

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



ANÁLISIS AMBIENTAL DEL LAGO LANALHUE, REGIÓN DEL BIÓBIO

NICOL ANDREA ORTIZ VALLEJOS

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL

CHILLAN-CHILE

2022

ANÁLISIS AMBIENTAL DEL LAGO LANALHUE, REGION DEL BIOBIO.

Aprobado por:

José Luis Arumi Ribera
Ingeniero Civil. Ph. D.
Profesor Titular

Profesor Guía

Gerardo Azocar García
Geógrafo, Dr.
Profesor Asociado

Profesor Asesor

Pedro Aqueveque Muñoz
Profesor de Biología. Dr.
Profesor Asociado

Profesor Asesor

Nicole Uslar Valle
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.
Profesor Asistente

Director de Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
Profesor Asociado

Decana

AGRADECIMIENTOS

Agradecida de mi familia, mi pareja y al profesor José Luis Arumi, en todo este largo camino.

INDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1.INTRODUCCION.....	3
2.OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3.ANTECEDENTES GENERALES.....	6
3.1. Área de estudio	6
3.2. Proceso de eutrofización	7
3.3. Plantas acuáticas	8
4.METODOLOGIA.....	9
4.1. Caracterizar la cuenca aportante al Lago Lanalhue.	9
4.1.1. Parámetros de forma.	9
4.1.2. Parámetros de relieve.	12
4.1.3. Parámetros de drenaje.....	14
4.2. Analizar los cambios de población y de uso forestal que han ocurrido en la cuenca del Lago Lanalhue.	16
4.2.1. Evolución y densidad de población	16
4.2.2. Cambios de uso del suelo.....	18
4.3. Investigar los factores que contribuyen a la proliferación de plantas acuáticas en el Lago Lanalhue.....	19
5.RESULTADOS Y DISCUSION.....	20
5.1. Caracterización cuenca aportante al Lago Lanalhue.....	20
5.2. Cambios de población y forestales ocurridos en la cuenca del Lago Lanalhue.	22
5.2.1. Evolución y densidad de población.	22
5.2.2. Cambios de uso del suelo.....	24
5.3. Factores que contribuyen a la proliferación de plantas acuáticas en el Lago Lanalhue.	30
6. CONCLUSIONES.....	38
7. LITERATURA CITADA.....	41

8.	ANEXO	46
8.1.	Evolución y densidad de población.	46

INDICE DE TABLAS

En el texto	Página
Tabla 1.	Clasificación para el coeficiente de compacidad..... 10
Tabla 2.	Valores interpretativos del factor de forma..... 11
Tabla 3.	Parámetros morfométricos del Lago Lanalhue..... 20
Tabla 4.	Población total en la cuenca del Lago Lanalhue, para los años 2002 y 2017..... 23
Tabla 5.	Porcentaje de usos de suelo en la cuenca del Lago Lanalhue, año 2001.....25
Tabla 6.	Porcentaje de usos de suelo en la cuenca del Lago Lanalhue, año 2017..... 27
Tabla 7.	Tasa de cambio entre los años de estudio 2001 y 2017. 29
Tabla 8.	Plantas acuáticas descritas para el Lago Lanalhue. 30
Tabla 9.	Balance de nutrientes de fosforo y nitrógeno para los años 2018 y 2019..... 35
En el Anexo	
Tabla A1.	Población total en el año 2002, en la cuenca del Lago Lanalhue. 46
Tabla A2.	Población total en el año 2017, en la cuenca del Lago Lanalhue. 47

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1:	Ubicación geográfica de la cuenca del Lago Lanalhue. 7
Figura 2:	Usos de suelo en la cuenca del Lago Lanalhue, año 2001.. 24
Figura 3:	Usos de suelo en la cuenca del Lago Lanalhue, año 2017.. 26
Figura 4:	Ranunculus Repens..... 31
Figura 5:	Myriophyllum aquaticum..... 32
Figura 6:	Plantago lanceolata. 33
Figura 7:	Egeria densa.. 33
Figura 8:	Diagrama causal eutrofización en el Lago Lanalhue..... 37

INDICE DE ECUACIONES

	Página
Ecuación 1. Ecuación coeficiente de compacidad (Kc).....	10
Ecuación 2. Ecuación factor de forma (Kf).....	11
Ecuación 3. Ecuación coeficiente de circularidad (Cc).....	12
Ecuación 4. Ecuación pendiente media (Sc).....	13
Ecuación 5. Ecuación densidad de drenaje (D).....	15
Ecuación 6. Ecuación tiempo de concentración (Tc).....	16
Ecuación 7. Ecuación densidad de población	17
Ecuación 8. Ecuación población	18

ANALISIS AMBIENTAL DEL LAGO LANALHUE, REGION DEL BIOBIO.

ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF LAKE LANALHUE, BIOBIO REGION.

Palabras Claves: Eutrófico, Intervención Antrópica, Plantas Acuáticas.

RESUMEN

El presente trabajo corresponde al análisis ambiental del Lago Lanalhue, ubicado en la región del Biobío, Chile. Este lago se encuentra en estado eutrófico debido a la intensa intervención antrópica en su cuenca aportante. El estudio realizado tiene como objetivo la caracterización morfológica, analizar los cambios de población y de uso del suelo ocurridos e investigar las actividades que contribuyeron a la proliferación de plantas acuáticas en la cuenca del Lago Lanalhue. Obteniendo como resultado una cuenca alargada, medianamente cuadrada y drenada, por lo que presenta buena respuesta a precipitaciones extrema; de los cambios de población se obtuvo un aumento del 18% de la población entre los años 2002 y 2017, y de los cambios de uso del suelo que las plantaciones aumentaron su área en 5% entre los años 2001 y 2017. Por último, los factores que ayudaron a la proliferación de plantas acuáticas son las actividades antrópicas, como la ganadería, la actividad forestal, entre otras; que aportan nitrógeno y fósforo.

ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF LAKE LANALHUE, BIOBIO REGION.

Keywords: Eutrophic, Anthropic Intervention, Aquatic Plants.

ABSTRACT

The present work corresponds to the environmental analysis of Lake Lanalhue, located in the Biobío region, Chile. This lake is in a eutrophic state due to the intense anthropic intervention in its contributing basin. The objective of the study carried out is the morphological characterization, to analyze the changes in population and land use that have occurred, and to investigate the activities that contributed to the proliferation of aquatic plants in the Lanalhue Lake basin. Obtaining as a result an elongated basin, moderately square and drained, for which it presents a good response to extreme precipitation; From the population changes, an increase of 18% of the population was obtained between the years 2002 and 2017, and from the changes in land use that the plantations increased their area by 5% between the years 2001 and 2017. Finally, the factors that helped the proliferation of aquatic plants are human activities, such as livestock, forestry, among others; that provide nitrogen and phosphorus.

1. INTRODUCCION

Los lagos se originan principalmente por la obstrucción del drenaje superficial debido a procesos morfogenéticos, conformando una estructura temporal en la historia erosional de los sistemas geográficos (Parra et al., 2003). Ellos reciben aportes sólidos y líquidos de su cuenca de drenaje, mediante escurrimiento lineal, laminar y subterráneo, razón por la cual las características de la calidad del agua y de las comunidades biológicas allí presentes, reflejan los efectos acumulados de todos los aportes de agua y materiales procedentes del entorno (DGA, 2017)

Al occidente de la Cordillera de Nahuelbuta en la Región del Biobío, se encuentran los denominados Lagos Nahuelbutanos; Estos exhiben diversos niveles de intervención humana, debido principalmente al uso turístico y recreativo, a la influencia urbana y al intenso uso forestal de sus cuencas hidrográficas (Parra et al.,2003). Entre estos lagos se encuentra el Lago Lanalhue, ubicado en la provincia de Arauco (región del Biobío, Chile) entre las comunas de Cañete y Contulmo, en su cuenca aportante se desarrollan actividades humanas de tipo agrícola, ganadera, habitacional, turística y forestal.

Estas actividades aportan nutrientes, contaminantes y materia orgánica a través de los ríos tributarios al lago como El Peral, Elicura, Calebu, Natri, Tromen y otros, generando un aumento en los nutrientes que es alimento para

la vida acuática que habita el lago. Con este alimento y la luz del sol, las plantas y algas hacen fotosíntesis y pueden proliferar, ya que tienen excelentes condiciones para crecer con alimento y luz, por lo tanto, el lago se vuelve muy productivo. Esto, a veces genera un problema cuando el crecimiento es excesivo pues genera un sistema (lago) Eutrófico (PRELA, 2021).

La presente investigación tiene como finalidad elaborar un análisis ambiental del Lago Lanalhue y su cuenca aportante, caracterizando la cuenca del Lago, analizando los cambios de población y de uso forestal en la cuenca e investigando los factores que contribuyeron a la proliferación de plantas acuáticas en el Lago Lanalhue.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Elaborar un análisis ambiental del Lago Lanalhue y su cuenca aportante.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la cuenca aportante al Lago Lanalhue.
- Analizar los cambios de población y de uso del suelo que han ocurrido en la cuenca del Lago Lanalhue.
- Investigar los factores que contribuyen a la proliferación de plantas acuáticas en el Lago Lanalhue.

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1. Área de estudio

La cuenca del Lago Lanalhue se encuentra ubicado en la Provincia de Arauco en la Región del Biobío, Chile, entre las comunas de Cañete y Contulmo (Figura 1). Posee un área y perímetro de aproximadamente 361 Km² y 103 Km respectivamente.

El Lago Lanalhue, pertenece al conjunto de lagos costeros vinculados a la cordillera de Nahuelbuta, este tiene una superficie de 31,8 Km² y un perímetro de 62,8 Km. Sus principales tributarios corresponden a los esteros Tromén, Natri, Natre, Elicura, Calebu, Peral, Buchoco y Los Lirios. De acuerdo a observaciones en terreno en la zona del desagüe, sus aguas se unen al estero Puyehue para, finalmente, confluir en el río Paicaví, cauce que desemboca en el océano Pacífico (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

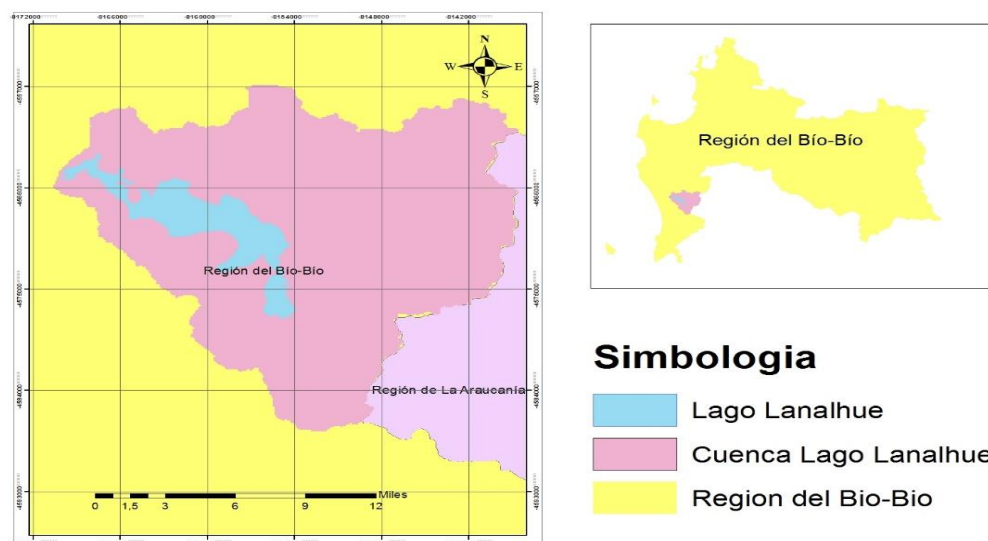


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Lago Lanalhue.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Proceso de eutrofización

El proceso de eutrofización es la degradación ambiental natural de los lagos y lagunas, generado por el aumento de la concentración de nutrientes principalmente de nitrógeno y fósforo, lo que ocasiona una proliferación y posterior acumulación de algas y plantas acuáticas (Urrutia, 2014).

El nitrógeno es un compuesto que proviene de muchos lugares, como las raíces de los árboles, fertilizantes, la orina humana que contiene urea, la orina de los animales que bordean el lago pastando, etc; El fósforo es un nutriente que proviene de sustancias o compuestos fosfatados, como detergentes, fertilizantes, fecas, etc. (PRELA, 2021).

En condiciones naturales el proceso de eutrofización es lento, y las tasas de cambio ocurren normalmente a escala temporal de milenios. Sin embargo, por causas antrópicas relacionadas con el mal uso del suelo, el incremento de la erosión y por la descarga de aguas servidas domésticas, se ve acelerado a escala temporal de décadas o menos (DGA, 2017).

3.3.Plantas acuáticas

Las plantas acuáticas, también denominadas macrófitos acuáticos o hidrófitos, no son organismos especialmente atractivos porque, en general, carecen de flores llamativas, son poco vistosos, no sirven de alimento, y se encuentran en un medio cuyas condiciones dificultan su observación y estudio (García et al., 2009).

Son un grupo de plantas que solo puede vivir en sitios húmedos ya su vez, pueden distinguirse entre ellas por el grado de humedad que requieren. algunas crecen en pantanos, otras en lagos, otras en ríos y otras aún en el mar. Algunas tienen su cuerpo totalmente sumergido en el agua, mientras que otros solo tienen una parte del tallo y las raíces en el agua, pero el resto de su cuerpo sobre el agua (Rial, 2001).

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterizar la cuenca aportante al Lago Lanalhue.

Para desarrollar este primer objetivo se procedió a identificar la cuenca aportante en base al Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Región del Biobío, obtenido de la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (CIREN, 2020); y a través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante el programa ArcGIS 10.4 aplicando parte de la metodología descrita por ESRI (202?) y complementando finalmente de forma manual en el programa Google Earth Pro; Para luego caracterizar la cuenca mediante los parámetros morfométricos de forma, drenaje y relieve.

4.1.1. Parámetros de forma.

Dentro de los parámetros de forma que se determinaron está el área (A), perímetro (P), longitud de la cuenca (L), coeficiente de compacidad (Kc), factor de forma (Kf) y el coeficiente de circularidad (Cc), los cuales fueron determinados mediante el programa de información geográfica ArcGIS 10.4.

Para determinar el área (A) y perímetro (P) se utilizó la herramienta de *Field calculator* ubicada en la tabla de atributos de la cuenca estudiada, obteniendo los parámetros en sus respectivas unidades; Por otro lado, la longitud de la cuenca (L) definida como la distancia horizontal del cauce principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro, aguas arriba (Gamez, 2013), fue obtenida con la herramienta *Measure* ubicada en la barra de herramientas del programa utilizado.

El coeficiente de compacidad (K_c), también denominado coeficiente de Graveliús, definido como la relación del perímetro de la cuenca con el área de un círculo igual a la de la cuenca (Reyes et al., 2010). Fue calculado utilizando la ecuación 1

$$K_c = 0,28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad [1]$$

donde:

K_c = Coeficiente de compacidad.

P =Perímetro de la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)

Posteriormente se analizó el resultado de acuerdo a la clasificación establecida en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación para el coeficiente de compacidad.

K_c	Clasificación
1 a 1,25	Cuenca redonda a oval redonda
1,25 a 1,5	Cuenca oval redonda a oval oblonga
1,5 a 1,75	Cuenca oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Reyes et al., 2010.

Por otro lado, el factor de forma definido como la tendencia de la cuenca hacia las crecidas rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según su comportamiento; Relaciona la forma redondeada o alargada de la cuenca. (Reyes et al., 2010), la cual se determinó a partir de la ecuación 2.

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad [2]$$

donde:

Kf= Factor de forma

A= Área de la cuenca (Km²)

L= Longitud de la cuenca (Km²)

Para luego identificar la forma de la cuenca de acuerdo a los valores aproximados de la Tabla 2.

Tabla 2. Valores interpretativos del factor de forma.

Valores aproximados	Forma de la cuenca
>1	Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de crecidas.
<1	Cuenca alargada, baja susceptibilidad a las crecidas

Fuente: Reyes et al., 2010.

El coeficiente de circularidad relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es 1 para una cuenca circular y 0.785 para una cuenca cuadrada (Acuña et al., 2016). Este se calculó mediante la ecuación 3:

$$C_c = 4\pi \left(\frac{A}{P^2} \right) \quad [3]$$

donde:

C_c = Coeficiente de circularidad.

A = Área de la cuenca (Km^2).

P = Perímetro de la cuenca (Km)

4.1.2. Parámetros de relieve.

Dentro de los parámetros de relieve que se determinaron, está la cota mayor (CM), la cota menor (Cm), la cota mayor del cauce principal (CMc), la cota menor del cauce principal (Cmc) y la pendiente media (S_c); Los cuales fueron determinados a través del programa ArcGIS 10.4.

Para determinar la cota mayor (CM) y la cota menor (Cm), se utilizó el modelo digital de elevación (DEM) y el polígono de la cuenca aportante al Lago Lanalhue, con estos se procedió a extraer del DEM la delimitación mediante la herramienta *Extract by mask*, obteniendo un archivo raster que contiene ambas cotas en sus respectivas unidades.

Para establecer la cota mayor (CMc) y la cota menor (Cmc) del cauce principal se procedió a identificar de acuerdo a la metodología de Valenzuela (2015), el cauce principal de la red de drenaje ya determinada, primero se identificó el cauce de mayor longitud para luego eliminar con la herramienta *Editor* los cauces que no pertenecieran a esta definición. Posteriormente con la herramienta *Merge* ubicada en las opciones del editor, se fusionaron los cauces que formaban el cauce principal; por último, con la herramienta *Interpolate shape* se obtuvo el valor de la longitud del cauce principal; y a través de la herramienta *Profile Graph* se obtuvieron las cotas ya indicadas del cauce principal.

La pendiente media (S_c) fue obtenida mediante la diferencia entre la máxima y mínima elevación dividida por la longitud del cauce principal, indicado en la ecuación 4:

$$S_c = \frac{(CMc - Cmc)}{L_c} \quad [4]$$

donde

S_c = Pendiente media.

CMc = Cota mayor cauce principal.

Cmc = Cota menor cauce principal.

L_c = Longitud del cauce principal.

4.1.3. Parámetros de drenaje.

Dentro de los parámetros de drenaje calculados se encuentra el orden de la cuenca de drenaje, longitud total de la red de drenaje, densidad de drenaje (D) y tiempo de concentración (Tc), determinados principalmente a través del programa ArcGis 10.4.

Para determinar la red de drenaje, definida como el curso natural de transporte de agua, se empezó por proyectar el DEM de la cuenca, obtenido anteriormente, al sistema de coordenadas UTM, Datum WGS (World Geodetic System) 84 zona 18S, para luego con la metodología de MasterGis (2019) utilizar la herramienta *Fill* y rellenar las imperfecciones, luego se utilizaron las herramientas de *Flow Direction* y *Flow Accumulation* para calcular la dirección del flujo y la acumulación del flujo respectivamente, posterior a esto con la herramienta *Raster Calculator* se obtuvo la red hídrica y sus ramificaciones; para unir estas dos últimas se utilizó la herramienta *Stream Link*, después con la herramienta *Stream Order* se le asignó el orden de los ríos a través del método de Strahler.

Para calcular la longitud total de la red de drenaje, se utilizó el archivo vectorial correspondiente a la red de drenaje agrupando las longitudes de acuerdo al orden, definido como el número que expresa el grado de ramificación de un sistema hidrográfico (Camino et al., 2018); al que pertenecían para finalmente sumar las longitudes de los órdenes y así obtener la longitud total de la red de drenaje.

La densidad de drenaje, corresponde al cociente entre la sumatoria del largo total de los cursos de agua, de una unidad hidrográfica, y la superficie de la misma. Representa la cantidad de kilómetros de curso que existe por cada unidad de superficie; usualmente toma los valores entre 0.5 km/km², para hoyas con drenaje pobre, que significa que tiene una respuesta hidrológica lenta con respecto a las crecidas, y 3.5 km/km², para hoyas excepcionalmente bien drenadas, que tiene una buena respuesta hidrológica con respecto a las crecidas (Acuña et al., 2016). Fue calculada a través de la ecuación 5:

$$D = \frac{\sum Lc}{A} \quad [5]$$

donde:

D= densidad de drenaje (Km⁻¹).

$\sum Lc$ = Suma de las longitudes de los cursos que se integran a la cuenca (Km).

A=Área de la cuenca (Km²).

El tiempo de concentración, definido como el tiempo que tarda una gota de agua caída en el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de desagüe (Velez et al., 2011). Fue calculado a partir de la ecuación 6:

$$T_c = 0,95 \left(\frac{Lc^3}{C_{Mc} - C_{mc}} \right)^{0,385} \quad [6]$$

donde:

Tc= Tiempo de concentración (horas)

Lc=Longitud cauce principal (Km)

CMc= Cota mayor cauce principal (msnm)

Cmc= Cota menor del cauce principal (msnm)

4.2. Analizar los cambios de población y de uso del suelo que han ocurrido en la cuenca del Lago Lanalhue.

Para desarrollar la primera parte de este objetivo, se obtuvo la cartografía Precenso 2016 Región del Biobío, obtenida del IDE (2021); Luego a través del programa ArcGIS 10.4 se proyectó al sistema de coordenadas UTM, Datum WGS (*World Geodetic System*) 84 zona 18S.

Por otro lado, para analizar los cambios de uso del suelo, se utilizó la cartografía temática de Cambio de Uso de la Tierra de la Región del Biobío para el periodo 2001-2019, obtenida del IDE Minagri (2021); para luego con el programa ArcGIS 10.4 seleccionar los años 2001 y 2017, para un posterior análisis de los cambios de las coberturas de uso de suelo.

4.2.1. Evolución y densidad de población

Para calcular la población total de la cuenca del Lago Lanalhue se procedió en primera instancia a identificar los distritos censales y la población total de estos que pertenecen a la cuenca del Lago desde la División Político Administrativa y Censal Región del Biobío del año 2002 y 2017, estos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2021, luego con la herramienta *Clip* se recortó

la cartografía en base a la cuenca del Lago delimitada en el Objetivo 1, obteniendo así los distritos pertenecientes a la cuenca. Posterior a esto con la información ya obtenida y con la herramienta *selection by attributes* se seleccionaron estos distritos para luego exportar esta selección y calcular el área de cada distrito en sus respectivas unidades. Con estos datos se calculó la densidad de la población en base a la ecuación 7, obtenida del INE, 2019, para cada distrito en cada año de estudio.

$$\text{Densidad de la población} = \frac{\text{Poblacion}}{\text{Area Total}} \quad [7]$$

A continuación, se calculó el área que tiene cada distrito dentro de la cuenca con el recorte de la cartografía ya obtenida anteriormente, y con la herramienta *Calculate Geometry* obteniendo el área de cada distrito en sus respectivas unidades.

Por último, con la densidad de la población y el área que tiene cada distrito dentro de la cuenca, obtenidos anteriormente, se calculó la población de cada distrito en cada año de estudio, utilizando la ecuación 8 derivada de la ecuación 7; y finalmente la población total en la cuenca sumando cada distrito en cada año de estudio.

$$\text{Población} = \text{Densidad de la población} \times \text{Área total} \quad [8]$$

4.2.2. Cambios de uso del suelo.

Primeramente, con la cartografía temática de cambio de uso de la tierra de la región del Biobío, se procedió a utilizar la herramienta *Clip*, para obtener los datos solo de la cuenca del Lago Lanalhue; Posteriormente se eliminaron los campos no utilizados, dejando solo el campo sub uso del año 2001 para luego exportarlo; Del mismo modo se eliminaron los campos no utilizados, dejando solo el sub uso del año 2017, el que luego se exportó.

De los polígonos ya extraídos, se obtuvieron los usos del suelo en los diferentes años. Con los usos del suelo ya obtenidos de ambos años de estudio se procedió a identificar el área destinada para cada uno, esto utilizando la herramienta de *Calculate Geometry* ubicada en la tabla de atributos de cada sub uso estudiado, obteniendo el área en sus respectivas unidades y finalmente calcular el porcentaje destinado para estos usos en el año 2001 y en el año 2017.

4.3. Investigar los factores que contribuyen a la proliferación de plantas acuáticas en el Lago Lanalhue.

Para desarrollar este objetivo se utilizaron los resultados expuestos en el Programa de Ordenamiento y Gestión Territorial para la Cuenca del Lago Lanalhue (Ministerio del Medio Ambiente, 2018), donde se exponen las macrofitas acuáticas presentes en el lago. Posterior a esto y con las plantas acuáticas ya definidas, se identificaron las características que hacen invasoras a cada una de estas plantas y los impactos potenciales que estas tendrían.

Luego se identificaron las principales actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca del Lago, que aumentan la concentración de nutrientes, en especial nitrógeno y fosforo, en el Lago; posteriormente se definieron las situaciones puntuales de ingreso de nutrientes al Lago Lanalhue.

Por último, se determinó el estado trófico en que se encuentra el Lago debido a la actividad antrópica desarrollada en la cuenca del Lago y el efecto que tiene en las plantas acuáticas; Todo esto a partir de la revisión bibliográfica de antecedentes disponibles.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Caracterización cuenca aportante al Lago Lanalhue.

Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan una descripción física - espacial que permite realizar comparaciones entre distintas cuencas hidrográficas. Al mismo tiempo, ofrecen conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales (Gaspari et al., 2012). Los resultados obtenidos del área de estudio están detallados en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros morfométricos del Lago Lanalhue.

	Parámetro	Resultado
	Área	361,04 Km ²
	Perímetro	102,99 Km
	Longitud de la cuenca	23,68 Km
Forma	Coefficiente de compacidad	1,51
	Factor de forma	0,36
	Coefficiente de circularidad	0,43
	Cota mayor	1045 msnm
	Cota menor	1 msnm
	Cota mayor del cauce principal	868 msnm
	Cota menor del cauce principal	7msnm

Relieve	Pendiente media	22,57
	Orden de la cuenca	6
	Longitud total de la red de drenaje	527,89 Km
Drenaje	Densidad de drenaje	1,46 Km ⁻¹
	Tiempo de concentración	4,72 hr
	Longitud cauce principal	38,15 Km

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos del parámetro de forma el coeficiente de compacidad del área de estudio dio un valor de 1,5, lo que indica de acuerdo a la Tabla 1 que es una cuenca oval oblonga a rectangular oblonga, esto quiere decir que es menos propensa a crecidas de acuerdo a sus características físicas; por otro lado, el factor de forma dio como resultado 0,36 que de acuerdo a la tabla 2 la forma de la cuenca es ligeramente alargada y el coeficiente de circularidad que dio como resultado 0,41, comprobando que se trata de una cuenca medianamente cuadrada.

Por otra parte, los resultados obtenidos del parámetro de relieve indica que la cota mayor de la cuenca está a 1045 msnm y que la cota menor está a 1 msnm, también que el cauce principal tiene una cota máxima de 868 msnm y una cota mínima de 7 msnm, por lo que su pendiente media alcanzo un valor de 22,5, lo que corresponde a pendientes fuertes con velocidades rápidas de escorrentía.

Por último, los resultados obtenidos del parámetro de drenaje indican que la cuenca tiene orden 6, lo que demuestra que tiene más aportes de otros drenajes y está más ramificada, además el tiempo de concentración obtenido de la cuenca es 4,7 hr, la longitud total de la red de drenaje es de 527,9 Km y una densidad de drenaje de $1,4 \text{ Km}^{-1}$, por lo tanto, la cuenca esta medianamente drenada y es poca el agua que se infiltra en el suelo, lo que presenta una buena respuesta a precipitaciones extremas y a su vez un aumento en la erosión por el transporte de sedimentos.

5.2.Cambios de población y uso del suelo ocurridos en la cuenca del Lago Lanalhue.

5.2.1. Evolución y densidad de población.

El área de estudio abarca parte de las comunas de Contulmo y Cañete, ambas ubicadas en la Región del Biobío; Estas a la vez se subdividen en distritos.

Los resultados obtenidos señalan que el distrito con mayor área en la cuenca es el distrito de Elicura (que es donde se localizan las comunidades Mapuche del Valle de Elicura-Calebu) con 194 Km^2 , seguido por el distrito de Contulmo (distrito urbano, que es donde se localiza el pueblo de Contulmo) con $74,1 \text{ Km}^2$; Este último donde se concentra la mayor población en la cuenca en el año 2002 con 2835 habitantes (Tabla A1).

Por otro lado, donde se concentra la mayor población en el año 2017 es en el distrito de Contulmo con 3421 habitantes, seguido por el distrito de Elicura con 1695 habitante (Tabla A2).

Tabla 4. Población total en la cuenca del Lago Lanalhue, para los años 2002 y 2017.

Año de estudio	Población total (habitantes)
2002	5317
2017	6447

Fuente: Elaboración propia.

La población rural en el año 2002 fue de 2482 habitantes y la población urbana fue de 2835 habitantes en la cuenca. Por otro lado, la población rural en el año 2017 fue de 3026 habitantes y la población urbana fue de 3421 habitantes en la cuenca. Esto considerando que los distritos rurales son Huillinco, Elicura, Lanalhue (Contulmo), Lanalhue (Cañete), Butamalal, Pocuno, Cayucupil y Peleco; y solo Contulmo como distrito urbano.

Entre los años 2002 y 2017 la cuenca experimentó un crecimiento de un 18% en su población total, aumentando la descarga de aguas servidas crudas de la planta de tratamiento de aguas servidas de Contulmo, la infiltración de aguas servidas de particulares y la disposición de residuos domésticos al Lago (Ilustre Municipalidad de Contulmo, 2017); Cabe destacar que el poblamiento del borde costero del lago se vincula con segundas residencias, cabañas turísticas y camping. De este modo la presencia de personas y su influencia sobre el cuerpo lacustre es temporal (Ministerio del Medio Ambiente, 2018). Esto ha afectado las cubiertas de vegetación del suelo con nuevas actividades productivas, tales como actividades turísticas y agricultura.

5.2.2. Cambios de uso del suelo.

Con la información obtenida del IDE Minagri, se determinó el uso con mayor área, el uso de suelo plantación en los años 2001 y 2017, observados en la figura 2 y 3 respectivamente. Donde se presenta este uso de suelo. Plantación, en color negro.

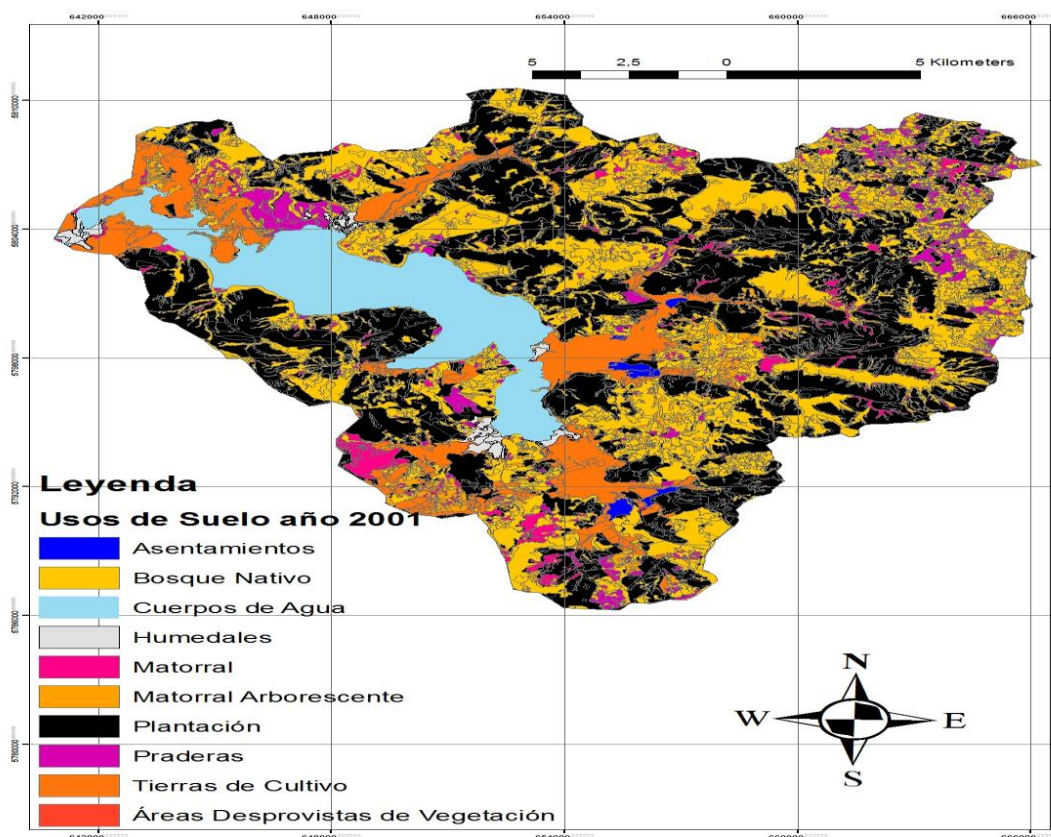


Figura 2. Usos de suelo en la cuenca del Lago Lanalhue, año 2001.
 Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía del IDE Minagri.

Los resultados e información de la figura 2, se encuentra detallada en la tabla 5 a continuación; La cual define el porcentaje que tiene cada uso de suelo en el año 2001 y su respectiva área.

Tabla 5. Porcentaje de usos de suelo en la cuenca del Lago Lanalhue, año 2001.

Usos de Suelo (2001)	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Áreas desprovistas de vegetación	0,06	0,02
Asentamientos	1,52	0,42
Bosque Nativo	114,48	31,77
Cuerpos de Agua	33,67	9,34
Humedales	3,47	0,96
Matorral	12,37	3,43
Matorral Arborescente	12,27	3,40
Plantación	137,78	38,23
Praderas	11,04	3,06
Tierras de Cultivo	33,72	9,36
Total	361 Km ²	

Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía temática de cambio de uso de la tierra del IDE Minagri.

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 5, se puede observar que las plantaciones en el año 2001 comprendían 137,8 Km² del área total de la cuenca lo que equivale a un 38,2% en la cuenca del Lago Lanalhue, siendo este uso el que comprende el mayor porcentaje dentro de la cuenca; Lo que se puede apreciar en la figura 2.

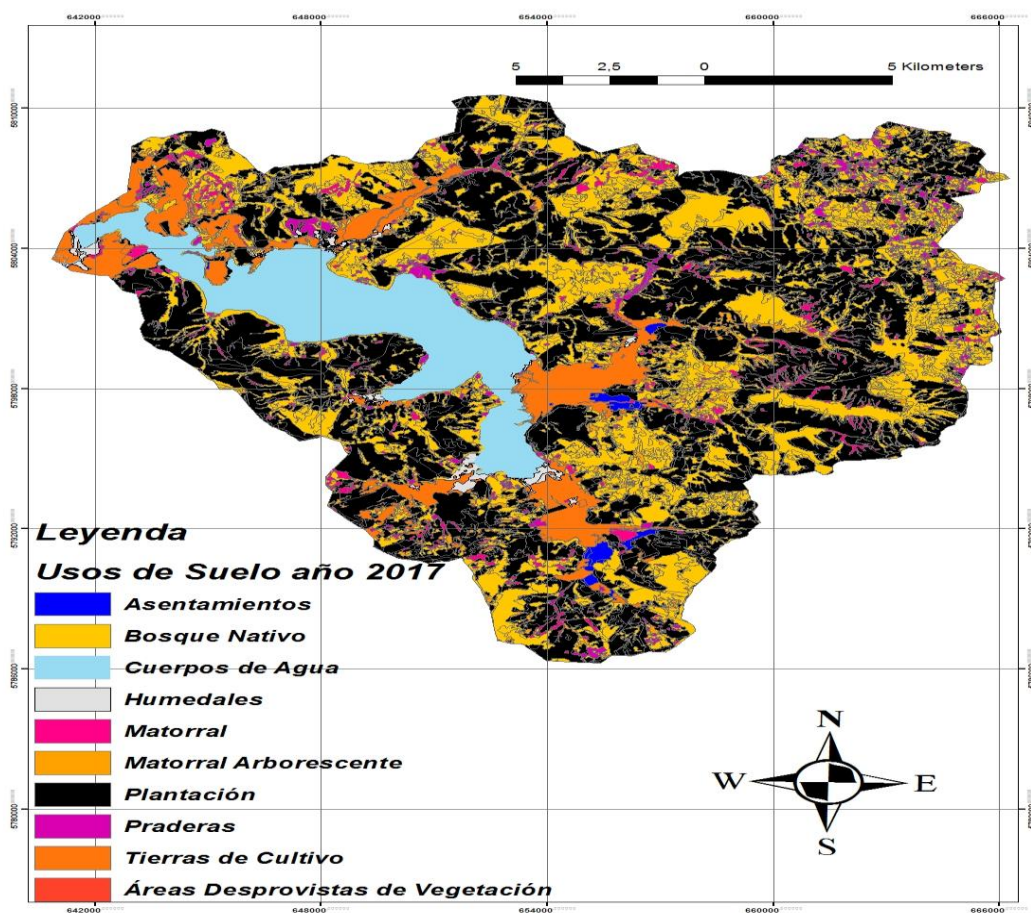


Figura 3. Usos de suelo en la cuenca del Lago Lanalhue, año 2017.

Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía del IDE Minagri.

Los resultados y la información de la figura 3, se encuentra detallada en la tabla 6 a continuación; La cual define el porcentaje que tiene cada uso de suelo en el año 2017 y su respectiva área.

Tabla 6. Porcentaje de usos de suelo en la cuenca del Lago Lanalhue, año 2017.

Usos de Suelo (2017)	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Áreas desprovistas de vegetación	0,26	0,07
Asentamientos	1,84	0,51
Bosque Nativo	113,66	31,54
Cuerpos de Agua	33,32	9,25
Humedales	2,74	0,76
Matorral	12,71	3,53
Matorral Arborescente	8,83	2,45
Plantación	154,89	42,98
Praderas	6,11	1,70
Tierras de Cultivo	26,02	7,22
Total	361 Km²	

Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía temática de cambio de uso de la tierra del IDE Minagri.

Los resultados detallados en la tabla 6, indican que en el año 2017 el uso de suelo Plantación tenía 154,9 Km² del área total de la cuenca, lo que corresponde un 42,9% en la cuenca del Lago Lanalhue; Siendo este uso el que comprende el mayor porcentaje dentro de la zona de estudio.

Al comparar los resultados obtenidos en la tabla 5 sobre el porcentaje de usos de suelo en el año 2001, con la tabla 6 de porcentajes de usos de suelo en el año 2017, se puede observar que el uso de suelo Plantación se ha mantenido en primer lugar como el uso con mayor área dentro de la cuenca del Lago

Lanahue, este seguido por el uso de suelo Bosque Nativo; Lo que indica que estas plantaciones de origen forestal han aumentado su área en aproximadamente 5% en área en la cuenca, significando un mayor grado de erosión y deterioro del suelo, cambio en la calidad del agua, etc, esto ya que la silvicultura industrial es responsable de aumentar drásticamente la tasa de acumulación de sedimentos en el fondo del lago (Smith et al, 2021). Lo que afecta no solo al Lago, sino también a las personas que se benefician de los servicios que este les puede proveer.

Por otro lado, los cuerpos de agua y los humedales, se vieron disminuidos por el avance en las tierras de cultivo y el aumento de plantaciones en la zona; es decir, fueron reemplazados. También se vieron afectados los bosques nativos y las praderas que disminuyeron su área en 0,23% y 1,36% respectivamente. Por último, los asentamientos y las zonas desprovistas de vegetación aumentaron su área en 0,32 km² y 0,2km² respectivamente, lo que afecta directamente a la capacidad de carga del lago, en cuanto al nitrógeno y fosforo que estas proveen.

Tabla 7. Tasa de cambio entre los años de estudio 2001 y 2017.

Tipo de uso	Año 2001		Año 2017		Tasa Cambio 2001-2017
	Km ²	%	Km ²	%	%
Áreas desprovistas de vegetación	0,06	0,02	0,26	0,07	+0,05
Asentamientos	1,52	0,42	1,84	0,51	+0,09
Bosque Nativo	114,48	31,77	113,66	31,54	-0,23
Cuerpos de Agua	33,67	9,34	33,32	9,25	-0,09
Humedales	3,47	0,96	2,74	0,76	-0,20
Matorral	12,37	3,43	12,71	3,53	+0,10
Matorral Arborescente	12,27	3,40	8,83	2,45	-0,95
Plantación	137,78	38,23	154,89	42,98	+4,75
Praderas	11,04	3,06	6,11	1,70	-1,36
Tierras de Cultivo	33,72	9,36	26,06	7,22	-2,14

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Factores que contribuyen a la proliferación de plantas acuáticas en el Lago Lanalhue.

Algunas de las plantas acuáticas presentes en el lago se encuentran detalladas en la tabla 7; allí se puede apreciar la familia, su nombre científico y el nombre común para cada una.

Tabla 8. Plantas acuáticas descritas para el Lago Lanalhue.

Familia	Nombre Científico	Nombre Común
Ranunculaceae	<i>Ranunculus repens</i>	Botón de oro
Haloragaceae	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Pino de Agua
Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i>	Llanten
Hydrocharitaceae	<i>Egeria densa</i>	Luchecillo

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2018.

El botón de oro (*R. repens*) es una hierba perenne que es considerada como planta invasora, ya que se reproduce vegetativamente, permanece viable por largos periodos de tiempo y coloniza y ocupa rápidamente zonas abiertas. Los impactos potenciales que presenta esta hierba, es que forma densas poblaciones en zonas húmedas y sombrías, desplazando las especies nativas (Fuentes et al., 2014).



Figura 4. *R. repens*. Fuente: Fuentes et al., 2014.

El pino de agua (*M. aquaticum*) se considera como planta invasora, ya que se reproduce vegetativamente, y una vez que sus tallos se fragmentan tiene la capacidad de dispersarse a grandes distancias a través de los cuerpos de agua, demostrando gran habilidad de colonización y regeneración cuando las raíces se adhieren a los sedimentos (Urrutia et al., 2017); Además puede llegar a cambiar las características físico-químicas del agua (Kelly et al., 2009).



Figura 5. *M. aquaticum*. Fuente: Rodríguez et al., 2020.

El Llantén (*P. lanceolata*), se reconoce como planta invasora, ya que, se reproduce a través de semillas y ocasionalmente por fragmentos de raíz. Las semillas, son dispersadas por agua, movimientos de suelo y maquinaria agrícola; las plantas pueden vivir 12 años o más y coloniza rápidamente zonas abiertas (Fuentes et al., 2014).



Figura 6. *P. lanceolata*. Fuente: Fuentes et al., 2014.

El Luchecillo (*E. densa*), es considerado como planta invasora, ya que se reproduce vegetativamente a través de fragmentos de raíces y rizomas, es tolerante a varios niveles de nutrientes especialmente fósforo y su biomasa aumenta cuando aumenta la cantidad de amonio y nitrógeno (Fuentes et al., 2014).



Figura 7. *E. densa*. Fuente: Fuentes et al., 2014.

Los impactos potenciales que tienen en común estas plantas acuáticas es que desplazan a la flora nativa y evita su establecimiento, hacen que aumenten los

sedimentos en los cuerpos de agua y provocan la eutrofización de lagos y lagunas (Fuentes et al., 2014). Considerando que no se ha encontrado información sobre plantas presentes en el lago.

Los nutrientes que más influyen en el proceso de eutrofización son el Fósforo y el Nitrógeno; de hecho, estos son denominados macronutrientes por su fuerte influencia en el desarrollo de los organismos. Se pueden sintetizar en las siguientes: procesos naturales que se va produciendo lentamente por el aporte de material alóctono representado en nutrientes; y por tensores de origen antrópico (Vásquez et al., 2012).

Las actividades de origen antrópico que aumentan la cantidad de nutrientes como fosforo y nitrógeno en el Lago son la agricultura, la ganadería, la actividad forestal, habitacional y turística. De los cuales las fuentes puntuales derivados de estas actividades son:

- Descarga de aguas servidas crudas por mala operación de la planta de tratamiento de aguas servidas de Contulmo.
- Fumigaciones y aplicaciones de agroquímicos a las plantaciones forestales de su entorno.
- Infiltración de aguas servidas de sistemas particulares de alcantarillado en camping y cabañas en el borde del lago, sobre todo en períodos de crecidas.
- Disposición de residuos domésticos en el borde del lago.

- Aportes de animales vacunos en sectores bajos y próximos al lago Lanalhue; es decir, actividad ganadera.
- Desechos de cosechas forestales y arrastre de sedimentos y materia orgánica.

Fuente: Ilustre Municipalidad de Contulmo, 2017.

Según el estudio limnológico de la calidad de agua y biota del Lago Lanalhue (Prela,2021), en septiembre 2018 las entradas de nitrógeno y fosforo son menores a las salidas de estos mismos, además de que el balance de nutrientes (entrada-salida) indica que está saliendo más de lo que entra; lo mismo ocurre en enero 2019 (Tabla 9). La diferencia que existe en la cantidad de nutrientes en la entrada con respecto a la salida, puede demostrar que existen cargas de nutrientes externos que ingresan al lago, tales como los ya descritos anteriormente.

Tabla 9. Balance de nutrientes de fosforo y nitrógeno para los años 2018 y 2019.

Fecha	Fosforo (kg/mes)			Nitrógeno (kg/mes)		
	Entradas	Salida	Entradas-salidas	Entradas	Salida	Entradas-salidas
Septiembre 2018	1958,7	2895,0	-936,3	3811,2	7365,2	-3554,1
Enero 2019	848,0	2501,9	-1653,8	3906,0	8470,6	-4564,6

Fuente: PRELA, 2021.

Evaluando el estado trófico del lago de acuerdo a los parámetros considerados anteriormente, fosforo y nitrógeno, este se presenta hasta el año 2008 con una condición de meso-eutrofia, de acuerdo al estudio realizado por la DGA (Dirección General de Aguas) para determinar la condición trófica de diferentes lagos (Poch Ambiental, 2009); y desde el año 2016 presento una condición de lago eutrófico, de acuerdo al estudio realizado por la DGA sobre la tendencia trófica de los lagos (DGA, 2018).

El aumento de nutrientes como nitrógeno y fosforo, provenientes de las actividades antrópicas ya mencionadas y el aumento paulatino de la población en la cuenca aportante al lago; provoco un estado de eutrofización a través de los años, el cual hace que plantas invasoras ya descritas, aprovechen estas nuevas condiciones y aumenten su población en el Lago, causando la disminución de la flora y fauna nativa del lago (figura 8).

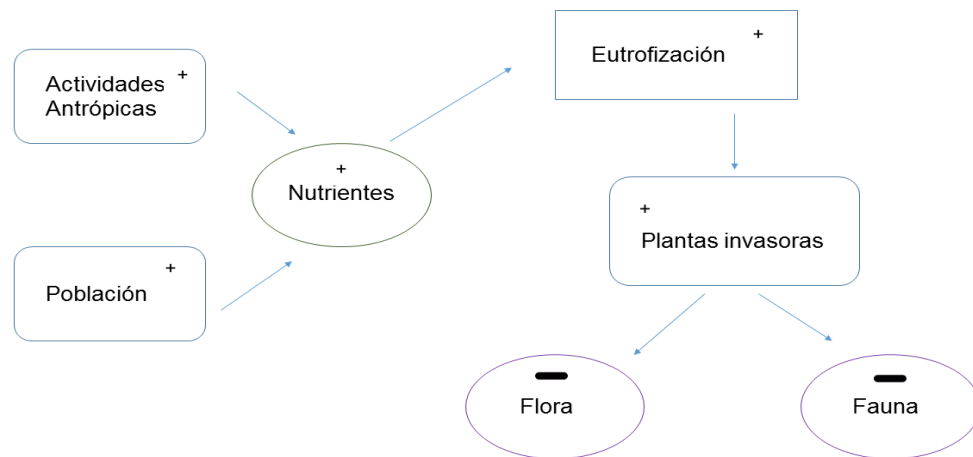


Figura 8. Diagrama causal eutrofización en el Lago Lanalhue.
Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

Al caracterizar la cuenca aportante al Lago Lanalhue, se obtuvieron parámetros esenciales para determinar cómo se comporta la cuenca, se obtuvo dentro de los parámetros de forma, que esta tenía un área y un perímetro de 361 Km² y 103 Km respectivamente, que es una cuenca oval oblonga a rectangular oblonga y ligeramente alargada; de los parámetros de relieve se obtuvo que la cota mayor estaba a 1045 msnm y la cota menor a 1 msnm, que el cauce principal tiene una cota máxima de 868 msnm y una cota mínima de 7msnm, con una pendiente de 22.5; de los parámetros de drenaje se obtuvo que la cuenca es de orden 6 y que está más ramificada; que es una cuenca medianamente drenada por lo que se infiltra poca agua en el suelo y presenta buena respuesta a precipitaciones extremas, que a su vez aumentan la erosión por el transporte de sedimentos.

De acuerdo a los cambios de población que presentaba el área de estudio se determinó que el distrito con mayor área en la cuenca era el distrito de Elicura con 194 Km² y el distrito con mayor población en los años 2002 y 2017 es Contulmo con 2835 habitantes y 3421 habitantes respectivamente. Por otro lado, se obtuvo que la población total en el año 2002 eran 5317 habitantes y en el año 2017 eran 6447 habitantes, por lo que el crecimiento experimentado por la cuenca fue de un 18%. Cabe destacar que la población rural y urbana en el año 2002 fue de 2482 y 2835 habitantes respectivamente, y en el año

2017 la población rural y urbana fue de 3026 y 3421 habitantes respectivamente.

Los cambios de uso del suelo, se obtuvo que el uso con mayor porcentaje en la cuenca en el año 2001 y 2017 eran las plantaciones y que durante estos años de estudio este uso aumento en un 5%, también se obtuvo que los cuerpos de agua, los humedales, los bosques nativos y las praderas disminuyeron su área; por otro lado, los asentamientos y las zonas desprovistas de vegetación aumentaron su área en estos 16 años de estudio.

Las plantas acuáticas presentes en lago son el botón de oro, el pino de agua, el llantén y el luchecillo, consideradas plantas invasoras por aumentar la eutrofización en lagos y lagunas; Teniendo en cuenta que el luchecillo es la especie más dominante y de rápido crecimiento, se tomaron medidas de manejo donde se utilizó maquinas cosechadoras de esta planta en las orillas del lago en las comunas de Cañete y Contulmo.

Las actividades antrópicas que potencian el aumento de estas plantas por ser fuentes de nutrientes como fosforo y nitrógeno son la ganadería, la actividad forestal, habitacional y turísticas.

Por último, el estado trófico del lago en el año 2008 fue de meso-eutrofia y desde el año 2016 presento una condición de lago eutrófico, esto por las entradas externas al lago que aumentan los nutrientes como fosforo y nitrógeno, nutrientes clave en el proceso de eutrofización del lago.

Es necesario un manejo, control y seguimiento de las actividades antrópicas, el área destinada a las diferentes actividades y las descargas producidas al lago, para que los efectos a futuro no sean desastrosos.

Cabe destacar que no existe ninguna regulación o ley que sancione a aquellas actividades que contaminan o provoquen algún daño a la salud del lago (PRELA, 2021).

7. LITERATURA CITADA

1. Acuña, J.Y., T. Sánchez. 2016. Caracterización hidrológica de los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Lima, Perú.
2. Camino, M.A., M.J. Bó, J.L. Cionchi, J. Del Río, A. López de Armentia y S. De Marco. 2018. Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Rev. Univ. Geogr. 27(1): 73-97.
3. CIREN (Chile). 2020. DEM Alos Palsar Región del Biobío [en línea]. IDE, Chile. <<https://www.ide.cl/index.php/imagenes-y-mapas-base/item/1572-dem-alos-palsar-region-del-biobio>>. [Consulta: 21 septiembre 2021].
4. DGA (Chile). 2017. Reporte de la red de control de lagos de la dirección general de aguas año 2017. S.D.T. N°408. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.
5. DGA (Chile). 2018. Análisis de la relación entre la concentración de clorofila “a” y la transparencia de los lagos monitoreados por la red de calidad de la DGA, y elaboración de un ranking de lagos basado en el estado trófico otorgado por estos parámetros [en línea]. Dirección General de Aguas, Chile. <<https://snia.mop.gob.cl/sad/LGO5750.pdf>>. [Consulta: 17 abril 2021].

6. ESRI (USA). 202?. Vista general del conjunto de herramientas de hidrología [en línea]. Environmental Systems Research Institute, USA. <<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>>. [Consulta: 17 abril 2021].
7. Fuentes, N., P. Sánchez, A. Pauchard, J. Urrutia, L. Cavieres y A. Marticorena. 2014. Plantas invasoras del centro-sur de Chile: Una guía de campo. Laboratorio de Invasiones Biológicas. Concepción, Chile.
8. Gamez, E.A. 2013. Geomorfología [en línea]. Slideshare, USA. <<https://es.slideshare.net/sonrisita05/4-geomorfologia-21415332>>. [Consulta: 21 septiembre 2021].
9. García, P., R. Fernández y S. Cirujano. 2009. Macrofitos. Habitantes del agua. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
10. Gaspari, F.J., A.M. Rodríguez, G.E. Senisterra, G. Denegri, M.I. Delgado y S. Besteiro. 2012. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del Rio Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. En: 7mo Congreso de medio ambiente. 22-24 mayo, 2012. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina.
11. Ilustre Municipalidad de Contulmo. 2017. Plan regulador comunal de Contulmo [en línea]. Ministerio de Medio Ambiente, Chile.

- <https://eae.mma.gob.cl/storage/documents/02_IA-Completo_PRC_Contulmo.pdf.pdf>. [Consulta: 20 octubre 2021].
12. Kelly, J., C.M. Maguire. 2009. Parrots feather (*Myriophyllum aquaticum*) invasive species action plan [en línea]. Invasive Alien Species Ireland. <https://invasives.ie/app/uploads/2021/09/Myriophyllum_aquaticum_I_SAP.pdf>. [Consulta: 21 diciembre 2021].
13. MasterGis. 2019. Red hídrica y orden de ríos con ArcGIS [en línea]. YouTube, USA. <<https://www.youtube.com/watch?v=RKDLbUvy9AA&t=77s>>. [Consulta: 10 octubre 2021].
14. Ministerio de Medio Ambiente. 2018. Programa de ordenamiento y gestión territorial para la cuenca del Lago Lanalhue. Licitación pública ID 608897-108-LQ17. Levantamiento línea de base socio-ambiental. Informe de Avance N°2. Ministerio del Medio Ambiente. Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. Santiago. Chile.
15. Parra, O., C. Valdovinos, R. Urrutia, M. Cisternas, E. Habit y M. Mardones. 2003. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile central. *Limnetica* 22(1): 51-83.
16. Poch Ambiental. 2009. Redefinición de la red mínima de lagos. S.I.T. N°192. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.

17. PRELA (Chile). 2021. Estudio limnológico de la calidad de agua y biota del Lago Lanalhue [en línea]. Lazos, Chile. <<https://www.prela.cl/estudio-limnologico-de-la-calidad-de-agua-y-biota-del-lago-lanalhue/>>. [Consulta: 10 enero 2022].
18. Reyes, A., F.U. Barroso e Y. Carvajal. 2010. Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Universidad del Valle. Programa Editorial Universidad del Valle. Cali, Colombia.
19. Rial, A. 2001. El concepto de planta acuática en un humedal de los Llanos de Venezuela. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales 155: 119-132.
20. Rivas, D.C., M.Á. Moreno. 2019. Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrico de la cuenca del Río Metica [en línea]. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11104/6/2019_Delimitaci%C3%B3n_hidrogr%C3%A1fica_Rio_metica.pdf>. [Consulta: 10 enero 2022].
21. Rodríguez, R., B. Fica. 2020. Plantas vasculares acuáticas en Chile: Guía de campo Corporación Chilena de la Madera. Concepción, Chile.
22. Smith, C., A. Abarzúa. 2021. Los daños de las plantaciones forestales en diferentes lagos de Chile [en línea]. El Mostrador, Chile. <<https://www.elmostrador.cl/cultura/2021/09/28/los-danos-de-las->

- plantaciones-forestales-en-diferentes-lagos-de-chile/>. [Consulta: 21 diciembre 2021].
23. Urrutia, R. 2014. Eutrofización y floraciones algales [en línea]. EULA, Chile. <http://www.eula.cl/fonis/wp-content/uploads/2014/06/PP-Clase-1-RUrrutia-Eutroficacion_2014.pdf>. [Consulta: 15 diciembre 2021].
24. Urrutia, J., P. Sánchez, A. Pauchard y E. Hauenstein. 2017. Plantas invasoras presentes en Chile: Distribución, rasgos de vida y potencial invasor. *Gayana Bot.* 74(1): 147-157.
25. Valenzuela. 2015. Perfil cauce principal [en línea]. YouTube, USA. <<https://www.youtube.com/watch?v=vafRQDSfL3I>>. [Consulta: 10 agosto 2021].
26. Vásquez, G.L., L. Herrera, J.R. Cantera, A. Galvis, D.A. Cardona e I.C. Hurtado. 2012. Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Rev. Asoc. Col. Cienc. Biol.* 24: 112-128.
27. Vélez, J.J., A. Botero. 2011. Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna* 78(165): 58-71.

8. ANEXO

8.1. Evolución y densidad de población.

Tabla A1. Población total en el año 2002, en la cuenca del Lago Lanalhue.

Distritos	Área en la cuenca (Km ²)	Población en la Cuenca 2002 (habitantes)
Contulmo	74,12	2835
Huillinco	0,19	1
Elicura	193,96	1516
Lanalhue	21,01	18
(Contulmo)		
Lanalhue	26,12	478
(Cañete)		
Butamalal	1,77	1
Pocuno	0,31	3
Cayucupil	0,61	14
Peleco	42,08	451
	Población total	5317

Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía temática de cambio de uso de la tierra del IDE Minagri.

Tabla A2. Población total en el año 2017, en la cuenca del Lago Lanalhue.

Distritos	Área en la cuenca (Km ²)	Población en la Cuenca 2017 (habitantes)
Contulmo	74,12	3421
Huillinco	0,19	0
Elicura	193,96	1695
Lanalhue	21,01	18
(Contulmo)		
Lanalhue	26,12	518
(Cañete)		
Butamalal	1,77	2
Pocuno	0,31	3
Cayucupil	0,61	16
Peleco	42,08	774
	Población	6447
	total	

Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía temática de cambio de uso de la tierra del IDE Minagri.