



**Universidad Del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Carrera de:**

**Biología, Ecología y Gestión**

**CARACTERIZACIÓN GEO AMBIENTAL DE LAGUNAS DEL MACIZO DEL  
CAJAS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN.**

**Autor:**

**Karla Tenesaca Arias**

**Director:**

**Blgo. Edwin Zárate Hugo MsC.**

**Cuenca – Ecuador**

**Año**

**2022**



## **Dedicatoria**

A Dios que es quien guía mi camino. A mis padres Carlos y Melva por su apoyo, cariño y sacrificio a lo largo de esta etapa por siempre estar a mi lado en mis logros personales como académicos.

A mi hermana Paula por siempre creer en mí y condicional apoyo.

A mis abuelas Carmen & Laura y a la memoria de mi abuelo Julio (+) quienes con sus tiernas enseñanzas me apoyaron en cada etapa de mi vida, siendo un pilar fundamental en mi formación personal, profesional y sobre todo espiritual

Karla



## **Agradecimiento**

Al Finalizar el presente trabajo quiero agradecer a Dios por las bendiciones recibidas.

De igual forma extendiendo mi gratitud a mi tutor de tesis Edwin Zárate por darme apertura para desarrollar este proyecto, por el apoyo y paciencia que me brindo a lo largo de este estudio,

Al distinguido tribunal por su asesoría y sugerencias Ing. Omar Delgado MSc y Blgo. David Siddons.

A mis familiares gracias a cada uno de ustedes por trazar mi camino con palabras adecuadas en momentos necesarios.

Finalmente, a todos mis compañeros que supieron guiarme y apoyarme con conocimientos.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>12</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Área de estudio.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Identificación de cuerpos lagunares .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Análisis morfométrico de cuencas y lagunas .....</b>	<b>14</b>
1.3.1 Delimitación de cuencas hidrográficas .....	14
1.3.2 Caracterización morfométricas de 10 lagunas y sus cuencas.....	15
<b>1.4 Índices de vegetación: Cuencas y Lagunas. ....</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>22</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Identificación de cuerpos lagunares .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Caracterización morfométrica de 10 lagunas y sus cuencas .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Índices de vegetación .....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Índices de vegetación de las Lagunas .....	25
2.3.2 Índices de vegetación de las cuencas de aporte de las lagunas .....	27
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>30</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Identificación de cuerpos lagunares .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Caracterización morfométrica de 10 lagunas y sus cuencas .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Índices de vegetación: cuencas y lagunas.....</b>	<b>31</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>34</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio .....	12
Figura 2. Ubicación de las cuencas hidrográficas .....	14

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Formas de lagos establecidas por Hutchinson (1975) y Timms (1992).....	16
Tabla 2 Relación forma Horton (Strahler, 1957). .....	18
Tabla 3 Índice de compacidad Gravelius .....	18
Tabla 4 Valores comparativos Pendiente media del cauce .....	19
Tabla 5 Forma y dimensiones superficiales de Lagos y lagunas .....	23
Tabla 6 Morfometría de cuencas hidrográficas pertenecientes a las 10 lagunas de estudio en el Macizo del Cajas.....	24
Tabla 7 Parámetros de forma de la cuenca hidrográfica. ....	25
Tabla 8 Índice Diferencial Normalizado de Vegetación NDVI de las lagunas.....	26
Tabla 9 Índice de Vegetación Mejorado EVI de las lagunas .....	26
Tabla 10 Índice Diferencial Normalizado de Vegetación NDVI de las cuencas de aporte .....	27
Tabla 11 Índice Diferencial Normalizado de Humedad NDWI.....	28
Tabla 12 Índice de Vegetación Mejorado EVI .....	28

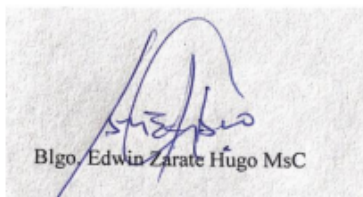
## ÍNDICE DE FORMULAS

Fórmula 1. Desnivel altitudinal .....	18
Fórmula 2. Relación de forma de Horton .....	20
Fórmula 3. Coeficiente de Compacidad de Gravelius .....	20

## RESUMEN

Realizamos la caracterización geo-ambiental de 10 lagunas del Macizo del Cajas y sus cuencas de aporte hídrico mediante índices de vegetación e información geomorfológica. Para esto se descargó información de imágenes de satélite de la plataforma Google Earth Engine, con las cuales se desarrollaron los índices de vegetación NDVI, NDWI y EVI. Mediante el análisis de la geomorfología se delimitaron las cuencas y formas de las lagunas utilizando la plataforma ArcGis. Los índices de vegetación de las cuencas de aporte mostraron valores promedios positivos de NDVI entre 0.45 a 0.57, mientras que los índices de vegetación medidos en las lagunas, si bien se detectaron valores negativos, todos los promedios fueron positivos, es decir se detectó verdor en las lagunas posiblemente por la presencia de algas, con valores promedios entre 0.08 a 0.53 de NDVI.

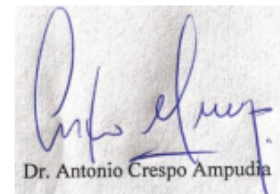
Palabras clave: lagunas de páramo, NDVI, NDWI, EVI, Morfometría cuencas, Earth Explorer, Teledetección.



Blgo. Edwin Zárate Hugo MsC

Blgo. Edwin Zárate Hugo MsC

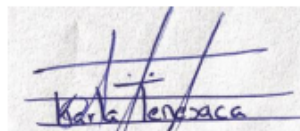
Director del trabajo de titulación



Dr. Antonio Crespo Ampudia

Dr. Antonio Crespo Ampudia

Coordinador de Escuela



Karla Elizabeth Tenesaca

Karla Elizabeth Tenesaca Arias

Autor

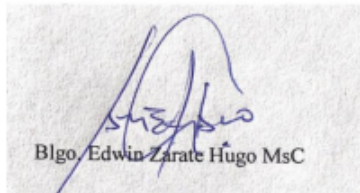


UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY

## ABSTRACT

We carried out a geo-environmental characterization of 10 lakes of *Macizo del Cajas* and its watersheds, by means of vegetation index and geomorphological information. For this purpose, satellite image information was downloaded from the Google Earth Engine platform, with which NDVI, NDWI and EVI vegetation indexes were determined. By analyzing the geomorphology, the basins and shapes of the lakes were delimited using the ArcGis platform. The vegetation index of the catchment basins showed positive average values of NDVI between 0.45 and 0.57. Regarding the vegetation index measured in the lakes, although negative values were detected, all averages were positive, that is, greenness was detected in the lakes, possibly due to the presence of algae, with average values between 0.08 and 0.53 of NDVI.

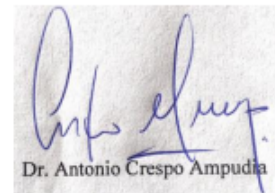
Key words: lagunas del paramo, NDVI, NDWI, EVI, watershed morphometry, Earth Explorer, Teledetección.



Blgo. Edwin Zárate Hugo MsC

Blgo. Edwin Zárate Hugo MsC

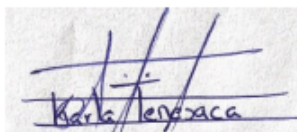
Director del trabajo de titulación



Dr. Antonio Crespo Ampudia

Dr. Antonio Crespo Ampudia

Coordinador de Escuela



Karla Tenesaca

Karla Elizabeth Tenesaca Arias

Autor



Karla Elizabeth Tenesaca Arias

Trabajo de graduación

Blgo. Edwin Zarate MsC.

Abril, 2022

## **CARACTERIZACIÓN GEO AMBIENTAL DE LAGUNAS DEL MACIZO DEL CAJAS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN.**

### **INTRODUCCIÓN**

El Macizo del Cajas (MC) está considerado dentro de la “red mundial de reservas de Biosfera”, posee una particularidad con relación a las 617 que existen en el mundo, debido al rango altitudinal que va desde los 0 msnm en las zonas cercanas al golfo de Guayaquil hasta los 4500 msnm en el Parque Nacional Cajas, lo que permite la existencia de una variedad de ecosistemas que proporcionan una gran diversidad de servicios aprovechados por los poblados del sur del Ecuador. Dentro del MC se localizan cerca de 600 cuerpos de agua, en donde más del 50% se encuentra dentro del Parque Nacional Cajas. Estos forman una parte fundamental dentro del sistema hídrico importantes para Cuenca y a otras ciudades alrededor; también su importancia radica debido a que son las nacientes de los principales afluentes que aportan en el complejo hidroeléctrico Paute que provee de electricidad a gran parte del Ecuador (Caldas, 2020).

El recurso agua es fundamental para la vida, sin embargo, por condiciones naturales y/o antrópicas afronta en la actualidad pérdidas de calidad y con esto sus respectivas consecuencias. Los páramos son considerados uno de los principales productores de agua y son los más afectados por actividades humanas y cambio climático. Por lo tanto, la investigación y generación de indicadores para monitorear la calidad del territorio y de los ecosistemas acuáticos es de vital importancia para el futuro (Picón & Solano, 2019).



La investigación científica es considerada escasa o nula en varios sectores del MC. Por lo cual resulta de gran importancia integrar información actualizada generada a través de diferentes métodos de estudio como las imágenes satelitales y sistemas de información geográfica asociados a la determinación de procesos ecológicos, coberturas de suelo, aspectos limnológicos y modelación hidrológica; esta combinación permite generar información a escalas amplias (Caldas, 2020).

La utilización de métodos robustos de interpretación digital tales como imágenes satelitales y de sistemas de información Geográfica tiene el potencial de obtener productos útiles para la gestión y conservación de la biodiversidad cubriendo rangos espaciales y significativos en tiempo real, gracias al avanzado desarrollo tecnológico el volumen de las imágenes satelitales sigue creciendo y su resolución espacial y temporal mejora significativamente. Por consiguiente, contar con información correcta sobre la Morfometría de cuencas y lagunas, la cobertura vegetal y sus respectivos índices de vegetación en el MC, es posible a costos mínimos, además gracias a la aplicación de técnicas de teledetección (Caldas, 2020).

Con relación a todo lo antes mencionado el presente estudio trata sobre los índices de vegetación derivados de imágenes adquiridas por sensores satelitales con el fin de analizar las características de las lagunas y sus cuencas hidrográfica, mediante los niveles espectrales de los IVs. Los IVs son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática, entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen (Esperanza y Zerda, 2002). Estos índices están condicionados por cambios en el estado fisiológico de las coberturas vegetales, sus variaciones pueden ser utilizadas para estudios espacio-temporales del comportamiento de la vegetación (Gonzaga, 2015).

La teledetección es utilizada como valiosa herramienta y determinante a la hora de evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales, tiene como propósito la identificación y caracterización de los materiales de la superficie terrestre y los procesos que en ella ocurren a partir de la radiación electromagnética. La teledetección a partir del diseño de los denominados índices de vegetación es considerado un parámetro para calcular los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda y de igual forma pretende extraer de los mismos la información relacionada con la vegetación disminuyendo la influencia

de perturbaciones como las del suelo y las condiciones atmosféricas. Al respecto Jackson et al (1983) define al IV como aquel que es “particularmente sensible a la cubierta vegetal, insensible al brillo y color del suelo y poco afectado por la perturbación atmosférica, los factores ambientales y las geométricas de la iluminación y de la observación”. Sin embargo, el IV ideal no existe y los IVs definidos tienen en común el uso de los valores de reflectividad en las zonas espectrales del rojo e infrarrojo cercano (Gilabert et al. 1997).

La utilización de imágenes satelitales para la evaluación de los recursos naturales, en especial de la cobertura vegetal y uso del suelo, permiten una mejor definición de la distribución de la vegetación, debido a que las imágenes satelitales son muy útiles para estimar el índice de vegetación que permite conocer o estimar el estado de vigor de la vegetación (Soria et al, 1996), o la distribución, diversidad o tipo fisonómico (Wallis et al. 2015).

Por otro lado, al considerar en los estudios los sistemas hídricos, es de suma importancia la comprensión de los parámetros y coeficientes en el concepto de cuencas hidrográficas, en donde se entiende como el área o superficie del terreno que aporta sus aguas de escorrentía a un mismo punto de desagüe, dependiendo mucho de las condiciones climáticas y sus características físicas. Por lo mencionado, la Morfometría es considerada una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico, debido a que nos permite determinar índices y parámetros para conocer el comportamiento y estudio del ciclo hidrológico (Sellers, et al., 2016).

Por todo lo mencionado, en este estudio, nos planteamos la pregunta de cómo varían las características físicas y espectrales de 10 lagunas y sus cuencas de aporte en el Macizo del Cajas, con el propósito de generar información con potencial de relacionarla con datos levantados en el campo sobre las condiciones de estos cuerpos de agua.

## **Objetivos**

### Objetivo general

Realizar la caracterización geo ambiental de 10 lagunas del Macizo del Cajas y sus cuencas de aporte hídrico a través de cartografía, imágenes satelitales e información geomorfológica.

### Objetivos específicos

- Identificar los cuerpos lagunares y sus cuencas hidrográficas mediante sensores remotos y sistemas de información geográfica.
- Realizar un análisis morfológico de 10 lagunas y sus cuencas hidrográficas en el MC.
- Analizar índices espectrales de vegetación relacionados a lagunas y cuencas de aporte pertenecientes al MC.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.1 Área de estudio

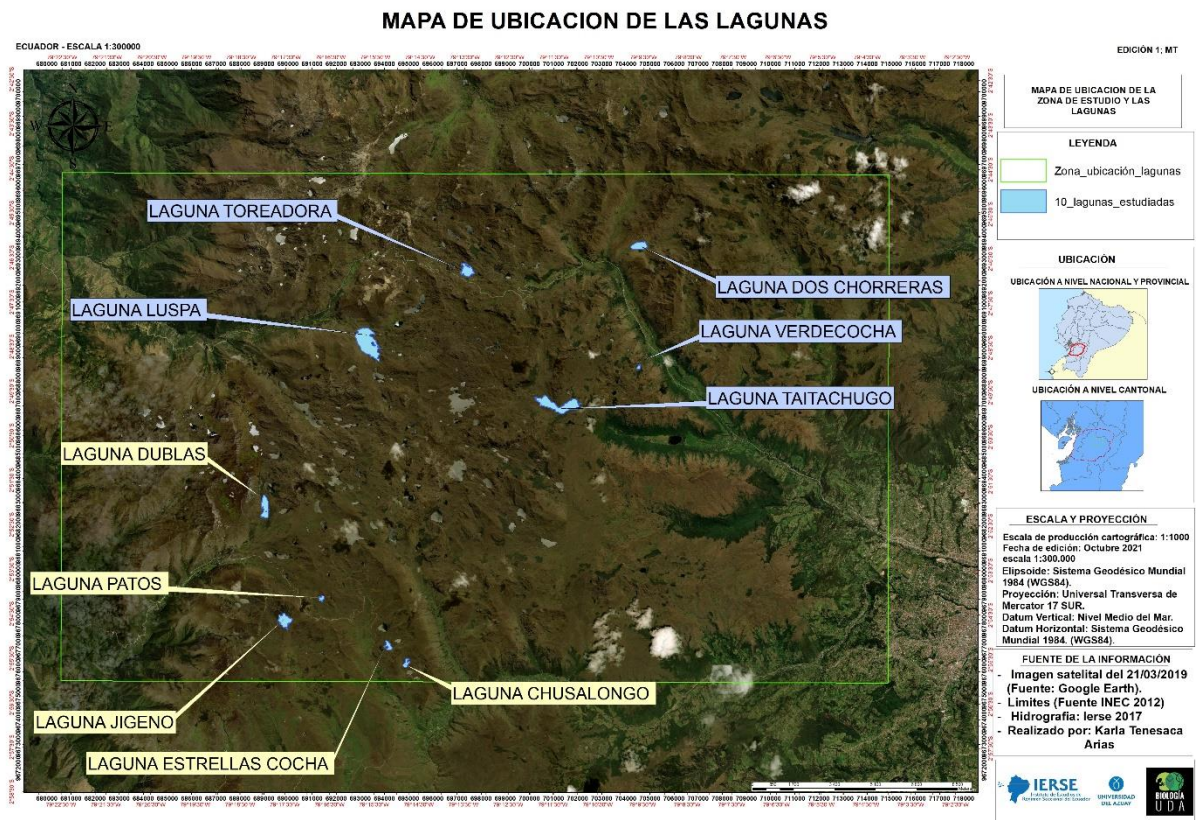
El área de estudio corresponde a la reserva de Biosfera del MC, la cual está localizada en la cordillera de los Andes, colindante con el valle interandino, el Océano Pacífico, y la cuenca Amazónica (ETAPA EP, 2018).

Cuenta con una extensión de 976.600,92 ha de las cuales 892.161,52 ha pertenecen a territorio continental y 88.439,4ha a territorio marino. Administrativamente el territorio continental propuesto como Reserva de Biosfera pertenece a las provincias, distribuido de la siguiente manera: en un 58,44% (521.376,84 ha) a la provincia del Azuay, un 15,36% (137.059,22 ha) a Cañar, un 8,85% (78.927,58ha) a El Oro y un 17,35% (154.797,88ha) a él Guayas. Desde el extremo norte hasta el extremo sur su longitud alcanza 91,8 km, mientras que en el sector más ancho del territorio continental (este - oeste) la longitud alcanza los 109,3 km, y en la franja marina alcanza los 14,8 km de longitud (ETAPA EP, 2012).

Es un área extensa con una transición altitudinal que va desde 0 msnm en las cercanías del golfo de Guayaquil a 4500 msnm en el Parque Nacional Cajas constituido por grandes elevaciones y en su interior grandes sistemas lacustres, lo que le permite brindar funciones y servicios a la parte sur del Ecuador. Dentro del área del Macizo del Cajas se localizan alrededor de 600 cuerpos de agua entre lagos y lagunas (MAE, 2017).

La reserva de biosfera se caracteriza por su complejidad climática influenciada por la singular orografía regional, la incidencia de la Zona de Convergencia Intertropical, la interacción del fenómeno del Niño - Corriente fría de Humboldt y la posición geográfica ligada a la radiación solar (Maldonado, 2002). En los páramos. Ecosistema donde se centra este estudio, la temperatura promedio varía dependiendo las épocas del año entre 8 a 12 grados

centígrados, con mínimas de menos dos grados centígrados y máximas de hasta 20 grados centígrados mientras que la precipitación anual promedio es de 1200 mm (Jiménez. A, Rodríguez. R, 2013).



*Figura 1. Ubicación del Área de estudio*

## 1.2 Identificación de cuerpos lagunares

Para el presente estudio se consideró la ubicación, el tamaño y la accesibilidad de los cuerpos de agua analizados, posteriormente se seleccionó imágenes satelitales en la plataforma Earth Explorer del servicio Geológico de los Estados Unidos USGS.

Las imágenes satelitales fueron descargadas con sus respectivas correcciones radiométricas, atmosféricas y geométricas, es decir con conversiones de valores de números digitales a valores de radiación, eliminación de bruma y alteración atmosférica. Debido a la gran cantidad de accidentes topográficos presentes en la zona de estudio fue necesario realizar una corrección topográfica, esta busca disminuir las distorsiones y sombras del terreno evitando

así que se cree confusiones entre los distintos tipos de coberturas, de igual forma permite que el cálculo de los índices espectrales sea muy cercano a la realidad. Para la corrección se utilizó la plataforma Google Earth Engine.

Utilizando la cartografía y las imágenes de satélite procesadas validamos y seleccionamos 10 lagunas. Para esto utilizamos software ArcGis que nos permitió validar que la cartografía en formato shp de los cuerpos lagunares coincida con las lagunas identificadas en las imágenes satelitales descargadas de la plataforma Google Earth Engine. Se procuró que las lagunas seleccionadas estén distribuidas en los dos flancos del MC, tanto de la vertiente pacífica como de la atlántica.

### **1.3 Análisis morfométrico de cuencas y lagunas**

#### **1.3.1 Delimitación de cuencas hidrográficas**

Existe varios métodos para delimitar las cuencas hidrográficas uno de ellos es manualmente sin embargo se vuelve un trabajo muy laborioso, por lo que esta tarea desarrollamos mediante la utilización del Software ArcGis, este cuenta con herramientas hidrológicas que facilitan la delimitación y modelados de las cuencas hidrográficas (Zhicay, 2020).

Para la delimitación de las cuencas se procedió a cargar en el programa ArcGis el modelo digital del terreno (MDT), luego se realizó un corte que esté ajustado a la zona de interés de las cuencas a delimitar, a partir de eso se genera un MDT procesado sin errores por falta de información, posteriormente mediante herramientas del programa ( Fill, Flow Direccction, Flow Accumulation, Stream link, Stream Order, Stream Feature, Watershed) se procedió a determinar el área de aporte, red hidrográfica y finalmente se generó las cuencas hidrográficas para cada laguna seleccionada Garay & Agüero (2018).



MAPA DE UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

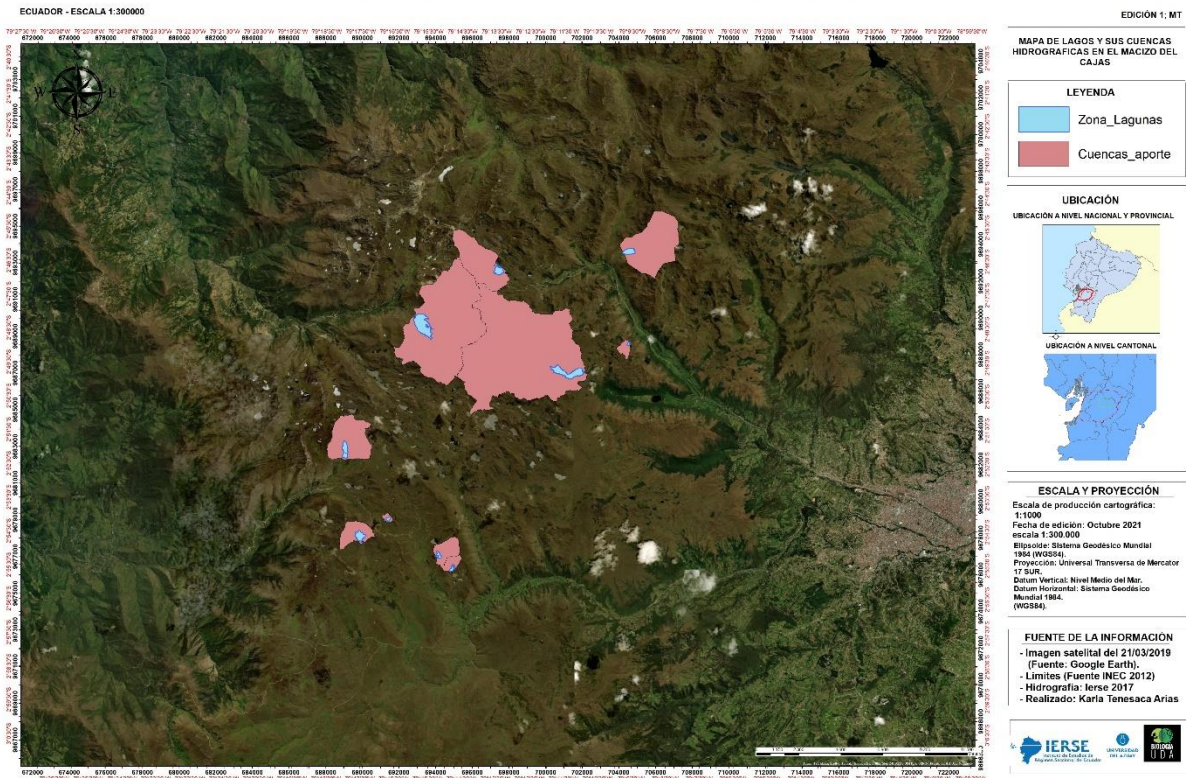


Figura 2. Ubicación de cuencas hidrográficas.

### 1.3.2 Caracterización morfométricas de 10 lagunas y sus cuencas

La geomorfología del terreno y de los lagos determina la naturaleza de su drenaje, está relacionada con la entrada de nutrientes en el lago y el volumen de agua que penetra con relación a la tasa de renovación, dicho estudio es necesario en lagos debido a que la morfología condiciona los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua.

#### 1.3.2.1 Morfometría de lagunas

Utilizando el software ArcGis caracterizamos la morfología de las lagunas seleccionadas, mediante los siguientes parámetros: área, perímetro, longitud máxima, ancho máximo e índice desarrollo de la costa (Ernesto Roldan Taborda, Julio Cesar Mesa & Germán Poveda, 2015 )

- Índice de desarrollo de la costa: Relaciona el perímetro del lago (P) o longitud de la línea de costa, con el perímetro de un círculo de igual área (A) que el lago.

Se define como  $DI = P \sqrt{2 \pi A}$

Tabla 1 Formas de lagos establecidas por Hutchinson (1975) y Timms (1992)

Forma	Características	Índice de DI
Circular	Con forma que asemeja a un círculo	1.04 – 1.15
Subcircular	Es una forma menos perfecta que la circular	1.15 – 1.3
Triangular	Con forma que asemeja un triángulo	1.5 – 2.0
Dendrítica	Con forma similar a la raíz o la copa de un árbol sin sus hojas	>3

- Longitud máxima (l). Distancia de la superficie de un lago entre los puntos más distantes de la orilla.
- Ancho máximo de un lago (b): Es la distancia máxima de la superficie de un lago a un ángulo recto.
- Área (A). Definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro es uno de los aspectos morfométricos más importantes.
- Perímetro de un lago (P): El perímetro de un lago se define como la intersección de la tierra con la superficie del lago.

#### 1.3.2.2 Morfometría de cuencas hidrográficas

La Morfometría de las cuencas hidrográficas es el análisis cuantitativo que nos permite conocer las características físicas mediante estudio de la superficie, relieve e hidrografía ayudándonos a entender la complejidad del comportamiento hidrológico (Cardenas, 2017) para el presente trabajo se realizó un estudio morfométrico recomendado por Sellers et al. (2016)

- Área de la cuenca (A). El área de una cuenca está considerada una de las características más importantes, está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro. La divisoria de aguas de naturaleza topográfica representa una línea imaginaria que separa laderas opuestas de un punto de elevación, las aguas de escorrentía fluyen de cauces diferentes.

Se representa por: Área (A) en Km<sup>2</sup>



- Perímetro de la cuenca (P). Perímetro de una cuenca, informa sucintamente sobre la forma de la cuenca, es considerado como la longitud de los contornos de la cuenca y está ligada a la irregularidad del lugar a estudiar.

Se representa por: Perímetro (P) en Km.

- Longitud axial (l). Está definida por la longitud del cauce principal, distancia recorrida entre el desagüe de la cuenca y el punto situado a mayor distancia, aguas arriba.

Se representa por: Longitud axial (La) en Km.

- Ancho de la cuenca. (b). Está definido como la relación entre el área y la longitud de una cuenca.

Se representa por: Ancho promedio (Ap) en Km.

- Cota máxima y mínima. Selección de las diferentes cotas dentro del contorno de la cuenca.
- Desnivel altitudinal. Está definido por el valor obtenido en la diferencia entre la cota máxima y mínima del área de estudio.

Se representa por:  $DA = HM - Hm$

*Fórmula 1. Desnivel Altitudinal*

### 1.3.2.3 Parámetros de forma

Para el presente estudio se analizó todos los parámetros antes ya mencionados mediante la utilización de ecuaciones y herramientas básicas en el software Arcgis.

- Parámetros de forma. El comportamiento hidrológico de una cuenca está definido por la forma, cuencas con la misma área, pero diferentes formas presentan respuestas hidrológicas diferentes. Los parámetros tenidos en cuenta son:
- Factor forma. Factor o relación de forma de Horton indica cómo se regula la concentración de escorrentía superficial. Tiene relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud.

Se representa por:

$$Rf = \frac{A}{La^2}$$

*Fórmula 2. Relación de Forma Horton*

*Tabla 2 Relación forma Horton (Strahler, 1957).*

Rango de valores	Forma de la cuenca
< 0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,3 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,12	Muy Ensanchada
> 1,20	Rodeando el desagüe

- Coeficiente de compacidad de Gravelius

Está definido por la forma y la superficie que abarca la cuenca, teniendo influencia sobre la escorrentía y la marcha del hidrograma resultante de una precipitación.

Se representa por: Relación entre el perímetro y la superficie:

$$Kc = \frac{P}{(2\sqrt{\pi A})}$$

*Fórmula 3. Coeficiente de compacidad Gravelius.*

*Tabla 3 Índice de compacidad Gravelius*

Índice Kc	Descripción
1 – 1,25	Redonda – Ovalada redonda
1,25 – 1,5	Ovalo Redonda – ovalo oblonga
1,5 – 1,75	Ovalo oblonga – rectangular oblonga
> 1,75	Rectangular oblonga – Muy lobuladas

- Pendiente media del cauce

Influencia la velocidad de escorrentía de las corrientes de agua de una cuenca hidrográfica dependiendo de los canales fluviales, representada por la relación entre el desnivel altitudinal de la cuenca en Km y la Longitud del cauce principal.

*Tabla 4 Valores comparativos Pendiente media del cauce*

Pendiente media %	Tipología del Terreno
0.5	Muy plano
0.5 – 1	Plano
1 – 3	Suave
3 – 12	Accidentado medio
12 – 20	Accidentado
20 – 50	Fuertemente accidentado
50 – 75	Escarpado
> 75	Muy escarpado

#### **1.4 Índices de vegetación: Cuencas y Lagunas.**

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es utilizado ampliamente como un indicador del vigor de la biomasa vegetal (Aguilar, 2015 ), es utilizada en estudios relacionados a comportamientos de cultivos, así como de vegetaciones boscosas naturales se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permitiendo determinar la vigorosidad de la planta. Los valores del NDVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja y el infrarrojo cercano (NIR) (Garcia, 2015).

El cálculo del NDVI implica el uso de una formula con dos bandas, el infrarrojo cercano (NIR) banda 4 y el rojo (RED) banda 3, donde NIR es la reflectancia del canal infrarrojo cercano y RED representa la reflectancia en el canal rojo del visible, dicha forma indica una relación inversa entre el valor de reflectancia de estas bandas, por lo que es posible su uso para discriminación de cubiertas vegetales. El NDVI varían entre -1 y+1, valores altos revelan alta

actividad fotosintética de la cubierta vegetal (fenología foliar) y una estrecha relación con la evapotranspiración (Tucker & Sellers, 1986) valores bajos indican situaciones de escasa o nula cubierta vegetal y baja actividad fotosintética

El índice diferencial normalizado se define como:

$$NDVI = (IRc-R) / (IRc+R)$$

Donde:

IRc= Infrarrojo cercano (banda 4 del sensor Landsat - TM)

R= (banda 3 del sensor Landsat TM)

Banda 3: (0,63 a 0,69 micrones - rojo). Es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas.

Banda 4 (0,76 a 0,90 micrones – infrarrojo cercano) Es útil para determinar el contenido de biomasa y para la delimitación de cuerpos de agua.

El NDWI es un índice de vegetación sensible a los cambios en el contenido de agua en el dosel de la vegetación debido a la reflectancia 857 nm y 1241nm, tiene propiedades de absorción de agua líquida similar pero ligeramente diferente. La dispersión de la luz por los doseles de vegetación aumenta la débil absorción de agua líquida a 1241 nm. Las aplicaciones incluyen el análisis de estrés del dosel de los bosques, los estudios de índice de área foliar en la vegetación densa foliada, modelaje de productividad de las plantas y los estudios de susceptibilidad de fuego el valor del índice varía de -1 a 1 en donde el intervalo común para la vegetación verde es -0.1 a 0.4, entre las posibles bandas según el satélite Landsat para calcular el NDWI está la banda seis (SWIR 1) y la banda siete (SWIR 2) (Villatoro, 2020).

El EVI (índice de vegetación moderado) facilita información que permite monitorear el estado de la vegetación que presenta grandes niveles de biomasa, fue optimizado a partir del NDVI para reducir la influencia de la atmósfera, este índice es muy apropiado para zonas con escasa cobertura vegetal y fuerte efecto del suelo desnudo debido a que no presenta problemas



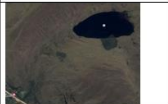




de saturación como el NDVI en zonas con altas densidades de biomasa. Los valores están asociados de la siguiente manera mayores de 0 se relacionan a una alta presencia de vegetación. (Villa, 2010).






## CAPITULO II

### RESULTADOS

#### 2.1 Identificación de cuerpos lagunares

Se analizó la cartografía de recursos hídricos, de las 600 lagunas contenidas en esta información se seleccionaron 10 presentes en el Macizo del Cajas. A continuación, se especifica los nombres, imágenes y coordenadas de los sitios de estudio.

Nombre de la laguna	Imagen	Coordenada X	Coordenada Y
Dos chorreras		-2.770453	-79.159997
Taitachugo		-2.831212	-79.190215
Toreadora		-2.779880	-79.223974
Luspa		-2.807609	-79.261306
Verdescocha		-2.805693	-79.170010

Estrellas Cocha		-2.913562	-79.255123
Chusalongo		-2.927061	-79.246556
Patos		-2.894137	-79.291395
Dublas		-2.868770	-79.299038
Jigeno		-2.910497	-79.292658

#### 2.2 Caracterización morfométrica de 10 lagunas y sus cuencas

Como resultado obtuvimos que de los 10 sitios de estudio la zona que presenta mayor área y perímetro es decir la considerada laguna más extensa fue Taitachugo posee un área de 56.72 hectáreas, mientras que la laguna más pequeña es Verdescocha con 2.06 hectáreas. (Tabla 5).

*Tabla 5 Forma y dimensiones superficiales de Lagos y lagunas*

Nombre de las lagunas	Área (ha)	Perímetro	Ancho máximo (Km)	Índice de desarrollo de la costa	Longitud máxima
Jigeno	20.94	3461.450	0.2156	4.26	0.96
Patos	3.49	965.360	0.0958	2.91	0.36
Estrella cocha	6.45	1817.910	0.1146	4.03	0.56
Chusalongo	5.68	1462.130	0.0809	3.45	0.70
Dublas	21.66	3745.170	0.0751	4.53	2.22
Toreadora	18.47	3394.640	0.4652	7.90	0.39
Luspa	77.39	7002.710	0.1187	4.49	1.55
Verdecocha	2.06	777.270	0.0972	4.45	0.21
Dos Chorreras	16.66	1806.910	0.2333	3.04	0.74
Taitachugo	56.72	6755.150	0.2551	5.06	2.88

En la Morfometría de cuencas hidrográficas según su superficie se observaron grandes diferencias, la más extensa fue la cuenca hidrográfica de Taitachugo con 3039.31 hectáreas y la más pequeña es la cuenca de Patos con 16.36 hectáreas (Tabla 5), los demás parámetros analizados muestran de igual manera esa tendencia de mayores dimensiones en la cuenca de la laguna Taitachugo.

*Tabla 6 Morfometría de cuencas hidrográficas pertenecientes a las 10 lagunas de estudio en el Macizo del Cajas*

Nombre de Cuenca	Área (ha)	Perímetro (m)	Longitud de la Cuenca (km)	Ancho de la Cuenca (Km)	Desnivel altitudinal	Cota mínima	Cota máxima
Jigeno	167.30	5843.24	1.41	1.18	231.19	3954.24	4185.43
Patos	16.36	1837.28	0.36	0.50	71.44	3959.43	4030.87
Estrella Cocha	143.77	5514.45	1.58	0.90	284.38	3754.80	4039.18
Chusalongo	59.96	3325.17	0.80	0.70	202.02	3786.27	3988.29
Dublas	329.97	8845.73	2.78	1.18	425.21	3877.15	4302.49
Toreadora	18.26	2260.85	4.17	0.039	516.40	3909.62	4425.97
Luspa	1931.14	23068.70	6.79	2.84	57.04	3770.28	4340.69
Verdecocha	45.37	3090.06	0.83	0.54	290.20	3742.98	4033.18
Dos Chorreras	717.58	11130.70	8.27	0.86	574.90	3685.53	4260.46
Taitachugo	3039.31	31977.84	10.39	2.92	738.98	3535.64	4274.62

Los parámetros de forma también condicionan a una cuenca hidrográfica, una cuenca hidrográfica se puede clasificar según sus parámetros de forma (Tabla 1). La cuenca de la toreadora presenta un factor de forma de 0.01 considerado el valor más pequeño es decir la forma de su cuenca hidrográfica es muy alargada, seguida de Taitachugo que presenta un valor de 0.28 de igual forma considerándose una cuenca alargada, las cuencas de las lagunas Dublas, Luspa y Dos Chorreras presentan valores superiores 0.42, 0.41 y 0.41 respectivamente por lo que son consideradas cuencas intermedias entre una forma alargada y ensanchada, mientras que las cuencas más ensanchadas fueron Jigeno 0.83 y Chusalongo 0.87, finalmente la de mayor valor fue la cuenca de la laguna de Patos con 1.37 considerada una cuenca redondeada.

El coeficiente de compacidad también determina la forma en las cuencas de aporte dependiendo de sus valores obtenidos (Tabla 2), entre los valores más bajos tenemos las cuencas de Luspa 0.38 y Dos chorreras 0.42 representando cuencas "redondas – ovalada redonda", a diferencia de las demás lagunas que presentaron valores altos que van desde Chusalongo 2.43 hasta Taitachugo 3.27 son consideradas como cuencas "rectangulares oblonga – muy lobuladas".



Finalmente, entre los parámetros que determinan la forma de las cuencas hidrográficas tenemos las pendientes medias del cauce (Tabla 3). El valor más bajo fue registrado para la cuenca de Luspa con 8.395 considerada como una cuenca "no muy escarpada o de accidentado medio", la mayoría de las cuencas de las lagunas presentan valores considerados "cuencas escarpadas", mientras que el mayor valor registrado fue para la cuenca de Verdecocha con un valor 345.88 considerándose una cuenca "muy escarpada"

*Tabla 7 Parámetros de forma de la cuenca hidrográfica.*

Nombre de la cuenca.	Factor forma	Coefficiente de compacidad (Gravelius )	Pendiente media del cauce (%)
Jigeno	0.83	2.55	163.45
Patos	1.37	2.45	195.61
Estrella cocha	0.57	2.59	179.17
Chusalongo	0.87	2.43	250.21
Dublas	0.42	9.12	152.64
Toreadora	0.01	3.18	123.77
Luspa	0.41	0.38	8.395
Verdecocha	0.64	2.59	345.88
Dos chorreras	0.41	0.42	69.51
Taitachugo	0.28	3.27	71.12

## 2.3 Índices de vegetación

### 2.3.1 Índices de vegetación de las Lagunas

- Índice NDVI

Según los valores presentados para el NDVI en las lagunas, se obtuvieron valores muy bajos, variando de 0.10 en la laguna Taitachungo considerándose así una laguna con poca presencia de algas y vegetación, mientras que Verdecocha presenta un valor de 0.53 considerado el valor más alto determinando posiblemente una alta densidad de algas existentes en la laguna lo cual

representa abundancia en la vegetación acuática en donde se puede distinguir un alto nivel de pigmentación observado mediante imágenes de satélite.

*Tabla 8 Índice Diferencial Normalizado de Vegetación NDVI de las lagunas*

N°	Lagunas	Máximo	Mínimo	Media	Desviación Estándar
1	Jigeno	0,60	-0,11	0,11	0,16
2	Patos	0,60	0,30	0,17	0,21
3	Estrella cocha	0,62	-0,21	0,28	0,19
4	Chusalongo	0,60	-0,33	0,29	0,18
5	Dublas	0,68	-0,76	0,11	0,21
6	Toreadora	0,65	-1	0,13	0,22
7	Luspa	1	-1	0,08	0,15
8	Verdescocha	0,91	0,08	0,53	0,19
9	Dos Chorreras	0,78	-1	0,23	0,25
10	Taitachugo	0,72	-0,49	0,10	0,16

- Índice EVI

Según los valores obtenidos para el EVI todas las lagunas analizadas presentan valores superiores a 0 lo cual se puede considerar que en todas las lagunas existe presencia de algas o macrófitas.

*Tabla 9 Índice de Vegetación Mejorado EVI de las lagunas*

N°	Lagunas	Máximo	Mínimo	Media	Desviación estándar
1	Jigeno	0,20	-0,005	0,021	0,039
2	Patos	0,23	-0,002	0,035	0,053
3	Estrellas cocha	0,21	-0,005	0,040	0,051
4	Chusalongo	0,17	-0,003	0,034	0,041
5	Dublas	0,24	-0,018	0,018	0,042

6	Toreadora	0,27	-0,030	0,028	0,049
7	Luspa	0,25	-0,015	0,014	0,036
8	Verdescocha	0,31	0,001	0,065	0,079
9	Dos chorreras	0,32	-0,008	0,041	0,070
10	Taitachugo	0,24	-0,014	0,016	0,035

### 2.3.2 Índices de vegetación de las cuencas de aporte de las lagunas

- Índice NDVI

El NDVI obtenido para las cuencas hidrográficas tiene como resultados valores mayores a 0.45 (Dublas) y el más alto 0.57 (Patos), lo cual se puede distinguir una amplia presencia de vegetación en las cuencas hidrográficas de todas las lagunas analizadas.

*Tabla 10 Índice Diferencial Normalizado de Vegetación NDVI de las cuencas de aporte*

N°	Cuenca	Máximo	Mínimo	Media	Desviación Estándar
1	Jigeno	0,79	0,18	0,53	0,08
2	Patos	0,71	0,37	0,57	0,06
3	Estrellas cocha	0,82	-0,81	0,50	0,10
4	Chusalongo	0,70	0,42	0,49	0,04
5	Dublas	0,82	-0,98	0,45	0,13
6	Toreadora	0,81	-0,51	0,49	0,10
7	Luspa	1	-1	0,46	0,11
8	Verdescocha	0,80	0,46	0,56	0,07
9	Dos chorreras	1	-0,58	0,53	0,07
10	Taitachugo	1	-1	0,50	0,10

- Índice NDWI

EL NDWI analizado en las cuencas de las lagunas representan valores idénticos varía de 0.02 a 0.09 considerándose valores bajos poco significativos sin embargo determinan presencia de humedad en las cuencas hidrográficas cabe recalcar que existe presencia de vegetación, a excepción de Chusalongo que representa un valor negativo -0.05 dando como resultado posible escasez de humedad en la cuenca hidrográfica y menor presencia de vegetación vigorosa.

*Tabla 11 Índice Diferencial Normalizado de Humedad NDWI*

N°	Cuenca	Máximo	Mínimo	Mediana	Desviación Estándar
1	Jigeno	0,39	-0,24	0,06	0,08
2	Patos	0,24	-0,19	0,04	0,08
3	Estrella cocha	0,36	-0,69	0,02	0,08
4	Chusalongo	0,23	-0,18	-0,05	0,05
5	Dublas	0,61	-0,98	0,09	0,10
6	Toreadora	0,59	-0,74	0,05	0,09
7	Luspa	1	-1	0,08	0,09
8	Verdecocha	0,30	-0,12	0,02	0,07
9	Dos chorreras	0,73	-1	0,003	0,08
10	Taitachugo	1	-1	0,06	0,08

- Índice EVI

El análisis del EVI para las cuencas hidrográficas tiene como resultado valores similares entre las lagunas estudiadas lo cual se puede considerar cuencas con significativa presencia de vegetación, entre el valor más bajo fue registrado para la cuenca de Dublas con 0.19 y el más alto para la cuenca de Verdecocha con 0.26.

*Tabla 12 Índice de Vegetación Mejorada EVI*

N°	Cuenca	Máximo	Mínimo	Media	Desviación estándar
1	Jigeno	0,46	0,03	0,21	0,05

2	Patos	0,42	0,10	0,21	0,05
3	Estrellas cocha	0,48	-0,002	0,20	0,06
4	Chusalongo	0,43	0,10	0,20	0,04
5	Dublas	4,40	-0,02	0,18	0,06
6	Toreadora	0,57	-0,02	0,21	0,06
7	Luspa	0,58	-0,07	0,19	0,06
8	Verdecocha	0,40	0,12	0,26	0,04
9	Dos chorreras	0,48	-0,02	0,22	0,05
10	Taitachugo	0,46	-0,04	0,20	0,05

A través de todos los IVs en algunas cuencas se registraron valores mínimos inferiores a cero lo que podría significar la presencia de zonas desprovistas de vegetación (suelo descubierto o rocas).

## CAPITULO III

### DISCUSIÓN

#### 3.1 Identificación de cuerpos lagunares

Para la identificación, selección de los cuerpos lagunares y la delimitación de cuencas hidrográficas mediante imágenes satelitales, fue necesario utilizar la plataforma USGS debido a que poseen imágenes corregidas lo que facilita el estudio. Los índices de vegetación ayudan a la identificación de cuerpos de agua, debido a que se diferencian de ecosistemas terrestres porque las lagunas o masas de agua presentan valores bajos de IVs. Sin embargo, hay que apoyarse en validaciones de otro tipo porque pueden ser confundidas con sombras o suelo descubierto. Por tal razón es necesario hacer validaciones realizando combinaciones de las bandas de las imágenes que permitan visualizar.

#### 3.2 Caracterización morfométrica de 10 lagunas y sus cuencas

De las 10 lagunas y cuencas hidrográficas se puede diferenciar notables diferencias tanto en sus dimensiones como en la forma. Las cuencas hidrográficas de las lagunas en su mayoría son extensas con excepción de Patos y Toreadora que representan cuencas más pequeñas. Esto podría marcar diferencias en las características bióticas y de calidad de agua en las lagunas, debido a que áreas grandes podrían aportar más materiales a éstas. Se puede clasificar a una laguna según su DI de acuerdo a la clasificación (Tabla 1) se pueden encontrar en su mayoría lagunas Dendrítica con excepción de Patos que presenta una forma triangular esto se puede dar debido a la distribución de las lagunas entre más aislada se encuentren las lagunas menor es la probabilidad que se conecten con otra y modificar su morfología, en el caso de lugares más anchos pueden albergar un mayor número de lagunas aumentando la probabilidad que aparezcan formas complejas, de acuerdo a la forma de las lagunas tiene relación de evolución. (Félix Contreras, Elsie Ojeda & Silvina Contreras , 2014 )

Según (Cardona, 2012 ) Las características físicas de cuencas y lagunas tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan las cuencas d igual área pero de diferente forma, generan hidrogramas así como la forma de la cuenca condiciona la velocidad de escurrimiento superficial diferentes, en el caso de cuencas más ensanchadas poseen mayor susceptibilidad a generar crecidas ya que el tiempo de recorrido del agua a través de la cuenca es mucho más corto que en cuencas alargadas, es decir las cuencas ensanchadas tendrían menor tiempo de concentración y por ende mayor rapidez para la concentración de los flujos de aguas superficiales, generando así mayor velocidad en sus crecidas tal es el caso de, Toreadora 0.01 y Taitachugo 0.28 consideradas cuencas alargadas y Verdecocha 0.64 es una cuenca ensanchada.

### **3.3 Índices de vegetación: cuencas y lagunas**

Según diferentes autores, los índices de vegetación fluctúan entre valores de positivos y negativos (de - 1 a +1), los valores positivos están relacionados con la presencia de vegetación y los negativos con ausencia de ésta. Valores altos positivos representan vegetación vigorosa, como el caso de los valores de NDVI registrados por (Cruz Flores, Curbelo Benítez, Ferrer Sánchez & Ávila , 2020 ) que registro para vegetación en la Amazonía. En nuestro caso los estudios se realizaron en zonas de páramos que presenta una vegetación variada, pero en su mayoría herbácea. Los valores más altos de NDVI y EVI, en las cuencas hidrográficas de Patos 0.57 y 0.21, Verdescocha 0.56 y 0.26, Dos chorreras 0.53 y 0.22, Jigeno 0.53 y 0.21, (NDVI y EVI respectivamente presentan mayor proporción de áreas verdes, en el caso del páramo se podría considerar zonas con mayor abundancia de pajonal conjuntamente con otro tipo de vegetación como almohadillas y bosque de Polylepis, este tipo de vegetación es considerado el más dominante en el páramo del Macizo del Cajas. Mientras que valores intermedios y bajos pueden representar escases o afección de la vegetación de las cuencas hidrográficas ya sea por condiciones del suelo o debido a la presencia de actividades ganaderas o turísticas.

El NDWI es un índice considerado complementarios al NDVI, pero más enfocado en el contenido de humedad o para analizar procesos de desertificación (Miguel Angel Delpino Aguayo, Victor Miliciades Portillo Sosa , 2018 ). En el caso de nuestro estudio podría estar relacionado con el tipo de vegetación o con factores que influyen en el contenido de humedad en la vegetación. Los valores más altos fueron registrados en las áreas de aporte de las lagunas

Luspa 0.08, Dublas 0.09, Jigeno y Taitachugo 0.06 y los valores más bajos en las cuencas Chusalongo -0.005, Dos chorreras 0.003 y Estrellas Cocha y Verde Cocha 0.02.

El uso de índices de vegetación para analizar cuerpos de agua es relativamente reciente y sus valores están relacionados a la presencia de algas o macrófitas acuática. En nuestro caso, las lagunas analizadas presentan diferencias en sus valores, considerándose que son lagunas con diferentes estados tróficos, En este caso los valores bajos estarían más relacionados con poca productividad, mientras valores más altos con un nivel superior de productividad, lo que no es considerado apropiado ya que podrían estar alcanzado niveles de eutrofización (García, 2015 ). En el análisis realizado los valores más altos se registraron para la laguna Verdescocha 0.53 y 0.065, Estrellas cocha 0.28 y 0.040, Chusalongo 0.29 y 0.034 (NDVI y EVI respectivamente), entre los valores más bajos obtenidos Luspa 0.08 y 0.014, Taitachugo 0.10 y 0.016, Jigeno 0.11 y 0.021, Dublas 0.11 y 0.019 (NDVI y EVI respectivamente).

Los resultados del estudio sugieren la efectividad del empleo de imágenes satelitales para generar mapas de vegetación y uso de suelo a diferentes escalas. Para el presente estudio se realizó el análisis de tres índices vegetales utilizados para identificar ausencia, presencia o las características que presenta la vegetación o cobertura de suelo. Según Aguilar (2016) los índices espectrales como el NDVI, GNDVI y NDWI son los índices que menores variaciones presentan en la comparación de los periodos de invierno y verano respecto a la presencia de vegetación, el autor señala que el NDVI y NDWI son índices sensibles a la absorción de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa siendo útil para los estudios de la fracción de la cobertura vegetal, lo cual permite determinar valores coherentes y representativos. En el caso del presente estudio con los índices utilizados se puede corroborar la sensibilidad de estos para el estudio de las características de vegetación y cobertura de suelo en general. los resultados sugieren también su potencial para estudio de cuerpos de agua. Existen otros índices de vegetación derivados de los sensores remotos que pueden ser explorados, por ejemplo Gonzaga (2016) recomienda que para la determinación del estado de coberturas vegetales otros índices de vegetación que han mostrado efectividad son ASVI, SARVI y SARVI 2 ya que tienen en cuenta las interferencias del fondo del suelo y las posibles perturbaciones atmosféricas además de ser más sensibles a los parámetros estructurales del dosel como el índice del área foliar y la morfología de las hojas sin embargo todos estos índices son considerados un complemento del NDVI.





UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY

## CONCLUSIONES

La metodología usada mediante los SIG y teledetección aplicadas al estudio de Morfometría y análisis de índices de vegetación permite determinar un avance para estudios que relacionen procesos ecológicos con variables geo-ambientales. Además, que proporcionan la facilidad de hacer estudios a escalas amplias, lo que es muy difícil alcanzar con estudios ecológicos de campo, que son más bien de carácter puntual.

En este estudio se analizó la Morfometría de 10 lagunas presentes en el Macizo del Cajas así como los índices de vegetación con relación a cada laguna y cuenca de aporte, la información de tipo espectral utilizada en este trabajo exploratorio, presenta un gran potencial para dar seguimiento a fenómenos ambientales, con posibilidad de cuantificar los cambios que se producen sobre la superficie terrestre, como son los cambios en la cobertura de suelo por situaciones naturales como la fenología, o cambios inducidos por actividades humanas.



UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C. G. (2015 ). *Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador* . Loja .
- Arenas, S. Haeger, J. Jordano, D. (2011). *Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre ("Pyrus bourgeana") en bosque esclerófilo mediterráneo*.
- Ana Caldas, R. V. (2017). *Caracterización SIG del uso de la tierra y geomorfología del Macizo del Cajas, Ecuador*. En M. Espinoza, *Memorias V Congreso REDU* (págs. 400 - 404). Cuenca.
- Cardenas, M. V. (2017). *Análisis morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el bosque y vegetación protectora Aguarongo (BVPA), influencia en el comportamiento hidrológico*. Cuenca.
- Cardona, B. L. (2012 ). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas* .
- Caldas, A. X. (2020). *Caracterización SIG del uso de la tierra y geomorfología del Macizo del Cajas* -. Cuenca.
- Christine J.B. Wallis, Detlev Paulsch, Jorg Zeilinger, Brenner Silva, Giulia F. Curatola Fernández, Roland Brandl, Nina Farwig & jorg Bendix . (2015 ). *Contrasting performance of lidar and opticas textura models in predicting avian diversity in a tropical mountain forest* . ELSEVIER.
- Cruz Flores, Curbelo Benítez, Ferrer Sánchez & Ávila . (2020 ). *Variaciones espaciales y temporales en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Cuba* .
- Ernesto Roldan Taborda, Julio Cesar Mesa & Germán Poveda. (2015 ). *Análisis de la variabilidad espacio-temporal del NDVI en Colombia y en la Cuenca Amazonica* . Medellín .
- ETAPA 2013. Programa: Manejo Integrado de cuencas para la Protección de Fuentes de Agua. MICPA 75.
- Félix Contreras, Elsie Ojeda & Silvina Contreras . (2014 ). *Aplicación de la línea de costa en el estudio morfométrico de las lagunas de las lomadas arenosas de corrientes, Argentina* .
- García, J. J. (2015 ). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión* . Madrid .
- Gonzaga, C. (2016). *Aplicacion de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador*. CEDAMAZ.
- Jian Li y David Roy . (2017 ). *Un análisis global de los intervalos de revisión de datos de Sentinel-2A, Sentinel-2B y Landsat-8 y sus implicaciones para el monitoreo terrestre*. Dakota del sur .
- Manrique, E. (1999). *Indice de vegetacion aplicacion del NDVI* . Albacete, España .

Miguel Angel Delpino Aguayo, Victor Miliciades Portillo Sosa . (2018 ). *Evaluación de Índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización de ambientes de humedales* .

Ministerio del Ambiente Ecuador. (23 de 07 de 2018). áreas protegidas.ambiente.gob. Obtenido del Parque Nacional “El Cajas”.

Ministerio del Ambiente Ecuador. (2017). áreas protegidas.ambiente.gob. Obtenido del Parque Nacional “El Cajas”.

Manrique, E. (1999). *Indice de vegetacion aplicacion del NDVI* . Albacete, España.

Peña, M. (2007 ). *Correcciones de una imagen satelital ASTER para estimar parámetros vegetacionales en la cuenca del río Mirta, Aisén*. Santiago .

Picón, Solano. (2019). *Caracterización SIG del uso de la tierra y geomorfología del Macizo del Cajas* -. Cuenca.

Uzcátegui, C., Solano, J. and Figueroa, P. 2016. *Perspectiva sobre la sostenibilidad de los recursos naturales a largo plazo caso industria camaronera ecuatoriana. Universidad Y Sociedad [Seriada En Línea] 8: 163–168.*

Vasco, Sebastián; Rodríguez, Santiago; Rodas, Fabián; Pesántez, Mónica; Cabrera, Silvio; Romero, Marcelo; Schubert, Andreas; Ochoa, Hugo; Ramos, Henry, Lazo, John y Vallejo Silvia (2012) *Área de Biosfera Macizo del Cajas. Ecuador.*