Pastizal	Suelo desnudo rocoso	Vegas	Nieve
			10	20	30	40	50
1975	Laguna	1	11	21	31	41	51
	Pastizal	2	12	22	32	42	52
	Suelo desnudo rocoso	3	13	23	33	43	53
	Vegas	4	14	24	34	44	54
	Nieve	5	15	25	35	45	55

Anexo N°2: Tabla de interpretación de códigos para la cuenca de lagunas Matanzas, laguna Aculeo, laguna del Encañado y laguna Negra.

Microcuenca laguna Matanzas			
Cambio	Código	Cambio	Código
Se mantuvo laguna	11	Se mantuvo matorral	44
De bosque nativo a laguna	12	De pradera a matorral	45
De dunas a laguna	13	De laguna a pradera	51
De matorral a laguna	14	De bosque nativo a pradera	52
De pradera a laguna	15	De dunas a pradera	53
De laguna a bosque nativo	21	De matorral a pradera	54
Se mantuvo bosque nativo	22	Se mantuvo pradera	55
de dunas a bosque nativo	23	De laguna a agricultura	61
De matorral a bosque nativo	24	De bosque nativo a agricultura	62
De pradera a bosque nativo	25	De dunas a agricultura	63
De laguna a dunas	31	De matorral a agricultura	64
De bosque nativo a dunas	32	De praderas a agricultura	65
Se mantuvo dunas	33	De laguna a plantaciones	71
De matorral a dunas	34	De bosque nativo a plantaciones	72
De pradera a dunas	35	De dunas a plantaciones	73
De laguna a matorral	41	De matorral a plantaciones	74
De bosque nativo a matorral	42	De praderas a plantaciones	75
De dunas a matorral	43		

Microcuenca laguna Aculeo			
Cambio	Código	Cambio	Código
De laguna a bosque nativo	11	De laguna a agricultura	41
Se mantuvo bosque nativo	12	De bosque nativo a agricultura	42
De zona degradada a bosque nativo	13	De zona degradada a agricultura	43
De residencial a bosque nativo	14	De residencial a agricultura	44
De agricultura a bosque nativo	15	Se mantuvo agricultura	45
De laguna a zona degradada	21	De laguna a plantaciones	51
De bosque nativo a zona degradada	22	De bosque nativo a plantaciones	52
Se mantuvo zona degradada	23	De zona degradada a plantaciones	53
De residencial a zona degradada	24	De residencial a plantaciones	54
De agricultura a zona degradada	25	De agricultura a plantaciones	55
De laguna a residencial	31	De laguna a praderas	61
De bosque nativo a residencial	32	De bosque nativo a praderas	62
De zona degradada a residencial	33	De zona degradada a praderas	63
Se mantuvo residencial	34	De residencial a praderas	64
De agricultura a residencial	35	De agricultura a praderas	65

Microcuenca del Encañado	
Cambio	Código
Se mantuvo laguna	11
De pastizal a laguna	12
De suelo desnudo rocoso a laguna	13
De vegas a laguna	14
De nieve a laguna	15
De laguna a pastizal	21
Se mantuvo pastizal	22
De suelo desnudo rocoso a pastizal	23
De vegas a pastizal	24
De nieve a pastizal	25
De laguna a suelo desnudo rocoso	31
De pastizal a suelo desnudo rocoso	32
Se mantuvo suelo desnudo rocoso	33
De vegas a suelo desnudo rocoso	34
De nieve a suelo desnudo rocoso	35
De laguna a vegas	41
De pastizal a vegas	42
De suelo desnudo rocoso a vegas	43
Se mantuvo vegas	44
De nieve a vegas	45

Microcuenca Laguna Negra	
Cambio	Código
Se mantuvo laguna	11
De pastizal a laguna	12
De suelo desnudo rocoso a laguna	13
De vegas a laguna	14
De nieve a laguna	15
De laguna a pastizal	21
Se mantuvo pastizal	22
De suelo desnudo rocoso a pastizal	23
De vegas a pastizal	24
De nieve a pastizal	25
De laguna a suelo desnudo rocoso	31
De pastizal a suelo desnudo rocoso	32
Se mantuvo suelo desnudo rocoso	33
De vegas a suelo desnudo rocoso	34
De nieve a suelo desnudo rocoso	35
De laguna a vegas	41
De pastizal a vegas	42
De suelo desnudo rocoso a vegas	43
Se mantuvo vegas	44
De nieve a vegas	45
De laguna a nieve	51
De pastizal a nieve	52
De suelo desnudo rocoso a nieve	53
De vegas a nieve	54
Se mantuvo nieve	55

Anexo 3. Tabla resumen por año hidrológico de temperatura media anual (°C) y precipitaciones (mm) en base a intervalo de cambios de uso y cobertura de suelo.

Microcuenca	Año hidrológico	Pp anual (mm)	T° media anual (°C)
Laguna Matanzas	1974/1975	502,5	11,5
	1984/1985	856,4	11,4
	1989/1990	347,1	12,0
	1994/1995	339,6	12,4
	1999/2000	425,3	12,1
	2004/2005	458,1	12,6
	2009/2010	346,2	12,1
	2014/2015	400,8	12,3
	2019/2020	179,8	12,2

Microcuenca	Año hidrológico	Pp anual (mm)	T° media anual (°C)
Laguna Aculeo	1974/1975	492,8	12,9
	1984/1985	755,2	12,3
	1989/1990	393,9	13,2
	1994/1995	334,1	13,6
	1999/2000	366,0	13,1
	2004/2005	406,9	13,5
	2009/2010	348,8	13,4
	2014/2015	305,7	13,9
	2019/2020	143,0	15,4

Microcuenca	Año hidrológico	Pp anual (mm)	T° media anual (°C)
Laguna del Encañado y Laguna Negra	1974/1985	-	-
	1984/1985	691,5	7,3
	1989/1990	493,5	9,4
	1994/1995	549,6	9,0
	1999/2000	496,0	8,8
	2004/2005	505,1	9,5
	2009/2010	632,6	9,3
	2014/2015	317,0	9,4
	2019/2020	170,2	10,2