



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA BATIMETRÍA Y MORFOMETRÍA DE LOS
LAGOS PURUHANTA, EL VOLADERO Y EL SALADO DE LAS PROVINCIAS DE
IMBABURA Y CARCHI**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO/A EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTOR: MATEO ALEJANDRO CORAL BECERRA

**DIRECTOR/A:
ING. DELIA ELIZABETH VELARDE CRUZ MSC.**

2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004773402		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Coral Becerra Mateo Alejandro		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	mateo_alejandroc10@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062-959-249	TELÉFONO MÓVIL:	0982491667

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA BATIMETRÍA Y MORFOMETRÍA DE LOS LAGOS PURUHANTA, EL VOLADERO Y EL SALADO DE LAS PROVINCIAS DE IMBABURA Y CARCHI
AUTOR (ES):	Coral Becerra Mateo Alejandro
FECHA: DD/MM/AAAA	28/02/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	ING. ELIZABETH VELARDE MSC. ING. GABRIEL JÁCOME MSC. ING. TANIA OÑA MSC.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de febrero de 2024

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Mateo Alejandro Coral Becerra



CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, 07 de febrero de 2024.

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA BATIMETRÍA Y MORFOMETRÍA DE LOS LAGOS PURUHANTA, EL VOLADERO Y EL SALADO DE LAS PROVINCIAS DE IMBABURA Y CARCHI”**, de autoría del sr. CORAL BECERRA MATEO ALEJANDRO, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el autor ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

Ing. Elizabeth Velarde MSc.

DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

Ing. Tania Oña MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Gabriel Jácome MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
CAPÍTULO I.....	8
INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Antecedentes.....	8
1.2. Problema y justificación	9
1.3. Pregunta directriz.....	10
1.4. Objetivos.....	10
1.4.1. Objetivo general	10
1.4.2. Objetivos específicos.....	10
1.5. Hipótesis	10
CAPÍTULO II.....	12
REVISIÓN DE LITERATURA	12
2.1. Marco teórico referencial.....	12
2.1.1. Importancia de las cuencas hidrográficas.....	12
2.1.2. Morfometría de los cuerpos de agua	13
2.1.3. Batimetría y distribución espacial	15
2.1.4. Cotas de profundidad	17
2.1.5. Cubeta lacustre	17
2.1.6. Lagos altoandinos.....	18
2.1.7. Embalses someros	18
2.1.8. Características y calidad del agua de los lagos	19
2.1.9. Reservas ecológicas.....	20
2.1.10. Parques nacionales	21
2.2. Marco legal	22
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador	22
2.2.2. Código Orgánico del Ambiente.....	23
2.2.3. Convenios o Tratados	24
2.2.4. Plan de Creación de Oportunidades	24
CAPÍTULO III	25
METODOLOGÍA.....	25
3.1. Descripción de las áreas de estudio	25
3.1.1. Laguna de Puruhanta.....	25
3.1.2. Sistema lacustre El Voladero	27
3.1.3. Embalse somero El Salado.....	30
3.2. Métodos.....	32
3.2.1. Metodología para realizar el levantamiento batimétrico.....	32
3.2.2. Evaluación de parámetros morfométricos.....	34
3.2.3. Delimitación de las microcuencas hidrográficas.....	35
3.3. Materiales y equipos	36
3.4. Guía batimétrica para conservación y estudio de cubetas lacustres	37
CAPITULO IV	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Caracterización de las microcuencas hidrográficas y cubetas lacustres ..	38
4.1.1. Sistema lacustre El Voladero	38

4.1.2. Embalse somero El Salado.....	41
4.1.3. Laguna Puruhanta.....	44
4.1.4. Análisis de los parámetros morfométricos de las cubetas lacustres ..	47
4.2. Análisis batimétrico y funcionamiento de las cubetas lacustres	48
4.2.1. Mapa batimétrico del lago El Voladero	48
4.2.2. Análisis de la curva hipsométrica del lago El Voladero	49
4.2.3. Distribución espacial del agua por cotas de profundidad del lago El Voladero	50
4.2.4. Cortes de la cubeta lacustre El Voladero	52
4.2.5. Mapa batimétrico de El Salado	54
4.2.6. Análisis de la curva hipsométrica del embalse somero El Salado	55
4.2.7. Distribución espacial del agua por cotas de profundidad del embalse somero El Salado.....	56
4.2.8. Cortes de la cubeta lacustre El Salado	58
4.2.9. Mapa batimétrico Laguna Puruhanta	60
4.2.10. Análisis de la curva hipsométrica de la laguna Puruhanta	62
4.2.11. Distribución espacial del agua por cotas de profundidad de la laguna Puruhanta	62
4.2.12. Cortes de la cubeta lacustre Puruhanta.....	64
4.2.13. Análisis de sedimentos de las cubetas lacustres	66
4.3. Guía batimétrica.....	68
4.3.1. Descripción	68
4.3.2. ¿Qué es una batimetría?	68
4.3.3. Metodología	68
CAPÍTULO V.....	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. Conclusiones.....	89
5.2. Recomendaciones	90
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS.....	99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una cuenca hidrográfica.....	13
Figura 2. Corte transversal de la Laguna de Huarmicocha por cotas de profundidad	16
Figura 3. Esquema del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica.....	16
Figura 4. Mapa batimétrico del Lago Atitlán	17
Figura 5. Esquema del funcionamiento de un embalse tipo presa.....	19
Figura 6. Páramo de la reserva ecológica El Ángel.....	20
Figura 7. Parque nacional Cayambe-Coca	21
Figura 8. Laguna de Puruhanta.....	25
Figura 9. Ubicación de la Laguna de Puruhanta.....	26
Figura 10. Lago El Voladero.....	28
Figura 11. Ubicación del sistema lacustre El Voladero	29
Figura 12. Embalse somero El Salado.....	30
Figura 13. Ubicación del embalse somero El Salado	31
Figura 14. Representación gráfica del funcionamiento de una ecosonda.....	32
Figura 15. Representación gráfica del barrido del lago El Voladero	33
Figura 16. Microcuenca del Sistema Lacustre El Voladero.....	40
Figura 17. Ubicación de la microcuenca del Salado	43
Figura 18. Mapa de ubicación de la microcuenca de la laguna Puruhanta.....	46
Figura 19. Mapa batimétrico del lago El Voladero.....	49
Figura 20. Curva hipsométrica del lago El Voladero.....	50
Figura 21. Relación de profundidad (m) vs área de cotas (%) del lago El Voladero	50
Figura 22. Relación de profundidad (m) vs volumen de cotas (%) del lago El Voladero.....	51
Figura 23. Corte transversal del lago El Voladero	52
Figura 24. Corte longitudinal del lago El Voladero	53
Figura 25. Mapa batimétrico del Embalse Somero El Salado	54
Figura 26. Curva hipsométrica del embalse somero El Salado	55
Figura 27. Relación de profundidad (m) vs área de cotas (%) del embalse somero El Salado.....	56
Figura 28. Relación de profundidad (m) vs volumen de cotas (%) del embalse somero El Salado	58
Figura 29. Corte transversal del embalse somero El Salado	59
Figura 30. <i>Corte longitudinal del embalse somero El Salado</i>	60
Figura 31. Mapa batimétrico de la laguna de Puruhanta	61
Figura 32. Curva hipsométrica de la laguna Puruhanta.....	62
Figura 33. Relación de profundidad (m) vs área de cotas (%) de la laguna Puruhanta.....	63
Figura 34. Relación de profundidad (m) vs volumen de cotas (%) de la laguna Puruhanta.....	64
Figura 35. Corte transversal de la laguna Puruhanta	65
Figura 36. Corte longitudinal de la laguna Puruhanta	66
Figura 37. Cortes transversales del lago Voladero y embalse Salado.....	67
Figura 38. Descarga de datos de ubicación nacional, provincial y cantonal	69
Figura 39. Creación del shapefile	70
Figura 40. Shapefile del polígono.....	70
Figura 41. Creación del polígono del cuerpo de agua	71

Figura 42. Campos de área (Ha) y perímetro (km).....	71
Figura 43. Cálculo de valores de área y perímetro	72
Figura 44. Ejemplo de un estudio de caso: Mapa de ubicación del lago El Voladero	72
.....	72
Figura 45. Conexión del programa con el sistema de posición global	77
Figura 46. Configuración del rango de dimensionamiento	78
Figura 47. Selección del tamaño interno del mapa.....	78
Figura 48. Recorrido batimétrico de la cubeta lacustre	79
Figura 49. Almacenamiento de datos en documento Dr Depth.....	79
Figura 50. Conversión de doc Dr. Depth a formato .cvs	80
Figura 51. Recorrido vertical y horizontal de la cubeta (forma de cruz).....	81
Figura 52. Datos de Latitud (Y), Longitud (X) y Profundidad (Z)	82
Figura 53. El archivo se debe guardar en formato .cvs (delimitado por comas)	82
Figura 54. Shapefile de la cubeta lacustre	83
Figura 55. Creación de la clase de caracteres	83
Figura 56. Proyección de coordenadas GWS 1984 UTM Z_17_S.....	84
Figura 57. Interpolación de datos	85
Figura 58. Corte de raster con perfil de la cubeta.....	85
Figura 59. Cálculo de volumen.....	86
Figura 60. Generación de curvas de nivel	86
Figura 61. Generación del campo longitud	87
Figura 62. Cálculo de longitud de los polígonos	87
Figura 63. Aplicar la herramienta Smooth Line para suavizar las líneas	88
Figura 64. Mapa final de batimetría	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medición del multiparámetro	20
Tabla 2. Medición de los parámetros morfométricos	35
Tabla 3. Materiales y equipos utilizados para la investigación	36
Tabla 4. Parámetros morfométricos del sistema lacustre El Voladero.....	38
Tabla 5. Parámetros morfométricos del lago El Voladero	39
Tabla 6. Parámetros morfométricos de la microcuenca del embalse somero El Salado	41
Tabla 7. Parámetros morfométricos del embalse somero El Salado.....	41
Tabla 8. Parámetros morfométricos de la microcuenca hidrográfica Puruhanta	44
Tabla 9. Parámetros morfométricos de la Laguna Puruhanta	44
Tabla 10. Parámetros morfométricos del lago El Voladero, embalse somero El Salado y la laguna Puruhanta.....	47
Tabla 11. Equipos de laboratorio	73
Tabla 12. Herramientas de campo	76

RESUMEN

En la región norte de la sierra ecuatoriana hay lagos altoandinos como El Voladero ubicado en la reserva ecológica El Ángel, Embalse El Salado en el cantón Montúfar y la Laguna de Puruhanta en Pimampiro, que presentan importancia ecológica debido a los recursos ecosistémicos que brindan. La escasa información no permite conocer con certeza su estado de conservación y las características físicas. El objetivo de esta investigación fue determinar la morfometría a nivel de microcuenca hidrográfica y cubeta lacustre mediante la medición de 12 parámetros, y a través de los datos almacenados en el estudio batimétrico se obtuvieron los mapas de batimetría, la etapa de vida de los cuerpos de agua mediante el análisis de la curva hipsométrica y de depósitos de sedimentos usando los cortes de profundidad longitudinales y transversales; con el fin de entender el funcionamiento de las áreas en estudio y diseñar una guía batimétrica como estrategia de conservación. Se procesaron los datos y se obtuvo que la microcuenca hidrográfica del lago El Voladero es de forma oval redonda, el lago es somero con forma elipsoidal y poco profundo, la microcuenca hidrográfica y la cubeta lacustre del embalse somero El Salado son de forma oval oblonga con características de una presa para el cuerpo de agua, y la microcuenca de la laguna Puruhanta es oval oblonga y la laguna es profunda de forma rectangular oblonga. Los parámetros morfométricos y batimétricos concluyen que las formas de los cuerpos de agua varían de acuerdo con sus características físicas y que el volumen está relacionado directamente con la profundidad, con cotas desde 0,26 m hasta 67,60 m y volúmenes desde 0.118 hm³ hasta 82.363 hm³. Las curvas hipsométricas presentaron resultados de adultez para el Salado y la Puruhanta mientras que el Voladero se encuentra en etapa de transición entre juventud y adultez. De igual manera, el análisis de la sedimentación en las cubetas lacustres mostró que el mayor riesgo de eutrofización lo tiene El Salado debido a las actividades antropogénicas, después sigue El Voladero por sus características físicas y por último la Puruhanta que está catalogada como un cuerpo de agua prístino.

Palabras clave: parámetros morfométricos, batimetría, microcuenca hidrográfica, curva hipsométrica, cubetas lacustres.

ABSTRACT

In the northern region of the Ecuadorian highlands there are high Andean lakes such as El Voladero located in the El Ángel ecological reserve, El Salad reservoir in the Montúfar canton and the Laguna de Puruhanta in Pimampiro, which are of ecological importance due to the ecosystem resources they provide. The scarcity of information does not allow us to know with certainty its state of conservation and physical characteristics. The objective of this research was to determine the morphometry at the level of the micro-watershed and lake basin by measuring 12 parameters, and through the data stored in the bathymetric study, bathymetry charts were obtained, and the life stage of the water bodies was determined through the analysis of the hypsometric curve and sediment deposits using longitudinal and transverse depth sections. To understand the functioning of the areas under study to propose conservation strategies. The data were processed, and it was obtained that the hydrographic micro-basin of Lake El Voladero is round oval-shaped, the lake is shallow with an ellipsoidal shape and shallow, the hydrographic micro-basin and the lacustrine basin of the shallow reservoir El Salado are oblong oval in shape with characteristics of a dam for the body of water. and the micro-basin of the Puruhanta lagoon is oval, oblong, and the lagoon is deep, rectangular in shape, oblong. The morphometric and bathymetric parameters conclude that the shapes of water bodies vary according to their physical characteristics and that volume is directly related to depth, with heights from 0.26 m to 67.60 m and volumes from 0.118 hm³ to 82,363 hm³. The hypsometric curves showed adult results for the Salado and the Puruhanta while the Voladero is in the transition stage between youth and adulthood. Similarly, the analysis of sedimentation in the lake basins showed that the greatest risk of eutrophication is El Salado due to anthropogenic activities, followed by El Voladero due to its physical characteristics and finally Puruhanta which is classified as a pristine body of water.

Key words: morphometric parameters, bathymetry, micro-watershed, hypsometric curve, lake basins.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallan los antecedentes, la problemática, justificación de la investigación y los objetivos de esta. También se presenta la pregunta directriz utilizada como eje de investigación y la hipótesis planteada.

1.1. Antecedentes

El desarrollo de la sociedad y el aumento global demográfico han sido factores determinantes en el surgimiento de problemas ecológicos y afectación de los ecosistemas acuáticos de agua dulce en las últimas décadas a escala global, siendo afectados todo tipo de cuerpos lacustres, tales como los lagos y lagunas (Pichs, 2004). Estos a su vez actúan como el destino final de desechos sólidos, líquidos y peligrosos provenientes de las actividades antropogénicas, siendo así que, las acciones humanas se han convertido en una problemática ambiental, causante de la aceleración de los procesos de eutrofización y deterioro de la calidad de agua del recurso hídrico (Ortíz, 2015).

Revelo (2017) menciona que, en el Ecuador el recurso hídrico posee una gran importancia a nivel social, cultural, energético y económico. Sus servicios son evidentes, tales como: fuente de agua potable, agua para riego, generación de energía hidroeléctrica, entre otros; pero la alteración de las fuentes y cuerpos de almacenamiento generan contaminación y desequilibrio de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua (Ruiz & Cuarán, 2019). Además, los escasos estudios limnológicos realizados en zonas tropicales limitan el conocimiento acerca de los lagos andinos y de las cuencas hidrográficas (Swenson & Wahr, 2009).

A nivel nacional, se han realizado estudios morfométricos y batimétricos para determinar la morfología de los cuerpos de agua y la relación que existe entre las cotas de profundidad y la distribución de comunidades planctónicas (Martínez & Villalejo, 2018). Así como también la determinación de zonas de variación térmica y la distribución de sedimentos (Casallas & Gunkel, 2001).

En las provincias de Imbabura y Carchi existen una gran variedad de lagos y lagunas (Portilla, 2017), de entre los cuales las cubetas lacustres laguna de Puruhanta,

Sistema Lacustre El Voladero y Embalse El Salado destacan debido a su importancia ecológica y a los servicios ecosistémicos que brindan. De estas, el acceso y conocimiento científico es limitado, puesto que solo se han realizado estudios enfocados principalmente al sector turístico y al aprovechamiento económico de sus recursos, como es el caso de la laguna El Voladero y El Salado (Chulde, 2020; Atencio, 2017), donde se desconocen sus niveles de eutrofización. En el caso de la laguna Puruhanta difiere debido a que sus características de conservación son prístinas, es decir, es un cuerpo de agua virgen, esto como resultado de la dificultad que existe hasta la fecha para poder ingresar a la laguna (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]a, 2020).

Desde el año 2013, la Universidad Técnica del Norte viene ejecutando el proyecto Manejo sustentable de lagos del norte del Ecuador y el cambio climático con asesoría y financiamiento del VLIR-UOS de Bélgica. Las investigaciones se llevan a cabo en el laboratorio LABINAM, el cual cuenta con instalaciones para el análisis de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos de los ecosistemas lacustres, así como la generación de información a partir del estudio morfométrico y batimétrico de acuerdo con las normas internacionales sobre la evaluación de la calidad ecológica del agua.

1.2. Problema y justificación

En las últimas décadas el desarrollo industrial, agrícola, pecuario y el surgimiento de grandes poblaciones, alertaron sobre la necesidad de aprovechar de manera eficiente el recurso hídrico (Echeverría, 2006). El incremento del uso y aprovechamiento del agua obligó a tener mayor conocimiento acerca del comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas, para así gestionarlas de manera integral (Dourojeanni et al., 2002). Según Calla (2019), la presencia humana y las actividades antropogénicas afectaron de manera considerable a todo tipo de cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas, arroyos, etc., generando un gran deterioro en lo que respecta a la calidad del agua.

La principal amenaza que existe para los cuerpos lacustres en estudio se relaciona a la afectación a mediano-largo plazo de sus recursos (Cuellar & Gutiérrez, 2010), enfocados principalmente en actividades turísticas y de contacto primario a pesar de encontrarse en áreas protegidas tales como la Reserva Ecológica El Ángel donde se encuentra El Voladero, la laguna Puruhanta situada en el Parque Nacional Cayambe-Coca, y El Salado que no cuenta con una gestión adecuada.

El análisis de los parámetros morfométricos y batimétricos aporta en la caracterización de los rasgos principales de los cuerpos de agua de manera cuantitativa (Morales et al., 2018). Por lo tanto, al no existir investigaciones actuales, la ejecución del proyecto servirá como guía para el establecimiento de estrategias de control, la planificación a futuro de las actividades que se realizan en los lagos y el manejo de los cuerpos hídricos en zonas altoandinas del Ecuador, así como también para utilizar la información generada en posteriores investigaciones realizadas por el equipo de investigadores de la Universidad Técnica del Norte con el apoyo de VLIR-UOS.

1.3. Pregunta directriz

¿Cómo el análisis de los parámetros morfométricos y batimetría permite relacionar el funcionamiento de las cubetas lacustres en Imbabura y Carchi?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar los parámetros morfométricos y batimetría de los lagos Puruhanta, El Voladero y El Salado de las provincias de Imbabura y Carchi.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las principales variables morfométricas y batimetría de tres lagos altoandinos tropicales.
- Analizar la relación de las variables morfométricas de volumen y funcionamiento de los lagos en estudio.
- Diseñar una guía batimétrica como una estrategia de conservación de las cubetas lacustres de los tres lagos altoandinos tropicales.

1.5. Hipótesis

- **Hipótesis nula:** no existen diferencias significativas entre las variables morfométricas y volumétricas en las cuencas hidrográficas de Puruhanta, El Voladero y El Salado.

- **Hipótesis alternativa:** existen diferencias significativas entre las variables morfométricas y volumétricas en las cuencas hidrográficas de Puruhanta, El Voladero y El Salado.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

En el presente apartado se presenta la información teórica referencial para la ejecución del proyecto y su entendimiento referente a las cubetas lacustres en zonas altoandinas, las características morfológicas (parámetros morfométricos) y la realización del estudio batimétrico.

2.1. Marco teórico referencial

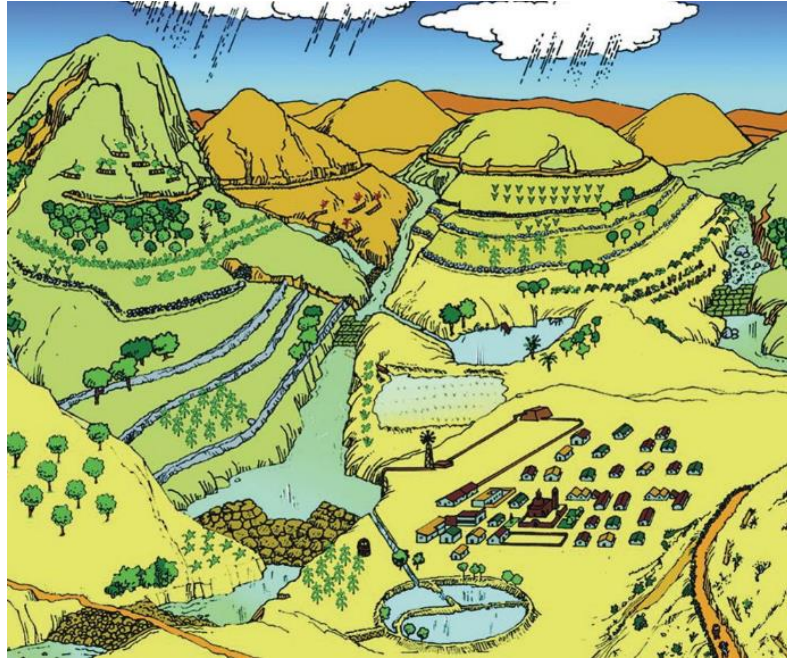
2.1.1. *Importancia de las cuencas hidrográficas*

La planificación de los recursos hídricos toma cada vez más importancia y relevancia, debido a su escasez en cantidad, calidad y oportunidad esto se evidencia principalmente en los últimos años debido al cambio climático y el estrés hídrico que se va presentando a nivel mundial, el cual tiene repercusiones a nivel ambiental ya que la calidad del agua se deteriora, y también existe la afectación a la salud de las personas en el uso del recurso hídrico para actividades básicas (Seguí-Amorteguí et al., 2016).

Ante dicha situación surge la necesidad de efectuar una evaluación de los recursos hídricos superficiales presentes, la cual nos permita cuantificar la disponibilidad hídrica en las cuencas hidrográficas y en las cubetas lacustres, esta información es utilizada como base para la toma de decisiones por parte de las autoridades desde un punto de vista socioeconómico e hidrológico (Ortiz, 2016). Por esta razón, una cuenca hidrográfica, esquematizada en la Figura 1, se define como la una unidad morfológica integral (tomando en cuenta la parte alta, media, baja, la zona de transición y la costera), y que se encuentra en un territorio donde las aguas superficiales convergen hacia un cauce o unidad natural delimitada por la existencia de la divisoria de aguas, las cuales fluyen al mar a través de una red de causas principales interrelacionados con las actividades antropogénicas (Ospina & Mancipe, 2016).

Figura 1.

Esquema de una cuenca hidrográfica



Fuente. Figura obtenida de PRIGA-UNA (2020) donde se muestra el flujo de los sistemas de agua dentro de una cuenca hidrográfica.

2.1.2. Morfometría de los cuerpos de agua

El estudio morfométrico se define como el análisis cuantitativo de las particularidades físicas de una cuenca hidrográfica, el cual se utiliza para observar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. Dentro de este contexto, es importante señalar que las mediciones deben ser realizadas sobre un mapa con suficiente información hidrográfica y topográfica (Ramos, 2016). Conocer la morfometría de una cuenca hidrográfica resulta de gran utilidad en el momento de determinar la semejanza de los flujos de diferentes volúmenes (Montoya, 2008).

Wetzel (2001) argumenta que los parámetros morfométricos que se pueden detallar a partir de un mapa batimétrico son nueve principales, que se describen de la siguiente manera:

- **Longitud Máxima (l):** distancia entre los dos puntos más distantes de las orillas del lago.

- **Anchura o Ancho Máximo (b):** distancia máxima entre las orillas del lago en un ángulo recto respecto a la longitud. Se entiende como el área dividida por la longitud máxima.

$$b = \frac{A}{l} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

A = el área superficial del cuerpo de agua

l = la longitud máxima

- **Área (A):** área de la superficie total del lago.
- **Volumen (V):** integración de las áreas de los estratos desde la superficie hasta la profundidad máxima del lago.

$$V = \frac{\varphi}{3} (A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2}) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

φ = la profundidad del lago

A1 = el área de la superficie superior

A2 = el área de la superficie inferior

- **Profundidad Máxima (Zm):** punto más profundo del lago.
- **Profundidad Media (Z):** volumen total dividido para la superficie.

$$Z = \frac{V}{A} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

V = el volumen total del lago

A = el área de la superficie

- **Profundidad Relativa (Zr):** relación entre la profundidad máxima y la mitad del diámetro del lago, expresado en un valor porcentual. Los lagos poco profundos por lo general tienen un valor < 2%.

$$Zr = \frac{50 Z_m \sqrt{\pi}}{\sqrt{A_0}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

Z_m = la profundidad relativa

A_0 = el área del lago

- **Línea Costera (L):** intersección del agua con la tierra tomando en cuenta factores de precipitación y descargas hídricas.
- **Desarrollo De La Línea Costera (DL):** proporción de la longitud de la línea costera en relación con la circunferencia del área del lago. Este parámetro refleja el desarrollo potencial de las comunidades litorales en proporción al volumen de la cubeta lacustre o cuerpo de agua.

$$D_L = \frac{L}{2\sqrt{\pi A_0}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

L = la línea costera

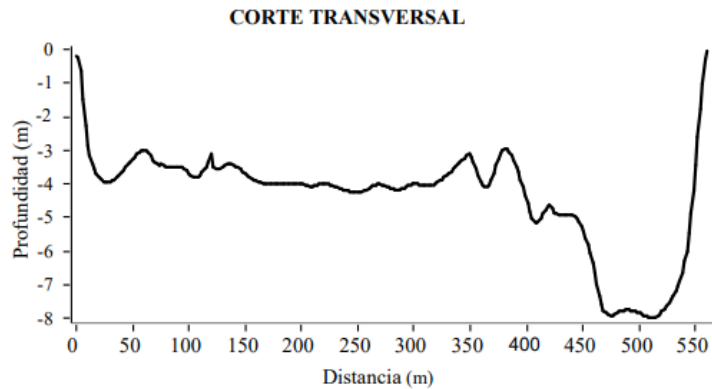
A_0 = el área del lago

2.1.3. *Batimetría y distribución espacial*

El estudio batimétrico está relacionado a la obtención cuantitativa de valores respecto al volumen y las cotas de profundidad registradas en una cubeta lacustre ya sea de origen fluvial, lacustre, marino, fluvial o artificial (Maynaguez & Tumbaco, 2019), y que sirve para conocer el perfil de un cuerpo de agua por debajo de la superficie tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2.

Corte transversal de la Laguna de Huarmicocha por cotas de profundidad

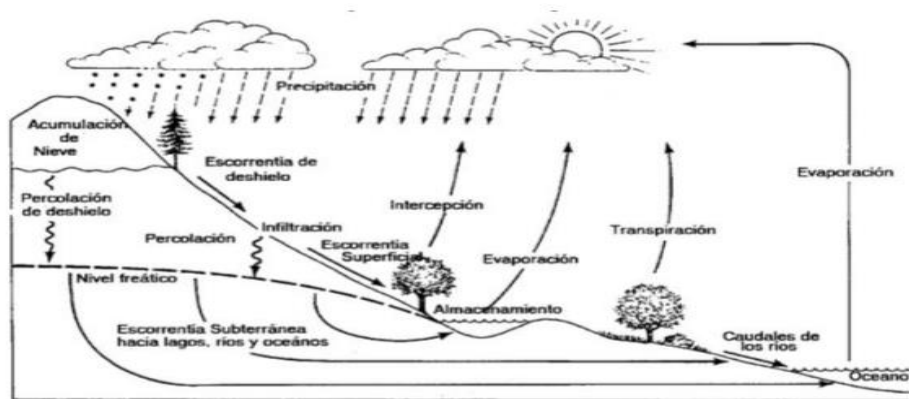


Fuente. Figura obtenida de Maynaguez & Tumbaco (2019) donde se muestra el recorrido de la profundidad de la cubeta lacustre en relación con la distancia que recorre.

La batimetría se considera como un levantamiento topográfico que puede estar influenciada por factores como el ciclo del agua (evaporación, precipitación, escorrentía, infiltración y evapotranspiración), como se muestra en la figura 3, y que da a conocer las características bajo la superficie de los cuerpos de agua (Mandonx, 2014). Su importancia radica en la influencia que los factores geológicos, climatológicos y antropogénicos tienen respecto a los procesos físicos, químicos y biológicos dentro del agua (Alcocer et al., 2016).

Figura 3.

Esquema del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica



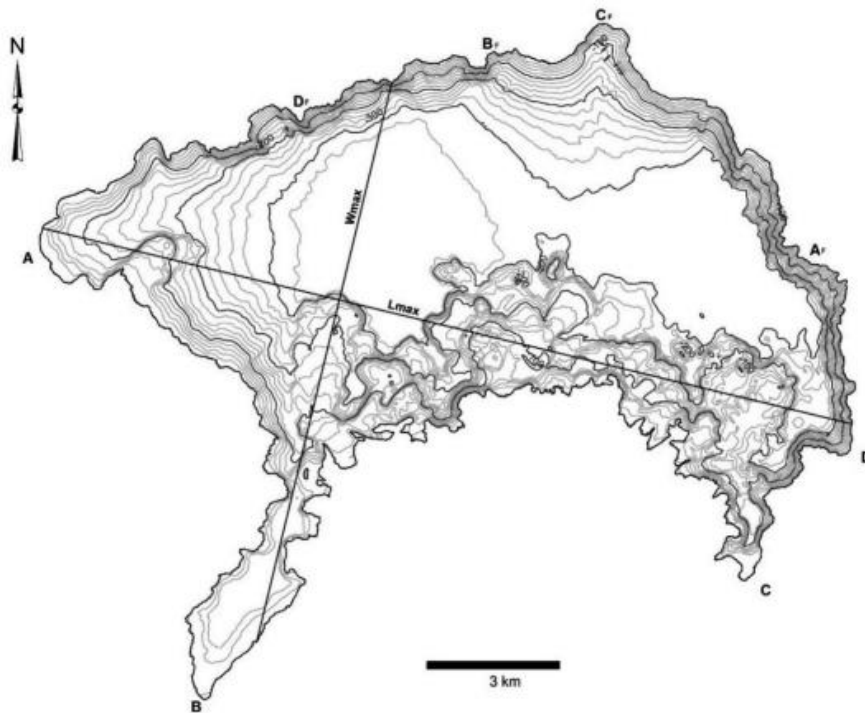
Fuente. Figura obtenida de Villodas (2008) donde se esquematiza el funcionamiento del ciclo del agua a través de los procesos biogeoquímicos.

2.1.4. Cotas de profundidad

La caracterización morfométrica permite conocer las profundidades y el relieve del lago a partir de un mapa batimétrico, Morales et al. (2018) argumentan en su investigación en el lago Atitlán de Guatemala que la forma, el área y el volumen asociados con las cotas de profundidad de una cubeta lacustre tienen un efecto en la temperatura, balance térmico y estratificación en las columnas de agua (Figura 4).

Figura 4.

Mapa batimétrico del Lago Atitlán



Fuente. Figura obtenida de Morales et al. (2018) donde se muestra el corte transversal y longitudinal entre los puntos más distantes del lago Atitlán en México.

2.1.5. Cubeta lacustre

Un lago es un cuerpo de agua que forma parte de la superficie terrestre el cual que surge a partir de los escurrimientos de la lluvia y filtraciones del agua subterránea, acumulándose en un espacio determinado (Chang, 2005). Estos ecosistemas en la actualidad son afectados debido al ingreso de varias fuentes, tales como: sedimentos, minerales, nutrientes y materia orgánica provenientes de la cuenca hidrográfica (López & Madroño, 2015). Ruíz & Cuarán (2019), en su estudio del San Pablo ubicado en el

cantón Otavalo muestran la importancia ecológica y de conservación que poseen debido a su posición geográfica, catalogado como un lago altoandino (Gunkel, 2003). De igual manera, los autores manifiestan que el análisis de estos ecosistemas cuantifica las alteraciones producidas en la calidad del agua por parte de las actividades antrópicas cercanas al lago, modificando así las condiciones ambientales del mismo y por consecuencia el desarrollo social, económico y cultural de la localidad (Pazmiño, 2016).

2.1.6. Lagos altoandinos

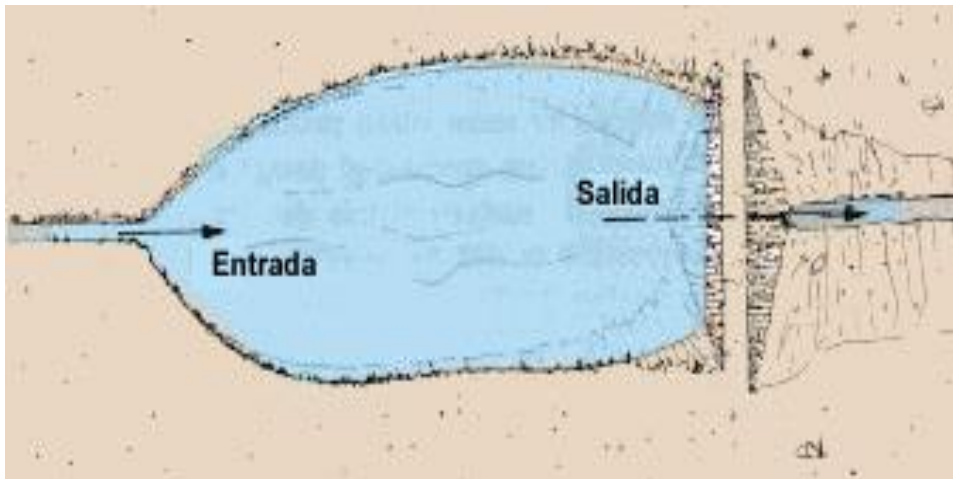
Un lago altoandino o tropical de montaña es un cuerpo de agua que se encuentra ubicado en zonas que presentan pocas variaciones de temperatura al año, se sitúan en pisos térmicos de acuerdo con la altura de entre 2000 y 4000 msnm (Casallas y Gunkel, 2001; Cabrera, 2017). Estos son considerados por la Convención de Ramsar & Grupo de Contacto EHAA (2008) como ecosistemas de gran fragilidad a causa de del cambio climático, sequías y actividades antropogénicas. Maynaguez & Tumbaco (2019) en su investigación sobre las estrategias de control y conservación de la laguna Huarmicocha, muestran que los humedales de alta montaña otorgan bienes ecosistémicos tales como la regulación hídrica de las cuencas hidrográficas y servicios. Sin embargo, estos ecosistemas no son gestionados adecuadamente por parte de las autoridades, por lo que se están convirtiendo en ambientes expuestos al uso desmedido del aprovechamiento de agua para uso agrícola, extensión de la frontera agraria, los incendios forestales y contaminación al recurso hídrico, lo cual ha ocasionado la disminución y desaparición de sistemas acuáticos altoandinos (Botero, 2015; Cabrera, 2017).

2.1.7. Embalses someros

Los reservorios de agua someros o poco profundos son sistemas lacustres artificiales de almacenamiento de agua, tal como se muestra el esquema en la Figura 5. Mustapha (2009) menciona que estos cuerpos de agua son aptos para el desarrollo de comunidades zooplantónicas, así como factores de calidad de agua, nutrientes, fitoplancton y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. De igual manera, estos cuerpos poseen dos ciclos térmicos, el primero corresponde a una homogeneidad de temperatura en todo el cuerpo y el segundo en el que la temperatura se divide por zonas; además la mayor acumulación de volumen se encuentra en la zona de la salida del agua (Espinel, 2018).

Figura 5.

Esquema del funcionamiento de un embalse tipo presa



Fuente. Figura obtenida de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO] donde se muestra un embalse de agua común.

2.1.8. Características y calidad del agua de los lagos

Para caracterizar, analizar y estudiar un sistema lacustre siempre debe existir un punto de partida el cual según Montoya (2008), es la caracterización morfométrica del cuerpo de agua, de tal manera que se pueda determinar puntos de muestreo y generar información base sobre el funcionamiento del sistema acuático teniendo en cuenta las áreas de interfase agua-aire y agua-sedimento.

Además, es esencial determinar la calidad del agua mediante los parámetros fisicoquímicos (Tabla 1), los cuales son: conductividad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, temperatura, potencial de hidrógeno (pH) y turbidez (American Public Health Association [APHA], 2012). La contaminación existente se cataloga en niveles de eutrofización, refiriéndose al aporte en exceso de nutrientes inorgánicos procedentes de las actividades antropogénicas, y a su vez esto provoca la proliferación descontrolada de algas fitoplanctónicas y genera efectos adversos en las masas de agua afectadas de los ecosistemas acuáticos (Jaramillo, 2013).

Tabla 1.

Medición del multiparámetro

Parámetro	Simbología	Unidad
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L
Potencial Hidrógeno	pH	H ₃ O ⁺
Conductividad	S	μS/cm

Nota. Las mediciones del multiparámetro sirven para medir componentes fisicoquímicos de una muestra de agua.

2.1.9. Reservas ecológicas

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador posee 8 categorías de manejo para regular y controlar las áreas en el territorio nacional, el sistema lacustre El Voladero (Figura 6) se encuentra en la Reserva Ecológica El Ángel, pertenece a un área natural poco intervenida con recursos naturales vitales a escala nacional (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2015b). El objetivo de estos espacios es el de conservar la diversidad ecológica y hacer uso de la regulación ambiental para la investigación científica, así como incentivar el campo de la educación ambiental.

Figura 6.

Páramo de la reserva ecológica El Ángel



2.1.10. Parques nacionales

La laguna Puruhanta forma parte del Parque Nacional Cayambe-Coca perteneciente a las 8 categorías de manejo a nivel nacional, el objeto de estas áreas protegidas es el de la conservación total de sus paisajes, ecosistemas, flora y fauna. (Gobierno Autónomo Descentralizado de Pimampiro [GAD Pimampiro], 2023). De igual manera, las actividades prioritarias se enfocan en la investigación y monitoreo, así como el turismo sostenible en el aporte de la conservación de los recursos naturales del área constituyente (Figura 7).

Figura 7.

Parque nacional Cayambe-Coca



Nota. Figura obtenida del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2020.

2.1.11. Conservación de las cubetas lacustres

La gestión adecuada de los cuerpos de agua como lagos y lagunas se enfoca en el manejo integral a través de la responsabilidad ambiental y la toma de decisiones adecuadas por parte de los entes públicos administrativos, generando soluciones a los problemas presentes (Global Water Partnership [GWP], 2009).

Las cubetas lacustres en estudio al pertenecer al sistema nacional de áreas protegidas (El Voladero y Puruhanta) tienen un enfoque a la conservación de los recursos, por lo tanto, es imprescindible generar estrategias de manejo adecuadas para su preservación. En El Salado se puede evidenciar con claridad que, al no estar dentro de un área protegida y al no presentar un manejo adecuado, el sistema del embalse artificial está siendo afectado directamente por actividades antropogénicas, en donde se debe realizar

una investigación de limnología para implementar un plan de manejo ambiental para dicha zona. Según la UNESCO (2021) conservar las cubetas lacustres permitirá disminuir los conflictos sociales, económicos y ambientales provocado por la falta de abastecimiento y disponibilidad de agua.

2.2. Marco legal

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador

El estudio se fundamenta en los artículos de la Constitución Política del Ecuador (2008), donde se establece los derechos de los ciudadanos y respeto del medio ambiente. Allí se menciona que los recursos hídricos serán regulados por el estado en donde se debe controlar, reservar y expropiar áreas hídricas para su conservación y la conservación de áreas hídricas, que son uno de los recursos naturales más importantes para su conservación, mencionado en los artículos 14, 15, 30, 71, 74 y 376.

El artículo 14 habla sobre la garantía que tienen las personas pertenecientes a un territorio sano, que se encuentre en equilibrio de su ecología, y también el cual pueda ofrecer una sostenibilidad a la sociedad, tomando en cuenta el *sumak kawsay* mejor conocido como el buen vivir.

En el artículo 15 se menciona que el Estado ecuatoriano debe incluir en los sectores económicos tecnologías más limpias y también tener en cuenta que los recursos brindados a la sociedad no serán afectados mediante la utilización de energías renovables en el país.

Por otro lado, el artículo 30 tiene un enfoque humano ambiental, en el cual trata sobre el derecho de las personas a un medio ambiente óptimo y también saludable, independientemente de la situación social en la que se encuentren.

También se acoge el artículo 71, tomando como eje principal a la naturaleza conocida como Pacha Mama y el respeto que se debe ofrecerle para que su conservación sea adecuada, enfocándose en la reintegración de sus bienes ecosistémicos a sus ciclos respectivos.

De igual manera, en el artículo 74 se toma en cuenta el derecho de cualquier persona que corresponda al territorio nacional de Ecuador a tener un beneficio proactivo del medio ambiente tomando en cuenta el *sumak kawsay* para dichas actividades que se pueden ejercer.

Por último, el artículo 376 que se encamina al derecho de las personas a vivir en un lugar seguro, a estar en un ambiente conservado, con énfasis en el aprovechamiento de los recursos naturales renovables y no renovable de parte de autoridades gubernamentales de manera armónica, evitando cualquier tipo de beneficio ajeno al fin de Estado ecuatoriano.

2.2.2. Código Orgánico del Ambiente

En el Código Orgánico Ambiental (2017) se considera que la conservación y uso sostenible de los recursos hídricos se basa en los aspectos sociales, económicos y ambientales, donde se garantiza que la conservación de las fuentes hídricas mencionado en los artículos 29, 37 y 40.

En el artículo 29 se menciona acerca de la conservación y regulación de la biodiversidad, así como su aprovechamiento adecuado y también a la evaluación de los bienes ecosistémicos y servicios ambientales de acuerdo con el uso y valor que se les pueda otorgar.

El artículo 37 nos habla de las áreas protegidas y el SNAP (Sistema Nacional De Áreas Protegidas de Ecuador) ya que un área de estudio pertenece a un bosque natural y otra área a una reserva ecológica. En este se trata acerca de toda la esquematización y el procedimiento para declarar un área protegida, así mismo como el tipo de área al cual pertenece dependiendo de su objetivo, sea de manejo sostenible, conservación e investigación, enfatizando en ecosistemas terrestres, marinos y costeros.

Por último, el artículo 40 el cual se enfoca en las competencias que ejerce la Autoridad Ambiental Nacional (AAN) en tema de áreas protegidas, con el fin de que estas áreas aporten al sistema nacional a través de los recursos ecosistémicos.

2.2.3. *Convenios o Tratados*

- **Convenio de Ramsar.**

El Convenio Relativo a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas el cual tiene como objetivo principal la conservación y el uso racional de los humedales (Convención de Ramsar, 2014). A través de este acuerdo, los países se comprometen a designar sitios de conservación, dar uso racional a los humedales y cooperar en materia de humedales. Además, los humedales actúan como esponjas de agua, es decir, amortiguadores de la naturaleza y son esenciales para el desarrollo de la biodiversidad. De igual manera su presencia brinda servicios a la humanidad, tales como: abastecimiento de agua para uso, consumo y producción de alimentos esenciales en la dieta diaria.

2.2.4. *Plan de Creación de Oportunidades*

El presente estudio aportará con el Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 en el objetivo 11: Conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales y 13: Promover la gestión integral de los recursos hídricos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En el siguiente apartado se presentan los materiales y equipos utilizados para la ejecución de la investigación, el sistema para la obtención de los datos a partir de las salidas de campo y los métodos para el procesamiento de los resultados obtenidos en la investigación.

3.1. Descripción de las áreas de estudio

Las áreas de estudio fueron seleccionadas en las provincias de Imbabura y Carchi, en caso de Imbabura, fue la laguna de Puruhanta y en Carchi, las lagunas del Voladero y el Salado.

3.1.1. Laguna de Puruhanta

La laguna de Puruhanta se encuentra dentro del parque nacional Cayambe-Coca, entre las parroquias de San Francisco de Sigsipamba y Mariano Acosta del cantón Pimampiro dentro de la provincia de Imbabura, como se muestra en la figura 9. Esta cubeta lacustre (Figura 8) se caracteriza por poseer un paisaje muy llamativo y de gran variedad de flora y fauna de interés socioeconómico, turístico y medio ambiental (Peñaherrera, 2014). Se encuentra rodeada de montañas y colinas, con relieve montañoso, plano y en los alrededores existentes varios riachuelos que alimentan la laguna.

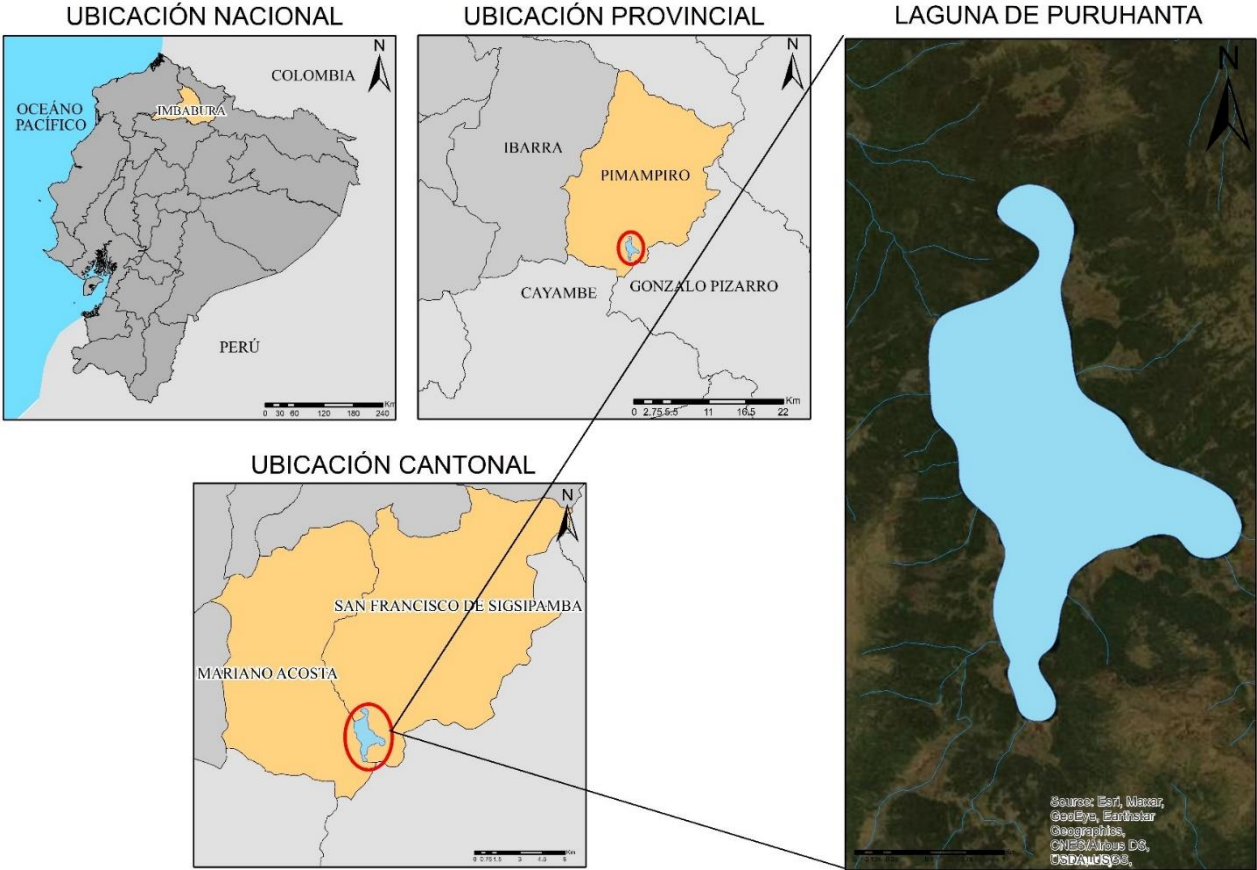
Figura 8.

Laguna de Puruhanta



Figura 9.

Ubicación de la Laguna de Puruhanta



Este cuerpo de agua es de origen glaciar, es decir, que surge como consecuencia de la erosión ocasionada por un ventisquero, tiene clima frío propio de la cordillera oriental, con temperaturas de 7 a 20°C. Se encuentra ubicada a 3469 m.s.n.m. (Sánchez & Velasco, 2015). Posee una gran diversidad de especies predominantes de la zona, tales como hierbas (*Calamagrostis spp.*), la violeta de campo o echol (*Gaiadendrum punctatum*) y la piñuela (*Puya hamata*). Además, dentro del área se encuentran algunas especies endémicas de la zona, donde se destacan el venado (*Odocoileus virginianus*), la guatusa (*Dasyprocta fuliginosa*), el oso de anteojos (*Tremarectus ornatus*), entre otras (Peñaherrera, 2014).

3.1.2. Sistema lacustre El Voladero

El sistema lacustre El Voladero (Figura 11) se encuentra dentro de la Reserva Ecológica El Ángel, la cual ocupa territorio en los cantones de Espejo (parroquias La Libertad y El Ángel), Tulcán (parroquias Maldonado y Tufiño) y Mira (parroquia La Concepción). La cubeta lacustre Voladero está ubicada en el cantón de Tulcán en Carchi.

El páramo de la Reserva Ecológica El Ángel está cubierto por montañas en donde habitan una serie de especies florísticas singulares del tipo herbáceas, arbustivas y arbóreas, de entre las cuales destaca el frailejón, el cual se encarga de la captación y regulación hídrica (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]c, 2015). Este ecosistema es húmedo y tiene cubetas lacustres que dotan de servicios ecosistémicos a la reserva, la cual se encarga de abastecer el recurso hídrico a casi la totalidad de la provincia del Carchi.

La reserva ecológica proviene de dos principales formaciones litológicas, que son los depósitos volcánicos y los depósitos glaciares, la cubeta lacustre El Voladero es de origen glaciar (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]d, 2015). El clima está clasificado como Clima Ecuatorial Frío de Altamontaña, la temperatura media anual es de 11,8 °C y su precipitación media anual varía entre los 2000 a 3000 mm (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. El rango altitudinal se encuentre desde los 3400 hasta 4200 m.s.n.m.

La cobertura vegetal está compuesta por arbustos y frailejones, y el género *Espeletia* es el que lo representa, específicamente la especie *Espeletia pycnophylla* conocida generalmente como frailejón de páramo, así como una subespecie de esta catalogada como endémica del Ecuador conocida como *Espeletia pycnophylla subsp. angelensis*. Además, existe la presencia de *Calamagrostis spp.* debido a su gran densidad. Además, en la reserva ecológica se encuentra una diversidad de especies pertenecientes a mamíferos, peces, herpetofauna y avifauna. En general, la especie con mayor relevancia es *Mazama rufina* conocida comúnmente como venado y esto se debe a la cacería ilícita que existe dentro de la zona (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]d, 2015).

Lago El Voladero, la cubeta lacustre (Figura 10) surge de la formación de glaciales durante el pleistoceno, ocupando una extensión de 17 hectáreas, la temperatura media es de 10°C, el color del cuerpo lacustre es transparente y el paisaje que se observa es propio del páramo con planicies y pequeñas ondulaciones, además existe una gran variedad de flora y fauna típica del lugar (Atencio, 2017).

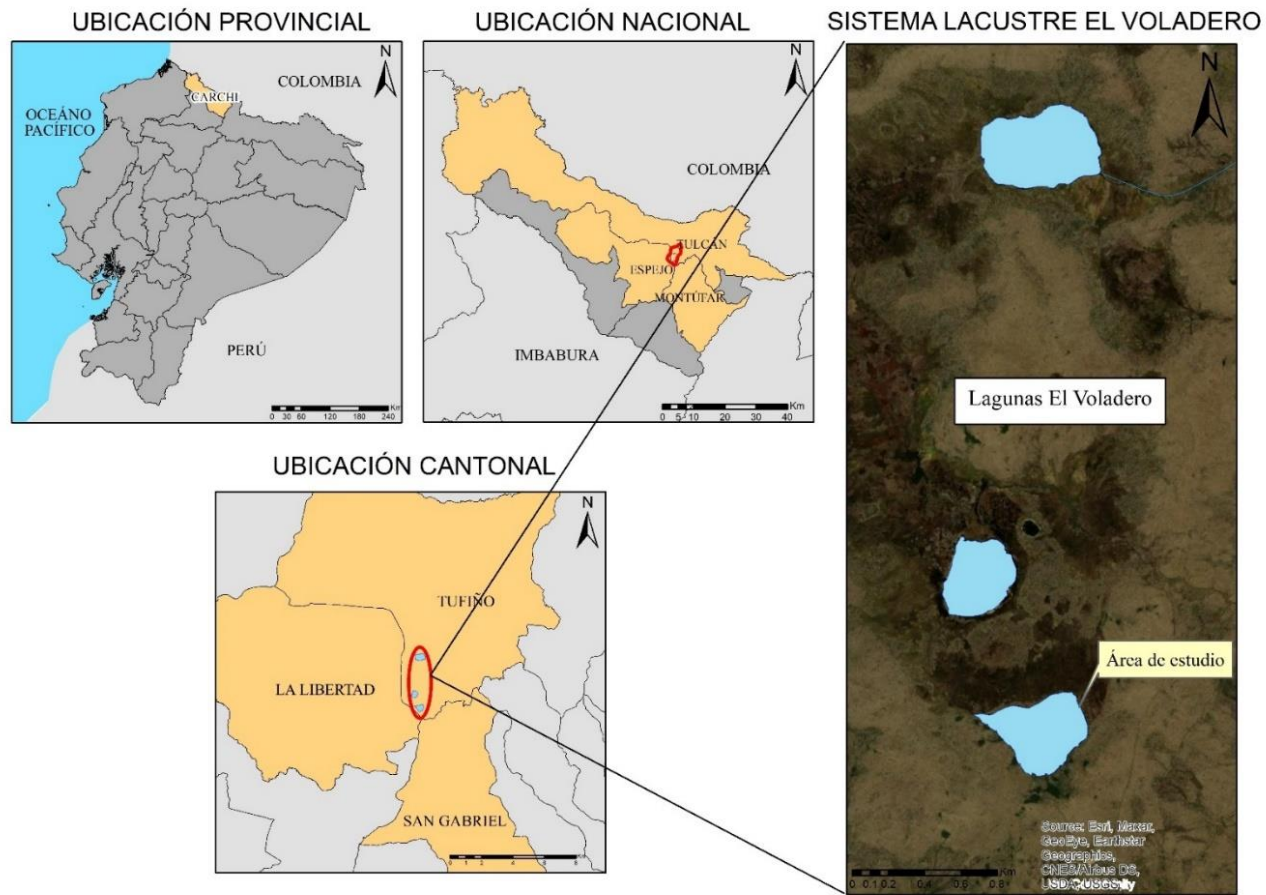
Figura 10.

Lago El Voladero



Figura 11.

Ubicación del sistema lacustre El Voladero



3.1.3. Embalse somero El Salado

El embalse somero El Salado es un cuerpo lacustre artificial catalogado como un embalse somero que está ubicado en la ciudad de San Gabriel, cantón Montúfar, provincia del Carchi (Figura 13); actualmente cuenta con una amplia variedad de fauna, especialmente de aves, y a sus alrededores se encuentran amplias colinas con extensos cultivos y el agua de la laguna presenta eutroficación con características físicas de turbiedad por consecuencia del arrastre de sedimentos y lixiviados de cultivos que se encuentran alrededor del cuerpo de agua (Chulde, 2020).

El origen de la laguna (Figura 12) es totalmente artificial y con el pasar de los años, ha ido adquiriendo características de un ecosistema tipo laguna. Su temperatura media anual está estimada en los 12 °C y su precipitación media anual varía entre los 1700 a 2000 mm y se encuentra ubicada a 2800 m.s.n.m (Valencia & Borja, 2017).

Dentro de las especies florísticas se pueden apreciar los pinos (*Pinus spp.*), junquillos (*Narcissus jonquilla*), totoras (*Schoenoplectus californicus*), cartuchos (*Zantedeschia aethiopica*), entre otros (Valencia & Borja, 2017). Chulde (2020) menciona que las especies con mayor abundancia son las aves, de las cuales destacan los patos (*Anatidae spp.*), gallaretas (*Fulica spp.*) y las garzas (*Ardeidae spp.*)

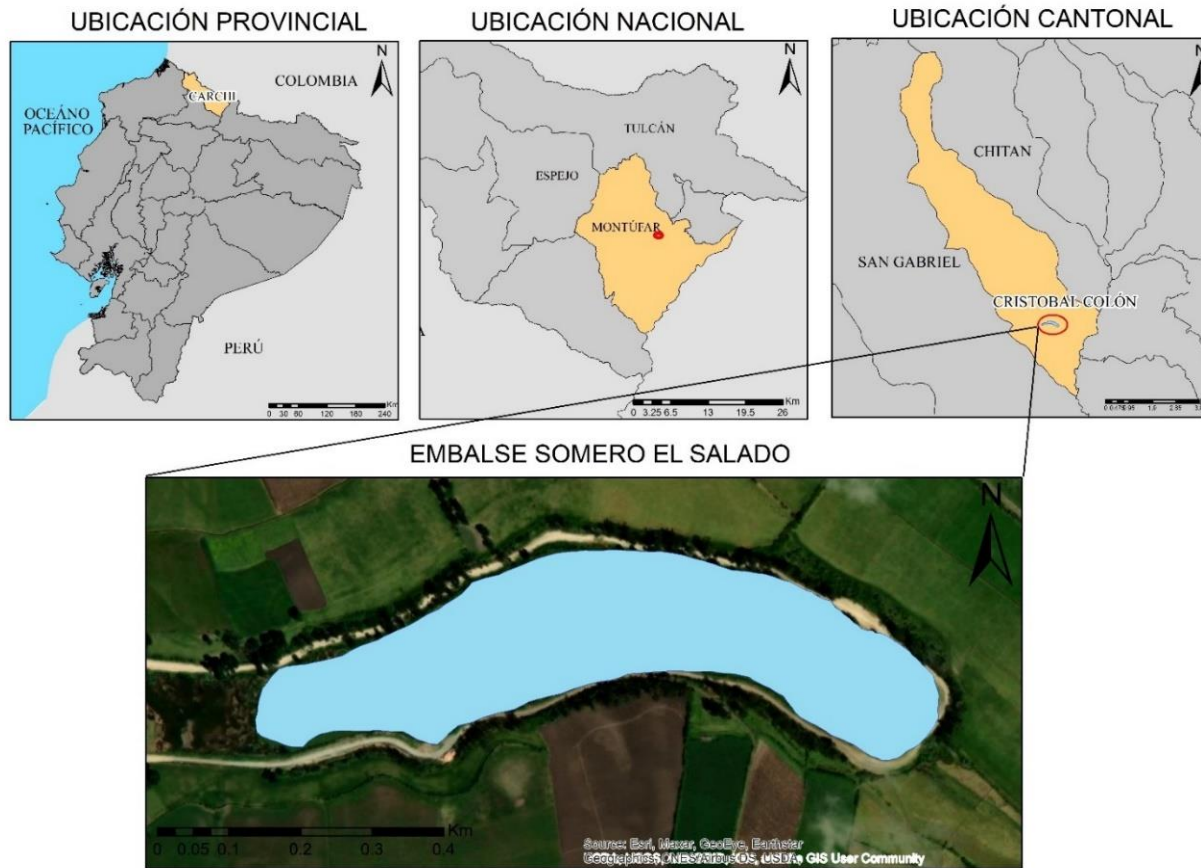
Figura 12.

Embalse somero El Salado



Figura 13.

Ubicación del embalse somero El Salado



3.2. Métodos

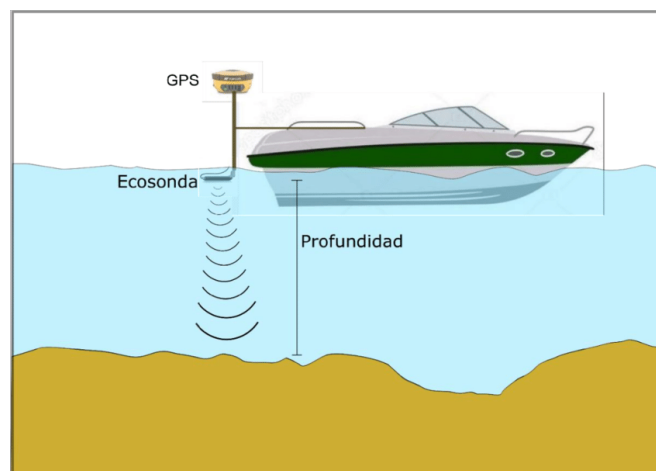
3.2.1. Metodología para realizar el levantamiento batimétrico

Fase in situ, para realizar el mapa batimétrico en los cuerpos de agua se emplearon los siguientes pasos (Revelo, 2017):

1. Preparación y verificación del estado de los equipos y herramientas.
2. Montaje del bote Sea Eagle 14S, uso de ecosonda GPS Map 526s (Figura 14) conectada al navegador GPS Map Garmin y a la computadora de campo (Durabook).
3. Sujetar la antena y el sonar a una estructura de madera previamente realizada para mantener firmes los equipos y lograr una correcta recolección de datos.
4. Conexión de los equipos al convertidor de energía y de este a la batería de carro de 110 voltios revisando que no se exponga al agua y que tenga ventilación adecuada.
5. Prender los equipos y revisar si están funcionando correctamente.
6. Realizar una prueba de funcionamiento del software Dr. Deph con el fin de comprobar el almacenamiento correcto de los datos.

Figura 14.

Representación gráfica del funcionamiento de una ecosonda

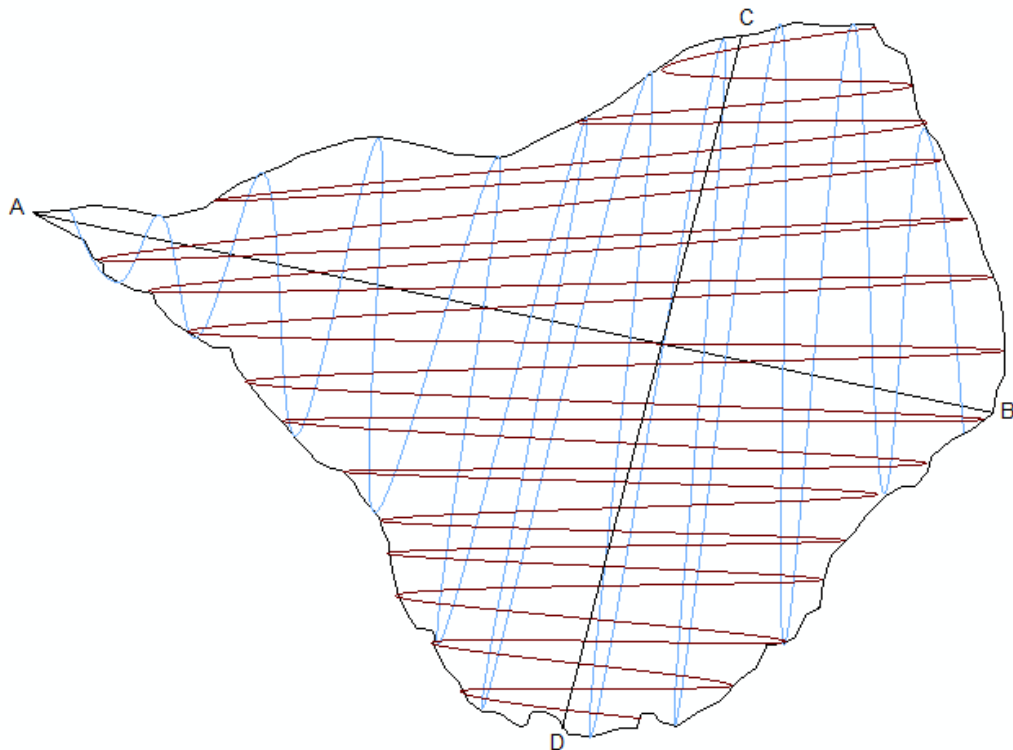


Nota. Obtenido de Gerbec *et al.* (2019) donde se muestra el funcionamiento de la ecosonda para generar datos de profundidad de un cuerpo de agua.

Se realizó un barrido de las cubetas lacustres, en primer lugar, se hizo un recorrido de prueba para verificar el funcionamiento del bote y los equipos, este fue de manera vertical y horizontal utilizando los puntos más largos y anchos de los cuerpos respectivamente en forma de cruz, en este punto se verificaron los puntos de entrada y de salida dependiendo del caso, y se observó el panorama aledaño a la cubeta lacustre. Después se realizó el barrido total de la cubeta lacustre empezando desde la orilla hasta cubrir toda la zona, esto fue de manera vertical y horizontal en forma de zig zag, teniendo en cuenta como puntos de referencia picos del relieve o cuerpos vegetales vistosos y también verificando en el software Dr. Deph el área cubierta de agua hasta llegar a la totalidad de la misma. Al final, se guardó el archivo de los puntos verificando que estén tomados adecuadamente (Figura 15).

Figura 15.

Representación gráfica del barrido del lago El Voladero



Nota. El punto AB simboliza el recorrido horizontal y el CD el recorrido vertical entre los puntos más distantes del lago El Voladero.

Fase ex situ, los puntos batimétricos del software Dr. Deph en formato (.dtd) fueron exportados a formato Excel (.xls), donde se depuró información innecesaria, se clasificó las columnas de los datos y se cambió el archivo a formato (.csv) delimitado por comas para que el software ArcGis pueda proyectar los puntos de valores. De igual manera, se verificó en el archivo que la Latitud este registrada como Y, la Longitud como X y la profundidad (Z) tenga un valor negativo. Para que no existieran problemas en la proyección de puntos, se revisaron 3 aspectos en el documento de Excel:

- Que los valores de profundidad estén multiplicados (*-1) para que esta sea negativa.
- Que los valores de longitud sean decimales, por lo tanto, se debe dividirlos para 1 millón (1,000,000).
- Que los datos estén en formato numérico de valores.

Metodología para realizar el mapa batimétrico en ArcGis 10.8. En el software ArcGIS 10.8 se cargaron los datos, después se realizó la proyección a sistema de coordenadas UTM Z17S para trabajar con los datos en metros y las coordenadas hacia la zona del hemisferio sur. Luego se interpolaron los datos con la herramienta *Kriging* y posteriormente se utilizó el corte del polígono con *Extract by mask*. El volumen de las cubetas lacustres fue calculado con la herramienta *Surface volume*, el cual arrojó una tabla con el valor del volumen en metros cúbicos. Para realizar el contorno de las cotas de profundidad de las cubetas lacustres se aplicó la herramienta *Contour*, en donde el intervalo varía según la profundidad de los cuerpos de agua. Después se calculó la longitud de las cotas en metros para identificar polígonos demasiado pequeños y eliminarlos. Por último, se utilizó la herramienta *Smooth line* para suavizar las cotas de profundidad (Maynaguez & Tumbaco, 2019).

3.2.2. Evaluación de parámetros morfométricos

El cálculo de los parámetros morfométricos se realizó mediante la aplicación de técnicas tradicionales (Wetzel, 2001), estos parámetros mostrados dentro de la tabla 2 se utilizaron con el fin de conocer cuantitativamente los rasgos de la cuenca hidrográfica y de los cuerpos de agua.

Tabla 2.*Medición de los parámetros morfométricos*

Parámetro	Simbología	Unidad
Área	N	m ²
Perímetro	L	Km
Longitud máxima total	Lm	m
Volumen	V	m ³ -hm ³
Profundidad máxima	Zm	m
Profundidad media	Z	m
Línea de desarrollo costero	DL	m
Latitud	N	m
Longitud	W	m
Altitud	M	msnm
Amplitud máxima	B	m
Forma de la laguna	F	-

Nota. Existen más parámetros medibles, sin embargo, estos son los 9 principales

3.2.3. Delimitación de las microcuencas hidrográficas

Para la delimitación de las microcuencas hidrográficas se utilizaron dos métodos, el método manual para el Sistema Lacustre El Voladero y la Laguna de Puruhanta y el método automático para el Embalse El Salado.

- **Sistema lacustre El Voladero**

Para delimitar la microcuenca hidrográfica se cargaron los datos de ríos, cubetas lacustres y las curvas de nivel. Se determinó un punto de partida en la zona superior de donde inicia el cauce del río y se creó un *shapefile* para la microcuenca, en la delimitación se tomaron aspectos esenciales, el primero fue que se abarquen todos los cuerpos de agua dentro de la delimitación, que se tome en cuenta que no se debe cortar el río y que se revise constantemente el trayecto adecuado por las curvas de nivel.

- **Laguna Puruhanta**

La delimitación de la microcuenca de esta área de estudio se realizó de manera similar, con la diferencia de que El Voladero era un sistema lacustre mientras que la laguna de Puruhanta es un solo cuerpo de agua. El eje principal para esta delimitación fue el río ya que este se dividía en cauces y a su vez las salidas de agua de la laguna formaban otras vertientes que delimitaron el área de la microcuenca.

- **Embalse somero El Salado**

Para delimitar la microcuenca de El Salado se utilizó un *dem* del área de estudio y se aplicó un *fill* para corregir errores del *dem* y poder garantizar la representación correcta de los gráficos, después se utilizó la herramienta *Flow direction* para determinar la dirección de flujo de cada celda. Luego se aplicó *Flow accumulation* que indica el peso acumulado de las celdas con dirección a la celda descendiente, posteriormente se utilizó la herramienta *Watershed*, la cual delimitó la divisoria de aguas de la microcuenca hidrográfica. Finalmente se transformó el *raster* con la herramienta *Raster to polygon* y con el *shapefile* de la microcuenca listo se depuró puntos innecesarios para corregir la forma de la delimitación.

3.3. Materiales y equipos

Se detallan en la tabla 3 los materiales y equipos utilizados para la investigación en la fase de campo, así mismo como los programas detallados en la metodología utilizados para almacenamiento, procesamiento y análisis de los datos obtenidos.

Tabla 3.

Materiales y equipos utilizados para la investigación

Materiales	Equipos	Software
Botas de caucho	Bote Sea Eagle 14 SR	ArcMAp 10.8
Libreta de campo	Cámara fotográfica	DrDepth
Cangurera	Computadora (Durabook)	Microsoft Excel
Amarraderas	Multiparámetro	ArcScene 10.8
Palos de madera	GPS Garmin	Landviewer GIS
Herramientas	Sonar de mano	
Lápiz y/o esferográfico	GPSMap Garmin 526s	
Guantes de tela	Eco sonda GPSMap 526s	
Plástico cubrebatería	Memoria USB	
	Transformador de energía	
	Batería 110 voltios	

3.4. Guía batimétrica para conservación y estudio de cubetas lacustres

La batimetría muestra el relieve del fondo de agua, y su evolución ha sido constante desde la aparición de la limnología (Thurman, 1988). La ecosonda nace con el objetivo de buscar objetos perdidos en el mar, y en la actualidad su uso se enfoca en el carácter investigativo, teniendo como resultado las cartas batimétricas (Lizano, 2006).

La importancia de la batimetría se establece en estudios aplicados de lagos, lagunas, ríos, entre otros cuerpos de agua. Así como el funcionamiento de las cubetas lacustres relacionada con la columna de agua y sus sedimentos. Por lo tanto, la evaluación de los parámetros batimétricos es esenciales en un estudio limnológico, y son el primer paso para la evaluación a detalle de un cuerpo de agua.

Los pasos para hacer el estudio batimétrico previo, durante y después de la salida de campo fueron 5, los cuales son explicados técnicamente a través de la *Guía batimétrica para cubetas lacustres y lagos altoandinos*. A continuación, se detallan los ejes principales:

- Identificación del área de estudio: deberá ser detallada previo a la salida de campo y las actividades planificadas.
- Preparación de equipos y herramientas: los equipos deberán estar calibrados y las herramientas en buen estado.
- Montaje y prueba de funcionamiento: se deberá seguir las instrucciones descritas para su funcionamiento.
- Actividad batimétrica y almacenamiento de datos: el recorrido se realizará mediante un barrido de la cubeta lacustre.
- Procesamiento de datos y mapa de batimetría: se realizará para depurar valores y para resultados gráficos y su análisis.

Los softwares que se utilizarán para la toma, almacenamiento y procesamiento de datos son Dr. Depth, Excel, Arc Map 10.8 y también Arc Scene para la visualización en 3D de las cubetas lacustres.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se redactan los resultados referentes a las características morfológicas de las cubetas lacustres, microcuencas y el levantamiento batimétrico de cada área de estudio y se realiza la discusión.

4.1. Caracterización de las microcuencas hidrográficas y cubetas lacustres

4.1.1. Sistema lacustre El Voladero

Los parámetros morfométricos de la microcuenca hidrográfica descritos en la tabla 4 registran el valor de la longitud máxima total (l) con 7.1 kilómetros y 2.42 kilómetros de ancho (AM), que cubren a la totalidad de la zona. El área de la cuenca fue de 1721.66 hectáreas y el coeficiente o índice de compacidad de Gravelius (Cc) fue de 1.24, por lo tanto, la forma de la cuenca es casi redonda a oval – redonda (González de Matauco, 2004).

Tabla 4.

Parámetros morfométricos del sistema lacustre El Voladero

Parámetro	Valor	Unidad
Área	1721.66	Ha
Perímetro	18.49	Km
Longitud máxima total	7.1	Km
Ancho promedio	2.42	Km
Coefficiente de compacidad	1.24	Cc
Latitud (y)	847320.63	UTM
Longitud (x)	10079730	UTM
Altitud	3890	msnm
Forma de la cuenca	Oval redonda	-

Nota. En el sistema lacustre El Voladero existen dos cuerpos lacustres además del estudiado, que se encuentran dentro de la cuenca hidrográfica.

La información morfológica del lago El Voladero, descrita en base al levantamiento batimétrico está detallada en la Tabla 5, donde se registró la longitud máxima total (l) con 640 metros y 250 metros de ancho (AM), que cubren a la totalidad del cuerpo de agua. El área lagunar fue de 16.15 hectáreas y el volumen total de 0.118 hm³, la profundidad máxima fue de 2.37 metros, la profundidad media de 0.73 metros. El

perímetro lagunar fue de 1.78 kilómetros y en base a estos datos se determinó que es un lago poco profundo (Roldán y Ramírez, 2008).

Tabla 5.

Parámetros morfométricos del lago El Voladero

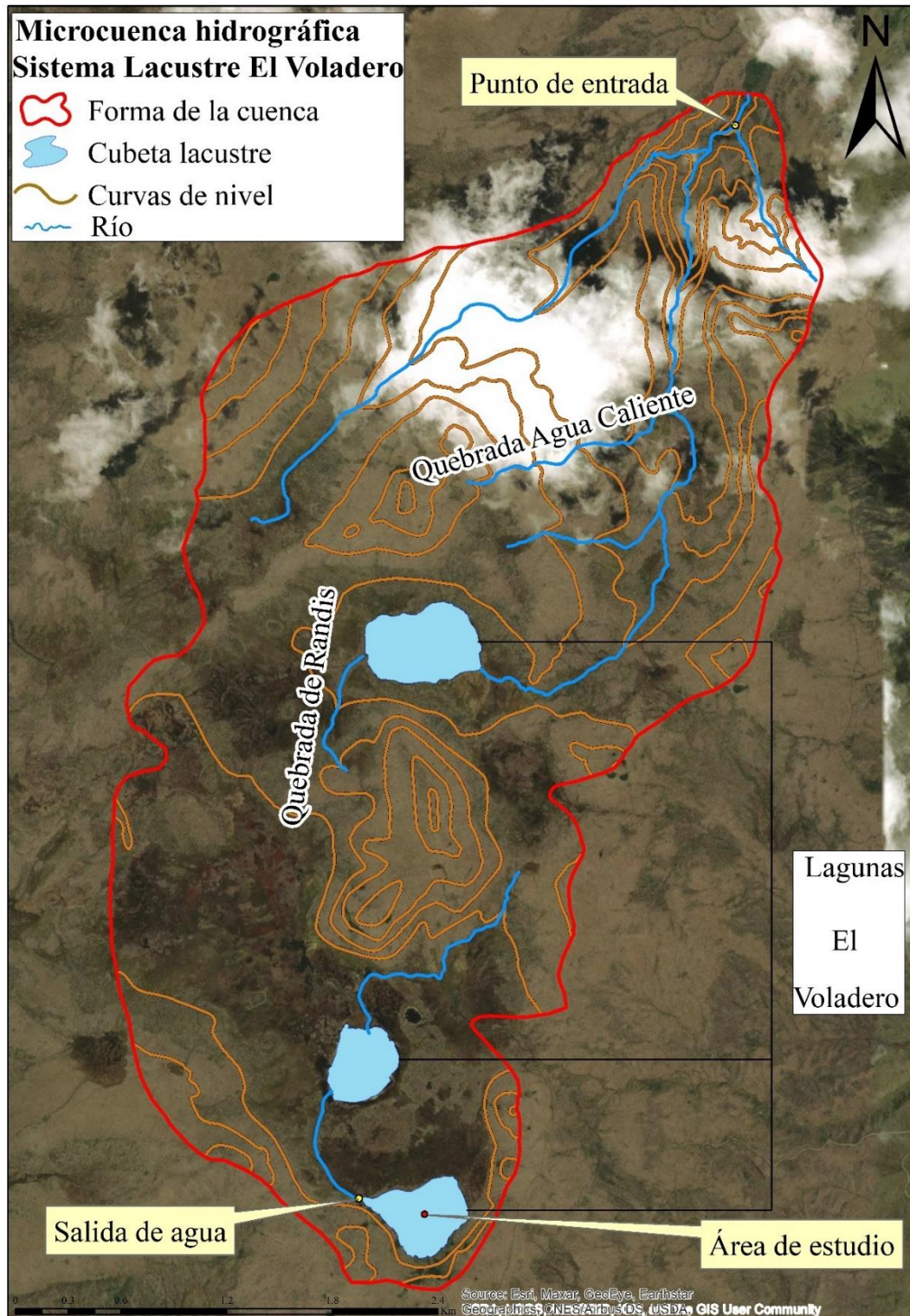
Parámetro	Valor	Unidad
Área	16.15	Ha
Perímetro	1.78	Km
Longitud máxima total	0.64	Km
Ancho promedio	0.25	Km
Volumen	0.118	hm ³
Profundidad máxima	2.37	m
Profundidad media	0.73	m
Profundidad relativa	0.52	%
Latitud (y)	847477	UTM
Longitud (x)	10075675	UTM
Altitud	3770	msnm
Forma de la laguna	Elipsoidal	-

Nota. Los parámetros morfométricos utilizados para las 3 cubetas lacustres fueron medidos en el software ArcMap 10.8.

El sistema lacustre El Voladero comprende 3 lagunas situadas en la reserva ecológica, así como pequeñas cochas de agua que se encuentran cercanas al área de estudio. El punto de entrada de agua de la microcuenca hidrográfica es la quebrada Agua Caliente, la cual desemboca en la primera cubeta lacustre, esta a su vez tiene un punto de salida que forma la quebrada de Randis. En el caso de laguna en estudio, está tiene un punto de salida que forma la entrada de la segunda cubeta lacustre y un punto de salida en la zona norte de la misma (Figura 16).

Figura 16.

Microcuenca del Sistema Lacustre El Voladero



4.1.2. Embalse somero El Salado

Se determinaron los parámetros de la microcuenca hidrográfica, donde se registraron los valores de la longitud máxima total (l) con 1.78 kilómetros y 0.55 kilómetros de ancho (AM), que cubren a la totalidad de la zona. El área de la cuenca fue de 95.40 hectáreas coeficiente o índice de compacidad (Cc) fue de 1.29, por lo tanto, la forma de la cuenca es oval-oblonga (González de Matauco, 2004).

Tabla 6.

Parámetros morfométricos de la microcuenca del embalse somero El Salado

Parámetro	Valor	Unidad
Área	95.40	Ha
Perímetro	4.54	Km
Longitud máxima total	1.78	Km
Ancho promedio	0.55	Km
Coefficiente de compacidad	1.29	Cc
Latitud (y)	865944	UTM
Longitud (x)	10064722	UTM
Altitud	2820	msnm
Forma de la cuenca	Oval oblonga	-

Nota. La microcuenca de El Salado no es una unidad morfológica como tal, ya que es de origen artificial.

En la información morfológica del embalse somero El Salado, se registraron los valores de la longitud máxima total (l) con 950 metros y 160 metros de ancho (AM), que cubren a la totalidad del cuerpo de agua. El área lagunar fue de 14.97 hectáreas y el volumen total de 0.358 hm³, la profundidad máxima fue de 6.04 metros, la profundidad media de 2.40 metros. El perímetro lagunar fue de 2.21 kilómetros y en base a estos datos se determinó que es un embalse del tipo presa, ya que su área supera las 6 hectáreas y su profundidad es mayor a un metro y medio (Medina et al., 2007).

Tabla 7.

Parámetros morfométricos del embalse somero El Salado

Parámetro	Valor	Unidad
Área	14.97	Ha
Perímetro	2.21	Km
Longitud máxima total	0.95	Km
Ancho promedio	0.16	Km
Volumen	0.358	hm ³
Profundidad máxima	6.04	m
Profundidad media	2.40	m

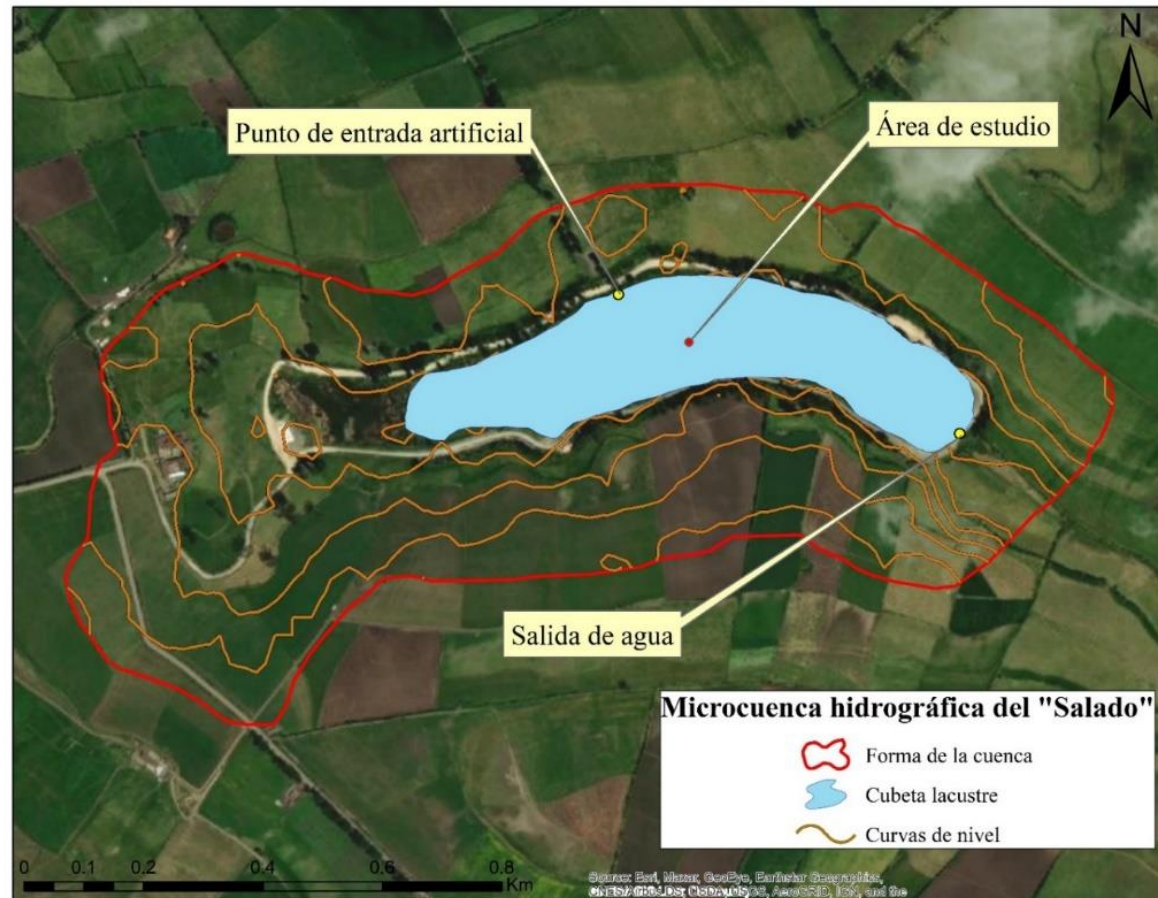
Profundidad relativa	1.23	%
Latitud (y)	8659343	UTM
Longitud (x)	10064875	UTM
Altitud	2800	msnm
Forma de la laguna	Oval oblonga	-

Nota. Los datos más relevantes de los parámetros morfométricos son el área, perímetro, volumen, forma y profundidad máxima.

La laguna del área de estudio se caracteriza como un embalse somero (Figura 17), puesto que es artificial y su profundidad no sobrepasa los seis metros, la entrada de agua proviene de la quebrada Chico y es intermitente. La salida del agua se encuentra en la zona periférica, donde se encuentra la mayor cantidad de volumen acumulado y el punto más profundo del embalse.

Figura 17.

Ubicación de la microcuenca del Salado



4.1.3. Laguna Puruhanta

Se determinaron los parámetros de la microcuenca hidrográfica en la tabla 8, donde se registraron los valores de la longitud máxima total (l) con 9.51 kilómetros y 3.09 kilómetros de ancho (AM), que cubren a la totalidad de la zona. El área de la cuenca fue de 2935.53 hectáreas y el coeficiente o índice de compacidad (Cc) fue de 1.49, por lo tanto, la forma de la cuenca es oval – oblonga (González de Matauco, 2004).

Tabla 8.

Parámetros morfométricos de la microcuenca hidrográfica Puruhanta

Parámetro	Valor	Unidad
Área	2935.53	Ha
Perímetro	27.66	Km
Longitud máxima total	9.51	Km
Ancho promedio	3.09	Km
Coefficiente de compacidad	1.49	Cc
Latitud (y)	838991	utm
Longitud (x)	10022120	utm
Altitud	3800	msnm
Forma de la cuenca	Oval oblonga	-

Nota. Los parámetros morfométricos de la microcuenca hidrográfica de Puruhanta son los de mayor valor en comparación con las otras cubetas lacustres.

La descripción morfológica de la laguna Puruhanta está descrita en base al levantamiento batimétrico detallado en la tabla 9, donde se registró la longitud máxima total (l) con 3560 metros y 770 metros de ancho (AM), que cubren a la totalidad del cuerpo de agua. El área lagunar fue de 272.91 hectáreas y el volumen total de 82.363 hm³, la profundidad máxima fue de 66.7 metros, la profundidad media de 30.18 metros. El perímetro lagunar fue de 10.96 kilómetros y en base a estos datos se determinó que es una laguna profunda (Roldán y Ramírez, 2008).

Tabla 9.

Parámetros morfométricos de la Laguna Puruhanta

Parámetro	Valor	Unidad
Área	272.91	Ha
Perímetro	10.96	Km
Longitud máxima total	3.56	Km
Ancho promedio	0.77	Km

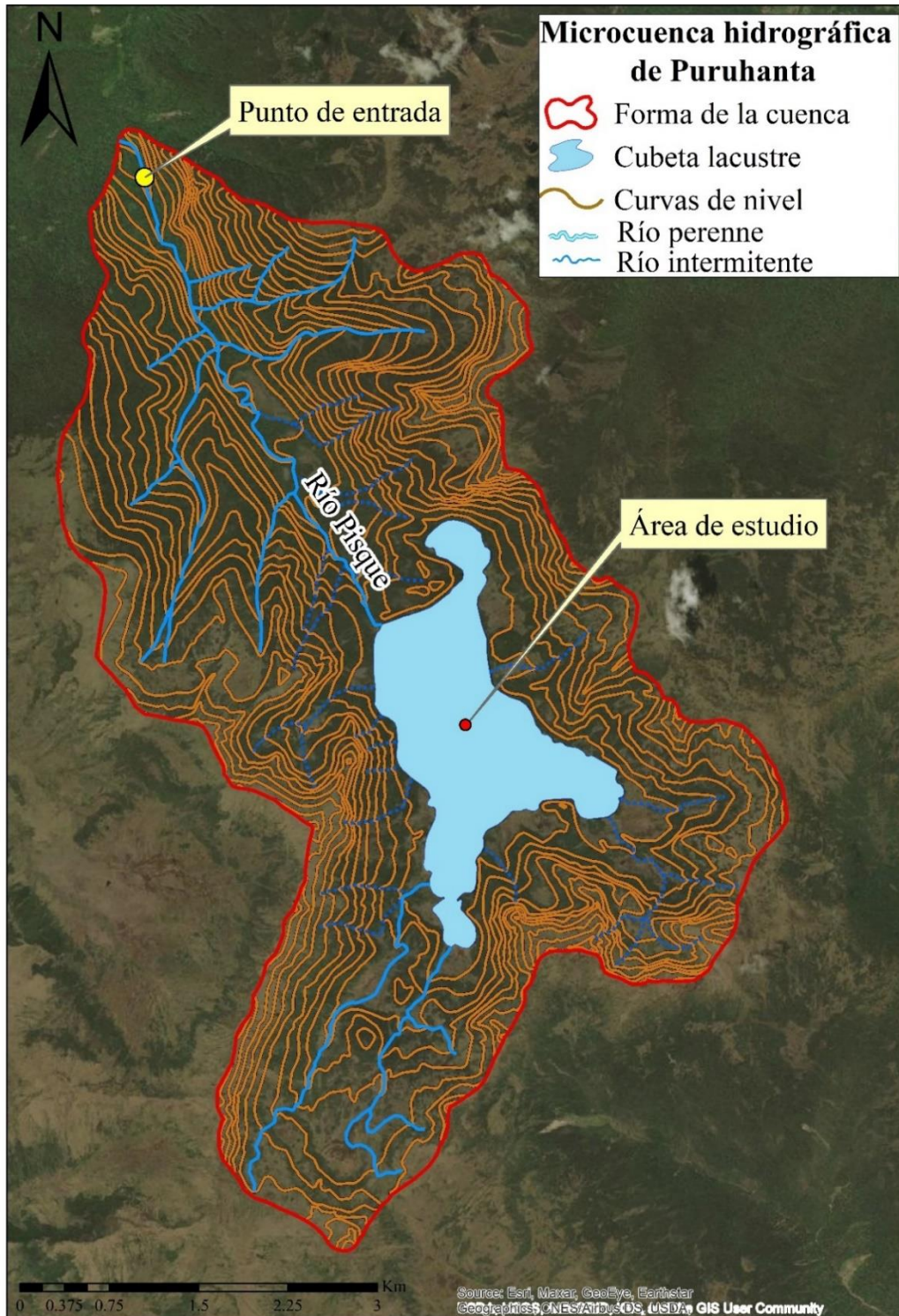
Volumen	82.363	hm ³
Profundidad máxima	66.7	m
Profundidad media	30.18	m
Profundidad relativa	3.58	%
Latitud (y)	839771	Grados decimales
Longitud (x)	10021910	Grados decimales
Altitud	3480	msnm
Forma de la laguna	Rectangular oblonga	-

Nota. En la tabla se puede observar que en la laguna de Puruhanta el valor que más destaca es el de volumen.

El área de estudio (Figura 18) es la cubeta lacustre con mayor área de las tres estudiadas. El punto de entrada se origina desde el río Pisque y la laguna cuenta con varios puntos de salida de caudal que son perennes (dos) e intermitentes (nueve). De igual manera, es la cubeta lacustre con mayor profundidad y volumen, alcanzando los 67 metros y superando los 80 millones de metros cúbicos de agua.

Figura 18.

Mapa de ubicación de la microcuenca de la laguna Puruhanta



4.1.4. Análisis de los parámetros morfométricos de las cubetas lacustres

En la tabla 10 se pueden observar los parámetros morfométricos evaluados en las 3 cubetas lacustres, en donde los parámetros principales son el área, perímetro, volumen, profundidad máxima, profundidad media y la forma del cuerpo de agua. A medidas generales, se sigue una jerarquía general en los valores de los parámetros morfométricos, el orden sitúa a la laguna Puruhanta como primera, embalse somero El Salado como segundo y lago El Voladero como tercero.

Tabla 10.

Parámetros morfométricos del lago El Voladero, embalse somero El Salado y la laguna Puruhanta

Parámetro	El Voladero	El Salado	La Puruhanta
Área (Ha)	16.15	14.97	272.91
Perímetro (Km)	1.78	2.21	10.96
Longitud máxima total (Km)	0.64	0.95	3.56
Ancho promedio (Km)	0.25	0.16	0.77
Volumen (hm ³)	0.118	0.358	82.363
Profundidad máxima (m)	2.37	5.4	66.7
Profundidad media (m)	0.73	2.4	30.18
Profundidad relativa %	0,52	1.23	3.58
Latitud (y)	847477	8659343	839771
Longitud (x)	10075675	10064875	10021910
Altitud (msnm)	3770	2800	3480
Forma	Elipsoidal	Oval oblonga	Rectangular oblonga

Nota. La tabla está realizada con el fin de comparar los principales parámetros morfométricos entre las tres cubetas lacustres para un mejor entendimiento del dimensionamiento del área, profundidad y el volumen.

Con respecto al área, se distingue claramente que la laguna Puruhanta es la de mayor valor contando con 292.91 hectáreas, le sigue el lago El Voladero con 16.15 hectáreas y por último el embalse somero El Salado con 14.97 hectáreas; en lo que se refiere al perímetro el orden de mayor valor cambia a excepción de la laguna Puruhanta con un perímetro de 10.96 km. Mientras que el embalse somero El Salado posee un perímetro de 2.21 km, el lago El Voladero tiene un perímetro de 1.78 km, esta diferencia se entiende observando la forma de la cubeta lacustre, ya que El Voladero tiene una forma

elipsoidal y El Salado es oval oblonga, es decir, la forma de la cubeta lacustre del embalse somero es más alargada, por esa razón tiene un mayor perímetro a pesar de tener un área menor.

En los resultados obtenidos de volumen, la laguna Puruhanta tiene aproximadamente 82.363 hm^3 de agua, le sigue el embalse somero El Salado con 0.358 hm^3 de agua y finalmente el lago El Voladero con 0.118 hm^3 de agua. Estos resultados tienen relación directa con la observación de las características de cada cubeta lacustre, por un lado, la laguna Puruhanta es la más grande respecto a los parámetros de área y perímetro, así como la entrada del río que alimenta directamente a la laguna. Además, la profundidad que presenta es la mayor de todas, con una profundidad máxima de 66.7 metros y una profundidad media de 30.18 metros, por lo que abarca una mayor cantidad de volumen. Comparando los valores obtenidos con El Salado que tiene una profundidad máxima de 5.4 metros, una profundidad media de 2.4 metros, y El Voladero que tiene una profundidad máxima de 2.37 metros y una profundidad media de 0.73 metros, se determina que la relación de volumen y profundidad corresponde a una relación directamente proporcional, es decir, mientras más profundo sea el cuerpo de agua mayor será su volumen almacenado.

En cuanto a la clasificación de las cubetas lacustres, la laguna Puruhanta se clasificó como una laguna profunda en base a su perímetro lagunar y a su profundidad, siendo mayor a los 60 m (Roldán y Ramírez, 2008). Por otro lado, tomando en cuenta que el embalse somero El Salado es de origen artificial, fue clasificado como un embalse de tipo presa en base a sus características de morfología (forma del cuerpo, entrada y salida de agua) y a su profundidad (Medina et al., 2007). Por último, el lago El Voladero fue determinado como un lago poco profundo ya que su profundidad máxima es 2.4 metros aproximadamente.

4.2. Análisis batimétrico y funcionamiento de las cubetas lacustres

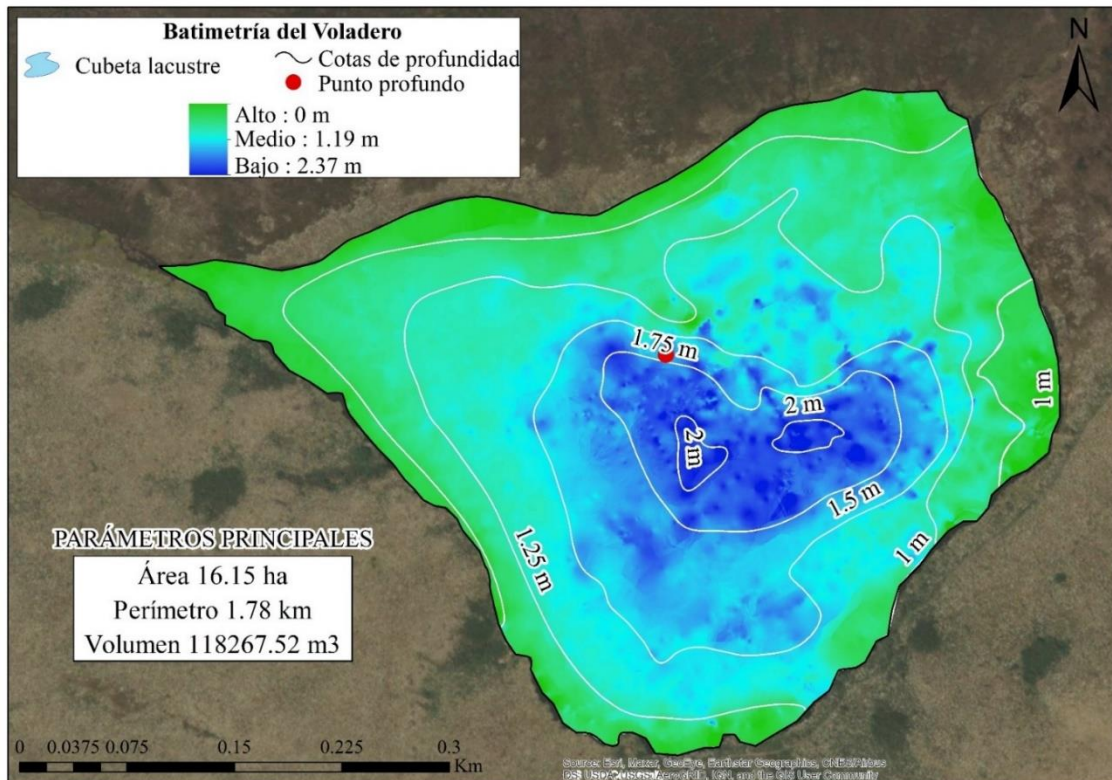
4.2.1. Mapa batimétrico del lago El Voladero

El lago El Voladero es la cubeta lacustre que presenta la menor profundidad de las áreas de estudio, su profundidad máxima es de 2.37 metros y fue clasificada en 6 cotas

de profundidad, que tienen una diferencia de 0.25 metros entre ellas. El volumen de la laguna fue de 0.118 hm³

Figura 19.

Mapa batimétrico del lago El Voladero



Nota. Las cotas de profundidad fueron divididas en 6 cotas, en donde la cota N°1 mide el volumen hasta 1 m de profundidad y la cota N°6 desde los 2 m hasta la profundidad máxima, entre las cotas 2 a 5 existe una diferencia de 0.25 m de profundidad.

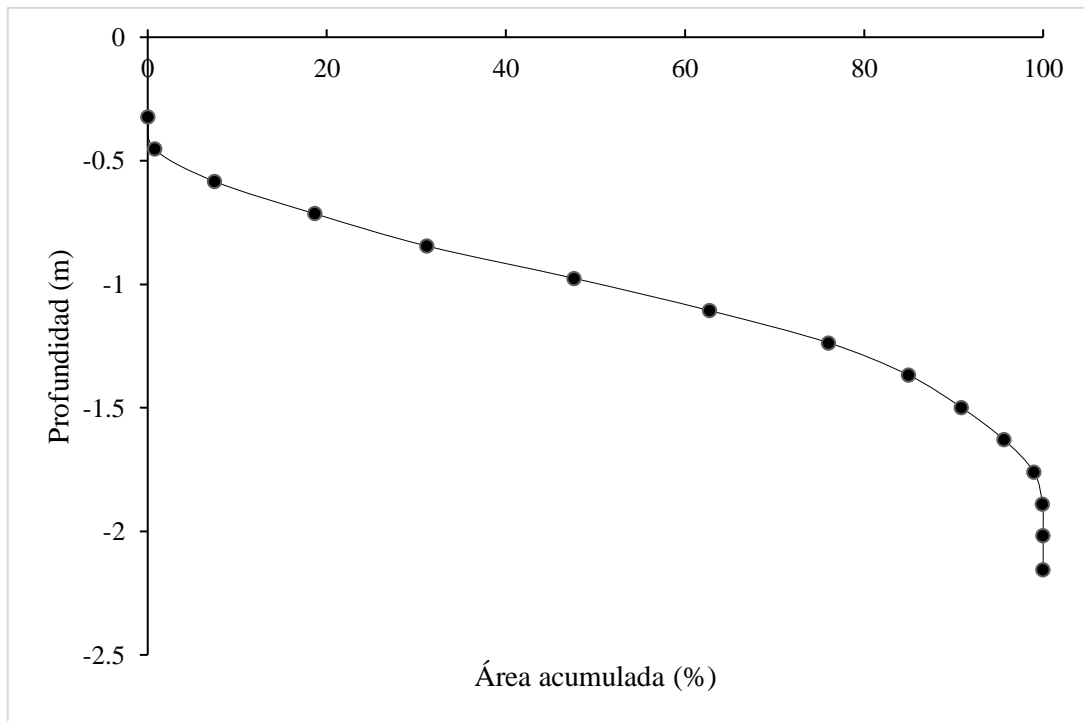
4.2.2. Análisis de la curva hipsométrica del lago El Voladero

De acuerdo con la forma de la curva hipsométrica del lago El Voladero (Figura 20) corresponde a una cubeta lacustre de edad temprana o fase de juventud debido a su forma convexa. Sin embargo, el índice hipsométrico altitudinal (IHA) y areal (Iha) con valores de 0.45 y 0.48 respectivamente, demuestran que el cuerpo de agua se encuentra en una fase madura, con procesos geomorfológicos balanceados y una dinámica fluvial concentrada donde existe una erosión basal y alta capacidad de carga. Por lo tanto,

corresponde a un cuerpo de agua que se encuentra en una zona de transición entre las dos etapas descritas.

Figura 20.

Curva hipsométrica del lago El Voladero



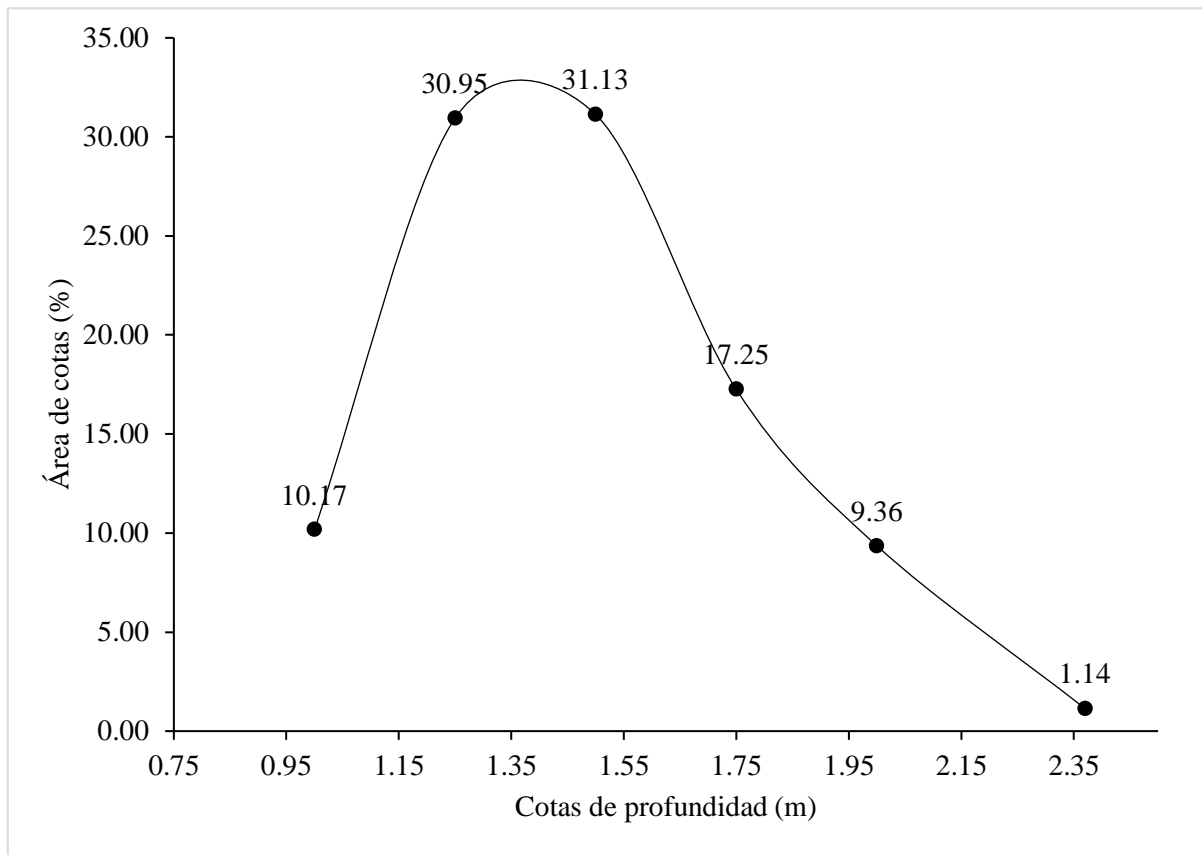
Nota. Se observa que a partir de 1.25 m la curva tiende a prolongarse con mayor convección.

4.2.3. Distribución espacial del agua por cotas de profundidad del lago El Voladero

Los datos del levantamiento batimétrico del lago El Voladero pueden ilustrar la distribución volumétrica y las áreas de superficie cubiertas, se establecieron cotas de profundidad de 1 m hasta 2.37 m. En la Figura 21, se muestra la cota entre los 1.25 m y 1.5 m que representa el 31.13% del área con 5.02 Ha, seguido por la cota de entre 1 m y 1.25 m que representa el 30.95% con 4.99 Ha y finalmente las cotas entre la superficie y 1 m, 1.5 y 2.37 m que representan en conjunto el 37.92% de la superficie restante con 6.12 Ha.

Figura 21.

Relación de profundidad (m) vs área de cotas (%) del lago El Voladero

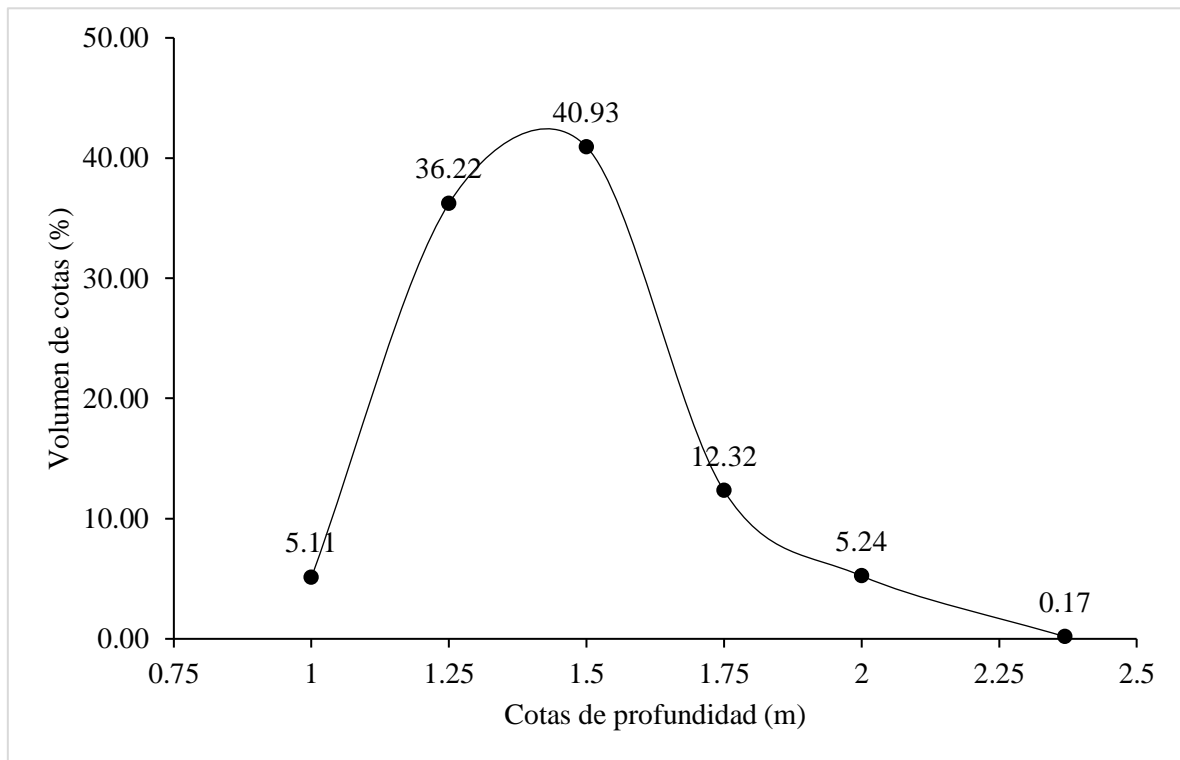


Nota. Las cotas que presentan mayor porcentaje de área van desde 1 m hasta 1.50m.

En la Figura 22 se representa gráficamente el volumen que cubren las cotas de profundidad del lago El Voladero, la cota con mayor volumen está entre los 1.25 m y 1.5 m con 0.048 hm^3 que representa el 40.93%, seguido por la cota entre 1 m y 1.25 m con 0.043 hm^3 representando al 36.22% del volumen y finalmente quedan las cotas menores que representan el 22.85% del volumen con 0.0002 hm^3 .

Figura 22.

Relación de profundidad (m) vs volumen de cotas (%) del lago El Voladero



Nota. Las cotas que presentan el mayor porcentaje de volumen de la cubeta lacustre van desde 1 m hasta 1.5 m.

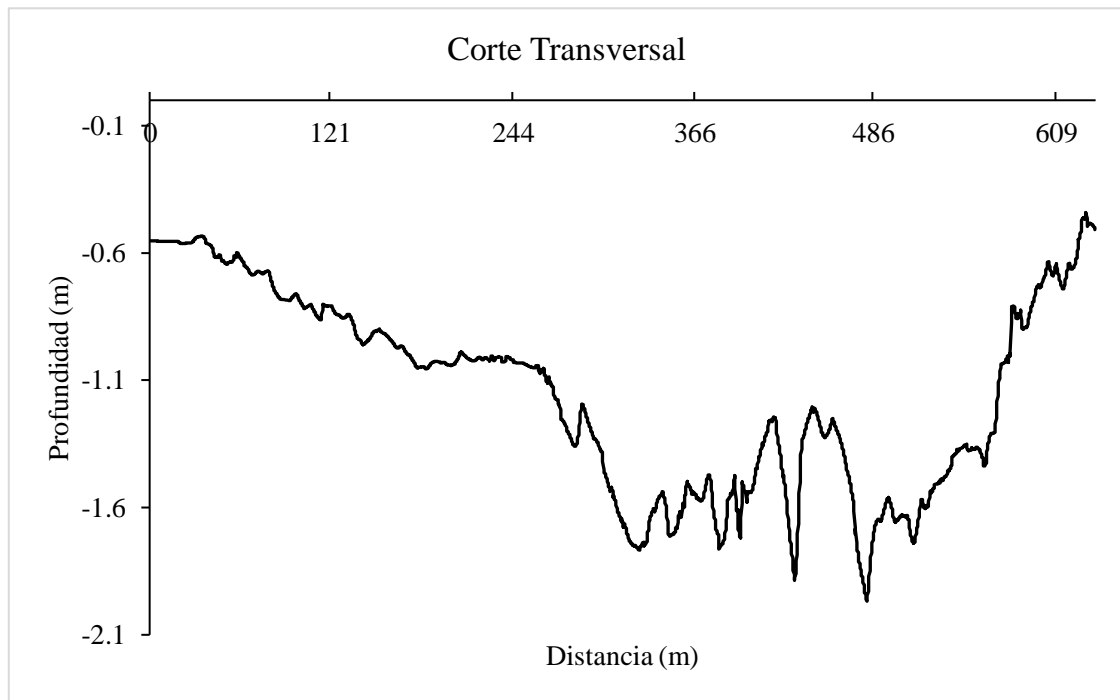
4.2.4. Cortes de la cubeta lacustre El Voladero

De acuerdo con el mapa batimétrico, el corte longitudinal o amplitud máxima es de 493 m y el corte transversal o longitud máxima es de 636 m.

Corte transversal o vertical. En el corte transversal (Figura 23) mostró que la profundidad máxima se encuentra en la zona del centro del lago El Voladero en dirección noroeste (NO), en el corte se encontraron profundidades desde los 0.5 m hasta los 2.1 m y la mayor profundidad se encuentra en entre las cotas de 1.5 m y 2 m con relación al volumen.

Figura 23.

Corte transversal del lago El Voladero

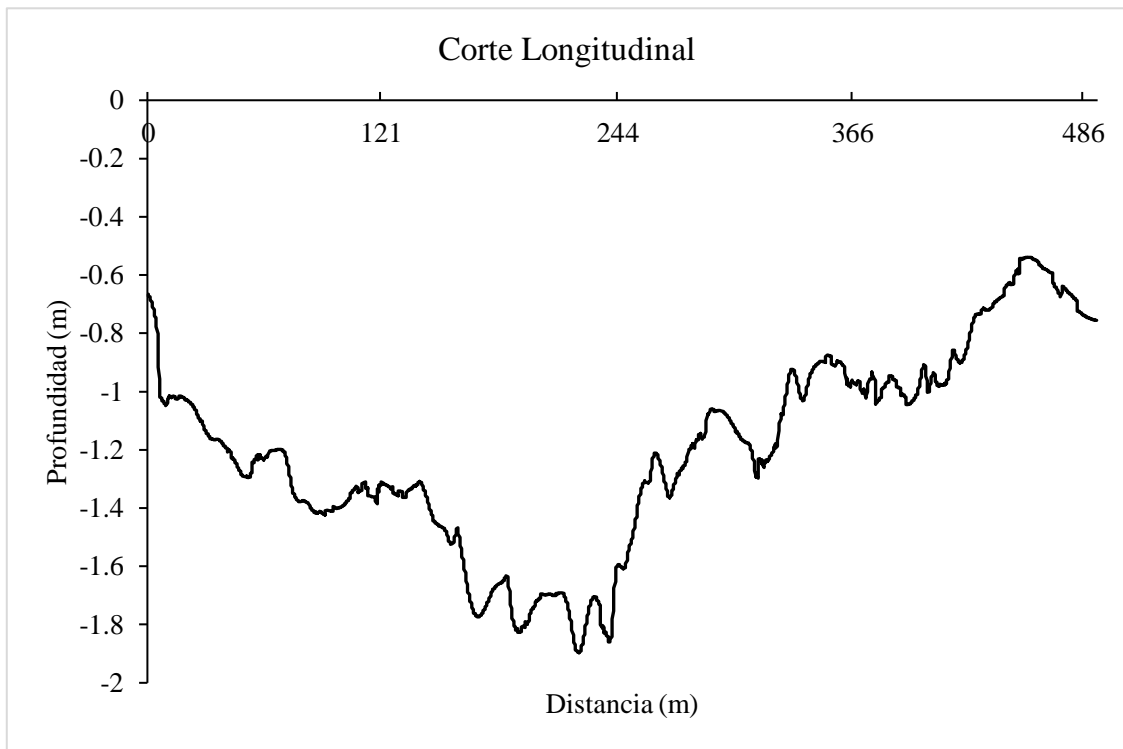


Nota. Se puede observar que la mayor profundidad se encuentra entre los intervalos de distancia de 366 m y 486 m.

Corte longitudinal u horizontal. El corte longitudinal (Figura 24) mostró que la parte más profunda se localiza en la zona intermedia a la laguna en dirección sur este (SE) del cuerpo de agua, zona donde se acumula la mayor cantidad de agua y alcanza una profundidad de aproximadamente 2 m y se puede evidenciar una constante remoción de sedimentos. La parte donde se encuentran las profundidades menores corresponden al norte (N) del lago El Voladero, donde el suelo tiene textura lodosa debido a la humedad presente. Debido a que no hay entradas significativas de agua al lago la presencia de sedimentos no es considerable, debido a que no se consigue el arrastre necesario de estos en la microcuenca hidrográfica.

Figura 24.

Corte longitudinal del lago El Voladero



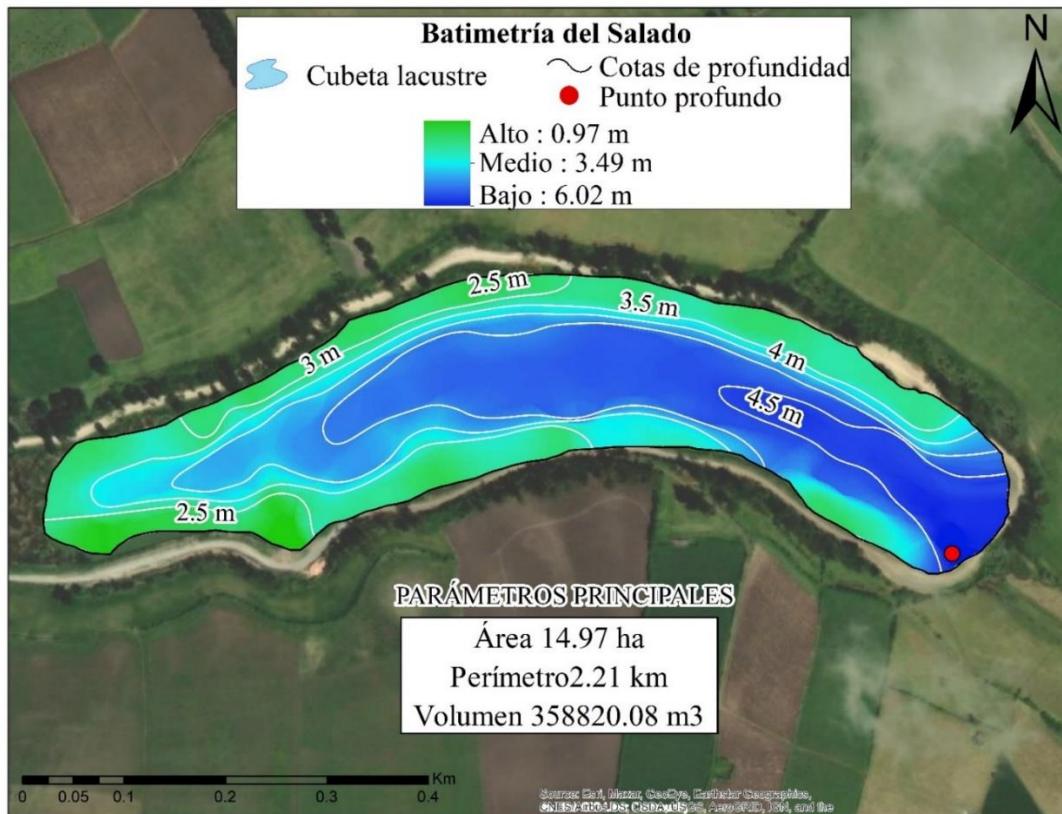
Nota. En el corte longitudinal se puede observar que la mayor profundidad se encuentra entre los intervalos de distancia de 121 m y 244m.

4.2.5. Mapa batimétrico de El Salado

El embalse somero El Salado es una cubeta lacustre artificial que presenta una profundidad máxima de 5,4 m en la zona de acumulación de volumen, es decir, en la zona de salida del agua, el volumen que acumula es de 0.358 hm³, es decir, presenta aproximadamente 3 veces más el volumen que almacena la laguna El Voladero, esto se debe a su forma alargada y también al tener mayor profundidad; las cotas de profundidad fueron de 0.5 metros de diferencia (Figura 25)

Figura 25.

Mapa batimétrico del Embalse Somero El Salado



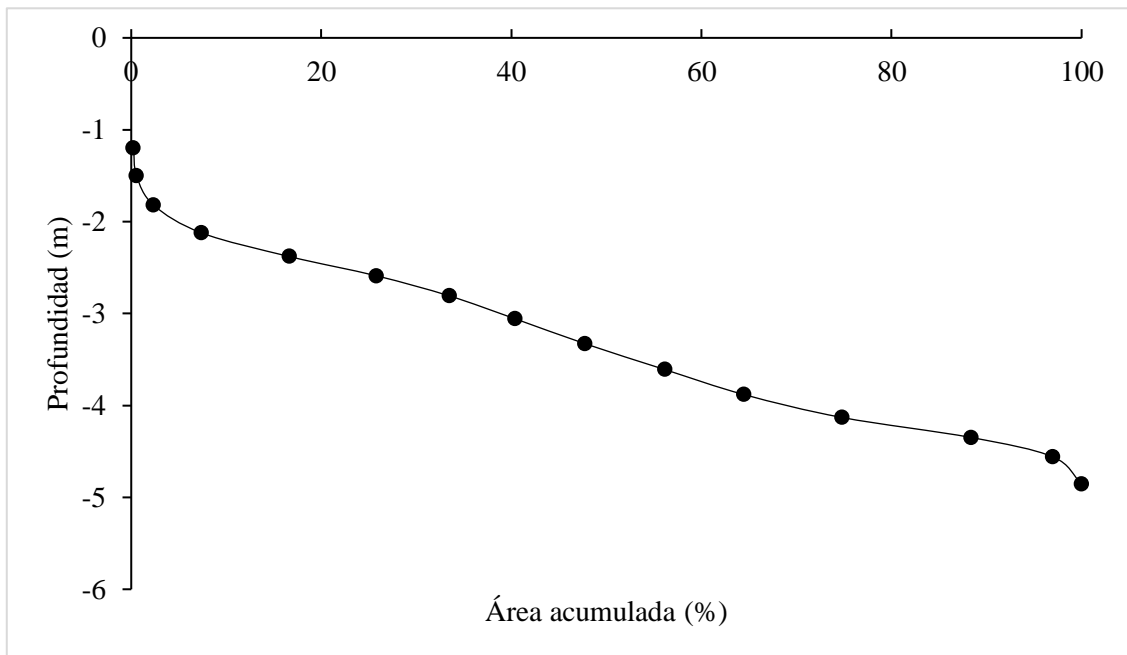
Nota. El volumen se encuentra dividido en cotas de profundidad de 0.5 m, a excepción de la cota N.º 1 en el cual la profundidad va hasta 2.5 m y la cota N.º 6 que va desde los 4.5 m hasta la profundidad máxima.

4.2.6. Análisis de la curva hipsométrica del embalse somero El Salado

De acuerdo con la forma de la curva hipsométrica del embalse somero El Salado (Figura 26) corresponde a una cubeta lacustre que se encuentra en una fase adulta o etapa de madurez correspondiente a una curva aplanada. Además, los valores de IHA de 0.48 y Iha de 0.57 demuestran procesos geomorfológicos agradativos y degradativos con un drenaje concentrado y patrones de drenaje distribuidos de manera paralela en el cuerpo de agua.

Figura 26.

Curva hipsométrica del embalse somero El Salado



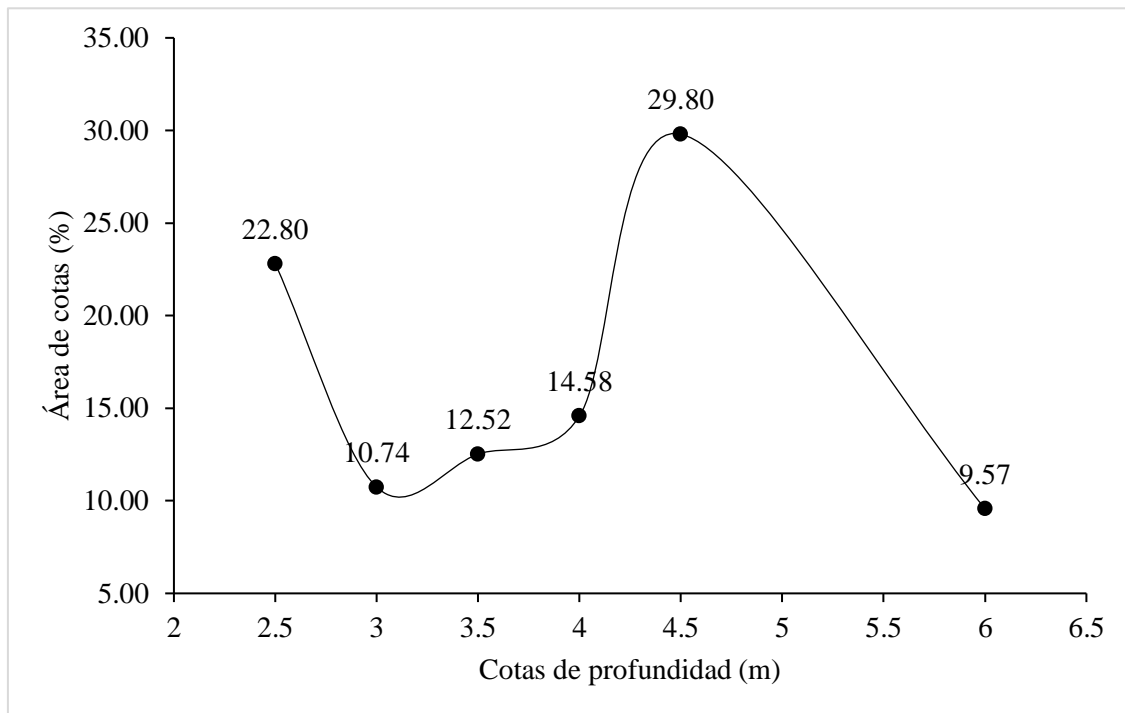
Nota. En el gráfico se puede observar que la tendencia de la curva hipsométrica tiende a ser regular conforme avanza la pendiente.

4.2.7. Distribución espacial del agua por cotas de profundidad del embalse somero El Salado

Los datos del levantamiento batimétrico (Figura 27) del embalse somero El Salado pueden ilustrar la distribución volumétrica y las áreas de superficie cubiertas, se establecieron cotas de profundidad de 2.5 m hasta 6 m. En la Figura 25 se puede observar que la cota entre 4 m y 4.5 m representa el 29.8% de la superficie, lo que equivale a 4.46 ha, seguido por la cota entre los 2 m y 2.5 m con el 22.80% equivalente a 3.41 ha de superficie, y finalmente se encuentran las cotas menores entre 2.5 m y 4 m, y 4.5 m y 6 m con el 47.41% representando las 7.09 hectáreas restantes.

Figura 27.

Relación de profundidad (m) vs área de cotas (%) del embalse somero El Salado

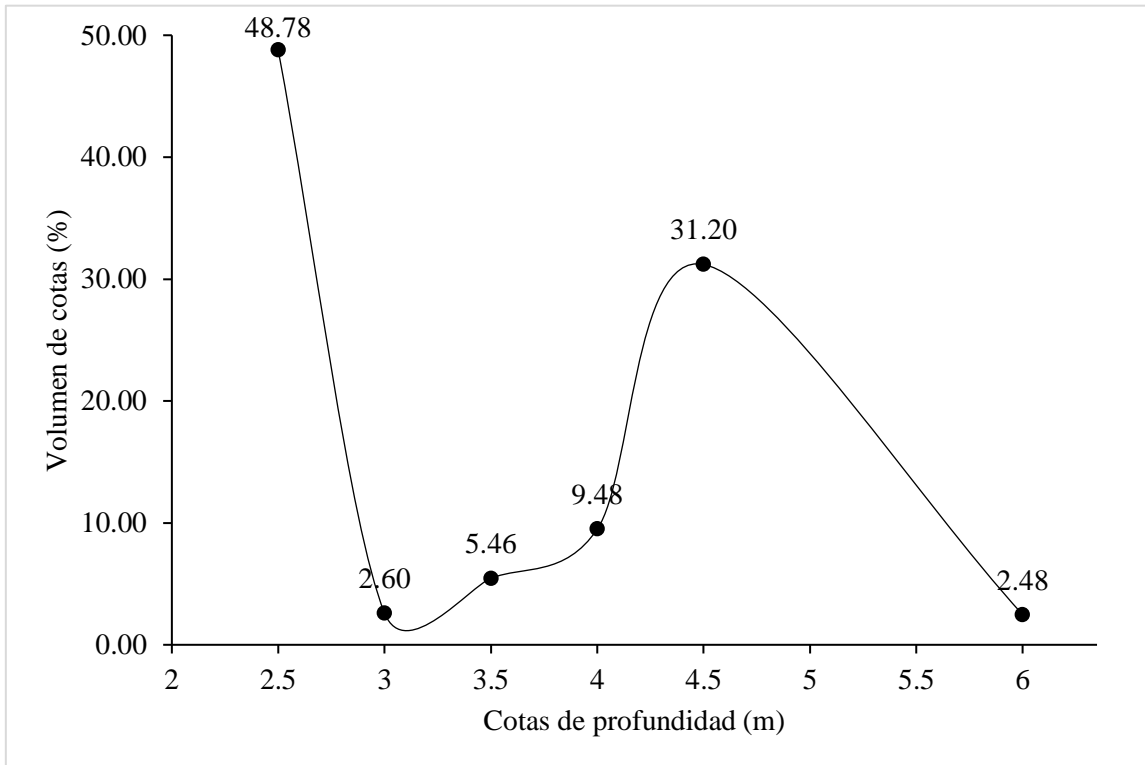


Nota. Las cotas con mayor porcentaje de área cubierta de la cubeta lacustre se dividen en 2 segmentos, el primero que va desde los 2 m a los 2.5 m y el segundo que va desde los 4 m hasta los 4.5 m.

En la Figura 28 se representa gráficamente el volumen que cubren las cotas de profundidad del embalse somero El Salado, la cota con mayor volumen está ubicada entre los 2 m y 2.5 m con un 48.78% que representa prácticamente la mitad del volumen total lo que equivale a 175042.72 m^3 , le sigue la cota entre los 4 m y 4.5 m con el 31.20% del volumen equivalente a 111948.01 m^3 , y finalmente las cotas menores entre los 2.5 m y 4 m, y los 4.5 m y 6 m que representan el 20.02% restante y 71829.33 m^3 respectivamente.

Figura 28.

Relación de profundidad (m) vs volumen de cotas (%) del embalse somero El Salado



Nota. La cota de profundidad que representa el mayor porcentaje de volumen de la cubeta lacustre va desde los 2 m hasta los 2.5 m, es decir, se encuentra en una cota intermedia.

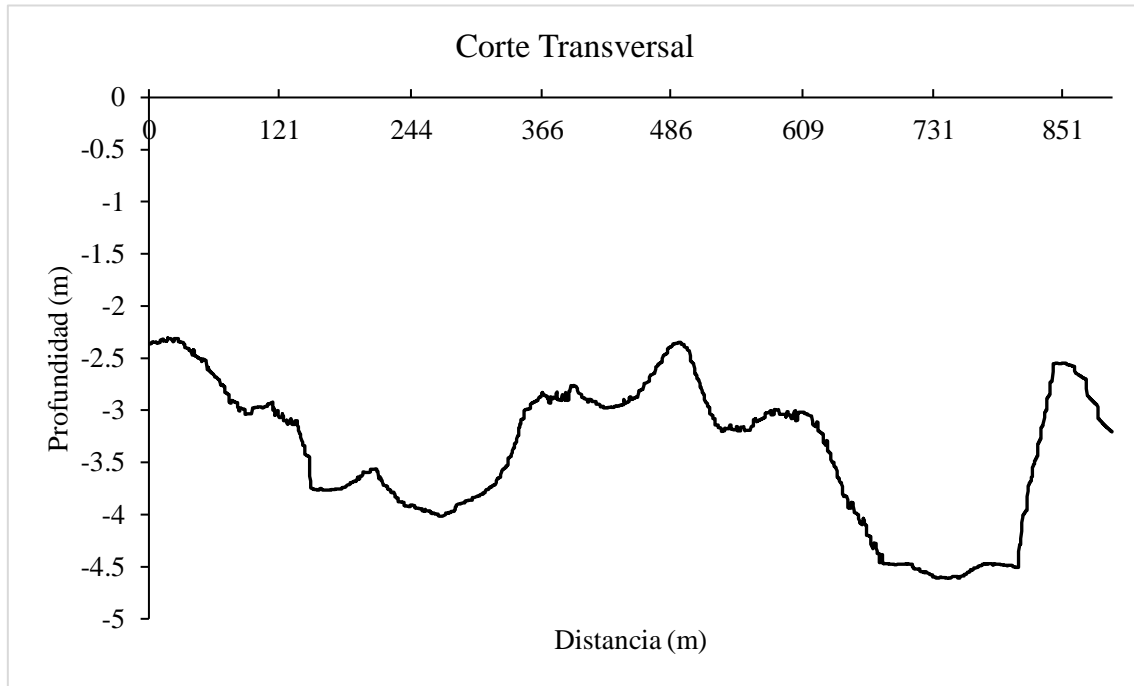
4.2.8. Cortes de la cubeta lacustre El Salado

De acuerdo con el mapa batimétrico, el corte longitudinal o amplitud máxima es de 173 m y el corte transversal o longitud máxima es de 897 m.

Corte Transversal O Vertical. El perfil transversal (Figura 29) revela que la región más profunda se localiza en la dirección sureste (SE), coincidiendo con el punto de salida del agua. Este sector constituye la zona de mayor profundidad en el embalse superficial El Salado, donde se concentra el volumen más significativo, destacándose como una característica distintiva de este tipo de cuencas artificiales. Las mediciones de profundidad varían entre los 2 metros y los 4.5 metros.

Figura 29.

Corte transversal del embalse somero El Salado

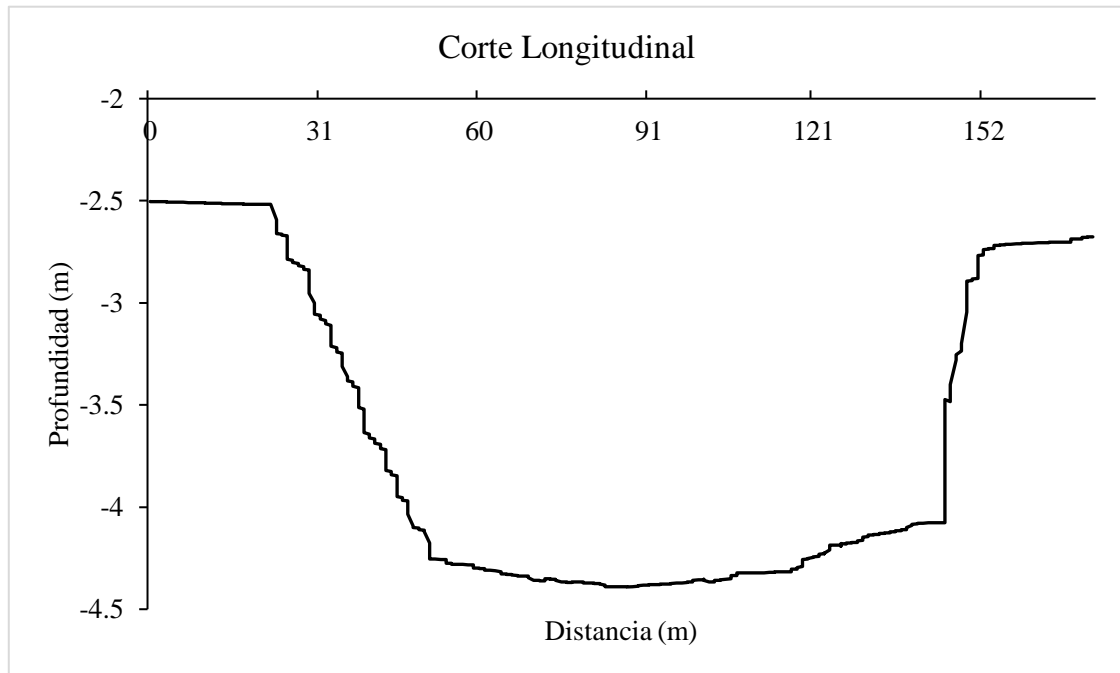


Nota. El corte transversal indica que la zona de mayor profundidad se encuentra entre los intervalos de 609 m y 851 m de distancia, reflejados en la zona de mayor acumulación de volumen de la cubeta lacustre.

Corte longitudinal u horizontal. El corte longitudinal (Figura 30) mostró que la profundidad se encuentra en el centro del embalse somero El Salado cubriendo la mayor parte de este distribuyéndose en los 4 puntos cardinales (norte, sur, este y oeste), siendo esta la zona que abarca la mayor área de la cubeta lacustre y que alcanza los 4.5 m de profundidad. Además, se puede observar que a partir de los 30 m hasta los 150 m la profundidad se reduce de manera inmediata porque es un cuerpo de agua artificial. Las partes donde se encuentran las profundidades menos son en los límites norte (N) y sur (S) respectivamente, y el embalse somero se alimenta de una entrada artificial (sequía) que lo alimenta de manera intermitente.

Figura 30.

Corte longitudinal del embalse somero El Salado



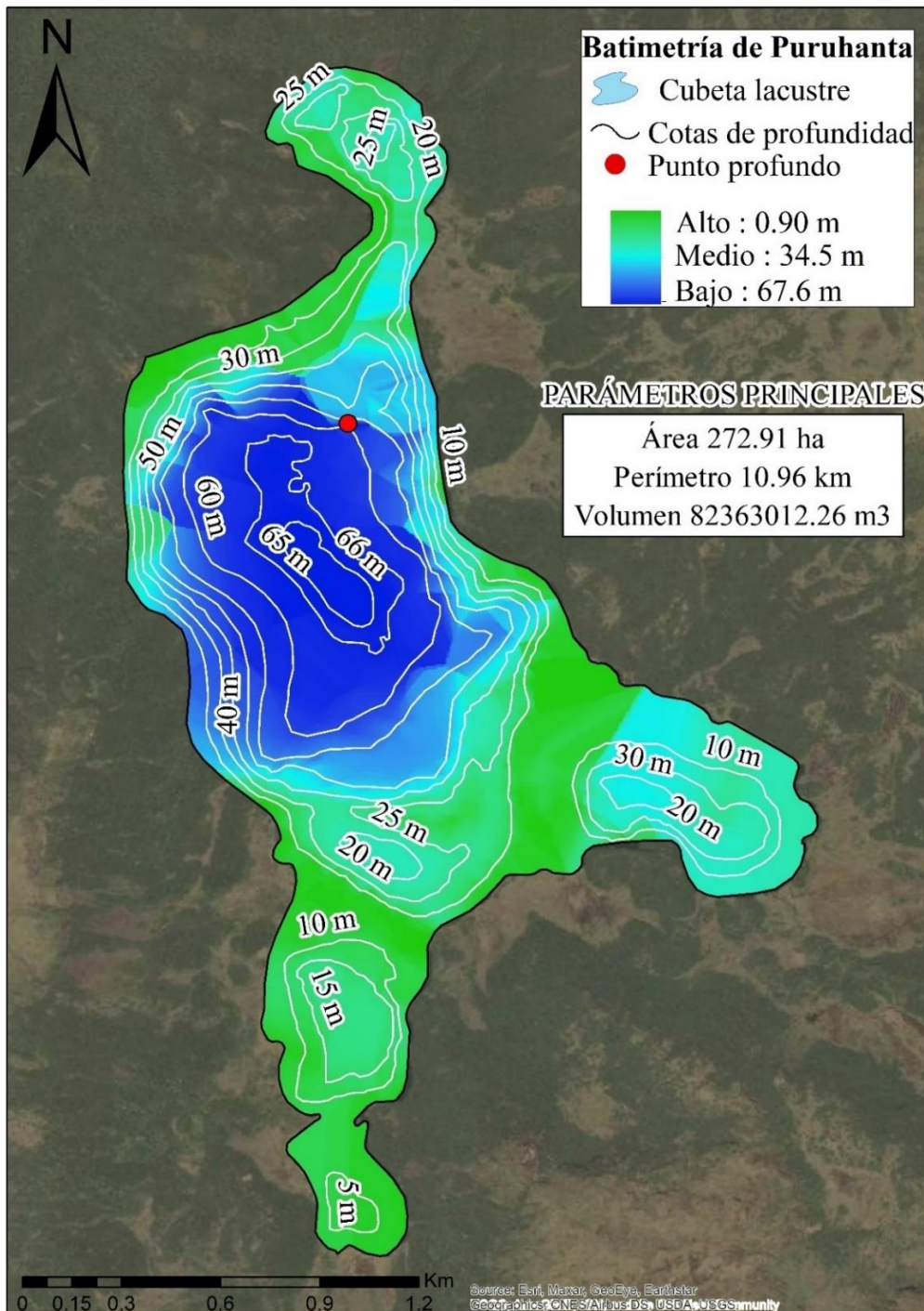
Nota. El corte longitudinal muestra que la profundidad del embalse somero es regular desde los 31 m hasta los 152 m, reflejando el perfil de los cuerpos de agua que son del tipo presa artificial.

4.2.9. Mapa batimétrico Laguna Puruhanta

Esta cubeta lacustre es la más grande de las áreas de estudio (Figura 31), su profundidad máxima es de 66,7 metros y es una laguna profunda con cotas de profundidad de 10 metros de diferencia. El volumen de esta laguna es de aproximadamente 82.36 hm³, que presenta aproximadamente 10 veces más el volumen que almacena el lago somero El Salado, esto se debe a la forma oval oblonga que tiene y mayor profundidad.

Figura 31.

Mapa batimétrico de la laguna de Puruhanta



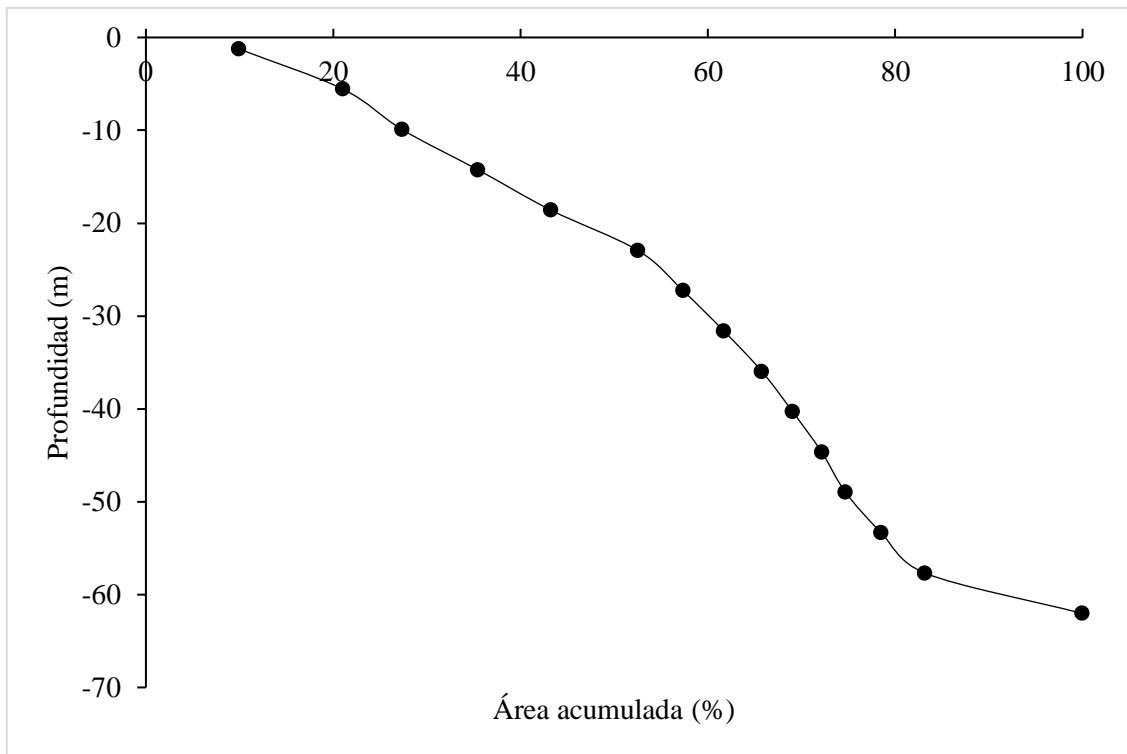
Nota. Las cotas de profundidad tienen una distancia de 10 m, excepto la cota N°1 que abarca valores menores a 10 m y la cota N°6 que va desde los 50 m hasta la profundidad máxima.

4.2.10. Análisis de la curva hipsométrica de la laguna Puruhanta

De acuerdo con la curva hipsométrica (Figura 32) de la laguna de Puruhanta corresponde a una cubeta lacustre que se encuentra en fase adulta o etapa de madurez. Los valores de IHA (0.41) e IHa (0.47) corresponden a una curva hipsométrica del tipo B o de forma aplanada, esto demuestra que la laguna se encuentra en un estado de equilibrio, con procesos geomorfológicos generales balanceados y una alta capacidad de carga en la dinámica fluvial general, además de patrones de drenaje distributarios dentríticos.

Figura 32.

Curva hipsométrica de la laguna Puruhanta



Nota. La imagen muestra que la curva tiende a ser regular respecto a la pendiente en el 60% del área de la cubeta lacustre.

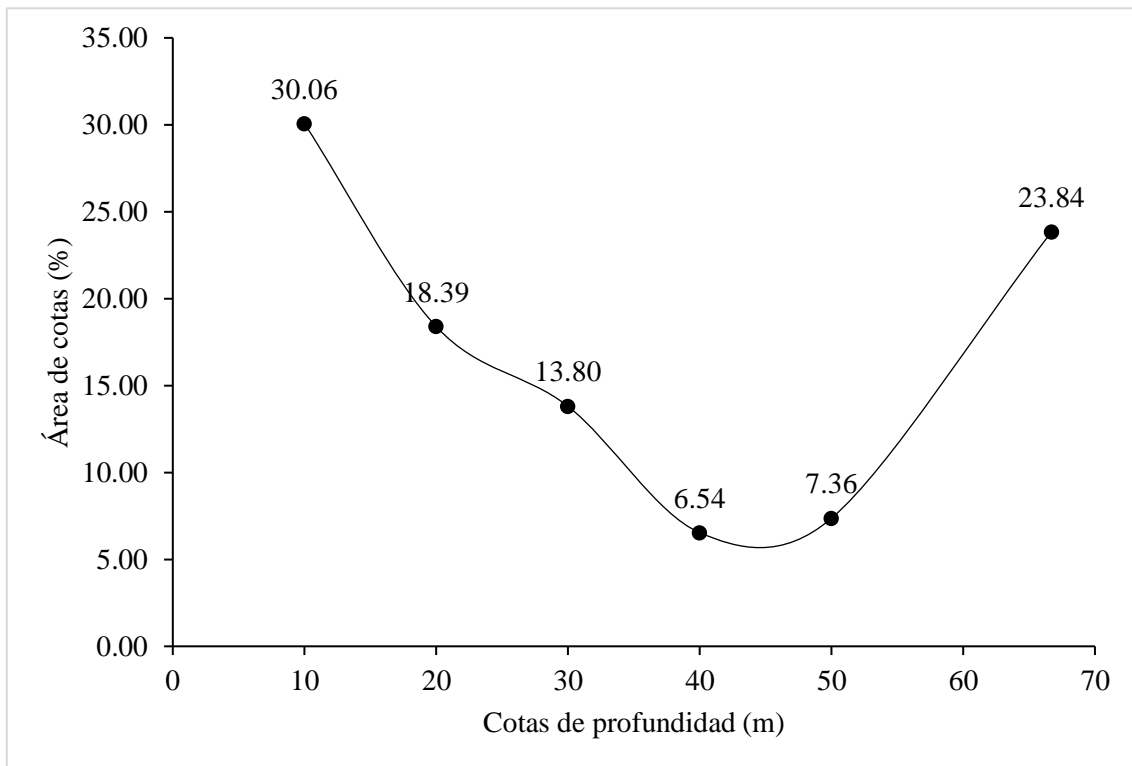
4.2.11. Distribución espacial del agua por cotas de profundidad de la laguna Puruhanta

Los datos del levantamiento batimétrico (Figura 33) de la laguna Puruhanta pueden ilustrar la distribución volumétrica y las áreas de superficie cubiertas, se establecieron cotas de profundidad de 10 m hasta 66.7 m. En la Figura 32 se muestra la

cota entre los 0 m y 10 m de profundidad con el 30.06% de la superficie, equivalente a 81.83 ha, a esta le sigue la cota de los 60 m y 66.6 m que refleja el 23.84% del área y 64.88 ha. Por último, se encuentran las cotas entre 10 m y 50 m que en conjunto representan el 46.10% cubriendo un área de 125.48 ha.

Figura 33.

Relación de profundidad (m) vs área de cotas (%) de la laguna Puruhanta

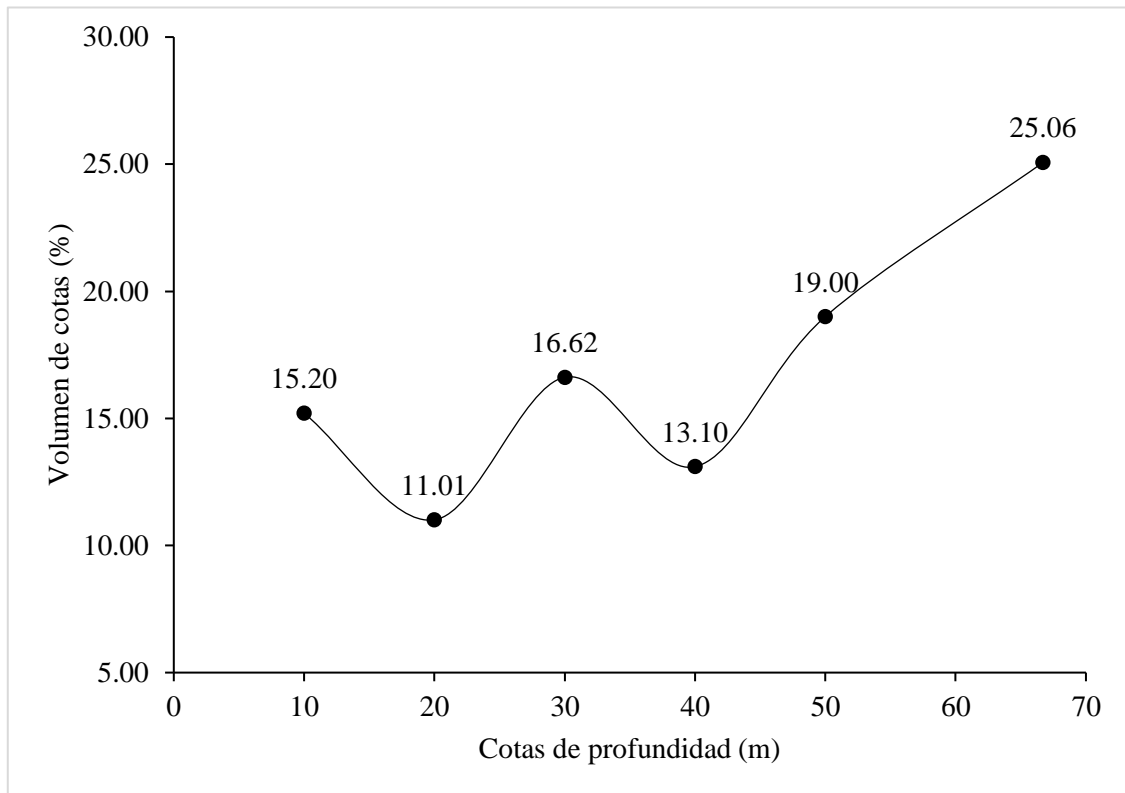


Nota. La figura muestra que la mayor área se encuentra en la cota menor a 10 m y en el segmento que va desde los 60 m hasta la parte más profunda de la laguna.

En la Figura 34, se representa gráficamente el volumen que cubren las cotas de profundidad de la laguna Puruhanta, la cota con mayor volumen está ubicada entre los 60 m y 70 m con un 25.06% que representa 20.64 hm³, le sigue la cota entre 40 m y 50 m con 19% equivalente a 15.65 hm³ y después se encuentran las cotas que van entre los 10 m y 40 m con un 55.93% y un volumen de 46.069 hm³.

Figura 34.

Relación de profundidad (m) vs volumen de cotas (%) de la laguna Puruhanta



Nota. En la figura se puede observar una distribución más equitativa del volumen respecto a las cotas de profundidad, excepto en la zona con mayor profundidad que cuenta con el 25% del volumen total de la laguna.

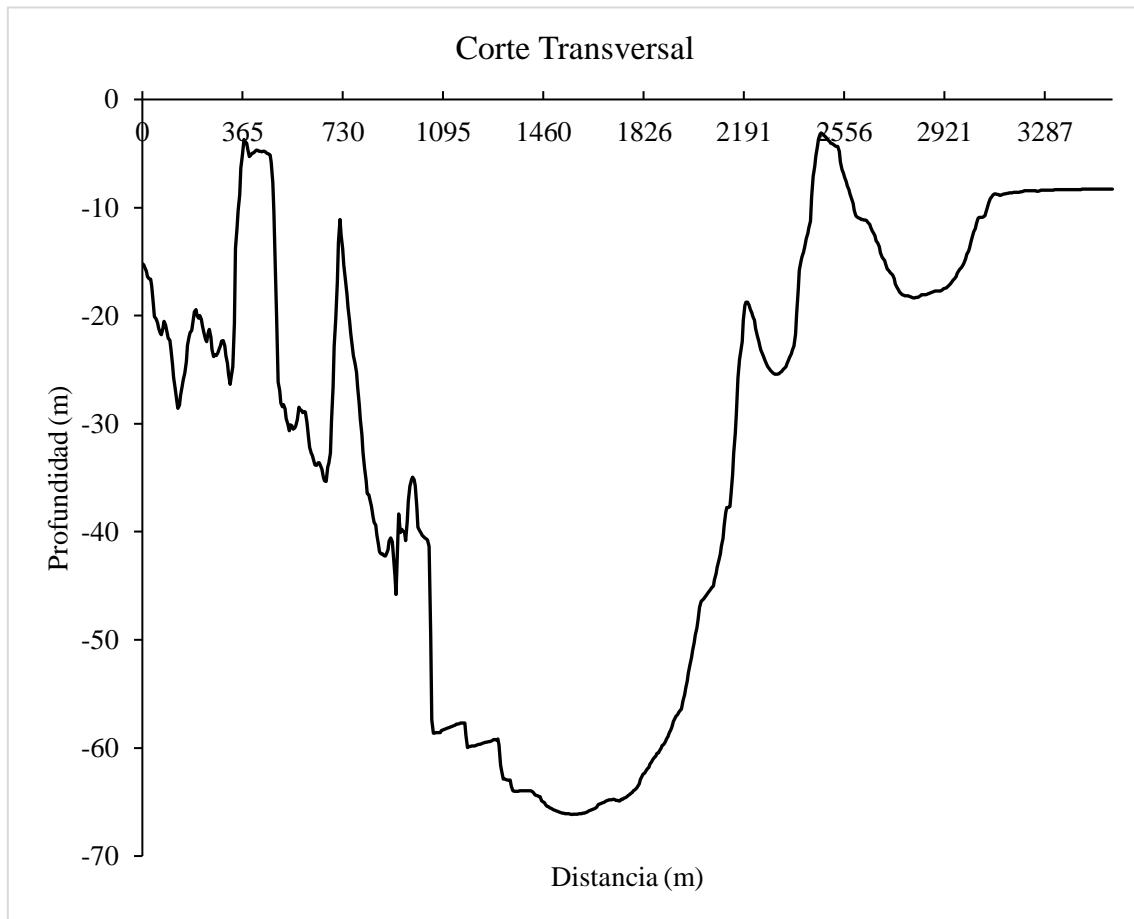
4.2.12. Cortes de la cubeta lacustre Puruhanta

De acuerdo con el mapa batimétrico, el corte longitudinal o amplitud máxima es de 1306 m y el corte longitudinal o longitud máxima es de 3534 m.

Corte transversal o vertical. El corte transversal (Figura 35) mostró que la zona con mayor profundidad se encuentra en la parte central de la laguna Puruhanta. De igual manera, se observa que existen tramos donde la profundidad aumenta y disminuye hasta llegar a los 1460 m de distancia donde la profundidad se mantiene a partir de los 50 m hasta los 1820 m en donde vuelve a ascender de nuevo hasta llegar a una profundidad <10, esta característica se debe a la geomorfología de la laguna que cuenta con relieves notables debajo de la superficie del agua.

Figura 35.

Corte transversal de la laguna Puruhanta

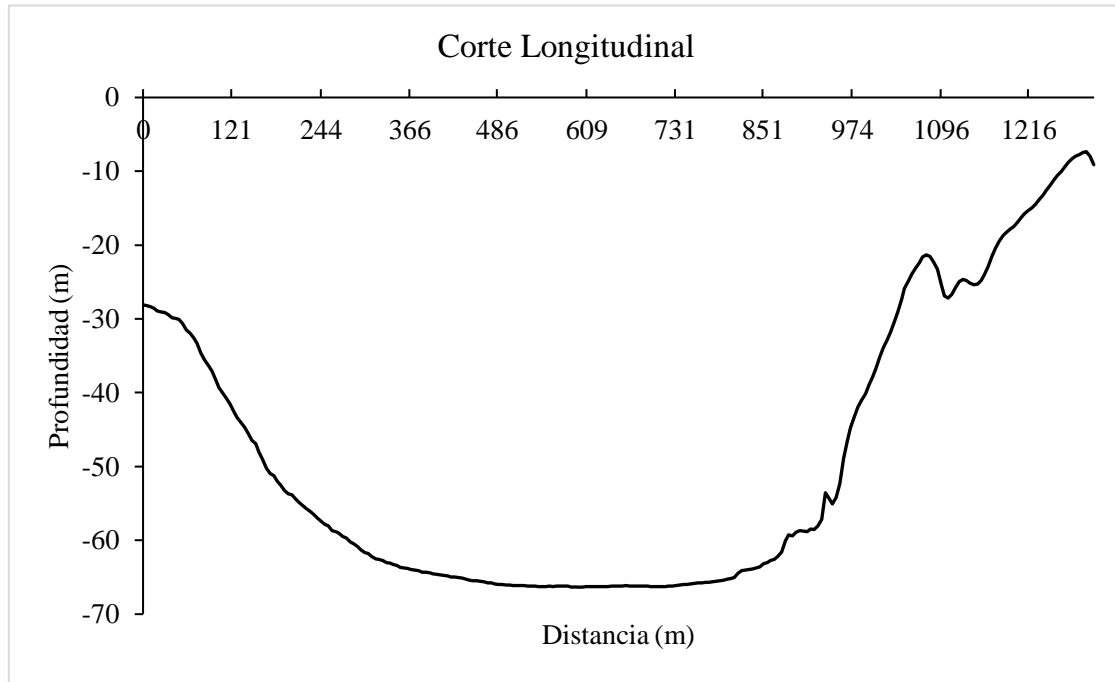


Nota. En la figura se observa que la mayor profundidad se encuentra en los intervalos entre 1095 m y 1826 m de distancia.

Corte longitudinal u horizontal. El corte longitudinal (Figura 36) mostró que la profundidad máxima se encuentra en el centro de la laguna Puruhanta, se puede observar que desde los 366 metros de distancia la profundidad del lago alcanza su punto más profundo de 67 m aproximadamente y está sigue por un tramo hasta llegar hasta los 851 m de recorrido, para luego disminuir su profundidad hasta <10m en la parte sur oeste (SO) del corte. De igual manera se puede observar que la mayor entrada de agua proviene de un río que la alimenta directamente, está se ubica en la parte noroeste (NO) y que se distribuye directamente por toda la laguna en dirección al centro donde se encuentran profundidades desde los 30 m y también abarca la mayor cantidad de volumen de las cotas de profundidad.

Figura 36.

Corte longitudinal de la laguna Puruhanta



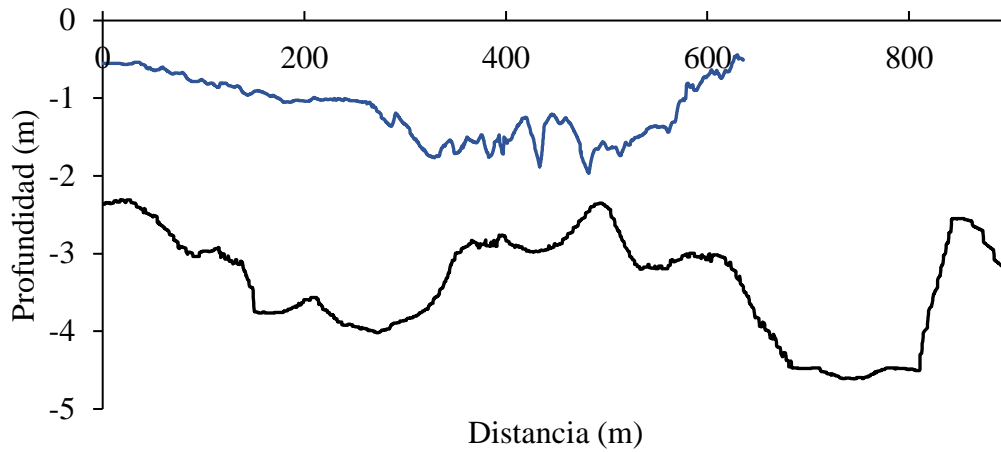
Nota. Se observa que la zona con mayor profundidad se abarca en la mayoría del trayecto de la gráfica, desde los 244 m hasta los 851 m.

4.2.13. Análisis de sedimentos de las cubetas lacustres

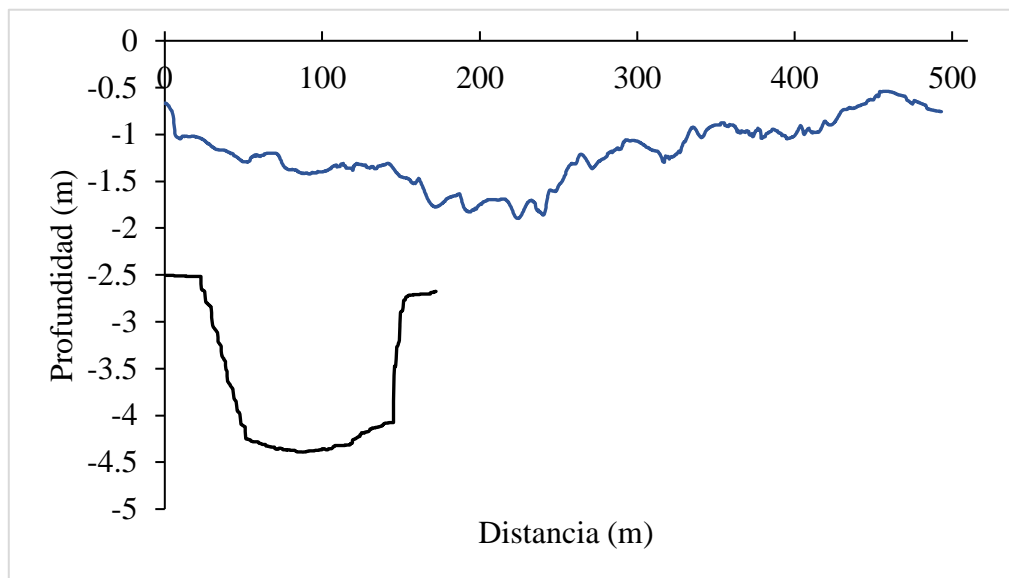
Los lagos tropicales de alta montaña como El Voladero, El Salado y Puruhanta se caracterizan por tener sedimentos que interactúan con la columna de agua (Gunkel, 2003). En el caso del Voladero y Salado tienen características similares tomando en cuenta que son someros o poco profundos. En el corte transversal se puede observar que en el Salado se acumula una gran cantidad de sedimentos en la zona central de la cubeta lacustre en la parte de profundidades intermedias, causado por el riesgo de la acumulación de sedimentos que presenta el embalse relacionado con las actividades antropogénicas y a una entrada de agua desde una pendiente alta que choca directamente con el flujo de agua. De igual manera, el panorama del Salado se debe a que los nutrientes que están en los sedimentos aceleran en proceso de eutrofización, como lo describe Maynaguez y Tumbaco (2019) en la investigación realizada en la laguna Huarmicocha, mencionando que la presencia de sedimentos proviene de la erosión de las subcuencas, arrastrando residuos de actividad agrícola y antrópica en conjunto con los vientos y precipitaciones que terminan en los cuerpos de agua (Figura 37).

Figura 37.

Cortes transversales del lago Voladero y embalse Salado



Cortes longitudinales de las cubetas Voladero y Salado



Nota. La línea de color azul refleja el corte transversal de la cubeta del Voladero, mientras que la de color negro es del Salado.

El caso de la laguna Puruhanta en la entrada existe una acumulación de sedimentos prolongada hasta el 1er km de recorrido y esta presencia de materia vuelve a partir del 2do km hasta finalizar el recorrido de la cubeta. Esto ocurre porque los sedimentos detríticos abundan en la desembocadura de los ríos (entrada de agua constante de Puruhanta), además que la estratificación de los sedimentos son una característica de los

lagos profundos de zonas altoandinas con grandes altitudes (Martín, 2020). Además, se puede observar que a partir de los 40 m de profundidad ya no hay capas de sedimentación entre los intervalos de 1 a 2 km, contrarrestando la forma del corte longitudinal en el cual no se observa sedimentación.

Por lo tanto, el riesgo de mayor presencia de sedimentos entre las cubetas lacustres lo tiene el embalse El Salado, causado por las actividades antrópicas, el arrastre de materia orgánica y las condiciones físicas, después está el Voladero por ser un lago poco profundo y que se alimenta de aguas subterráneas, y por último, la laguna de Puruhanta que es profunda y la entrada de sedimentos se ve influenciada en la cobertura vegetal aledaña y las entradas y salidas de agua que forman parte del río.

Es así como se necesita implementar estrategias de conservación en las cubetas lacustres, por lo cual la guía batimétrica es una herramienta indispensable para el primer paso de estudio, que es el análisis de los parámetros de morfometría y batimetría de los cuerpos de agua.

4.3. Guía batimétrica

4.3.1. Descripción

En la presente guía se detallan los pasos a seguir para realizar un estudio batimétrico y en su defecto la obtención de los mapas de batimetría enfocados en el estudio de lagos y lagunas altoandinas de Ecuador.

4.3.2. ¿Qué es una batimetría?

Es un *levantamiento topográfico* que está influenciado por el ciclo del agua y que da a conocer las características bajo la superficie de los cuerpos lacustres (Mandonx, 2014).

4.3.3. Metodología

El levantamiento topográfico bajo la profundidad del agua se divide en 5 pasos, que se describen a continuación:

- **Identificar el área de estudio**

- a) Conocer el área de estudio es un paso fundamental, ya que dependiendo del *dimensionamiento* (tamaño) de la cubeta lacustre se puede planificar la salida de campo y los recursos necesarios para su realización.
- b) El área de estudio debe ser identificada previamente a la salida de campo, y los requerimientos necesarios son los siguientes:
 - *La ubicación geográfica de la cubeta lacustre.* – conocer el cantón y la parroquia donde se encuentra el cuerpo de agua
 - *El mapa de ubicación.* – elaborado en ArcMap a partir de imágenes satelitales y cartas topográficas, ejemplo:

Figura 38.

Descarga de datos de ubicación nacional, provincial y cantonal

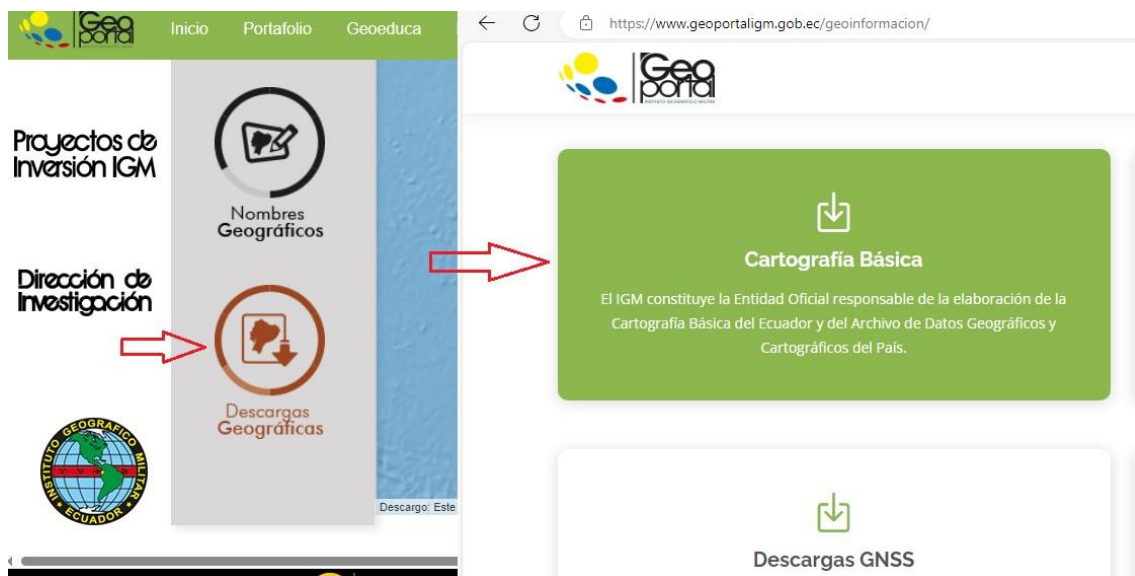


Figura 39.

Creación del shapefile



Figura 40.

Shapefile del polígono



Figura 41.

Creación del polígono del cuerpo de agua



Figura 42.

Campos de área (Ha) y perímetro (km)

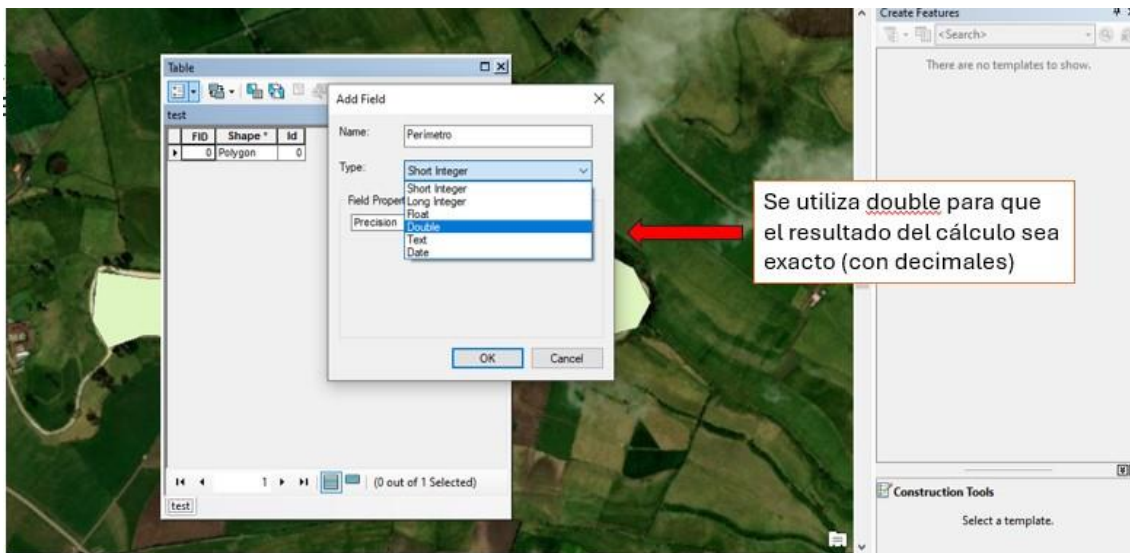


Figura 43.

Cálculo de valores de área y perímetro

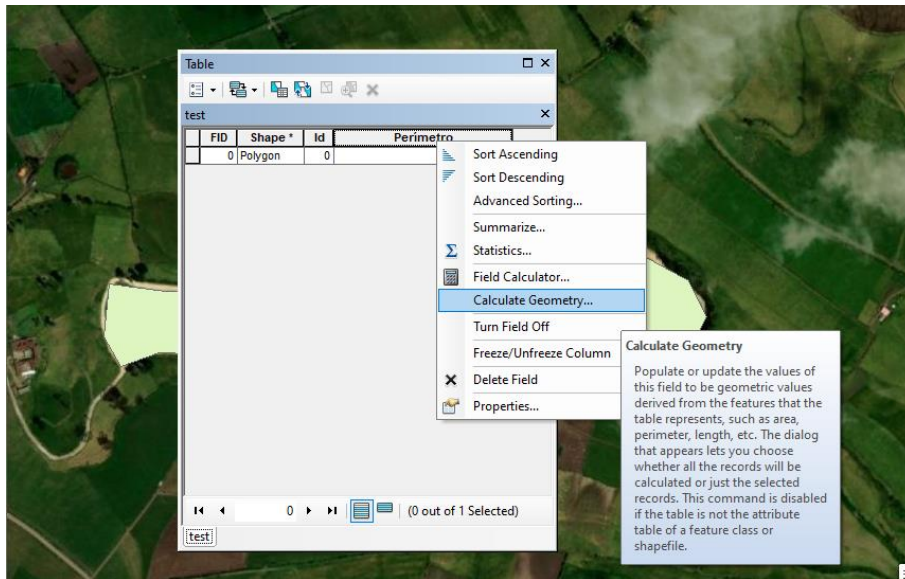
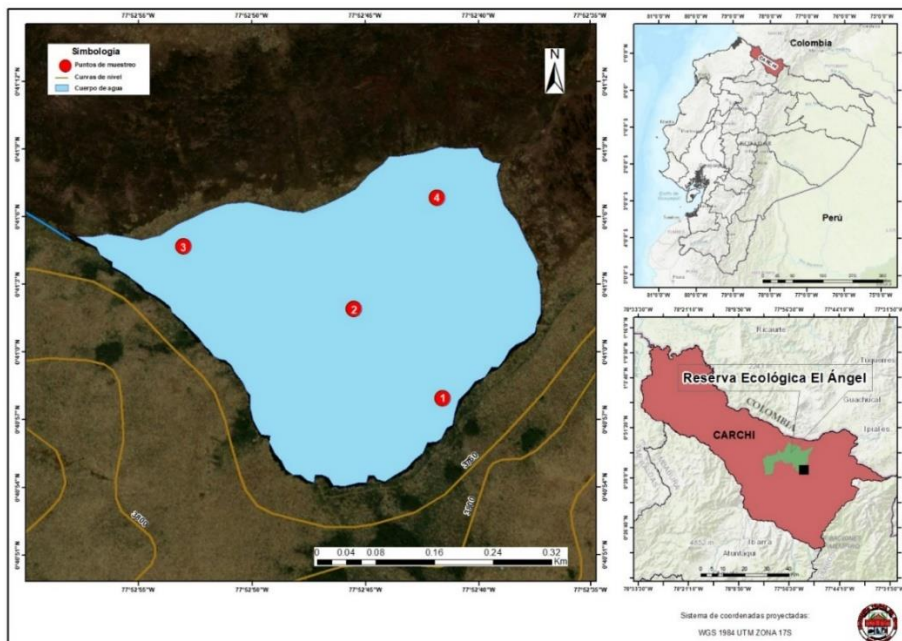


Figura 44.

Ejemplo de un estudio de caso: Mapa de ubicación del lago El Voladero



Nota. Los layers (capas) encendidos son el de polígono del cuerpo de agua, curvas de nivel, imagen satelital, río.




El mapa de ubicación cuenta con la ubicación a escala nacional, provincial, y en el mapa se añade la simbología, coordenada cardinal (Norte) y la escala.

- ***Preparación de equipos y herramientas***

Los equipos deben ser calibrados previamente a la salida de campo y se debe revisar el estado de las herramientas, que se presentan en las tablas 11 y 12.

Tabla 11.

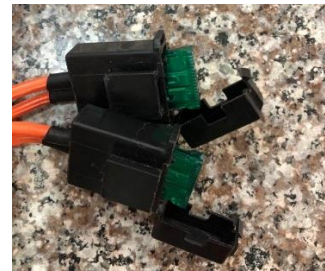
Equipos de laboratorio

N°	Equipos	Fotografía
1	Computadora portátil Durabook. - Revisar el estado de la laptop, el funcionamiento del programa Dr. Depth y que se encuentre en buen estado el cargador (conexión energética)	
2	Cargador (batería) Durabook	
3	Batería. – batería de carro tamaño mediano (12 voltios) cargada en su totalidad	

- 4 Convertidor. – el convertidor debe estar funcional, en buen estado, y los fusibles también, de igual manera es necesario llevar fusibles adicionales en caso de que estos se dañen.



- 5 Fusibles del convertidor



- 6 Bote Sea Eagle 14S.- la estructura del bote debe estar completa (placas, estructuras, remos y motor), revisar que no existan escapes de aire (aberturas) y en caso necesario parchar los orificios, tener a mano el inflador, conocer sobre el manejo del motor (dirección y velocidad) y que el bidón tenga combustible suficiente para el recorrido.



- 7 Estructuras del bote



8 Motor de dos tiempos



9 Ecosonda Garmin GPS Map 526s.- se verifica que la estructura esté completa (antena, pantalla y sonar), también se establece el tipo de navegación (carta topográfica) con la unidad de coordenadas y el rango de profundidad.



10 Antena de la ecosonda









11 Receptor de señal



Tabla 12.

Herramientas de campo

N°	Herramientas	Fotografía
1	Amarraderas	
2	Palos de madera (1.5 metros de largo)	
3	Herramientas de mano	
4	Cubeto plástico	
5	Cinta adhesiva y taípe	
6	Sonar manual	

- **Montaje y prueba de funcionamiento**

Para el montaje de los equipos se deben seguir los siguientes pasos:

1. Colocar el bote en un lugar adecuado.
2. Poner las estructuras y las placas donde corresponden.
3. Inflar el bote, empezando por los lados y al final la base del mismo.
4. Sujetar la antena y el sonar a una estructura de madera previamente realizada para mantener firmes los equipos.
5. Conexión de los equipos al convertidor de energía y de este a la batería de carro de **12 voltios** revisando que no se exponga al agua y que tenga ventilación adecuada.
6. Prender los equipos y revisar funcionamiento

La prueba de funcionamiento del software Dr Depth se realiza con el fin de verificar que los datos se estén almacenando correctamente.

Figura 45.

Conexión del programa con el sistema de posición global

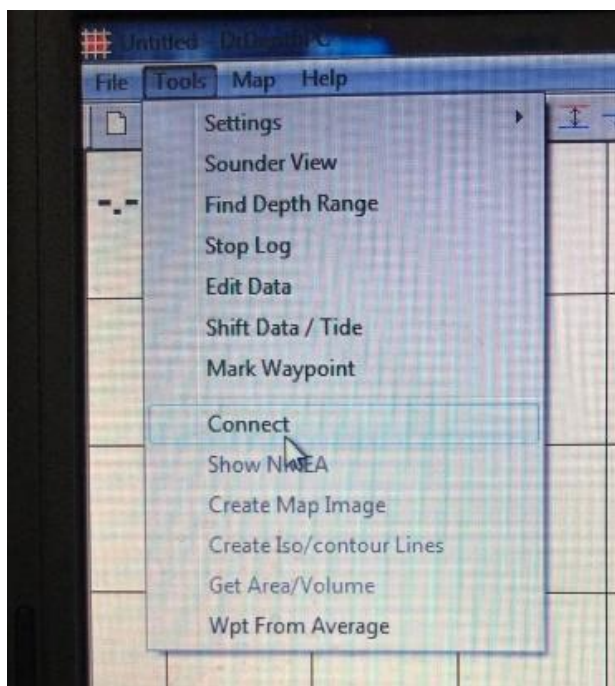


Figura 46.

Configuración del rango de dimensionamiento

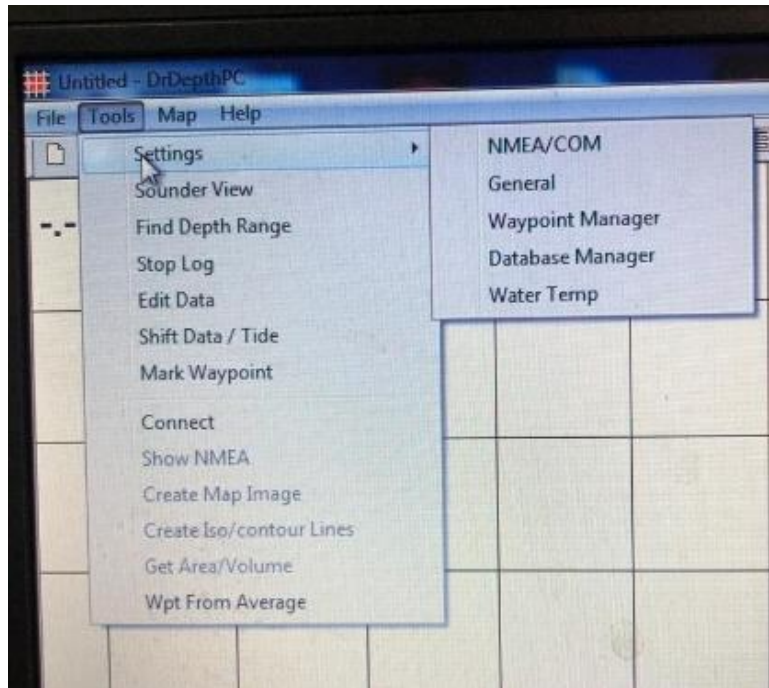


Figura 47.

Selección del tamaño interno del mapa

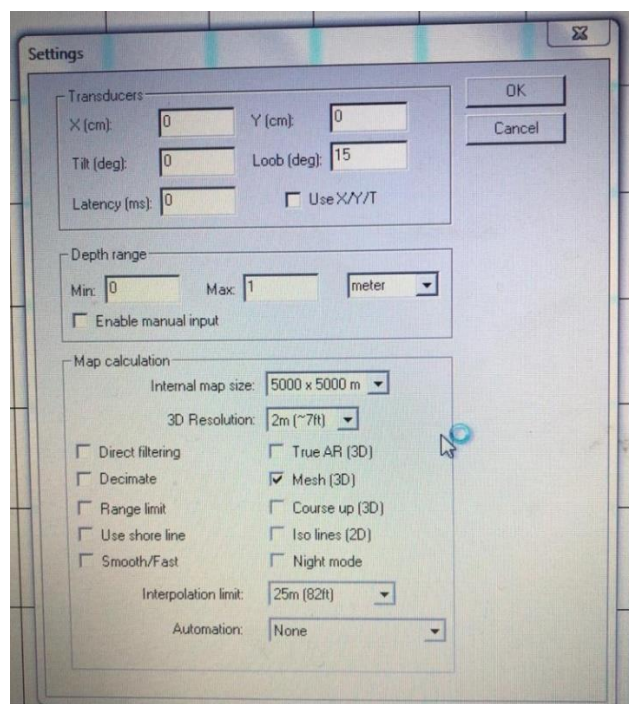


Figura 48.

Recorrido batimétrico de la cubeta lacustre

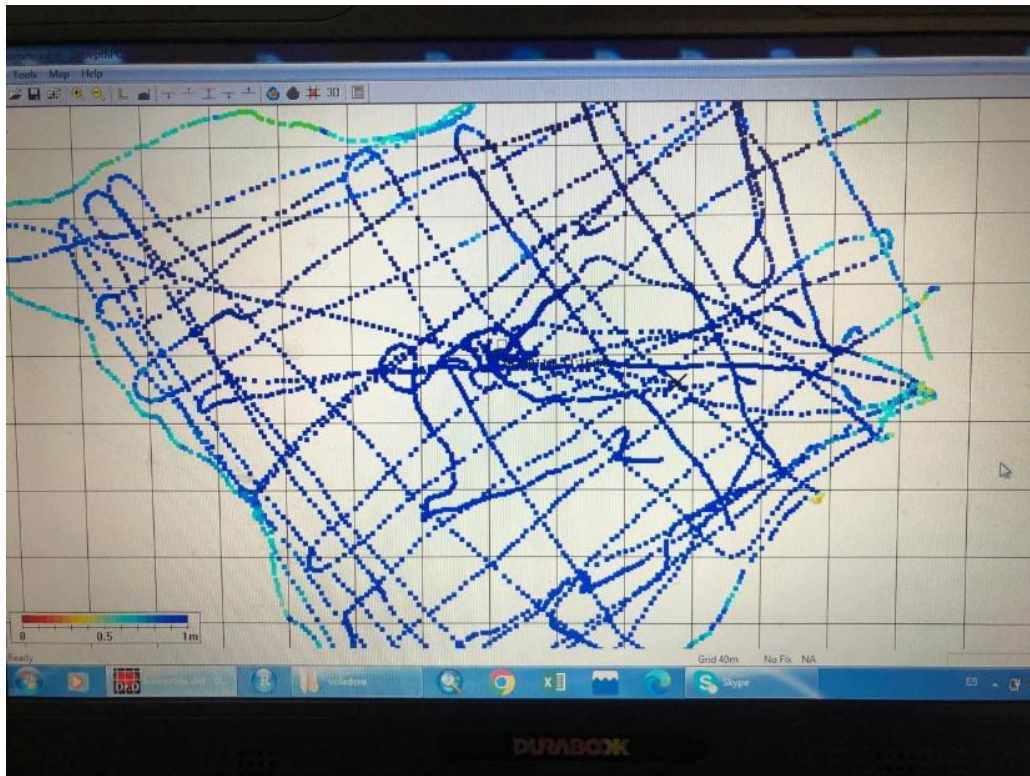


Figura 49.

Almacenamiento de datos en documento Dr Depth

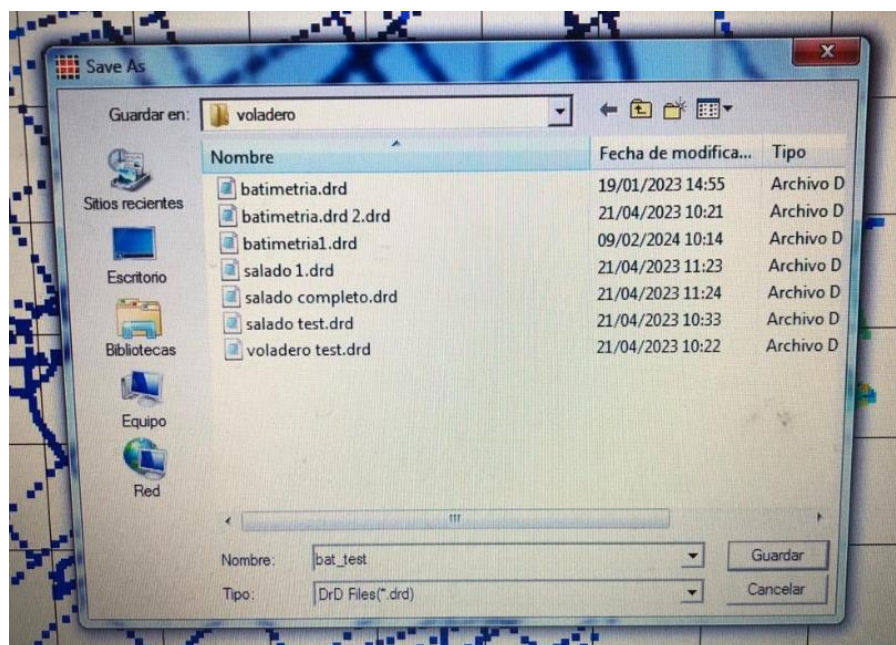
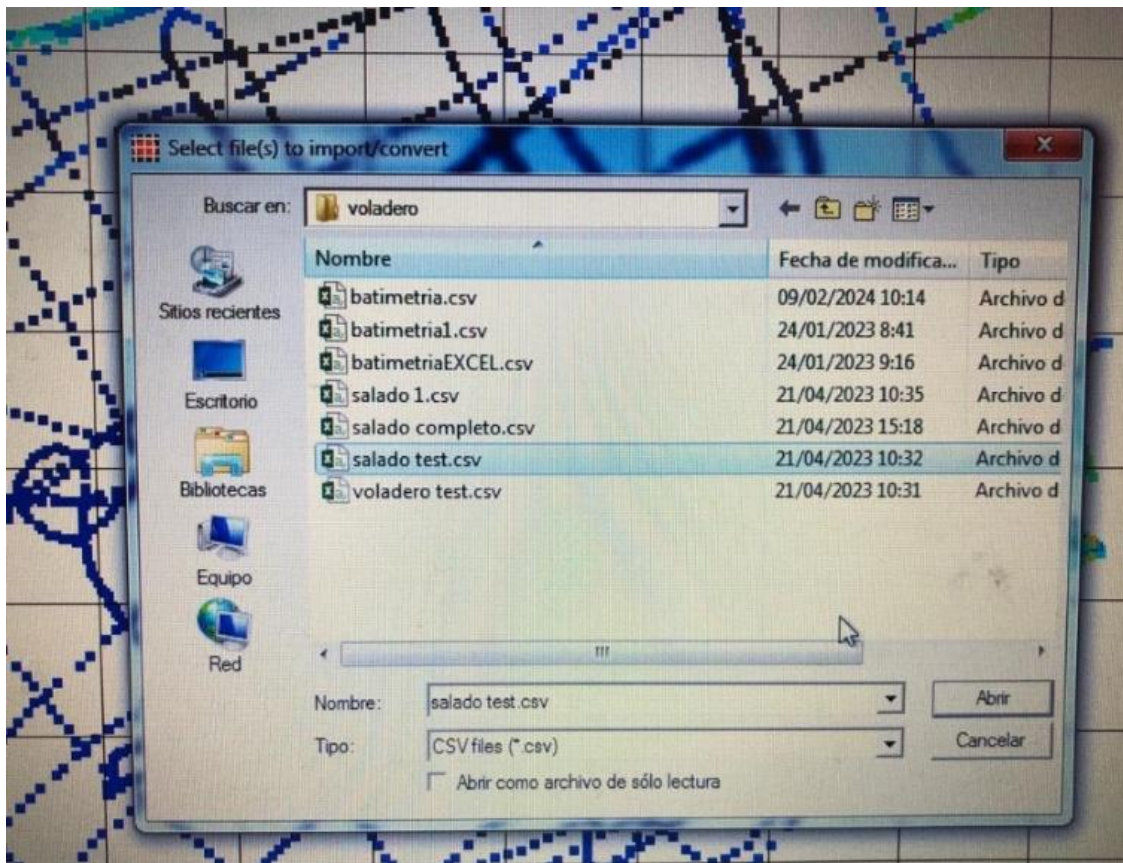


Figura 50.

Conversión de doc Dr. Depth a formato .csvs

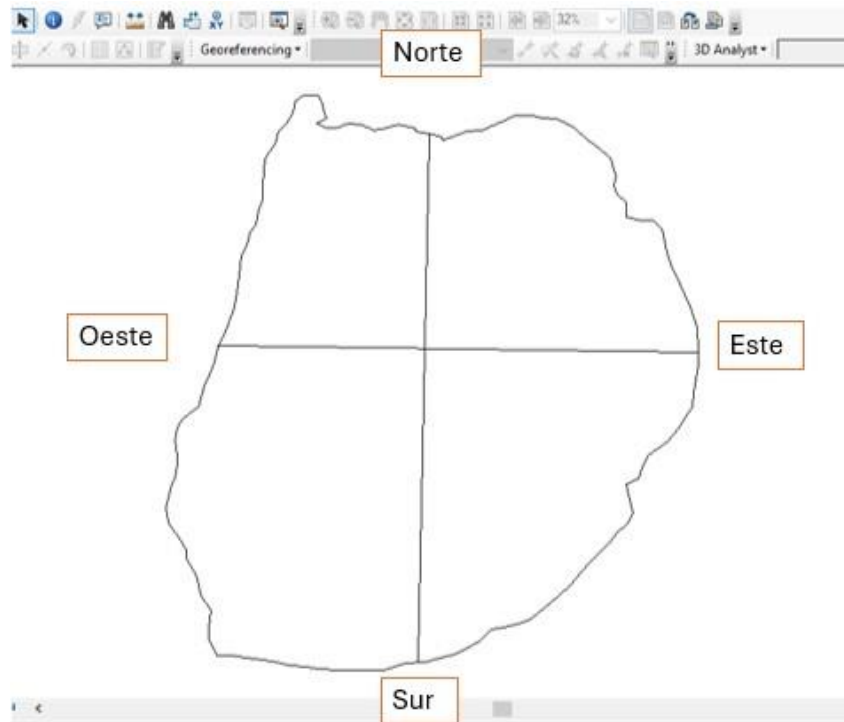


- *Actividad batimétrica y almacenamiento de datos*

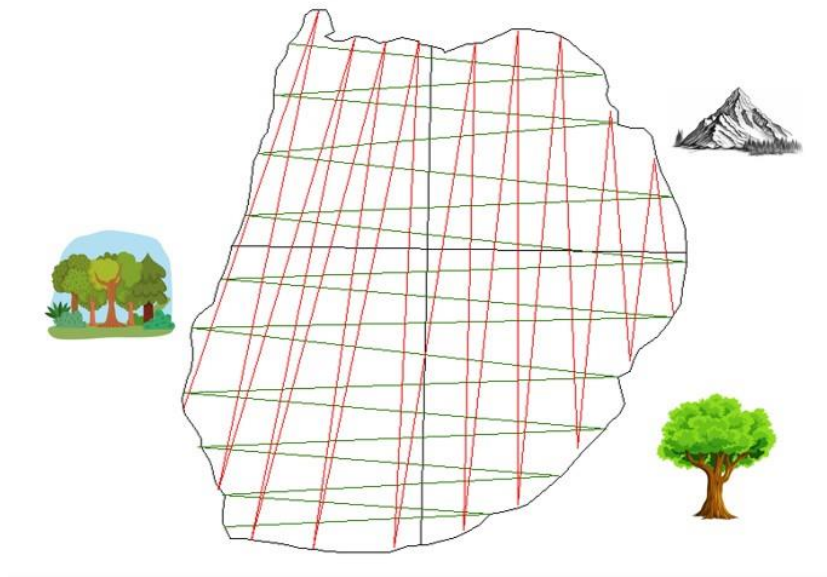
El recorrido se realiza mediante un barrido de la cubeta lacustre, primero se realiza de manera vertical y después horizontal, trazando una cruz en el mapa utilizando los puntos más anchos y largos de la cubeta. Después se hace el recorrido en zigzag de manera vertical y horizontal hasta cubrir toda el área.

Figura 51.

Recorrido vertical y horizontal de la cubeta (forma de cruz)



Recorrido en zig zag



Nota. Para realizar el recorrido en zig zag debemos tomar puntos de referencia, ya que el viento y la corriente de agua afectan al movimiento del bote, por lo tanto, se aconseja seleccionar un punto y dirigirse tomándolo como referencia. En campo se puede utilizar cobertura vegetal y pendientes o picos montañosos para ello.

- **Procesamiento de datos y mapa de batimetría**

El procesamiento de datos se realiza para depurar valores y para que el archivo ingrese correctamente en el software ArcMap 10.8, tomando en cuenta los puntos descritos a continuación.

Figura 52.

Datos de Latitud (Y), Longitud (X) y Profundidad (Z)

Latitud (x)	Longitud (y)	Profundidad(z)
0,682075	-77.878788	-1,18
0,682073	-77.878788	-1,17
0,682072	-77.878785	-1,16
0,68207	-77.878779	-1,16
0,682073	-77.878769	-1,15
0,682076	-77.878758	-1,15
0,682077	-77.878745	-1,09
0,682078	-77.878732	-1,19
0,682082	-7.787872	-1,17
0,682087	-77.878703	-1,16
0,682091	-7.787868	-1,16
0,682098	-77.878665	-1,16
0,682101	-77.878654	-1,39
0,682099	-77.878641	-1,16
0,682108	-77.878609	-1,16
0,682119	-77.878594	-1,16
0,682113	-77.878668	-1,03
0,682111	-77.878671	-1,02
0,682105	-77.878678	-1,04
0,682097	-77.878683	-1,37
0,682091	-77.878689	-1,34

Figura 53.

El archivo se debe guardar en formato .csv (delimitado por comas)

Se procede a abrir un documento de ArcGIS, en donde se cargan los datos obtenidos previamente y el documento de batimetría en formato .csv para proceder a la realización del mapa batimétrico.

Figura 54.

Shapefile de la cubeta lacustre

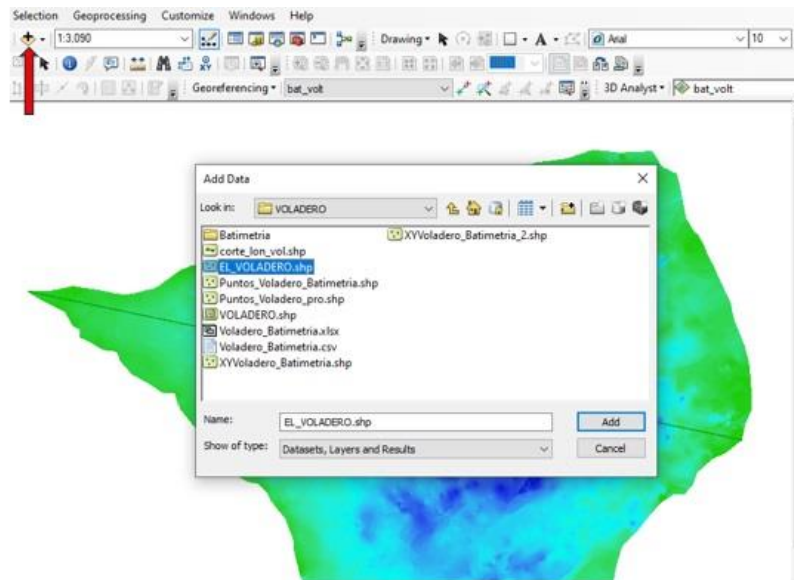


Figura 55.

Creación de la clase de caracteres

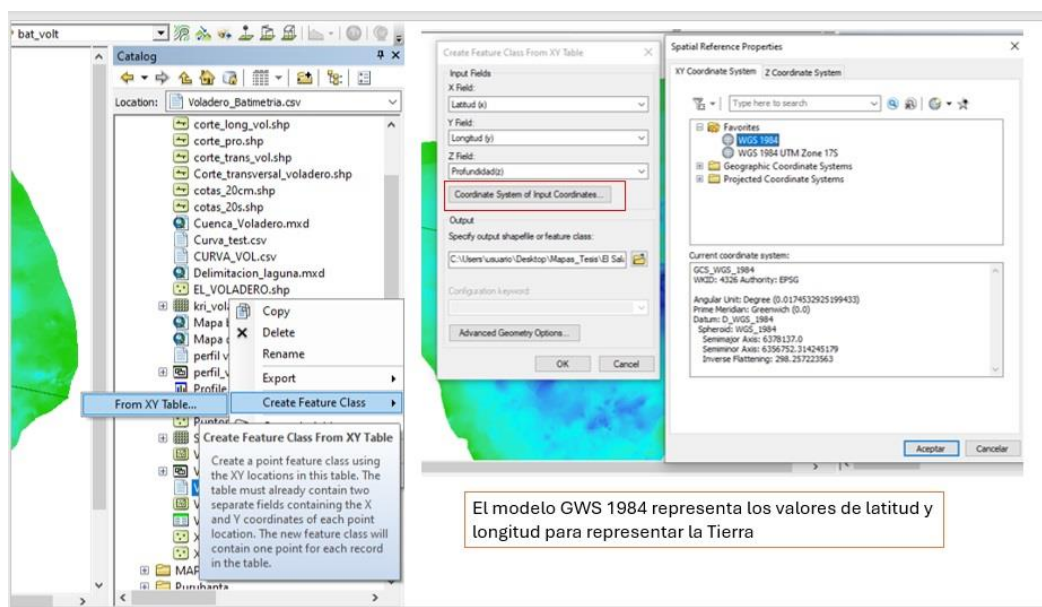
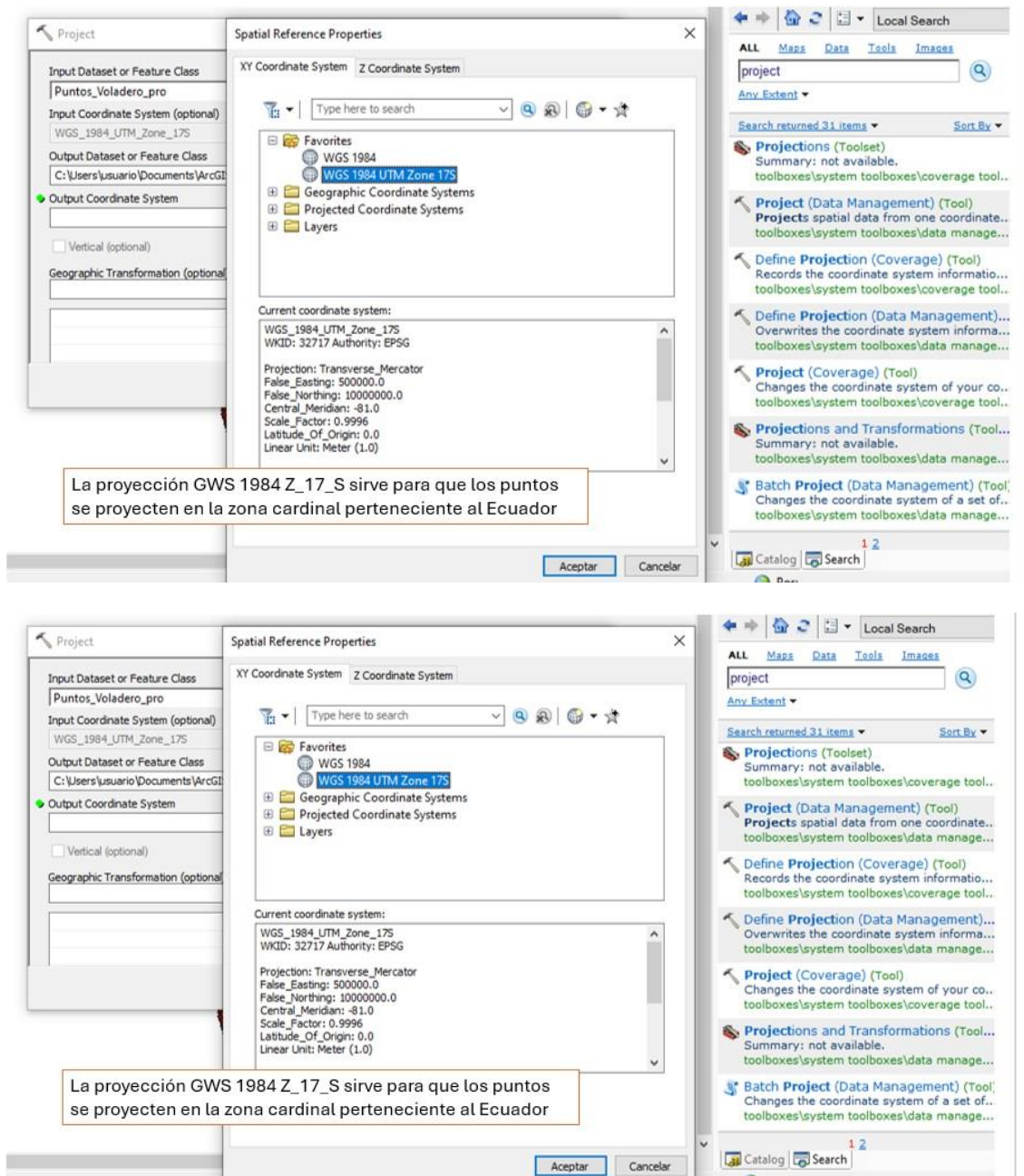


Figura 56.

Proyección de coordenadas GWS 1984 UTM Z_17_S

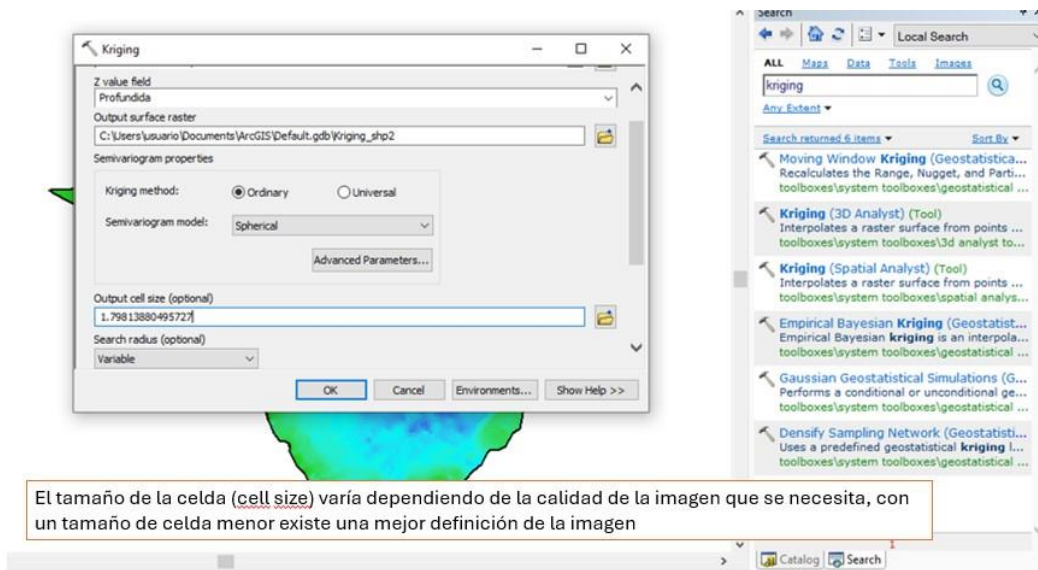


Nota. Al momento de reproyectar los puntos batimétricos las coordenadas pasan a medirse en metros.

***Kriging.** – Herramienta de interpolación de un raster que tiene un grado de confianza alto debido a la tendencia de los puntos de muestreo respecto a su ubicación mediante un proceso intensivo realizado por la cantidad de datos (ESRI).

Figura 57.

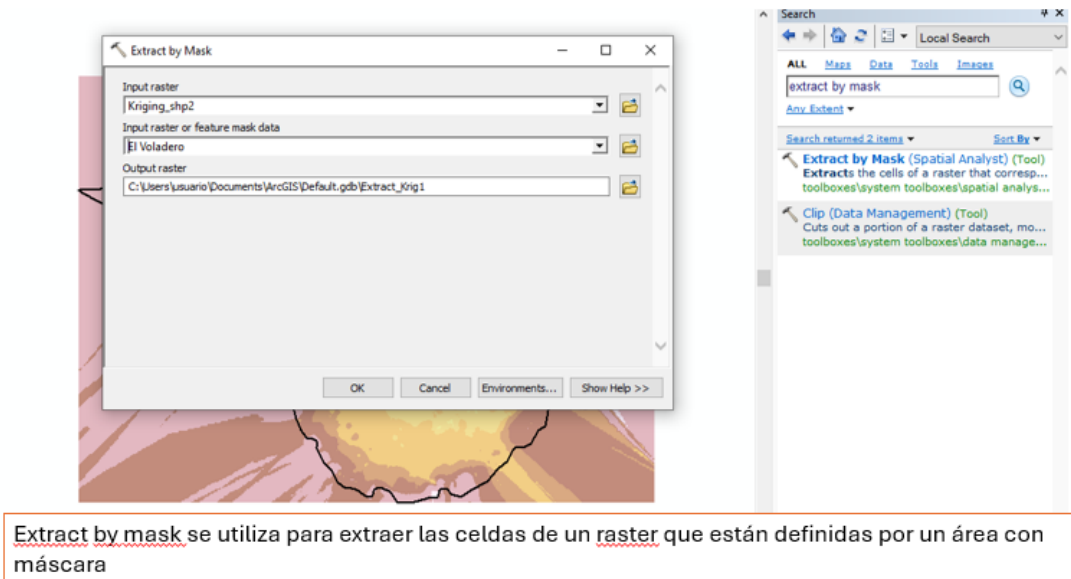
Interpolación de datos



Nota. En environments, seleccionar processing extent y same as layer de la cubeta.

Figura 58.

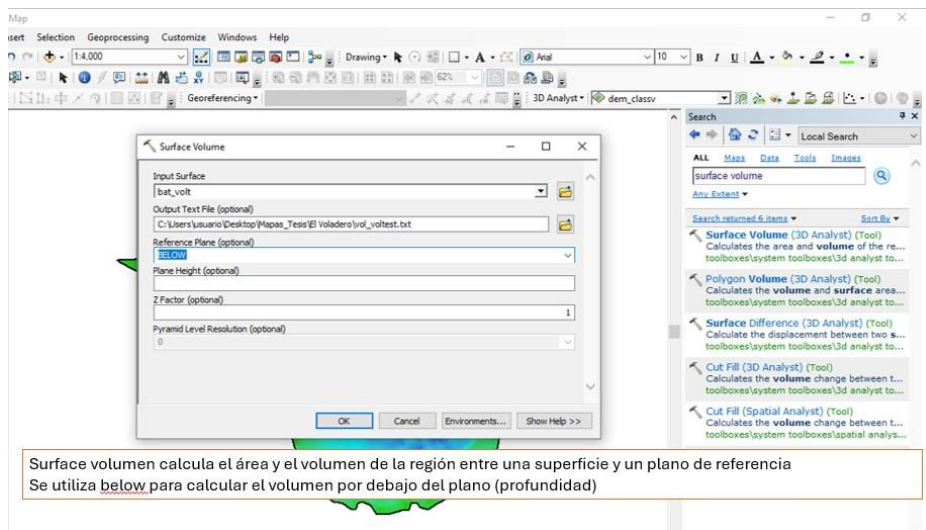
Corte de raster con perfil de la cubeta



Se utiliza la herramienta de Surface volumen para calcular el valor en m³ de agua que almacena la cubeta lacustre utilizando el raster de profundidad; la herramienta Contour (3D Analyst) se aplica para generar contornos de profundidad a distintos intervalos.

Figura 59.

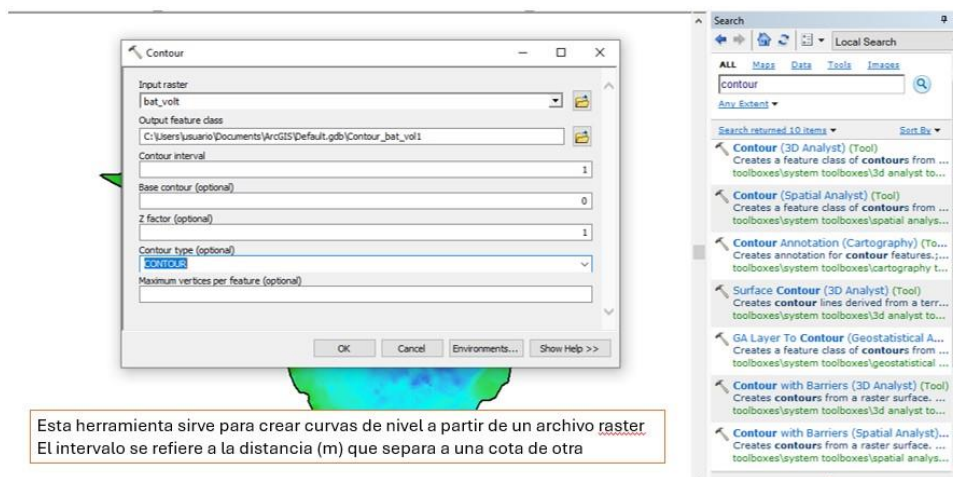
Cálculo de volumen



Nota. El resultado es una tabla donde se muestra el volumen en *metros cúbicos*.

Figura 60.

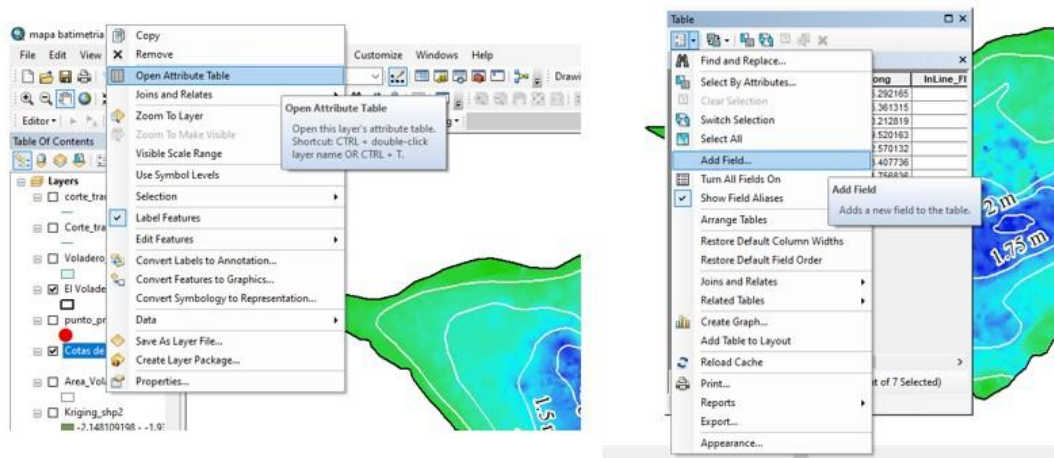
Generación de curvas de nivel



Es importante calcular la longitud de los polígonos de las curvas de nivel, por lo que se debe añadir el campo, obtener los valores a través de la herramienta calculate geometry y con la opción de selección de atributos depurar datos innecesarios.

Figura 61.

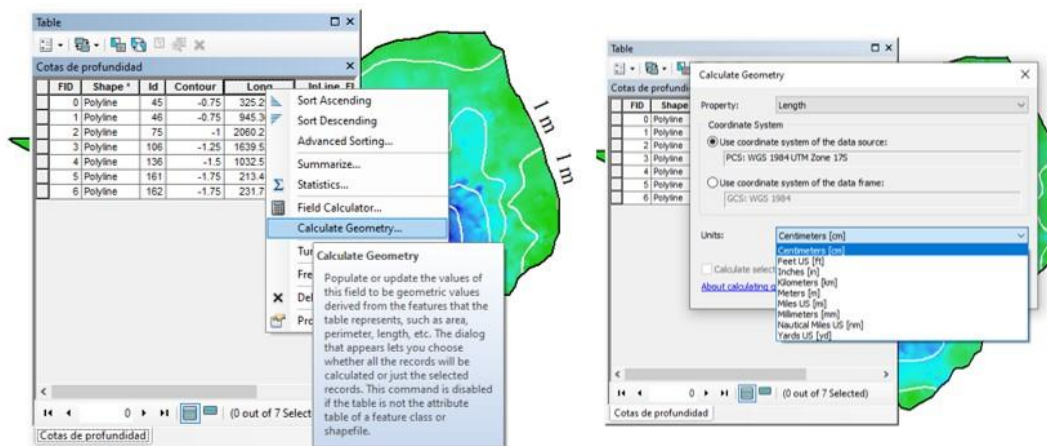
Generación del campo longitud



En el tipo de valor colocar "double" para obtener valores con decimales

Figura 62.

Cálculo de longitud de los polígonos

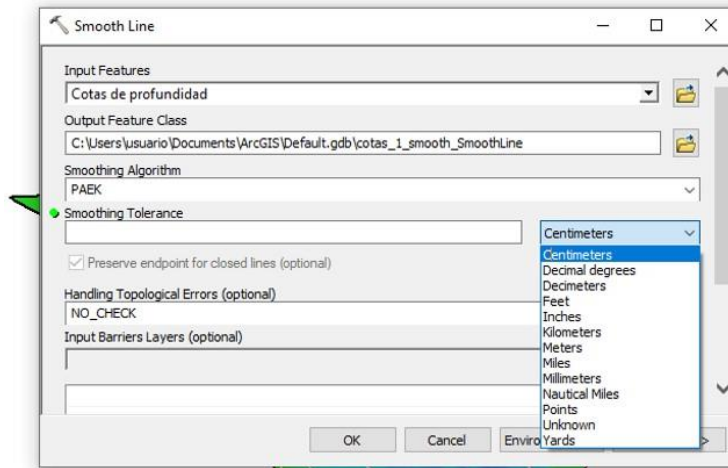


Calcular el valor de la longitud en la unidad que se requiera (m, km, etc)

Nota. Con la opción select by attributes, seleccionar los polígonos pequeños y eliminarlos.

Figura 63.

Aplicar la herramienta *Smooth Line* para suavizar las líneas

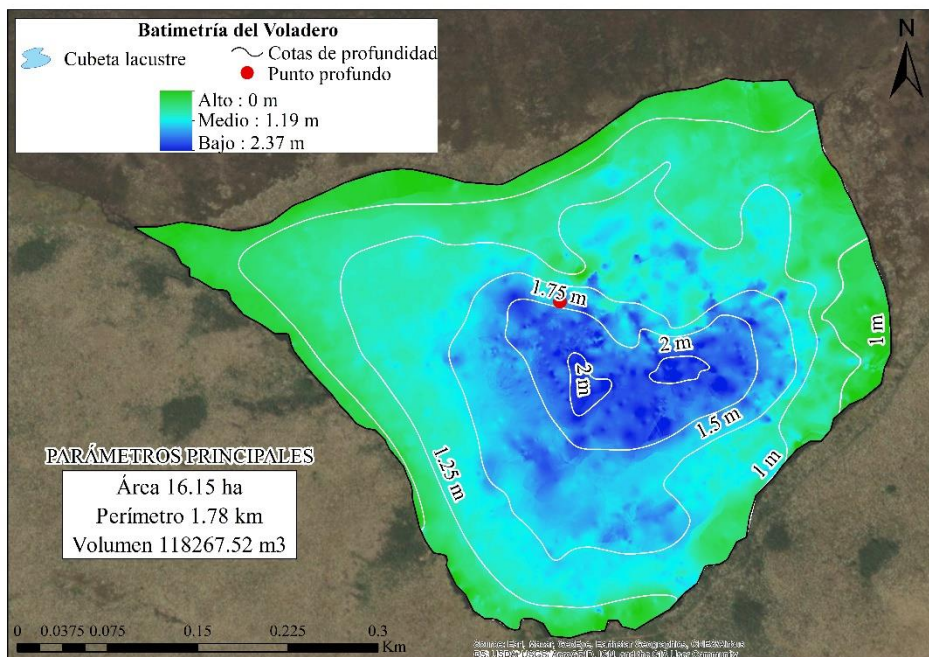


Smooth line suaviza ángulos cerrados en líneas para mejorar la calidad estética o cartográfica.

Nota. En la opción smoothing tolerance hay que jugar con los valores hasta obtener el resultado deseado

Figura 64.

Mapa final de batimetría



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La microcuenca del sistema lacustre del Voladero es de forma oval redonda, tiene un área de 1721.66 hectáreas y perímetro de 18.49 kilómetros. El lago El Voladero identificado como poco profundo es de forma elipsoidal (250 metros de amplitud máxima y 640 metros de longitud máxima total) y tiene una profundidad máxima de 2.37 metros registrada en la parte centro norte de la cubeta.
- La microcuenca del Salado es de forma oval oblonga, tiene un área de 95.40 hectáreas y perímetro de 4.54 kilómetros. El embalse somero El Salado identificado como presa es de forma oval oblonga (160 metros de amplitud máxima y 950 metros de longitud máxima total) y tiene una profundidad máxima de 5.4 metros registrada en la parte sureste de la cubeta lacustre, en el lugar de la salida de agua.
- La microcuenca de Puruhanta es de forma oval oblonga, tiene un área de 2935.53 hectáreas y un perímetro de 27.66 kilómetros. La laguna Puruhanta identificada como profunda es de forma rectangular oblonga (770 metros de amplitud máxima y 3560 metros de longitud máxima total) y tiene una profundidad máxima de 66.7 metros registrada en el cuadrante noroeste de la cubeta lacustre.
- El lago El Voladero almacena un volumen de 118267.52 m³ que concentra la mayor distribución espacial de agua en las cotas de poca profundidad y profundidad media (1, 1.25 y 1.5 metros) con el 77.15 % del volumen de la cubeta lacustre y correspondiendo directamente al área con mayor porcentaje de cotas entre los tres intervalos de profundidad, cubriendo 10.01 hectáreas de las 16.13 hectáreas totales.
- El embalse somero El Salado almacena un volumen de 358820.01 m³ que concentra la mayor distribución espacial de agua en las cotas de poca profundidad y mayor profundidad (2 a 2.5 y 4 a 4.5 metros) con el 79.98 % del volumen de la cubeta lacustre y correspondiendo directamente al área con mayor porcentaje de cotas entre los dos intervalos de profundidad, cubriendo 7.87 hectáreas de las 14,96 hectáreas totales.
- La laguna Puruhanta almacena un volumen de 82363012 m³ que concentra la mayor distribución espacial de agua en las cotas de mayor profundidad (40 metros en adelante) con el 57.16 % del volumen de la cubeta lacustre, sin embargo, el área con mayor porcentaje entre las cotas de profundidad pertenece a la cota menor a 10

metros, seguida por la cota de 60 metros cubriendo una superficie de 146.71 hectáreas de las 272.19 hectáreas totales.

- El análisis de la curva hipsométrica de las cubetas lacustres indica que El Salado se encuentra en una etapa adulta o etapa de madurez al igual que la laguna Puruhanta. Por otro lado, el lago El Voladero se encuentra en una fase de transición entre la etapa de juventud y de madurez.
- Las estrategias de conservación de las cubetas lacustres tienen como finalidad la generación de datos e información de lagos y lagunas en zonas altoandinas de Ecuador a partir de una guía técnica de batimetría especializada en donde se detallan todas las actividades pre-salida de campo, durante y posterior; para la generación de los parámetros morfométricos y mapa de batimetría, que son la base de un estudio limnológico con énfasis en el manejo del recurso hídrico.

5.2. Recomendaciones

- En el sistema lacustre El Voladero se recomienda realizar una planificación para el estudio a mediano-largo plazo de las otras dos cubetas lacustres, con el fin de obtener información y conocer el funcionamiento de los cuerpos de agua, así como sus características morfométricas y medir el IET (índice de estado trófico).
- En el embalse somero El Salado es necesario realizar muestreos de parámetros físicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad de agua, así como también un monitoreo periódico para evaluar su funcionamiento ya que es un cuerpo de agua artificial y el proceso de eutrofización puede acelerarse en caso de que no se cuide adecuadamente a la laguna.
- Se debe capacitar al personal técnico de la reserva ecológica El Ángel en tema de batimetría, con el objetivo de preparación en caso de realizarse un estudio de campo en el Voladero.
- Pese a que el ingreso a la laguna Puruhanta es poco accesible, se recomienda realizar futuros estudios limnológicas del cuerpo lacustre, con el fin de investigativo y de conservación de sus recursos a través del programa VLIR-UOS y en convenio con la Universidad Técnica del Norte y aliados del sector público.
- Esta investigación es parte de un preámbulo para los lagos y lagunas altoandinas de Ecuador, por lo que se emerger estudios en otros cuerpos de agua importantes es un

paso fundamental de la limnología ecuatoriana, por lo tanto, se pide continuar con los proyectos de la índole.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer, J., Oseguera, L., Sánchez, G., González, G., Martínez, J., & González, R. (2016). Bathymetric surveys of the Montebello Lakes, Chiapas. *Journal of limnology*, 75(1), 56-65.
- APHA. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation., 22nd Edition.
- Atencio, E. J. (2017). *Estudio de oportunidades para el desarrollo Ecoturístico de las lagunas el Voladero, cantón Espejo, provincia del Carchi, para el diseño de una guía de emprendimientos ecoturísticos en la parroquia La Libertad* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5852>.
- Botero, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Cabrera, S. (2017). *Análisis temporal y espacial de comunidades zooplanctónicas en los lagos andinos: Yahuarcocha y Mojanda, Ecuador*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6948>
- Calla, J. A. (2019). *Actividades antrópicas y calidad del agua en la cuenca del río Mashcón* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Recuperado de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3319>.
- Caribbean, U. O. (2021). *Estrategias para el aumento de la disponibilidad y mejoramiento de la eficiencia hídrica en América Latina y El Caribe*. UNESCO. <https://doi.org/SC-2020/PHI-LAC/43>.
- Casallas, J., & Gunker, G. (2001). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. *Technical University of Berlin, ISSN: 021 3-8409*, 215-231.

Casallas, J., & Gunter, G. (2001). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San . 20(2), 215-232.

Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017*. Quito-Ecuador.

Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008*. Quito-Ecuador.

Convención de Ramsar. (2014). *Acerca de la Convención de Ramsar*. Ramsar Secretariat: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/about_nfp_2014_sp.pdf.

Convención de Ramsar, y Grupo de Contacto EHAA. (2008). *Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos*. Gobiernos de Ecuador y Chile, CONDESAN y TNC-Chile.

Cuellar-Nieto, D.A., & Gutiérrez Yara, S.M. (2010). *Diagnóstico ambiental de probables riesgos sanitarios en las microcuencas de las damas, el paraíso y la bananera localizadas en el municipio de Pereira*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/a53f64f1-05de-4048-8877-14b40f7a4493/content>.

Chang, J. (2005). *Limnología*. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.

Chulde, W. G. (2021). *Elaboración de una guía turística de la laguna El Salado, ubicada en el cantón Montúfar, provincia del Carchi* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10830>.

Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Guillermo, C. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. *Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, 47(ISNN:1680-9025), 47-52.

- Espinel, V. (2018). *Influencia de la actividad antropogénica en la calidad del agua del embalse La Esperanza, Ecuador* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica / Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.
- Echeverría, J. (2006). La distribución de los recursos hídricos: una cuestión de justicia. *Justicia: Un enfoque transdisciplinar* (págs. 99-120). Universidad del Norte.
- Gerbec, M. S., Morale, M., Ortiz, N. & Re, M. (2019). Campañas de relevamientos topobatimétricos - Delta del río Paraná 2017-2018. *Instituto Nacional del Agua*. DOI:10.13140/RG.2.2.31528.93447.
- Global Water Partnership. (2009). *Estrategia 2009-2013*. 2-18. [https://doi.org/ISBN: 978-91-85321-71-1](https://doi.org/ISBN:978-91-85321-71-1).
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Pimampiro. (2023). *Laguna de Puruhanta*. Recuperado de <https://pimampiro.gob.ec/>.
- González de Matauco, A. I. (2004). Análisis Morfométrico de la Cuenca y de la Red de Drenaje del Río Zadorra y sus Afluentes Aplicado a la Velocidad de Crecidas. *Boletín de la A.G.E.*, I(38), 311-329.
- Gunkel, G. (2003). Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Rev. biol. trop [online]*, 51(2), 381-390. [https://doi.org/ISSN 0034-7744](https://doi.org/ISSN0034-7744).
- Lizano, O.G. (2006). Algunas Características de las Mareas en la Costa Pacífica y Caribe de Centroamérica. *Ciencia y Tecnología*. 51-64.
- Jaramillo, V. (2013). *Caracterización preliminar de la Geomorfología e Hidrología de la microcuenca del río Irquis, parroquia Victoria del Portete, cantón Cuenca*. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/7070>.
- Mandonx, T. (2014). Trophic status and phytoplankton ecology of two lakes in norther Ecuador: Yahuarcocha & Mojanda. *FACULTY OF SCIENCE*, 1-86.

- Martínez, Y., & Villalejo, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIX(1), 58-72.
- Maynaguez Llore, E. F., & Tumbaco Benítez, E. K. (2019). *Estrategias de control y conservación en relación con la capacidad de almacenamiento hídrico de la laguna Huarmicocha, cantón Pedro Moncayo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8952>.
- Medina, S., Márquez, M., & García, E. (2007). Uso y selección de embalses por el pato mexicano (*Anas diazi*) en la región del llano, Aguascalientes-Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 23(2), 163-181. <https://doi.org/10.21656/1.329333> Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v23n2/v23n2a9.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015). *Reserva Ecológica El Ángel*. Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-ecol%C3%B3gica-el-%C3%A1ngel>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2020). *Plan de Manejo Ambiental Parque Nacional Cayambe-Coca*. CONDESAN. [https://doi.org/https://condesan.org/recursos/plan-manejo-del-parque-nacional-cayambe-coca-2020-2030/](https://doi.org/10.21656/1.329333)
- Montoya, Y. (2008). Caracterización Morfométrica de un Sistema Fluvilacustre Tropical, Antioquia-Colombia. *Caldasia*, 30(2), 413-420. <https://doi.org/10.21656/1.329333> Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39178>
- Montoya, Y. (2008). Variaciones nictemerales de algunas variaciones climáticas, físicas y químicas en una laguna somera en Guatapé (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 30(88), 83-96. [https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329333](https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329333)
- Morales, F., Ujpan, D., & Valiente, S. (2018). Batimetría y análisis morfométrico del lago de Atitlán (Guatemala). *Revista Científica*, 27(2), 48-58. <https://doi.org/10.21656/1.329333> ISSN 2070-8246.

- Mustapha, M. (2009). Phytoplankton assemblage of a small, shallow, tropical African reservoir. *Rev. biol. trop [online]*, 57(4), 1009-1025. <https://doi.org/ISSN 0034-7744>.
- López Martínez, M.L., & Madroñero Palacios, S.M. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25 (2), pp. 21-42, DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1430>.
- Ortíz-Vera, O. (2015). Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica. *Tecnologías y Ciencias del agua*, VI(4), 25-44. <https://doi.org/ISSN 0187-8336>
- Ospina-García, M.D., & Mancipe-Gironza, J.S. (2016). *Estudio Morfométrico y estimación de caudal por medio del método racional para la creciente de la quebrada Canauchita hasta la desembocadura en el río Chirche del municipio de Otanche en el departamento de Boyacá*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/2562>.
- Pazmiño, N.S. (2016). *Caracterización fisicoquímica, biológica e hidromorfológica del río Itambi como afluente el lago San Pablo (Imbabura-Ecuador)* [Tesis de pregrado, Universidad De Las Américas]. Recuperado de <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/5986>.
- Peñaherrera, G.C. (2014). *Elaboración de un inventario de atractivos naturales del cantón Pimampiro, Provincia de Imbabura*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Recuperado de <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1c7949c2-5e8a-41b5-a08e-babd0b5c4bdd/content>.
- Portilla Caicedo, K. M. (2017). *Evaluación del Comportamiento de los Parámetros Físicos del Agua, para determinar el estado trófico Del lago Yahuarcocha, Provincia Imbabura* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6928>

- Pichs, R. (2004). Subdesarrollo, déficit de agua dulce y deterioro ambiental. *CIEM, II(6)*, 111-124.
- PRIGA-UNA (2020). Esquema de una cuenca hidrográfica. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Ramos, J.H. (2016). *Análisis hidrológico de la cuenca del río Sensunapán, como alternativa para el fortalecimiento de la gestión de riesgos y reducción de la vulnerabilidad, en el departamento de Sonsonate, El Salvador*. [Tesis de doctorado, Universidad El Salvador].
- Revelo Carrera, J. L. (2017). *Evaluación del balance hidrológico y establecimiento de estrategias para la conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7652>.
- Roldán, G., Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de la limnología neotropical*. Universidad de Antioquia.
- Ruiz Guerrero, K. M., & Cuarán Mejía, D. P. (2019). *Evaluación del estado trófico con relación a los parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados bentónicos del lago San Pablo, cantón Otavalo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9415>.
- Sánchez, M., Velasco, J. C. (2015). *Propuesta para la implementación de áreas y servicios recreacionales en la Laguna de Puruhanta, en el cantón San Pedro Pimampiro, Provincia de Imbabura* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/3284>.
- Seguí-Amórteguí, L., García-Vega, D., & García-Rojas, H. (2016). Huella hídrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos. *Ciencia Nicolaita*, 69, 77-101.
- Swenson, S., & Wahr, J. (2009). Monitoring the water balance of Lake Victoria, East Africa, from space. *Journal of Hydrology*, 370, 163-176.

Thurman, H.V. (1988). *Introductory Oceanography*. Ed. Merrill Publishing Company.

Valencia Prado, K. V., & Borja Chalacan, D. R. (2017). *Estudio del potencial turístico del sistema lacustre el salado ubicado en la parroquia Cristóbal Colón, cantón Montufar, provincia del Carchi* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6950>.

Wetzel, R. (2001). *Limnology Lake and Reservoir Ecosystems*. Academic Press, San Diego.

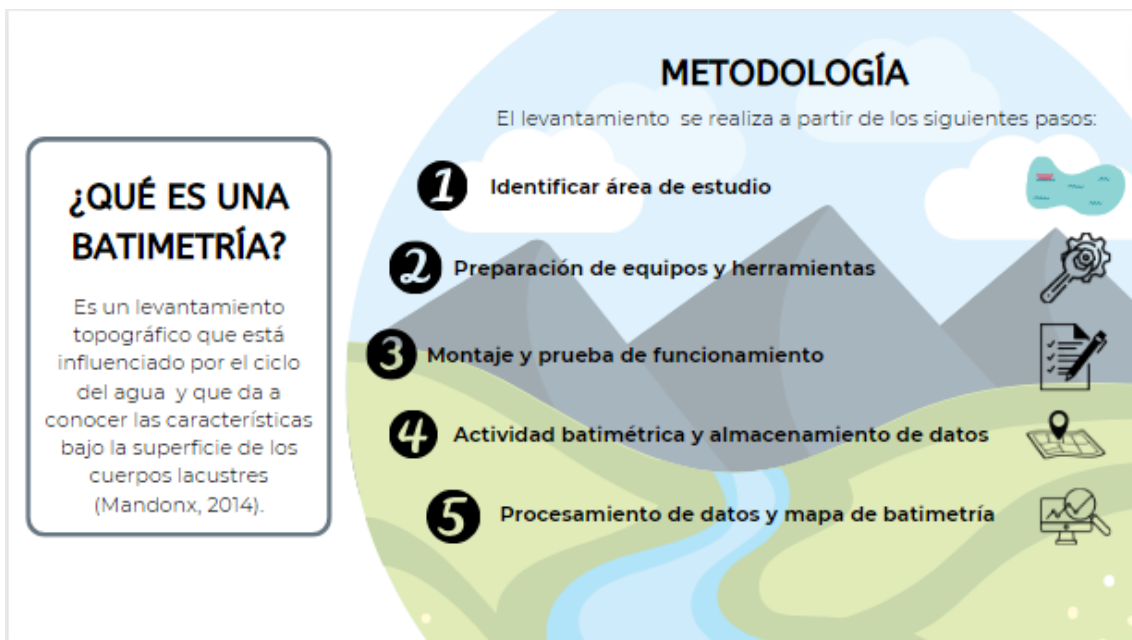
ANEXOS

Presentación de la guía batimétrica para cubetas lacustres

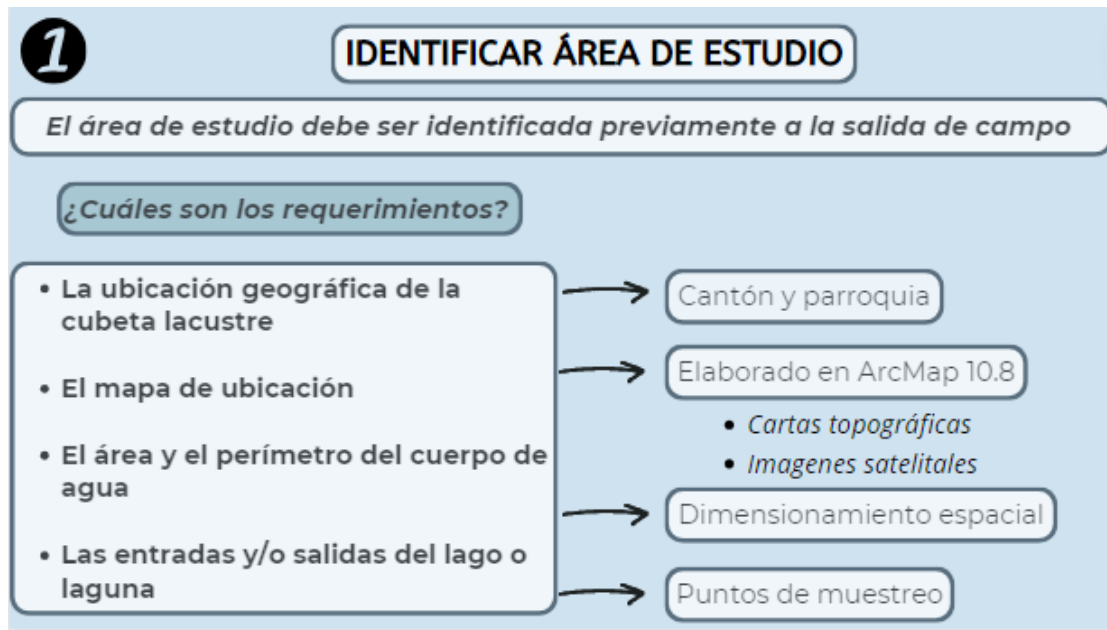
Anexo 1



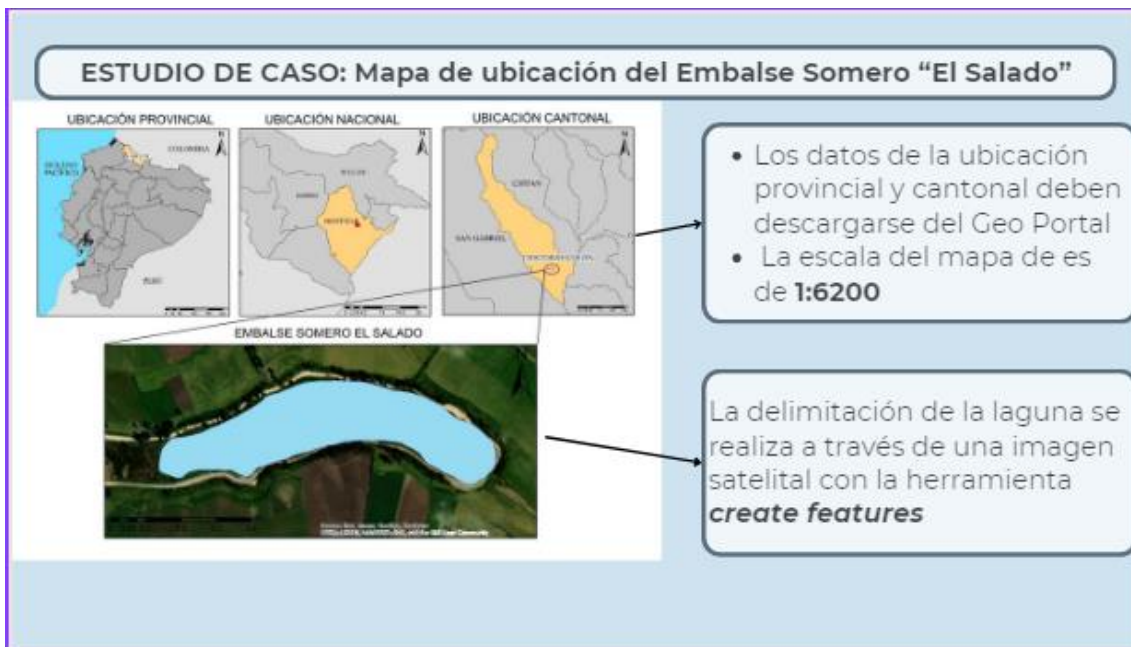
Anexo 2



Anexo 3




Anexo 4




Anexo 5

CÁLCULO DE ÁREA Y PERÍMETRO DE LA CUBETA LACUSTE

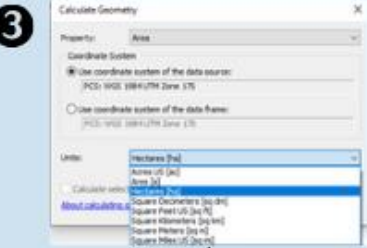
1 

Área y perímetro: abrir tabla de atributos, añadir campo, el nombre y *double* en *type*

(Shapefile del polígono)

2 

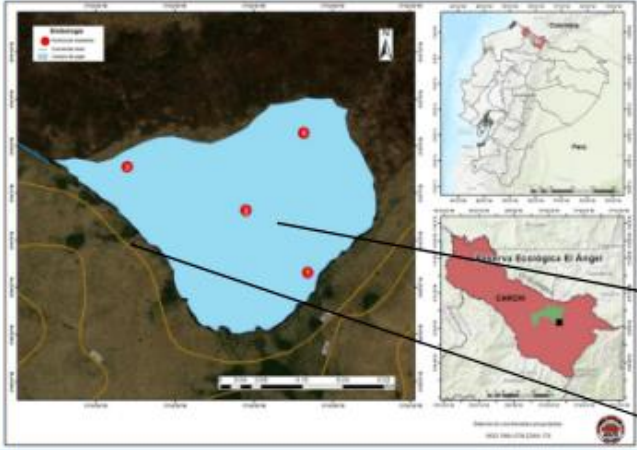
Utilizar la herramienta *Calculate Geometry*

3 

Calcular área y perímetro en la unidad requerida

Anexo 6

ESTUDIO DE CASO: Mapa de ubicación del "Voladero" y puntos de muestreo



Se seleccionan puntos de muestreo dependiendo de la característica de estudio, en el caso del "Voladero" fue para parámetros físico-químicos y microbiológicos

Los puntos de muestreo se crea con la herramienta *feature class*

Layers encendidos:



- Río
- Curvas de nivel
- Base map

Anexo 7

2 PREPARACIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Los equipos deben ser calibrados previamente a la salida de campo y se debe revisar el estado de las herramientas:

EQUIPOS

Durabook	<ul style="list-style-type: none">• Estado de la laptop• Funcionamiento del programa <i>Dr Depth</i>• Conexión energética (cargador)	
Batería	<ul style="list-style-type: none">• Batería de carro tamaño mediano (110 voltios)• Verificar que se encuentre cargada	

Anexo 8

EQUIPOS

Convertidor	<ul style="list-style-type: none">• Estado del convertidor• Funcionamiento• Verificar que los fusibles estén en buen estado	
Bote Sea Eagle 14S	<ul style="list-style-type: none">• Verificar que se encuentre completo (placa, estructuras y remo)• Revisar que no haya escapes de aire• Parchar aberturas• Tener a disposición el inflador• Conocer acerca del manejo del motor• Tener combustible suficiente dentro del bidón	

Anexo 9

EQUIPOS

**Ecosonda GPS
Map 526s**



- Estructura completa (antena, pantalla y sonar)
- Funcionamiento del navegador **GPS Map Garmin**
- Verificar el tipo de carta de navegación, la unidad de coordenadas y el rango de profundidad



GPS



- Prueba de funcionamiento
- Repuestos de batería

Anexo 10

HERRAMIENTAS

Las herramientas son esenciales para la actividad de campo, las necesarias son las siguientes:

- Cangurera
- Navaja
- Amarraderas
- Palos de madera (1,5 m de largo)
- Destornillador (plano y de estrella)
- Cubeto plástico para cubrir la batería
- Taipe
- Cinta adhesiva doble faz
- Cuaderno y lápiz y/o esfero
- Sonar manual





Anexo 11

3 MONTAJE Y PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

MONTAJE

Para el montaje de los equipos se deben seguir los siguientes pasos:

1. Colocar el bote en un lugar adecuado
2. Poner las estructuras y las placas donde corresponden
3. Inflar el bote, empezando por los lados y al final la base del mismo
4. Sujetar la antena y el sonar a una estructura de madera previamente realizada para mantener firmes los equipos.
5. Conexión de los equipos al convertidor de energía y de este a la batería de carro de **110 voltios** revisando que no se exponga al agua y que tenga ventilación adecuada.
6. Prender los equipos y revisar funcionamiento

Anexo 12

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

Se realiza con el fin de verificar que los datos se estén guardando adecuadamente en el software

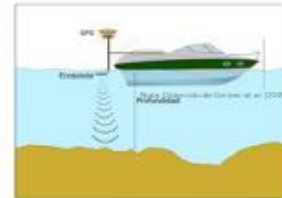
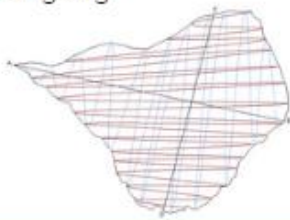


Anexo 13

4 ACTIVIDAD BATIMÉTRICA Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

El recorrido se realiza mediante un barrido de la cubeta lacustre:

1. Vertical y horizontal trazando una cruz en el mapa utilizando los puntos más largos y anchos
2. Perfil de la cubeta
3. De manera vertical y horizontal en zig zag



Anexo 14

5 PROCESAMIENTO DE DATOS Y MAPA DE BATIMETRÍA

El procesamiento de datos se realiza para depurar valores y para que el archivo ingrese correctamente en el software ArcMap 10.8:

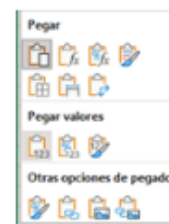
Los valores deben estar copiados en formato **numérico**

- Latitud como (Y)
- Longitud como (X)
- Profundidad como (Z)

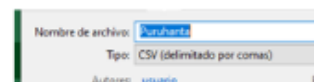
La profundidad debe tener un valor negativo (***-1**)

La longitud debe tener un valor decimal (**dividir para 1.000.000**)

	A	B	C
1	LAT(Y)	LONG(X)	PROF(Z)
2	0.1908977	-77.9470347	-23.1
3	0.1902932	-77.9471363	-44
4	0.1902976	-77.9471817	-48.1
5	0.1944073	-77.9473036	-48.1
6	0.1903354	-77.9475549	-40
7	0.1903246	-77.9477096	-44.4
8	0.1903297	-77.9481632	-42.7
9	0.1903299	-77.9514312	-43.9
10	0.1904241	-77.9500589	-46.3
11	0.1909327	-77.9466049	-43.2
12	0.1904815	-77.948573	-37.1
13	0.1904495	-77.9484847	-34.9
14	0.1903341	-77.9447549	-28.7
15	0.1901202	-77.9447243	-29.4
16	0.1901146	-77.9447134	-30.3
17	0.1901228	-77.9448076	-31
18	0.1908959	-77.9448073	-32.6
19	0.1908959	-77.9446077	-32.5
20	0.190895	-77.944627	-32.7
21	0.1908914	-77.9446203	-34.9
22	0.1908914	-77.9446165	-34.4
23	0.1908918	-77.9446171	-34.3



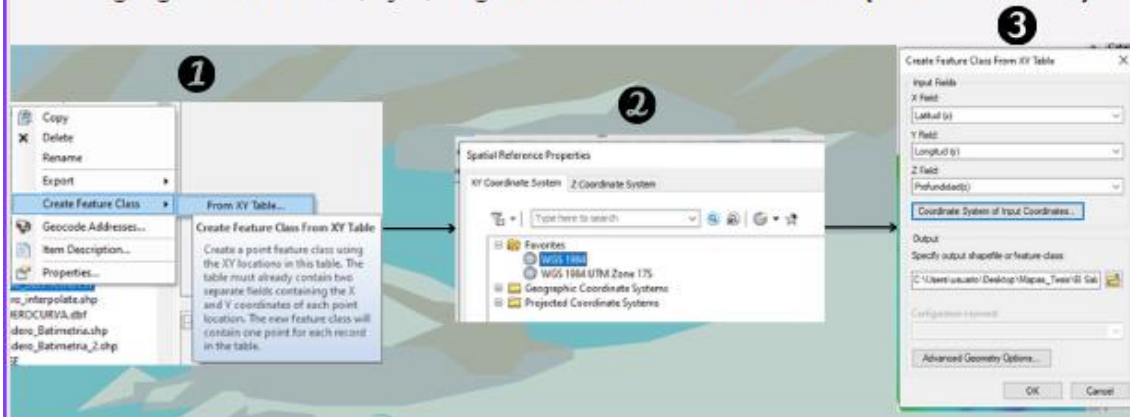
El archivo debe ser guardado en formato **.csv (delimitado por comas)**



Anexo 15

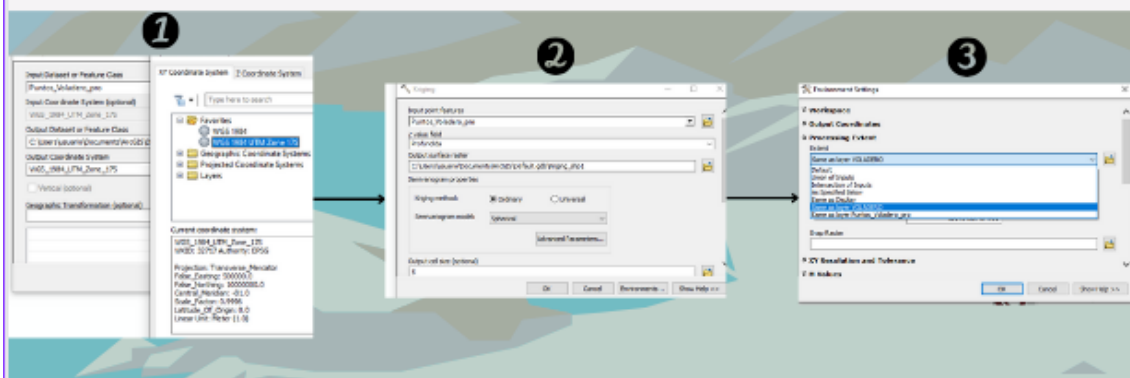
En **ArcMap 10.8**, abrir un nuevo archivo y:

- Cargar el shapefile de la cubeta lacustre
 1. En **ArcCatalog** buscar el archivo de datos .cvs
 2. Seleccionar **create feature class (X, Y tabla)**
 3. Agregar valores de X,Y y Z; asignar sistema de coordenadas (**CGS_WGS_1984**)



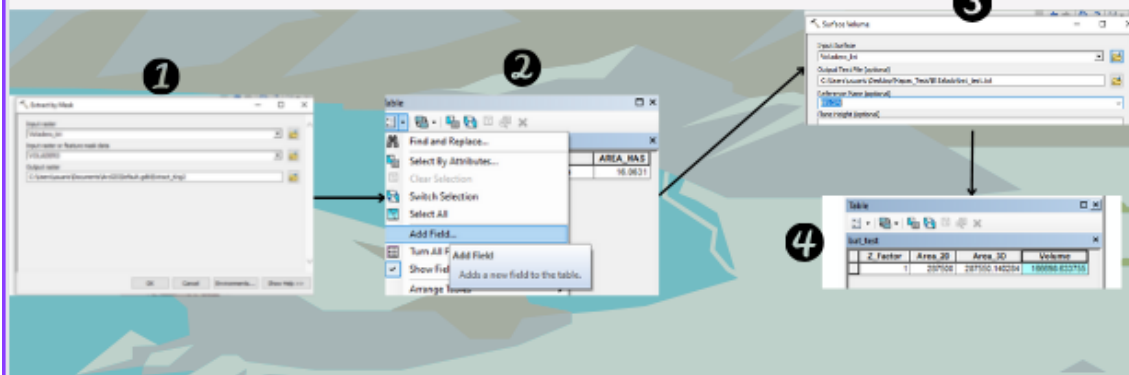
Anexo 16

- Reproyectar el shape usando **project** a coordenadas **UTM Z_17_S** (con el fin de trabajar en metros y precisar las coordenadas)
- Abrir la herramienta **Kriging** en **ArcToolbox**:
 1. Seleccionar input y puntos batimétricos
 2. En **Z value** escoger profundidad
 3. En **cell size** escoger el tamaño de la celda (se sugiere 5)
 4. En **environments**, seleccionar processing extent y **"same as layer"** de la cubeta



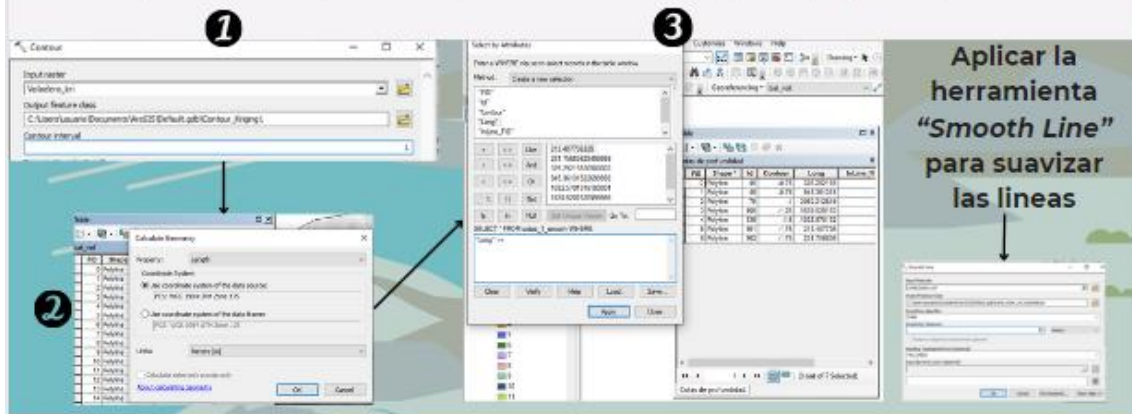
Anexo 17

- Usar **Extract by mask** para recortar la interpolación con el perfil de la cubeta
- Abrir la tabla de atributos y calcular el área en *Ha* y el perímetro en *Km*
- Abrir la herramienta **surface volume** y seleccionar el raster de batimetría y seleccionar **"Below"** en reference plane
- El resultado es una tabla donde se muestra el volumen en *metros cúbicos*



Anexo 18

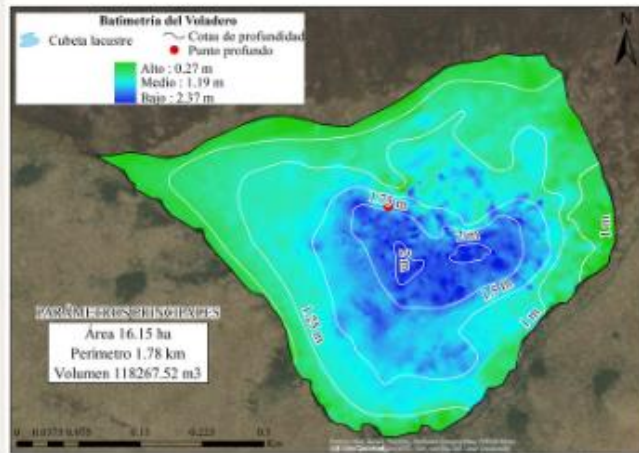
- Buscar la herramienta **Contour (3D Analyst)** y en contour interval escribir el número según el intervalo necesario entre cota de profundidad (por ejemplo 1, es decir, 1 m)
- Abrir la tabla de atributos, añadir el campo de longitud y con la herramienta **calculate geometry**, calcular en metros
- Con la opción select by attributes, seleccionar los polígonos pequeños y eliminarlos



Anexo 19

- El mapa final se realiza con el raster de batimetría, curvas de profundidad y el shape de la cubeta lacustre
- De igual manera se toma en cuenta los datos de volumen, área y perímetro

ESTUDIO DE CASO: MAPA BATIMÉTRICO DEL LAGO "EL VOLADERO"



Anexo 20

"Tiwinti unu, pacha mama yachana willaymi ñawiqa yachan. Ñawi kaipi, ñawi pacha, pachamanta ñawiyaniwanmi, chayri ñawi, munanmi pacha yachana kani."

**"Un lago es la característica más bella y expresiva del paisaje.
Es el ojo de la Tierra haciendo que el espectador mire la
profundidad de su propia naturaleza"**

Anexo 21