

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS
CARRERA DE INGENIERIA GEOGRAFICA**



PROYECTO DE GRADO

**ESTUDIO ESPACIAL DE DATOS BATIMETRICOS OBTENIDOS CON
ECOSONDA ENTRE HUATAJATA Y BAHIA COHANA,
SECTOR LAGO MENOR DEL TITICACA**

EDGAR MARCELO CASTRO FLORES

**Proyecto de Grado, presentado para optar al
título de Ingeniero Geógrafo**

TUTOR: ING. MSC. JAVIER NUÑEZ VILLALBA

**LA PAZ, BOLIVIA
2021**

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

PROYECTO DE GRADO

**ESTUDIO ESPACIAL DE DATOS BATIMÉTRICOS OBTENIDOS
CON ECOSONDA ENTRE HUATAJATA Y BAHIA COHANA,
SECTOR LAGO MENOR DEL TITICACA**

POSTULANTE: Edgar Marcelo Castro Flores

Modalidad: Proyecto de Grado, presentado como
requisito para optar el título de Licenciado en
Ingeniería Geográfica

TUTOR: Ing. MSc. Javier Núñez Villalba

La Paz, Bolivia

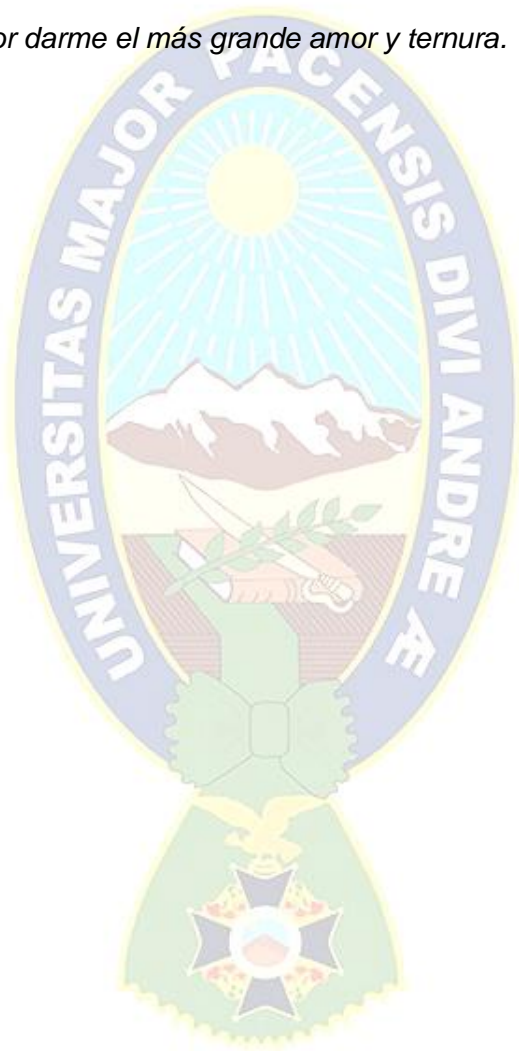
2021

DEDICATORIA

A mis padres Jhony y Susana, que me han dedicado todo su amor y cariño, por todo el esfuerzo que hicieron para ayudarme a culminar mis estudios y su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida.

A mis queridos hijos Mica y Nacho, mi más grande bendición.

A mi mamá Encarna, por darme el más grande amor y ternura.



AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, por darme la fuerza y darme todo lo esencial en esta vida... “El tiempo de Dios es perfecto”.

A mis padres por darme apoyarme siempre, por brindarme todo el tiempo necesario con todo cariño y empeño, Gracias por guiar mi camino y dejarme soñar, por ustedes soy lo que soy ahora y siempre...

A mi compañera de vida, por tu amor y comprensión, por encender el motor de mi vida, y por ayudarme a aterrizar siempre que lo necesito, gracias Laura.

A mis hermanos: Daniel, José, Andrés y Christian por estar conmigo cuando los necesito y hacerme sonreír en los momentos difíciles.

A mis tíos, porque mucho más que mi familia fueron unos verdaderos amigos de quienes aprendí muchas cosas importantes de la vida gracias por su tiempo, buen humor, por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

A mis amigos, Cesar y Erika por estar siempre conmigo en los buenos y malos momentos, gracias por apoyarme y darme una mano.

A mi tutor Ing. Javier Nuñez, gracias por todo el apoyo, paciencia, tiempo y dedicación para culminar este trabajo, por darme una oportunidad dentro del IIGEO, mil gracias, siempre tendrás mis respetos y todo mi afecto.

Al Instituto de Investigaciones Geográficas por darme la oportunidad de realizar este trabajo, y completar una etapa de mi vida.

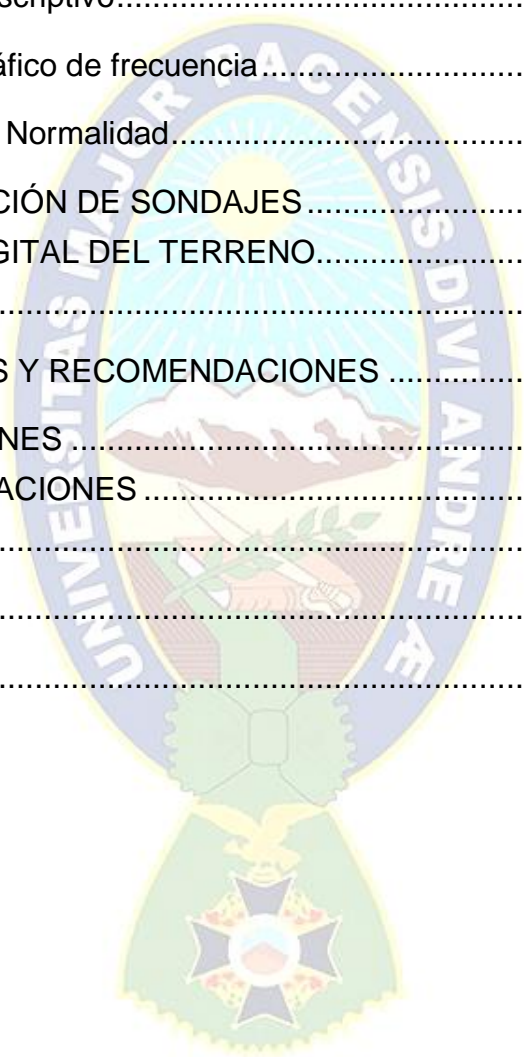
A todos ellos muchas gracias, por estar en todo momento conmigo y por depositar su confianza y por darme fuerza y valor para seguir adelante... GRACIAS POR CONFIAR Y CREER EN MI...!!!!

Índice de Contenido

	Pág.
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	4
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. BATIMETRÍA.....	7
2.2. LEVANTAMIENTOS BATIMÉTRICOS.....	7
2.2.1. Batimetría Fotogramétrica.....	7
2.2.2. Batimetría Mediante Sonar Lateral.....	8
2.2.3. Batimetría Mediante Laser.....	8
2.3. ECOSONDA.....	9
2.4. PUNTO BATIMÉTRICO O SONDAJE.....	9
2.5. ISOBATAS.....	9
2.6. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	9
2.7. TELEDETECCIÓN.....	10
2.7.1. Programa Copernicus Sentinel-2.....	10
2.8. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS.....	12
2.9. INTERPOLACIÓN ESPACIAL.....	12
2.10. MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN ESPACIAL.....	13
2.10.1. Inverso de la distancia (Inverse Distance Weighting – IDW).....	14
2.10.2. Krigeaje (Kriging).....	14
2.11. MODELO DIGITAL DEL TERRENO.....	15

CAPITULO III.....	16
3. MARCO METODOLÓGICO.....	16
3.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	16
3.1.1. Localización.....	16
3.1.2. Ubicación Área de Estudio.....	17
3.2. INSTRUMENTOS Y MATERIALES.....	18
3.2.1. Ecosonda GPS.....	18
3.2.2. Embarcación.....	18
3.2.3. Información Cartográfica y Base.....	19
3.2.4. Imágenes Satelitales.....	20
3.2.5. Equipos.....	21
3.2.6. Software.....	21
3.2.7. Normativa y bibliografía de consulta.....	21
3.3. METODOLOGÍA.....	22
3.3.1. Fuentes de Información.....	22
3.3.2. Determinación de la Línea de Costa.....	23
3.3.3. Normativa para levantamientos Hidrográficos.....	24
3.3.4. Nivel de referencia.....	25
3.3.5. Levantamiento Batimétrico.....	26
3.3.6. Proceso y Evaluación de Datos.....	26
3.3.7. Análisis exploratorio de datos.....	26
3.3.8. Interpolación de sondajes.....	26
CAPÍTULO IV.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	28
4.1. LÍNEA DE COSTA.....	28
4.1.1. Línea de costa 1977.....	28

4.1.2. Línea de costa 2018	29
4.1.3. Delimitación de borde mediante Índice NDWI	29
4.2. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.....	33
4.3. PROCESAMIENTO DE SONDAJES.....	35
4.4. CORRECCIÓN DE NIVELES.....	36
4.5. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	37
4.5.1. Análisis descriptivo.....	37
4.5.2. Análisis gráfico de frecuencia.....	38
4.5.3. Análisis de Normalidad.....	39
4.6. INTERPOLACIÓN DE SONDAJES	40
4.7. MODELO DIGITAL DEL TERRENO.....	44
CAPITULO V.....	45
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
5.1. CONCLUSIONES	45
5.2. RECOMENDACIONES	46
ANEXOS.....	i
GLOSARIO.....	x
BIBLIOGRAFIA.....	xi



Índice de Figuras

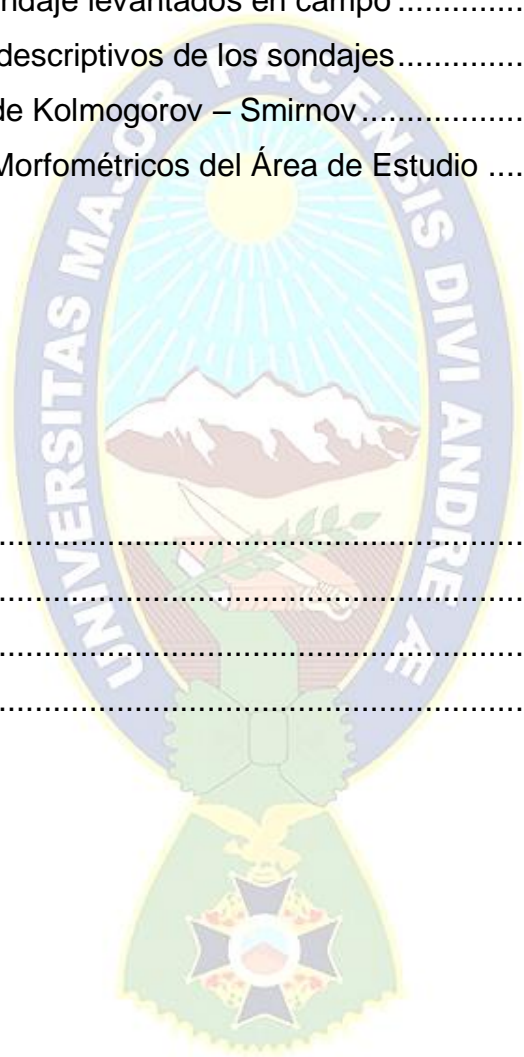
	Pág.
Figura 1. Tipos de Batimetría: a) Fotogramétrica; b) Mediante Sonar Lateral; c) Mediante Laser; d) Mediante Satélites.	8
Figura 2. Bandas espectrales Sentinel-2.....	11
Figura 3. Localización Geográfica del Lago Titicaca, Sistema TDPS	16
Figura 4. Área de Estudio, Lago Menor Titicaca.....	17
Figura 5. Partes de la Ecosonda STRIKER™ Plus 4cv	18
Figura 6. Equipamiento de la embarcación científica	19
Figura 7. Mapa Hidrográfico del Lago Menor Titicaca.	20
Figura 8. Flujograma de procedimientos metodológicos	22
Figura 9. Método de interpolación IDW	27
Figura 10. Línea de Costa 1977, Hidronav 3500	28
Figura 11. Línea de costa, levantamiento topográfico 2018	29
Figura 12. Clasificación de reflectancia elaborados en ArcGIS	31
Figura 13. Imagen obtenida del cálculo del índice NDWI	32
Figura 14. Levantamiento de puntos de sondaje, funcionamiento de la ecosonda	33
Figura 15. Mapa de ubicación de los transectos realizados.	34
Figura 16. Perfiles topográficos de los transectos realizados	34
Figura 17. Mapa de sondaje clasificados	36
Figura 18. Grafico para la corrección de niveles	37
Figura 19. Histograma de frecuencias.....	39
Figura 20. Gráfica Cuantil - Cuantil	39
Figura 21. Mapa de interpolación método IDW	41
Figura 22. Perfil Topográfico del Levantamiento Batimétrico.....	42
Figura 23. Mapa Batimétrico del lago Menor del Titicaca, Sector Huatajata – Suriqui	43
Figura 24. Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio	44

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Posición Geográfica, regla Limnimétrica de Huatajata	25
Tabla 2. Cuadro de Imágenes Sentinel-2.....	30
Tabla 3. Cuadro de reflectancia calculada	31
Tabla 4. Puntos de sondaje levantados en campo	33
Tabla 5. Estadísticos descriptivos de los sondajes.....	37
Tabla 6. Parámetros de Kolmogorov – Smirnov	40
Tabla 7. Parámetros Morfométricos del Área de Estudio	44

Índice de Anexos

	Pág.
Anexo 1.....	i
Anexo 2.....	ii
Anexo 3.....	iii
Anexo 4.....	ix



RESUMEN

Este trabajo se ha sido realizado en el marco del proyecto Monitoreo Espacial de los efectos del Cambio Climático en el Lago Titicaca, en el sector del lago Menor, en la bahía formada entre las poblaciones de Huatajata y Bahía de Cohana. Tiene como objetivo realizar un levantamiento Batimétrico en el lago Titicaca entre Huatajata y Cohana para la implementación de una metodología de análisis espacial de datos batimétricos.

Inicialmente se recopiló información cartográfica base, imágenes satelitales y bibliografía de consulta. Seguidamente se realizó el levantamiento batimétrico en una embarcación científica proporcionada por el Instituto de Investigaciones Geográficas de la Universidad Mayor de San Andrés. En el trabajo en gabinete se realizó la corrección de los datos, se realizó el análisis y la depuración de los datos de campo. La metodología contempla un análisis exploratorio de datos para determinar los principales vacíos de los datos, análisis de consistencia, así como la comparación de datos. y la determinación del método de interpolación.

Finalmente se implementó una metodología de análisis espacial de datos batimétricos, la que incluye la determinación de un método de interpolación para sondeos en el lago Titicaca, un modelo digital del terreno y la caracterización de los parámetros morfométricos representados en un mapa batimétrico de la zona de estudio.

Los resultados obtenidos representan una alternativa para levantamientos batimétricos, los datos obtenidos son una herramienta para realizar estudios de planificación y ordenamiento de las actividades productivas y económicas que se desarrollan en la zona de estudio.

Palabras clave: Lago Titicaca, batimetría, sondeos, SIG, MDT, interpolación.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La capacidad de almacenamiento de un cuerpo de agua se determina por la relación que existe entre las curvas de depresión, la superficie de fondo y el volumen de agua almacenado. La batimetría es la ciencia que nos brinda la capacidad de realizar estas mediciones a través del uso de técnicas y herramientas especializadas.

El diccionario de la Real Academia de la lengua define al término batimetría como “Estudio de las profundidades oceánicas mediante el trazado de mapas de isobatas, así como de la distribución de animales y vegetales marinos en sus zonas isobáticas.”

Los estudios batimétricos tienen como objetivo la medición y determinación de los fondos existentes en una determinada área. Los resultados son representados de manera gráfica, y sirven de base e información previa para la elaboración de otros trabajos o actividades.

La Batimetría representa el levantamiento del relieve de superficies subacuáticas, ya sean del fondo del mar, ríos, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos. Es representada mediante el levantamiento de las coordenadas (X, Y, Z), la posición se determina en X y Y, los fondos y todas aquellas anomalías que en ellos puedan existir se definen en Z.

Un levantamiento batimétrico sirve para producir cartas náuticas y dar soporte a la navegación de los barcos. Esta información es pertinente en todo tipo de obras en el agua como diques, puertos, muelles, dragados, etc.

Mediante la batimetría se puede monitorizar los espacios sometidos a una fuerte dinámica sedimentaria, fluvial o costera, y obtener los balances sedimentarios de los espacios, prediciendo donde se acumula o se erosiona los sedimentos en el tiempo. Es por lo tanto un buen método para establecer la evolución geomorfológica y sedimentaria de una zona costera o fluvial. Es por tanto en estos espacios donde

la precisión en la determinación de la profundidad del agua es importante en entornos donde la dinámica sedimentaria es más intensa (Sánchez-Carnero, 2012).

Tradicionalmente las batimetrías han sido realizadas usando ecosondas acústicas colocadas sobre embarcaciones. Pero con el avance tecnológico y el avance en los métodos basados en teledetección el estudio de la batimetría se ha desarrollado en otros métodos de levantamiento.

Para contextualizar en la Batimetría del Lago Titicaca, este cuerpo acuático se divide en dos partes, diferenciadas en el estrecho de Tiquina, la parte más grande es denominado lago Mayor o Chucuito con una superficie aproximada de 7.000 Km² con una profundidad máxima de 283 metros aproximadamente. El lago menor o Huiñaymarca es más pequeño y somero con una superficie de 1.400 Km² y una profundidad máxima de 40 metros y una profundidad media de 9 metros, aunque la mayor parte tiene una profundidad media de 5 metros.

En el año 1977, se realiza el primer levantamiento batimétrico del Lago Titicaca, el cual se constituye en el único estudio durante 4 décadas. Debido al alto costo económico y técnico que conlleva este levantamiento hace que sea único por este periodo de tiempo. Durante las últimas décadas se produce un importante crecimiento poblacional, se produce una disminución de los caudales de los aportantes y la contaminación antrópica haciendo evidente la necesidad de la actualización de los datos.

Durante los años 2016 y 2018 se realiza un segundo levantamiento batimétrico del lago Titicaca, con un importante desplazamiento de equipo técnico, presupuesto y tecnología de la DHN y el SNHN. Producto de este levantamiento se publicó recientemente la carta hidrográfica del lago Titicaca a escala 1:100.000.

El alto costo que conlleva realizar este tipo de estudios nos muestra que se precisa de herramientas y métodos de levantamientos batimétricos de bajo costo económico, donde no se cuente con grandes capacidades técnicas y este se pueda replicar en otros cuerpos de agua como Lagos, lagunas, ríos y represas.

El presente estudio fue realizado en el marco del proyecto Monitoreo Espacial de los efectos del Cambio Climático en el Lago Titicaca, con el apoyo del Instituto de Investigaciones Geográficas-IIGEO de la UMSA, el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo-IRD y el apoyo financiero de la Cooperación Suiza en Bolivia – COSUDE. El estudio se realizó en una zona de baja profundidad del lago Titicaca, entre la población de Huatajata y la Bahía de Cohana, mediante el uso de una ecosonda con capacidad de tomar puntos hasta los 50 metros de profundidad.

El trabajo de campo fue realizado en varias campañas realizadas en una embarcación equipada científicamente, asistida con profesionales del Instituto de Investigaciones Geográficas de la Carrera de Geografía de la Universidad Mayor de San Andrés a cargo del Ing. Javier Nuñez Villalba, a este equipo se suma el Dr. Xavier Lazzaro de IRD, con una trayectoria de más de 30 años en estudios de ecología y medio ambiente en el Lago Titicaca, a este grupo se incorporó mi persona con la experiencia de haber realizado Monitoreos de Calidad de Aguas y haber sido parte del Levantamiento Batimétrico del Lago Titicaca en 2017 y 2018 como parte de la comisión boliviana de la ALT y el SNHN.

En mi participación durante el Levantamiento batimétrico de 2018, surge la inquietud al visualizar que en las partes someras no se realizaban los sondajes debido al calado de la embarcación y había limitaciones en las zonas de totorales debido al difícil acceso.

En ese sentido surge el propósito de realizar una metodología capaz de realizar levantamientos batimétricos en zonas poco profundas. Esta metodología contempla el uso de herramientas de bajo costo y accesibles, con la capacidad de recoger datos continuos cada 10 o 100 metros, donde no se requiera de grandes capacidades técnicas y que se pueda replicar en otras partes del territorio.

1.1. ANTECEDENTES

El lago Titicaca es el lago navegable más alto del mundo, desde los primeros asentamientos humanos se ha utilizado este cuerpo de agua como un medio de transporte e intercambio de productos. Estas actividades fueron creciendo en el tiempo llegando a formarse flotas de transporte comercial entre Perú y Bolivia. Esta actividad determinó la necesidad de contar con un instrumento de navegación de las rutas comerciales entre ambos países.

En julio de 1977, el Servicio de Hidrografía Naval de Bolivia y la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina del Perú realizaron el levantamiento batimétrico del Lago Titicaca, de este estudio se ha obtenido 5 cartas náuticas a Escala 1:100.000, publicadas en junio de 1978. En la carta náutica HIDRONAV 3500 se muestran los sondajes o valores de profundidad en metros con distancia de 1000 metros entre puntos.

En el año 1993, en el Estudio de Batimetría y Topografía del Plan Director Global del Sistema TDPS se determinaron las curvas cota-superficie-volumen del lago Titicaca; realizados con los mapas batimétricos del levantamiento de 1977. A partir de imágenes de satélite y una campaña topográfica, se definieron los contornos del espejo del agua hasta la cota 3.815 m.s.n.m.; Se describe las principales características del Lago Titicaca con una Superficie aproximada de 8.400 Km², un Volumen de 930.106 millones de m³, la Profundidad Máxima en 283 m., la Altitud de 3.810 m.s.n.m., la Longitud máxima de 176 km, el Ancho máximo de 70 km, el Perímetro medio de 1.750 km y la Profundidad media de 105 m. (ALT, 1993).

Entre los años 2016 y 2018 se ha realizado el levantamiento Hidrográfico del lago Titicaca, estudio realizado por Convenios Específico entre la ALT y la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), en el sector peruano; y el Servicio Nacional de Hidrografía Naval de la Armada Boliviana (SNHN) para la ejecución de la Batimetría del Lago Titicaca, dentro el territorio boliviano. El estudio ha sido desarrollado a Escala 1:100.000, con puntos de sondaje a 1000 metros entre puntos. Cabe resaltar que los datos obtenidos han sido publicados recientemente por las autoridades competentes.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Un levantamiento batimétrico como los referidos en los antecedentes conlleva altos costos económicos, requiere de equipos especiales de medición y un numeroso personal técnico especializado. Se requiere de un elevado presupuesto en equipamiento y adecuación de la embarcación.

La ecosonda debe ser conforme a los requerimientos y la precisión de los datos, la capacidad de este equipo se relaciona directamente con el tiempo y costo del levantamiento. La embarcación determina las condiciones del relevamiento, particularmente en aguas poco profundas que presentan riesgos para la navegación de la embarcación

En ese sentido se requiere de una metodología que permita obtener datos de lagos someros o zonas de difícil acceso y disponer de datos de buena resolución.

La metodología utilizada se puede replicar en lugares más reducidos como lagunas y ríos donde se requiera de información batimétrica y no se cuente con los recursos necesarios.

La metodología plantea el uso de imágenes satelitales como un recurso para llegar a las zonas someras y con abundante vegetación, donde el calado de la embarcación no ingresa; la técnica utilizada nos ha permitido delimitar el contorno del cuerpo de agua, y nos permite realizar análisis temporales de los niveles de reducción de agua y crecimiento de la vegetación.

La metodología es bastante económica, no requiere de grandes capacidades técnicas y permite disponer de datos batimétricos en tiempos cortos, donde exista la necesidad de disponer de información continua y se requiera estudiar el comportamiento de un cuerpo de agua.

La información producida es importante para generar herramientas de planificación y regulación de las actividades de la zona.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Realizar un levantamiento Batimétrico en el lago Titicaca entre Huatajata y Cohana para la implementación de una metodología de análisis espacial de datos batimétricos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento batimétrico con la ecosonda GPS Garmin Striker 4CV para la obtención de sondajes en el lago Titicaca entre las poblaciones de Huatajata y bahía de Cohana.
- Determinar una metodología operativa y de fácil aplicación para el procesamiento de datos batimétricos para el lago Titicaca entre las poblaciones de Huatajata y bahía de Cohana.
- Determinar el uso del Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) en el levantamiento Batimétrico.
- Determinar el método de interpolación espacial para los datos batimétricos del Lago Titicaca entre las poblaciones de Huatajata y bahía de Cohana.
- Determinar las características espaciales y obtener un modelo digital del terreno en el lago Titicaca entre las poblaciones de Huatajata y bahía de Cohana.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. BATIMETRÍA

La batimetría se define como la ciencia que mide las profundidades marinas, para determinar la topografía del mar, cuya finalidad es obtener las coordenadas x, y, z de los puntos. La batimetría requiere la elección de un sistema de referencia que defina la ubicación de un punto en el plano x, y, z. (Martínez, 2005)

En Topografía se entiende por batimetría el levantamiento del relieve de superficies subacuáticas, tanto los levantamientos del fondo de mar, como del fondo de cursos de agua, de embalses, etc. Estos trabajos son denominados también topografía hidrográfica, cartografía náutica, etc. (Farjas, 2006)

En batimetría los puntos que representan la profundidad o coordenada “z” se denominan con el nombre de sondajes, las curvas de igual profundidad que se utilizan en la representación cartográfica se denominan con el nombre de isobatas.

2.2. LEVANTAMIENTOS BATIMÉTRICOS

El levantamiento batimétrico es una técnica de medición de puntos de profundidad o sondajes en un fondo acuático, esta técnica se puede realizar de varias maneras, según el requerimiento y la disponibilidad de recursos técnicos y tecnológicos. Estos levantamientos batimétricos se pueden clasificar de la siguiente forma:

2.2.1. Batimetría Fotogramétrica

El uso de la técnica fotogramétrica es una técnica tradicional, consiste en estudiar las variaciones del espectro visible en imágenes obtenidas desde aeroplanos, esta técnica ha permitido mejorar la precisión y aumentar la rapidez en los levantamientos batimétricos. Su uso queda limitado a aguas no muy profundas, siendo esta variable la principal limitación de este método.

Actualmente otra técnica es con el uso de drones, este método es aplicable en superficies menores y aguas poco profundas, está sujeta a las capacidades del sensor de la cámara.

2.2.2. Batimetría Mediante Sonar Lateral

Esta técnica permite obtener mapas tridimensionales del fondo mediante un emisor-receptor de ondas acústicas. Se utiliza con varios barcos moviéndose en paralelo, obteniéndose una carta continua y completa

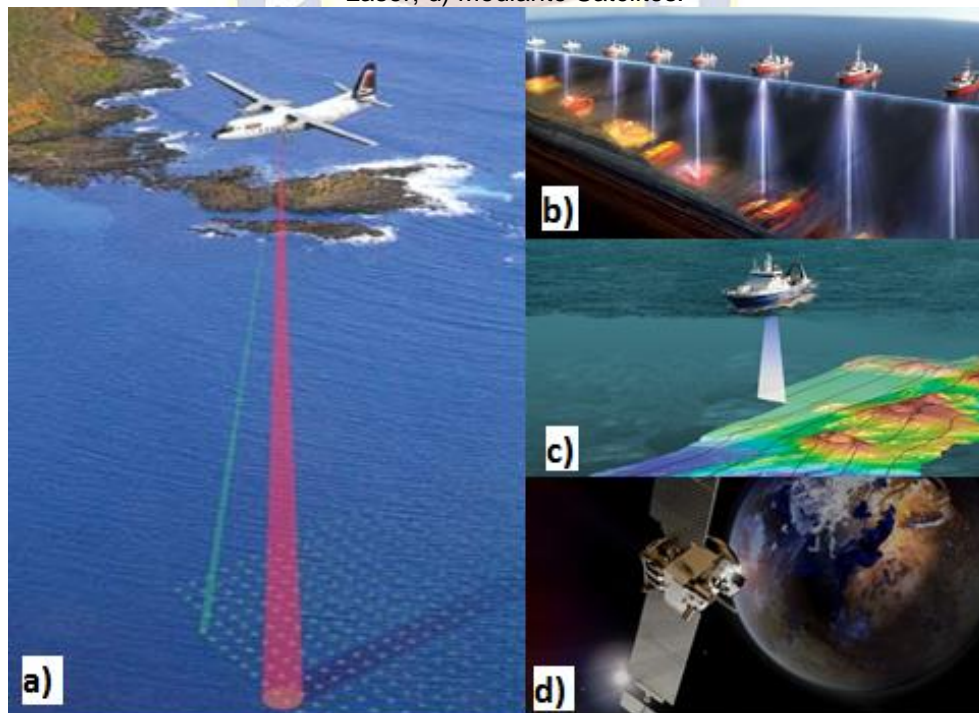
2.2.3. Batimetría Mediante Laser

Consiste en un sonar que funciona con láser, y permite medir de día profundidades de 2 a 30 metros, con un error máximo de 1 m. y de noche puede llegar a alcanzar los 60 metros de profundidad. Puede transportarse en un avión o en un barco.

2.2.4. Batimetría mediante Satélites

La información que proporcionan los satélites ha hecho cambiar los métodos batimétricos tradicionales. Se han obtenido buenos resultados al aplicar esta metodología en mares poco profundos. Entre los satélites que se han utilizado para estos fines están: GEOSAT, LANDSAT MSS, SPOT, RADARSAT. (Farjas, 2006)

Figura 1. Tipos de Batimetría: a) Fotogramétrica; b) Mediante Sonar Lateral; c) Mediante Laser; d) Mediante Satélites.



Fuente: (MÉTODOS TOPOGRÁFICOS, 2016)

2.3. ECOSONDA

Un sónar o ecosonda es un aparato que permite identificar la posición y profundidad de un cuerpo acuático. El funcionamiento del sónar o ecosonda se basa en el uso de un transductor montado en el casco de una embarcación que envía ondas sonoras, que se transmiten por el agua. Estas ondas siguen una trayectoria rectilínea hasta que chocan con algún objeto, que puede ser un submarino, restos de un naufragio o el lecho marino. En ese momento rebotan formando un eco y pasando a llamarse ondas de retorno. El transductor recibe las ondas de retorno y las convierte en señales eléctricas que forman una imagen en un monitor. En función del tiempo que ha tardado la onda en rebotar y la velocidad de propagación de las ondas sonoras en el agua, se calcula la distancia a la que la onda ha rebotado, y por tanto, la distancia a la que se encuentra un objeto. (Farjas, 2006)

2.4. PUNTO BATIMÉTRICO O SONDAJE

El Punto batimétrico o sondaje es el resultado de la medición realizada con un ecosonda, este punto tiene información relacionada con la posición horizontal y vertical del punto de medición.

Este punto da la información de profundidad tomado con el transductor del ecosonda, producto del rebote de onda en la profundidad de la superficie de fondo hasta el nivel del transductor.

2.5. ISOBATAS

Para la realización de este trabajo la expresión isobata se utilizará para la representación de las curvas de nivel de la profundidad del lago generadas a partir de los puntos batimétricos. Cada isobata representa una sección horizontal del relieve que representa, la distancia y diferencia de altitud entre dos curvas sucesivas, es constante y su valor depende de la escala del mapa.

2.6. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una nueva tecnología que permite

gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato. (Velásquez, 2004)

Un SIG también puede verse como un modelo informatizado de la realidad geográfica para satisfacer necesidades de información concretas, esto es, crear, compartir y aplicar información útil basada en datos y en mapas. (Burrough, 1994)

El objetivo de un sistema de información geográfica es la representación de la realidad para analizar y obtener información plasmada en mapas.

2.7. TELEDETECCIÓN

La teledetección es aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación remota sea posible es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción y el resultado usualmente, pero no necesariamente, es almacenado como una imagen (fuente de datos). Para esto se requiere al menos, tres componentes: foco energético, superficie terrestre y sensor. (Chuvienco, 2008)

Una de las formas de clasificarlos es el procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas y ellos son: (1) Pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y (2) Activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía. (Chuvienco, 2008)

La teledetección, por tanto, es la técnica adecuada para obtener información sobre las regiones no visibles del espectro fotográfico. Las aplicaciones de la teledetección se encuentran en los ámbitos de estudios de la expansión urbana, la explotación de los recursos naturales, la prevención de incendios y la agricultura, entre otras.

2.7.1. Programa Copernicus Sentinel-2

La misión Copérnico Sentinel-2 se basa en una constelación de dos satélites idénticos en la misma órbita. Cada satélite lleva un innovador generador de imágenes multispectrales de alta resolución de amplia franja con 13 bandas espectrales para una nueva perspectiva de tierra y vegetación.

Las imágenes Sentinel-2 son proporcionadas por los “gemelos” Sentinel-2A y Sentinel-2B, con una resolución de 10 metros en el visible. Con sus 13 bandas de permite realizar filtros a color natural y falso color o componer índices espectrales a máxima resolución.

Las Imágenes Sentinel-2 están disponibles desde el año 2015, momento en el que fue lanzado el primer satélite Sentinel-2A y cuya recurrencia de imágenes se duplicó tras el lanzamiento del segundo satélite Sentinel-2B en 2017. Cada una de las imágenes tomadas por la satélite muestra un barrido de hasta 290 kilómetros de anchura. (GIS&BEERS, 2019)

Figura 2. Bandas espectrales Sentinel-2.

	SENTINEL 2	
	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
Banda 1 - Aerosol	0,43 - 0,45	60
Banda 2 - Blue	0,45 - 0,52	10
Banda 3 - Green	0,54 - 0,57	10
Banda 4 - Red	0,65 - 0,68	10
Banda 5 - Red edge 1	0,69 - 0,71	20
Banda 6 - Red edge 2	0,73 - 0,74	20
Banda 7 - Red edge 3	0,77 - 0,79	20
Banda 8 - Near Infrared (NIR) 1	0,78 - 0,90	10
Banda 8A - Near Infrared (NIR) 2	0,85 - 0,87	20
Banda 9 - Water vapour	0,93 - 0,95	60
Banda 10 - Cirrus	1,36 - 1,39	60
Banda 11 - SWIR 1	1,56 - 1,65	20
Banda 12 - SWIR 2	2,10 - 2,28	20

Fuente: <http://www.gisandbeers.com> (GIS&BEERS, 2019)

Como todo satélite, Sentinel-2 emplea una nomenclatura específica para identificar el tipo de producto, el satélite empleado o las fechas de barrido.

MS2_MSILLL_YYYYMMDD

Donde:

- MS2: identifica la misión de Sentinel-2, pudiendo encontrar S2A (para Sentinel-2A) o S2B (para Sentinel-2B)
- MSI: indica el instrumento de operación multispectral

- LLL: indica el nivel de procesado del producto pudiendo encontrar los niveles L0, L1C, L1B o L2A.
- YYYY: designa el año en el que fue tomada la imagen.
- MM: designa el mes en el que fue tomada la imagen.
- DD: designa el día en el que fue tomada la imagen.

2.8. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

El Análisis Exploratorio de Datos (A.E.D.) es un conjunto de técnicas estadísticas cuya finalidad es conseguir un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas.

Para conseguir este objetivo el A.E.D. proporciona métodos sistemáticos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallos en el diseño y recogida de los mismos, tratamiento y evaluación de datos ausentes, identificación de casos atípicos y comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas multivariantes (normalidad, linealidad, homocedasticidad¹).

El examen previo de los datos es un paso necesario, que lleva tiempo, y que habitualmente se descuida por parte de los analistas de datos. Las tareas implícitas en dicho examen pueden parecer insignificantes y sin consecuencias a primera vista, pero son una parte esencial de cualquier análisis estadístico (Sánchez, 2015)

2.9. INTERPOLACIÓN ESPACIAL

El proceso de interpolación espacial consiste en la estimación de los valores que alcanza una variable Z en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas (X,Y) , partiendo de los valores de Z medidos en una muestra de puntos situados en el mismo área de estudio (por ejemplo la interpolación de la temperatura a partir de datos de observatorios meteorológicos), la estimación de valores fuera del área de estudio se denomina extrapolación. En algunos casos pueden utilizarse otras variables de apoyo de las que se conoce su variación espacial en el proceso de interpolación/extrapolación (en el caso de la interpolación

¹ En estadística se dice que un modelo predictivo presenta homocedasticidad cuando la varianza del error condicional a las variables explicativas es constante a lo largo de las observaciones.

de la temperatura puede ser la altitud ya que aquella depende de esta. El área de estudio vendría definida, aunque no de forma muy clara, por el entorno de los puntos en los que sí se dispone de datos.

Cuando se trabaja con un SIG la interpolación espacial suele utilizarse para obtener capas ráster que representan la variable a interpolar. En esos casos cada celdilla de la capa ráster constituye un punto en el que hay que realizar la interpolación.

Lo más habitual es partir de medidas puntuales (variables climáticas, variables del suelo) o de isolíneas (curvas de nivel). Aunque los métodos que se utilizan en uno u otro caso son bastante diferentes, todos los métodos de interpolación se basan en la presunción lógica de que cuanto más cercanos estén dos puntos sobre la superficie terrestre, los valores de cualquier variable cuantitativa que midamos en ellos serán más parecidos, para expresarlo más técnicamente, las variables espaciales muestran autocorrelación espacial. (Mitas, 1999)

2.10. MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN ESPACIAL

Los diferentes métodos de interpolación desarrollados pueden dividirse en dos tipos fundamentales:

- Métodos globales, utilizan toda la muestra para estimar el valor en cada nuevo punto.
- Métodos locales, utilizan solo los puntos de muestreo más cercanos.

Los métodos de interpolación que serán referenciados, se rigen para un análisis utilizando 3 valores, utilizando x e y para localizar el punto z como el parámetro a estudiar, es necesario considerar el análisis de hipersuperficies² para el propósito del estudio real.

Para el caso de las hipersuperficies, se utilizan x , y , z para determinar la localización de un punto, además de una cuarta variable para denotar el parámetro de estudio. “Dada esta consideración, el rango de métodos disponibles para el caso de

² En matemáticas, una hipersuperficie es una variedad n -dimensional con $n > 2$, es decir, un objeto geométrico que generaliza la noción de una superficie bidimensional a dimensiones superiores, del mismo modo que el hiperplano generaliza la noción de plano.

hipersuperficies es aún más restringido: usualmente se implementan sólo Kriging e IDW. (Rusu, 2002)

Es por esta razón que, se hace mención a los métodos de interpolación, pero se profundiza en el análisis de Kriging e IDW.

2.10.1. Inverso de la distancia (Inverse Distance Weighting – IDW)

El método IDW es un método de estimación determinística. En el método IDW la interpolación del punto problema se estima asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa. Se establece, por lo tanto, que los puntos más cercanos tienen un peso mayor en el cálculo, aunque la relación no tiene por qué ser lineal.

Otras variantes de éste método incluyen la búsqueda por cuadrantes, la definición de un número de datos mínimo y diversas formas de ponderar las distancias.

Las diferencias entre los diversos métodos estriban en la forma de calcular los pesos de cada dato. Los métodos de distancia inversa calculan la distancia euclidiana entre cada dato y el punto problema.

Este método permite la generación de superficies de forma rápida y simple, sin embargo, se trata esencialmente de una media ponderada y, por tanto, el resultado se encuentra siempre incluido dentro del rango de variación de los datos. Por este motivo, el correcto tratamiento de las formas cóncavas y convexas depende estrechamente de la distribución de los puntos originales y la presencia de datos auxiliares se hace muy conveniente.

2.10.2. Krigeaje (Kriging)

El Kriging (también llamado “krigeado” o “krigeaje” en español), que debe su nombre a su creador, el geólogo y estadístico Daniel Krige, es una técnica de interpolación estocástica con una expresión general similar a IDW. Kriging usa una medida entre la correlación espacial entre dos puntos para que los pesos cambien según el arreglo espacial de las muestras.

Esta hipótesis supone que la variación espacial de la variable a representar puede ser explicada al menos parcialmente mediante funciones de correlación espacial: la

variación espacial de los valores z puede deducirse de los valores circundantes de acuerdo con unas funciones homogéneas en toda el área.

Con éste método, las funciones pueden deducirse analizando la correlación espacial entre los datos en función de la distancia entre ellos. El Kriging estima la dependencia mediante un estadístico: la varianza entre datos separados por distancias diferentes.

La varianza adquiere valores diferentes en función de la distancia entre los datos (a más separación, menos correlación entre los valores). La función que relaciona la varianza con la distancia se denomina variograma y muestra, por lo tanto, la variación de la correlación entre los datos en función de la distancia.

Las variables en las que está indicado el uso del Kriging son aquellas cuya distribución tienen una fuerte componente estocástica o que son de un conjunto de procesos sometido a la interacción de múltiples variables concurrentes.

2.11. MODELO DIGITAL DEL TERRENO

Un modelo digital de terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Un Modelo Digital del Terreno puede describirse como una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X , Y , Z almacenadas en forma digital.

El Modelo Digital del Terreno más conocido es el Modelo Digital de Elevaciones (DEM), un caso particular de aquel, en el que la variable representada es la cota del terreno o alturas en relación a un sistema de referencia determinado.

CAPITULO III

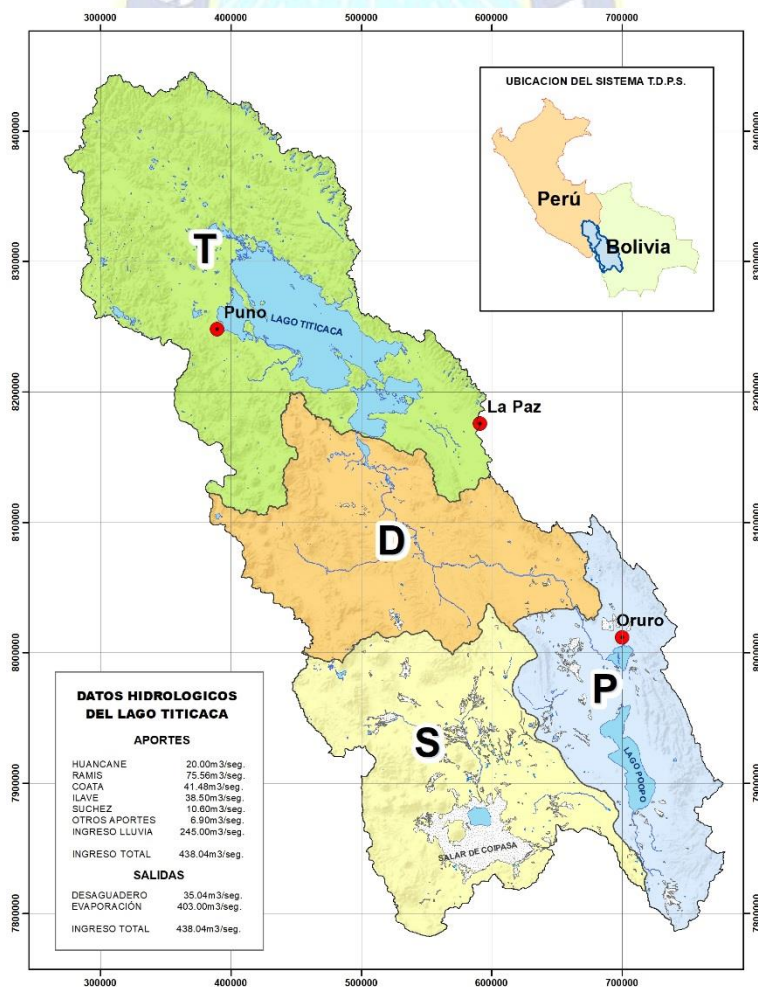
3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Localización

El Lago Titicaca se ubica en la meseta altiplánica de América del Sur, entre Bolivia y Perú, es el lago de agua dulce más grande de América del Sur con un volumen de 900 mil millones de metros cúbicos de agua, es también el lago que está a mayor altitud (3810 msnm) de los grandes lagos del mundo. El estrecho de Tiquina separa el Lago Mayor (profundidad media 180m, máxima 280m) del Lago Menor o Huiñaymarca (profundidad media 9m, máxima 40m). (ALT, 1993)

Figura 3. Localización Geográfica del Lago Titicaca, Sistema TDPS



Fuente: Edgar Castro F, ALT 2015

El lago Titicaca se constituye en el principal elemento regulador del sistema TDPS y tiene una superficie aproximada de 8400 Km² a un nivel promedio de 3810 m.s.n.m., una profundidad máxima de 283 m y embalsa aproximadamente un volumen de 932 mil millones de metros cúbicos de agua. (ALT, 1993)

3.1.2. Ubicación Área de Estudio

El Área de estudio se encuentra en la zona Noreste del lago menor o Huyñamarca del Lago Titicaca en la bahía formada entre Huatajata, Puerto Pérez, Isla Suriqui y Bahía de Cohana. Políticamente se encuentra entre los municipios de Chua Cocani, Huatajata, Huarina, Puerto Pérez y Pucarani, que comparte la zona de estudio en su línea de costa.

La extensión del área de estudio comprende desde la fosa de Chua hasta la Bahía Puerto Pérez con una superficie aproximada de 302,5 Km² y una línea de costa de 145,5 Km, en los que se encuentran las islas de Cojata, Tiraska, Suriki y Pariti.

Figura 4. Área de Estudio, Lago Menor Titicaca.



Fuente: Elaboración propia

3.2. INSTRUMENTOS Y MATERIALES

3.2.1. Ecosonda GPS

Para el presente estudio se ha utilizado una herramienta de precisión para la medición de los sondajes, mas propiamente una EcoSonda GPS Garmin Striker 4CV, de fabricación americana, este sensor presenta un transductor con capacidad de medición de profundidades que va de 0 a 50 m, con un error de medición de +/- 0.001. La ecosonda utiliza una fuente de poder de 12 voltios, por lo que se utilizó una batería de motocicleta en las campañas realizadas.

Figura 5. Partes de la Ecosonda STRIKER™ Plus 4cv



Fuente: <https://www.garmin.com/es-ES/> (GARMIN, 2020)

3.2.2. Embarcación

El trabajo de campo fue realizado en una embarcación de propiedad del Señor Máximo Catari, comunario de Huatajata. Las salidas fueron realizadas desde el puerto ubicado en su domicilio y los equipos fueron instalados en la embarcación en todas las campañas realizadas.

Las características de la embarcación fueron las siguientes:

- Material de Construcción: Madera
- Tipo de Navegación: Lacustre
- Capacidad de pasajeros: 12 personas
- Tipo de alquiler: Bs.- 500,00 (no incluye combustible)
- Eslora: 7 metros
- Manga: 2,5 metros
- Puntal: 2,5 metros
- Calado: 0.90 metros
- Tipo de motor: De cola
- Potencia del motor: 02 motores con potencia mínima de 60 hp cada uno
- Tipo de Combustible: Gasolina

Figura 6. Equipamiento de la embarcación científica



Fuente: Fotografía tomada in situ

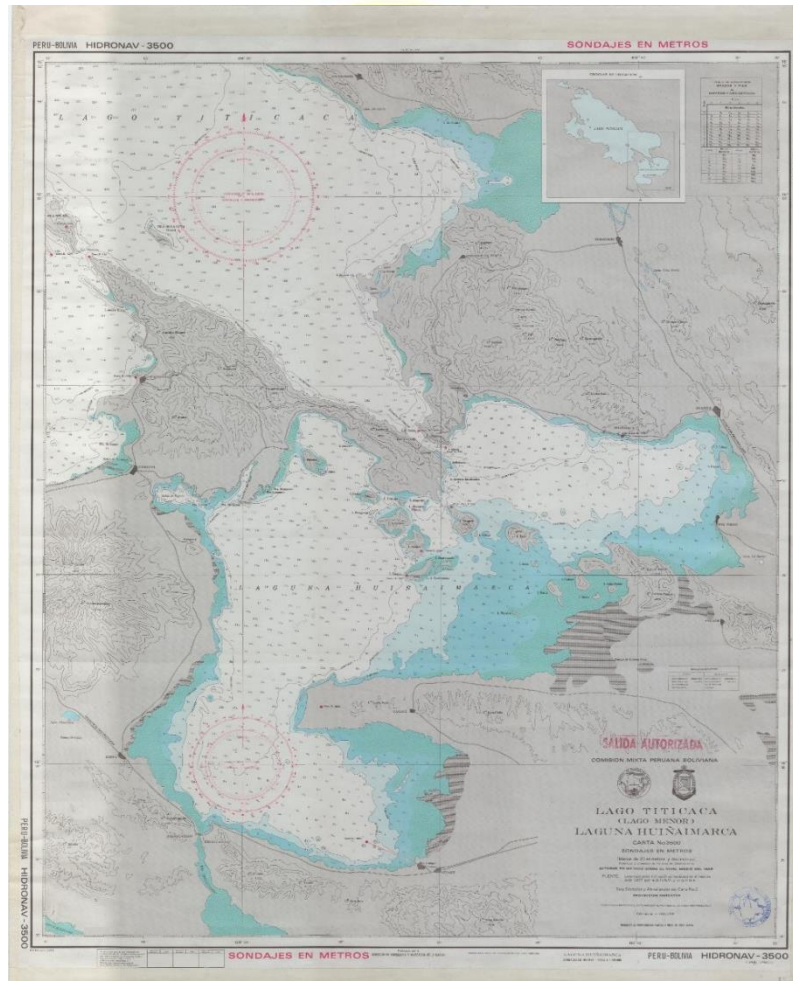
3.2.3. Información Cartográfica y Base

La cartografía base de referencia utilizada para la planificación y guía se estableció mediante el uso de cartas correspondientes al levantamiento Hidrográfico HIDRONAV 3500 e HIDRONAV 3000, a escalas de impresión 1:100.000 y 1:250.000 respectivamente. Estas cartas corresponden al Levantamiento Hidrográfico de 1977, realizado por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la

Marina de Perú y el Servicio de Hidrografía Naval de Bolivia, cuyo estudio es reconocido como el primer estudio de batimetría del lago Titicaca.

Se debe hacer notar que los datos de sondajes presentes en estas cartas son referidos al promedio de 41 años de observaciones, con una cota absoluta de 3,808.6492 m.s.n.m. y una cota relativa de +0,5132 al "0" de la regla de Guaqui.

Figura 7. Mapa Hidrográfico del Lago Menor Titicaca.



Fuente: HIDRONAV 3500 (SHNB-DHNM, 1978)

3.2.4. Imágenes Satelitales

Para la identificación de la línea de costa se utilizó escenas de las imágenes del sensor Sentinel-2, con identificador de grilla 19LEC, correspondiente a los días del trabajo de campo realizado.

Las imágenes utilizadas fueron:

- S2A_MSIL1C_20171118T144731_N0206_R139_T19LEC
- S2A_MSIL1C_20180308T144731_N0206_R139_T19LEC
- S2B_MSIL1C_20180422T144729_N0206_R139_T19LEC
- S2B_MSIL1C_20180502T144729_N0206_R139_T19LEC

3.2.5. Equipos

Para la toma de datos de campo y procesamiento de la información, se utilizó:

- ✓ 01 Ordenador para procesamiento de información.
- ✓ 01 GPS Garmin eTrex Vista HCx, para el levantamiento de información georreferenciada en campo.
- ✓ 01 Disco Secchi
- ✓ 01 Cámara fotográfica.

3.2.6. Software

El software de descarga y procesamiento de la información generada es:

- ✓ Software de Sistema de Información Geográfica ArcGIS versión. 10.4.1.
- ✓ Software de Sistema de Información Geográfica QGIS versión 3.10.6
- ✓ Microsoft Office 2016
- ✓ Software estadístico IBM SPSS Statistics 25 (Statistical Package for Social Sciences)

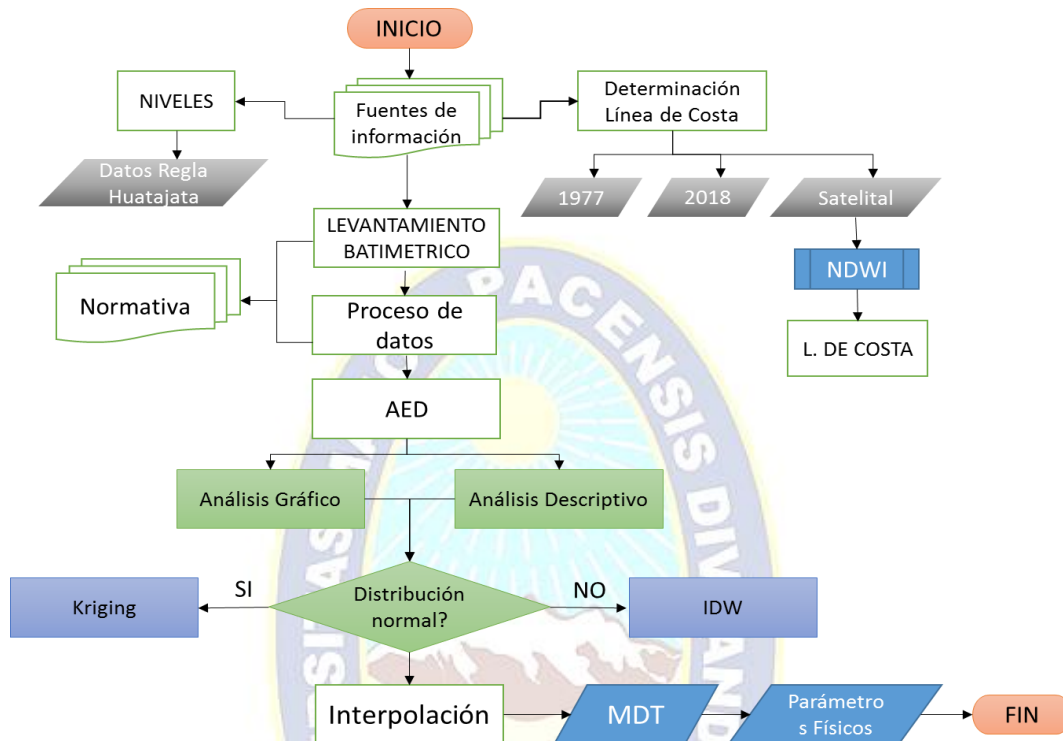
3.2.7. Normativa y bibliografía de consulta

Para guía y presentación de los datos se ha utilizado como documento de referencia los siguientes:

- ✓ Plan Director Global Binacional de Protección y Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los Recursos del Lago Titicaca, Rio Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa, Tomo Batimetría.
- ✓ Normas de la OHI para los Levantamientos Hidrográficos.
- ✓ Procedimientos para la determinación de profundidades, HIDRONAV – 5156
- ✓ Normas Técnicas Hidrográficas SEHINAV N° 01

3.3. METODOLOGÍA

Figura 8. Flujograma de procedimientos metodológicos



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. Fuentes de Información

La información existente acerca de estudios de batimetría en el país es muy exigua, razón por la que esta etapa fue esencial, y se realizó en dos partes:

La primera parte corresponde a la recopilación de información bibliográfica correspondiente a levantamientos batimétricos realizados en la zona de estudio. El estudio de Batimetría y Topografía del Plan Director Binacional de Protección y Prevención de Inundaciones del TDPS es un documento en el cual se describe la determinación de las curvas cota, superficie, volumen del Lago Titicaca, el cual se realizó a partir de los mapas batimétricos de la DHNM y el SHNB realizado entre los años 1977 y 1978, a partir de información satelital y una campaña topográfica, se definió los contornos del espejo de agua hasta la cota 3815 msnm. El documento describe como el nivel de referencia correspondiente al Sistema Geodésico de Bolivia, para la cota equivalente en territorio peruano se debe sumar 0.3952 metros.

Para la segunda parte se procedió a la recopilación y digitalización cartográfica, la cual se realizó en base a la carta Hidronav 3500 escala 1:100.000, correspondiente al levantamiento batimétrico del Lago Titicaca de 1977, con el objeto de determinar los aspectos técnicos realizados en los sondeos y determinación de la línea de costa. De esta carta se recopiló 219 puntos de sondeo de la zona de estudio los que se usaron como base referencial para la determinación de la línea de costa y puntos de sondeo.

3.3.2. Determinación de la Línea de Costa

La determinación de la línea de costa es fundamental para la etapa de interpolación y modelamiento digital del terreno, siendo que cumple el límite o barrera entre el suelo y el cuerpo de agua, para lo cual se realizó un análisis en tres bordes:

El primer borde corresponde a la Carta náutica HIDRONAV 3500, Escala 1:100.000, la carta fue escaneada y digitalizada en ArcGIS como base para la planificación del levantamiento batimétrico, el borde corresponde al levantamiento y espejo de agua de 1977, motivo por el cual este se utilizó solamente de manera referencial y se consideró para la revisión de los cambios ocurridos en la línea de costa.

El segundo borde corresponde al levantamiento hidrográfico de la línea de costa del SNHN de 2018, realizado durante el establecimiento de la red geodésica del lago Titicaca, para el proceso de levantamiento hidrográfico del Lago Titicaca. Este borde fue proporcionado por el departamento de Geografía del SNHN, en formato digital con los valores de X, Y y Z, este borde es utilizado de referencia para la navegación en la Armada Boliviana.

Con estas dos referencias, se pudo evidenciar que el borde del Lago ha cambiado, también es evidente la variabilidad del nivel de agua, el cual depende de la estacionalidad en épocas de estiaje e inundaciones, por lo que se determinó realizar una comparación con el uso de imágenes de Satélite. Para este análisis se dispuso aplicar el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) que se utiliza para el análisis de masas de agua. El índice utiliza las bandas verdes e infrarrojas de los sensores de teledetección. Este índice nos permite mejorar la información e identificar los cuerpos de agua de manera eficiente.

Mediante el enlace: <https://earthexplorer.usgs.gov>, correspondiente al servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) se procedió a la descarga de Imágenes Sentinel-2, correspondientes a las fechas de las salidas de campo y medición de sondajes. Posteriormente se ha procedido al cálculo del NDWI mediante el Método de McFeeters (1996) combinando las bandas verde e infrarroja a través de la siguiente expresión algebraica:

$$\text{NDWI} = (\text{GREEN} - \text{NIR}) / (\text{GREEN} + \text{NIR})$$

Para las bandas radiométricas del sensor Sentinel-2 se utilizó lo siguiente:

$$\text{NDWI (Sentinel-2)} = (\text{B3} - \text{B8}) / (\text{B3} + \text{B8})$$

3.3.3. Normativa para levantamientos Hidrográficos

Según las normas de la OHI, para los levantamientos hidrográficos, de febrero de 2008, para los levantamientos hidrográficos se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- **Orden:** corresponde al tipo de Orden 1b, Este Orden es apropiado para áreas menos profundas que 100 metros.
- **Incertidumbre Horizontal:** Datum horizontal WGS 84, las posiciones de los sondajes están basados en el Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRF).
- **Incertidumbre Vertical:** Datum horizontal WGS 84, las posiciones de los sondajes están basados en el Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRF).
- **Densidad de Sondas:** Para los levantamientos de Orden Especial y de Orden 1a, no se recomienda ningún espaciamiento máximo entre líneas pues existe un requerimiento de traslape para la búsqueda completa del fondo marino. La búsqueda completa del fondo marino no se requiere para los órdenes 1b y 2.
- **Datos:** Para la valoración comprensiva de la calidad de los datos del levantamiento, es necesario registrar o documentar cierta información junto

a los mismos. Tal información es importante para permitir la explotación de los datos del levantamiento por una variedad de usuarios con diversos requerimientos, que muchas veces no son conocidos cuando se ejecuta el levantamiento.

- **La Metadata:** debe ser preferentemente una parte integral del registro digital del levantamiento y ser conforme a la OHI S-100 “Estándar Descubrimiento Metadata”, cuando sea adoptada. Antes de la adopción de S-100, la ISO 19115 puede ser utilizada como modelo para la metadata.
- **Datos dudosos:** Para mejorar la seguridad de la navegación es deseable eliminar los datos dudosos; es decir, los datos que son denotados generalmente en cartas por PA (Posición Aproximada), PD (Posición Dudosa), ED (Existencia Dudosa), SD (Sondaje Dudoso) o como "Peligro Reportado". Para confirmar o para refutar la existencia de tales datos es necesario definir cuidadosamente el área a ser examinada y posteriormente que el levantamiento del área sea ejecutado según los estándares.

3.3.4. Nivel de referencia

Para el control de los niveles de agua del Lago Titicaca se ha utilizado como nivel de referencia la regla Limnimétrica de Huatajata, ubicada en la Capitanía de Puerto Menor de la Armada Boliviana, en la población de Huatajata, a 850 metros del punto de inicio. Esta regla es custodiada por la Armada Boliviana, los registros de los datos son tomados por el SENAMHI y son reportados diariamente mediante un reporte Hidrológico.

Tabla 1. Posición Geográfica, regla Limnimétrica de Huatajata

ESTACIÓN	UBICACIÓN					
	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	DPTO	PROVINCIA	MUNICIPIO	NIVEL HISTORICO
HUATAJATA	16°12'42"	68°41'53"	La Paz	Omasuyos	Achacachi	3808,84 m

Fuente: SENAMHI, Bolivia

3.3.5. Levantamiento Batimétrico

El levantamiento batimétrico se realizó en 5 campañas, las que se realizaron en diferentes fechas de acuerdo con la planificación de las salidas de Instituto de Investigaciones Geográficas (IIGEO) de la Universidad Mayor de San Andrés.

Los equipos utilizados fueron instalados en una embarcación de madera, equipada debidamente por el IIGEO, la cual se utilizó en transeptos planificados en gabinete.

El transductor de la ecosonda se instaló en estribor de la embarcación, a una distancia de 0,60 metros bajo el nivel del pelo de agua. Realizando las mediciones correspondientes posteriormente.

3.3.6. Proceso y Evaluación de Datos

El procesamiento de los puntos de sondaje, se realizó posteriormente en la fase de gabinete, en el que se procedió a la evaluación y la corrección de la cota vertical, tomando como referencia los niveles registrados para el día correspondiente según la regla limnimétrica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología con base en Huatajata.

3.3.7. Análisis exploratorio de datos

El procedimiento de exploración y barrido de datos se realizó en el software estadístico SPSS, el cual nos proporciona una variedad de resúmenes numéricos y visuales de los datos, tanto para todos los datos en su conjunto, como para grupos de casos separadamente. Este procedimiento se realizó con el objeto de examinar los datos, identificar casos atípicos, revisar los supuestos e identificar las diferencias entre grupos de casos.

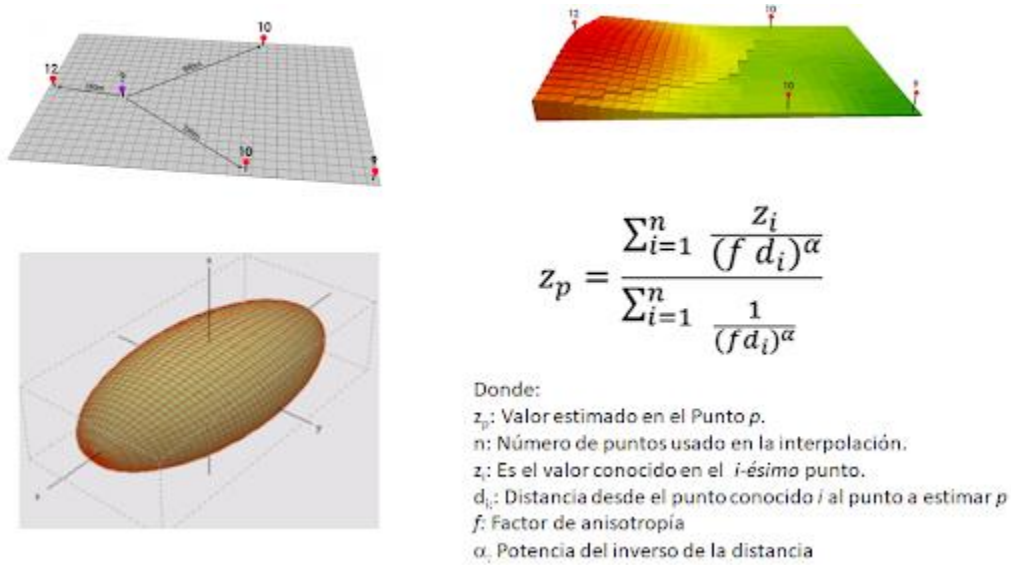
Para este proceso se determinó que la variable a determinar son los puntos de sondaje. Se realizó cálculos estadísticos descriptivos con intervalo de confianza del 95%, estimadores robustos centrales, valores atípicos y percentiles. Los gráficos que se espera obtener histogramas y gráficos de prueba de normalidad.

3.3.8. Interpolación de sondajes

Posterior al AED, se determinó el método adecuado de interpolación, el cual se refiere al método IDW (Inverse distance weighting) o Ponderación de distancia

inversa. Este método interpolación estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento.

Figura 9. Método de interpolación IDW



Fuente: <https://gisgeography.com> (GISGeography, 2020)



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION

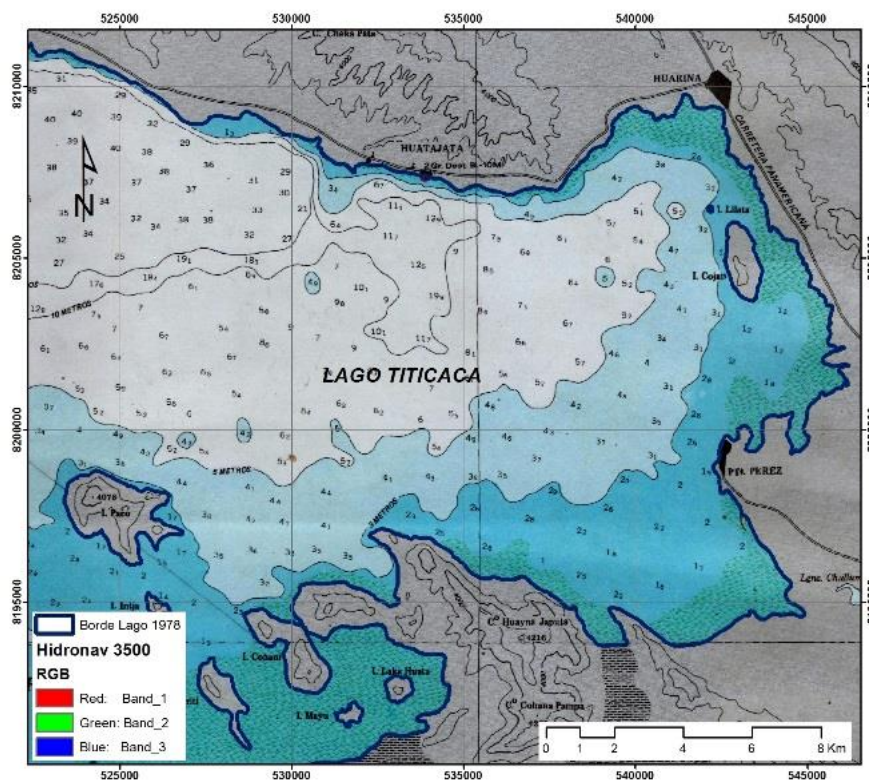
4.1. LÍNEA DE COSTA

La determinación de la línea de costa, es una parte importante de la metodología, se utiliza de barrera para la interpolación y el cálculo de parámetros morfométricos. Para la determinación de la línea de costa se ha obtenido tres resultados, la línea de costa de 1977, colocada como línea referencial; la línea de 2018, obtenido del SNHN, el cual se utilizó como referencia actual, y finalmente la línea de costa obtenida del cálculo del índice NDWI.

4.1.1. Línea de costa 1977

La línea de costa se ha obtenido de la digitalización de la Carta Náutica Hidronav 3500, de donde se obtuvo la línea de costa referencial y los sondeos, estos datos fueron utilizados de base para la planificación de las líneas de navegación y el levantamiento de puntos de sondeos.

Figura 10. Línea de Costa 1977, Hidronav 3500

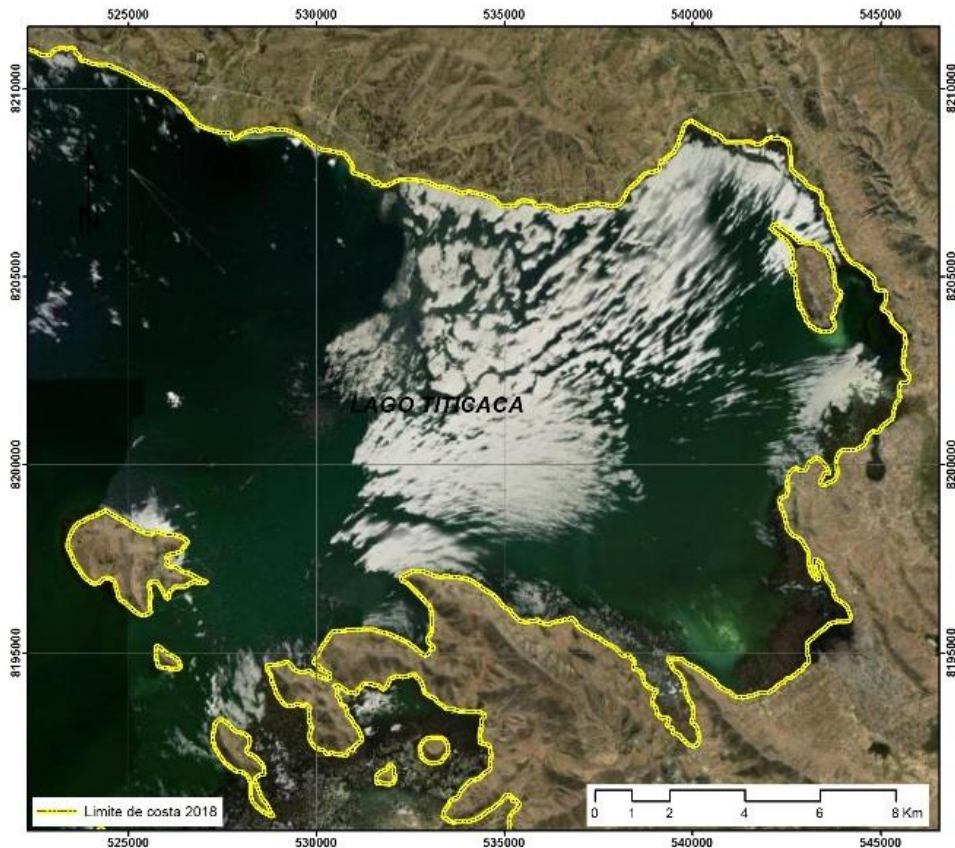


Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Línea de costa 2018

La línea de costa 2018, es un producto de un levantamiento topográfico realizado por el SNHN, se utilizó para la comparación con la línea de costa de 1977, donde se observa diferencias debido a la disminución del nivel de agua ocurrido en las últimas décadas. Las diferencias son más notorias en las zonas donde existe poblaciones ribereñas, marcadas con el crecimiento agrícola y el total de las partes menos profundas.

Figura 11. Línea de costa, levantamiento topográfico 2018

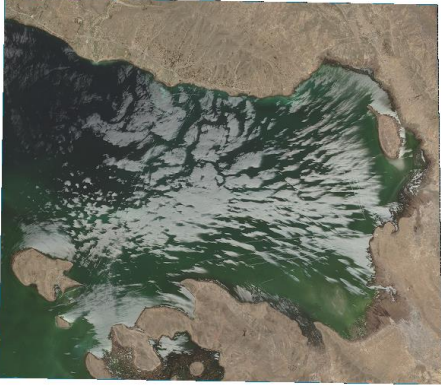

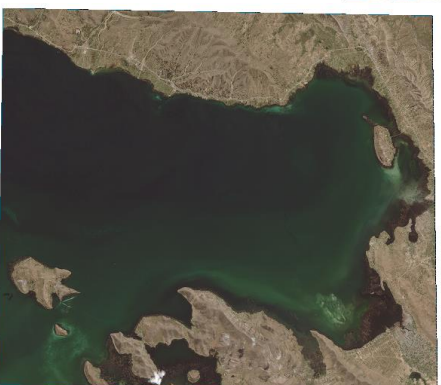
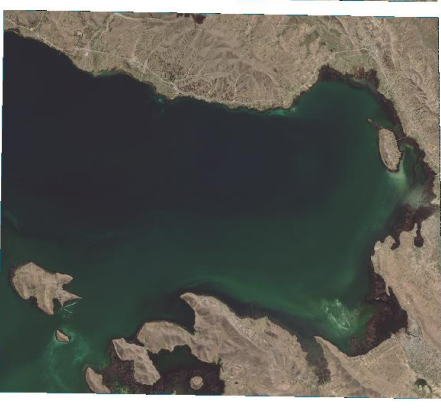


Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Delimitación de borde mediante Índice NDWI

Por lo tanto, para una mejor delimitación de la línea de costa se ha utilizado sensores de teledetección del sensor Sentinel-2, de fechas conformes con el levantamiento batimétrico. Las imágenes fueron seleccionadas por sus características de resolución espectral y espacial.

Tabla 2. Cuadro de Imágenes Sentinel-2

Imagen / Características	Visualización
<p>S2A_MSIL1C_20171118T144731_N0206_R139_T19LEC</p> <p>Fecha: 18-Nov-2017</p> <p>Res. Espacial: 20 m.</p> <p>Res. Espectral: 13 Bandas</p> <p>Res. Radiométrica: 32 Bits</p>	
<p>S2A_MSIL1C_20180308T144731_N0206_R139_T19LEC</p> <p>Fecha: 08-Mar-2018</p> <p>Res. Espacial: 20 m.</p> <p>Res. Espectral: 13 Bandas</p> <p>Res. Radiométrica: 32 Bits</p>	
<p>S2B_MSIL1C_20180422T144729_N0206_R139_T19LEC</p> <p>Fecha: 22-04-2018</p> <p>Res. Espacial: 20 m.</p> <p>Res. Espectral: 13 Bandas</p> <p>Res. Radiométrica: 32 Bits</p>	
<p>S2B_MSIL1C_20180502T144729_N0206_R139_T19LEC</p> <p>Fecha: 02-05-2018</p> <p>Res. Espacial: 20 m.</p> <p>Res. Espectral: 13 Bandas</p> <p>Res. Radiométrica: 32 Bits</p>	

Fuente: Elaboración propia en base a datos USGS

Para la identificación de la línea de costa e caracterización del cuerpo de agua, se ha usado el índice NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado). Este cálculo, se ha realizado de manera independiente para cada imagen y clasificación del cuerpo de agua.

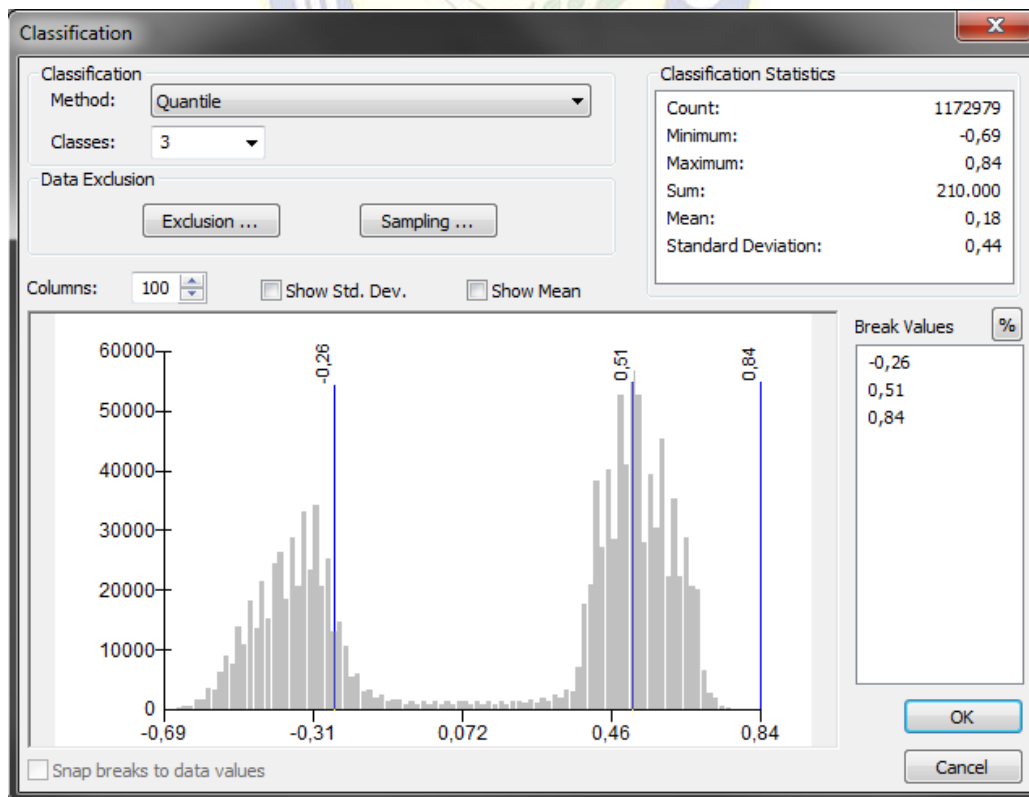
Se ha utilizado las bandas verdes e infrarrojas de las imágenes. El índice NDWI ha identificado de manera eficiente la información del cuerpo de agua. Los valores obtenidos se han reclasificado por el número digital de reflectancia, dando los siguientes resultados:

Tabla 3. Cuadro de reflectancia calculada

Imagen	Reflectancia	%
Suelo desnudo	-1 a -0,26	30,49
Vegetación	-0,25 a 0,51	30,07
Cuerpo de Agua	0,52 a 0,84	39,44

Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Clasificación de reflectancia elaborados en ArcGIS



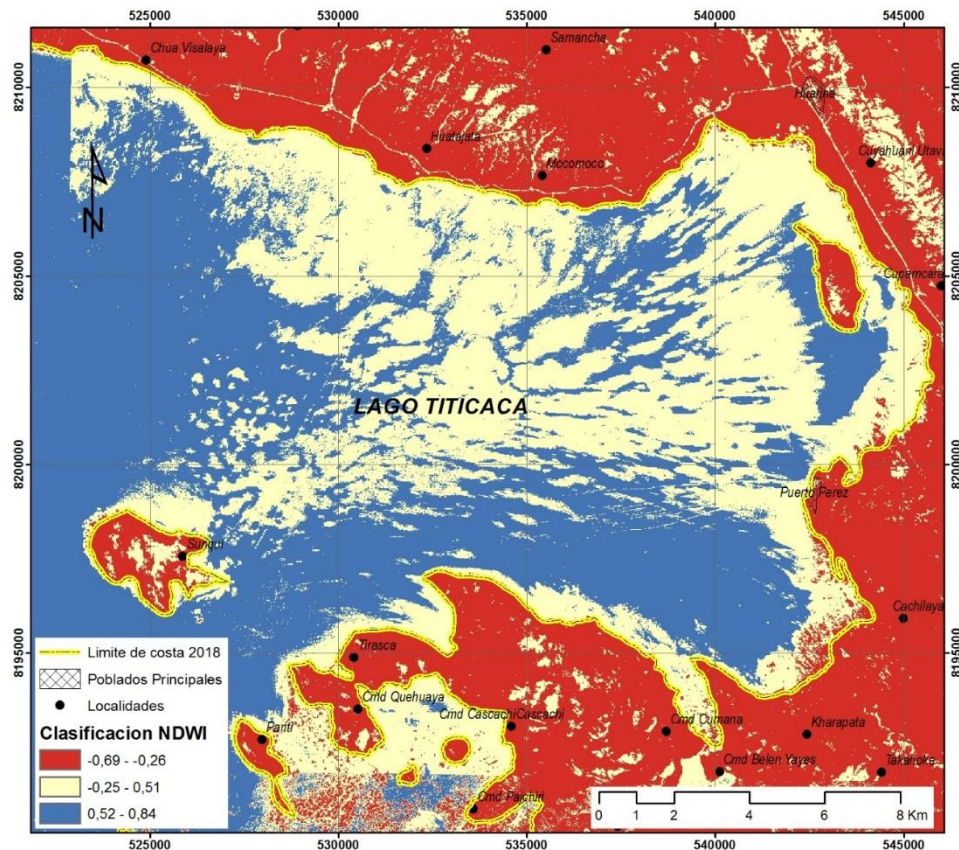
Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos

Los datos obtenidos en cada imagen son similares, existe una diferencia mínima de acuerdo con la fecha y estacionalidad de la toma, por lo que se realizó un promedio de los valores de las celdas de cada imagen, la cual se realizó mediante la calculadora ráster de ArcGIS.

La reclasificación de la imagen resultante se realizó por el método de Cuantiles de 3 clases, donde los números digitales fueron clasificados por grupos que dividen la distribución en partes iguales en intervalos que comprenden la misma proporción de valores.

El NDWI resultante, representa el promedio de los valores de reflectancia, el cual ha permitido determinar la línea de costa. El resultado obtenido se ha comparado con las imágenes obtenida por el NDWI, donde se marca similitud con la línea de costa de 2018 y la diferencia en comparación con la línea de costa de 1977.

Figura 13. Imagen obtenida del cálculo del índice NDWI



Fuente: Elaboración propia

4.2. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO

El levantamiento batimétrico se realizó con la ecosonda instalada en la proa de la embarcación, el transductor de la ecosonda se instaló a 0,60 metros sumergido bajo el pelo de agua. En el proceso del levantamiento batimétrico se realizó la validación de los datos con el disco Secchi.

Figura 14. Levantamiento de puntos de sondaje, funcionamiento de la ecosonda



El detalle del levantamiento se describe en la tabla a continuación:

Tabla 4. Puntos de sondaje levantados en campo

Fecha	Punto inicio	Hora de inicio	Hora de fin	Numero de sondajes	PROM HISTORICO	Nivel registrado día anterior	Nivel registrado	Diferencia de nivel al histórico
24/11/2017	Huatajata	10:00	17:00	218	3808,84	3807,75	3807,75	1,09
16/03/2018	Huatajata	10:00	16:30	190	3808,84	3808,32	3808,33	0,51
01/04/2018	Huatajata	09:00	17:30	125	3808,84	3808,47	3808,47	0,37
17/04/2018	Huatajata	10:30	17:30	145	3808,84	3808,42	3808,42	0,42
03/05/2018	Huatajata	09:30	18:00	250	3808,84	3808,4	3808,40	0,44
07/12/2018	Huatajata	10:00	16:00	4	3808,84	3807,85	3807,84	1

Fuente: Elaboración Propia

El punto de inicio del levantamiento fue desde el muelle de Huatajata, se tomaron 932 puntos, en 6 fechas diferentes, siendo que las primeras 5 campañas aportaron con la mayor parte de los datos, en la siguiente figura se muestra los transeptos

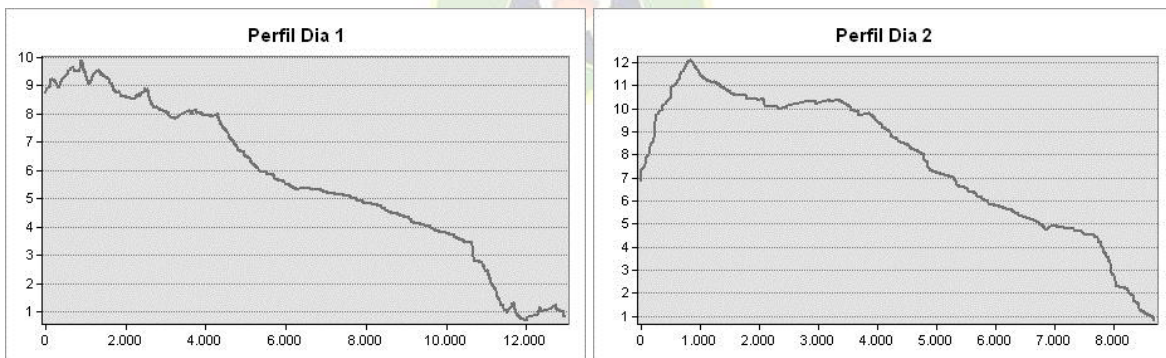
realizados para la toma de los sondeos, donde se puede evidenciar el punto de partida, las fechas de navegación y las zonas vegetación compuesta por totorales.

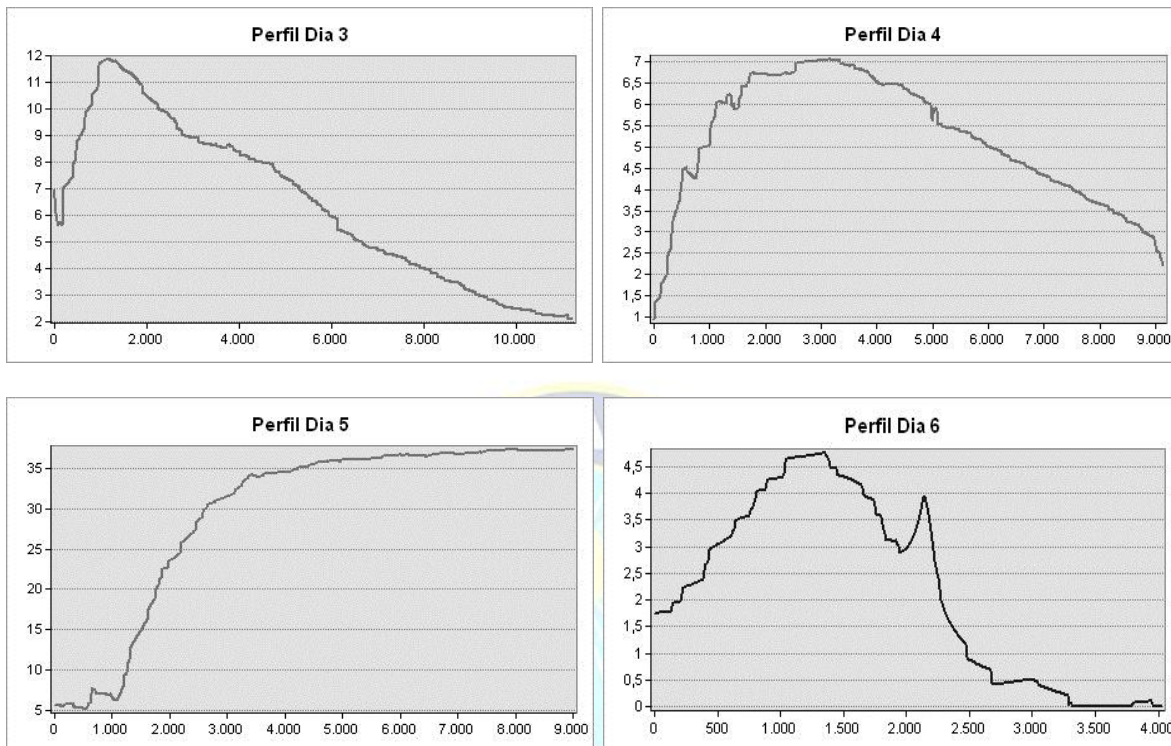
Figura 15. Mapa de ubicación de los transectos realizados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Perfiles topográficos de los transectos realizados





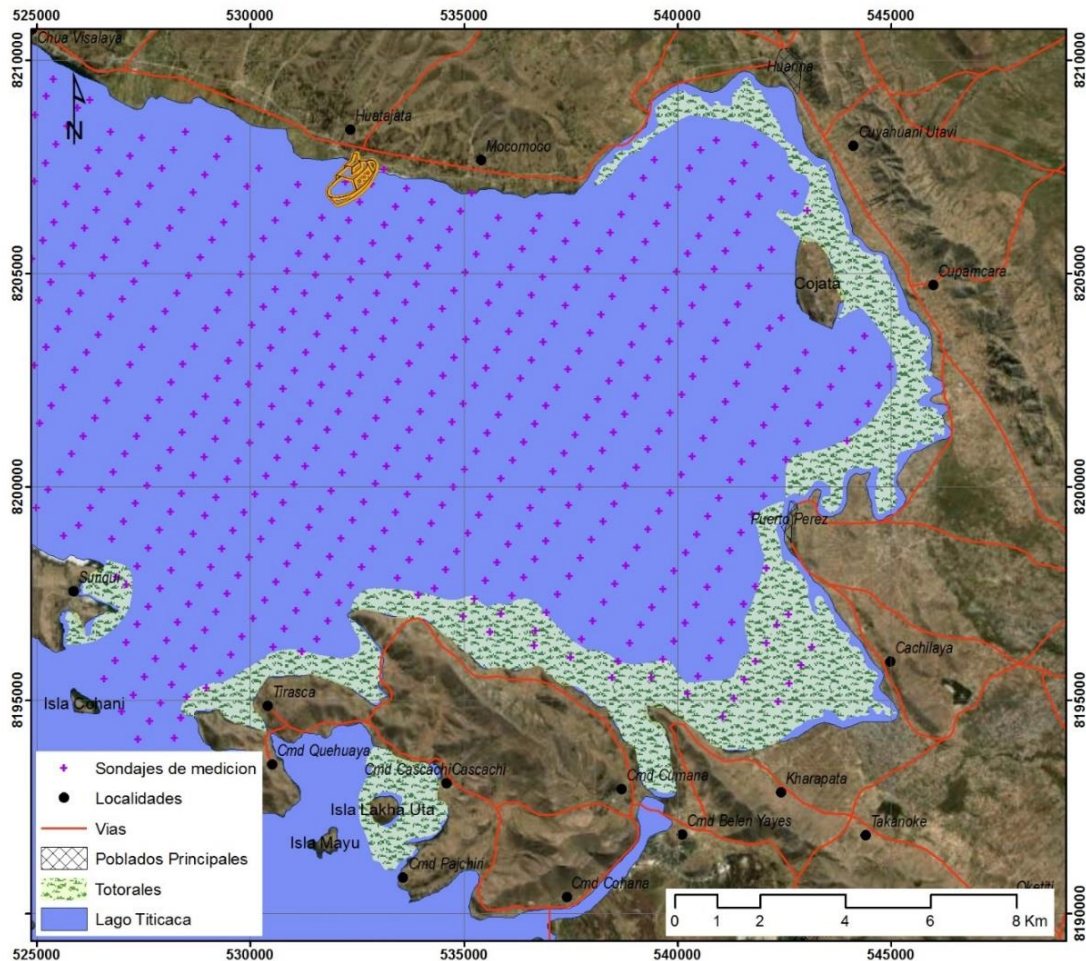
Fuente: Elaboración en base a los puntos de sondaje

4.3. PROCESAMIENTO DE SONDAJES

El procesamiento de los puntos de sondaje se realizó con la descarga y revisión de los datos obtenidos en campo, en el análisis de la base de datos de los puntos se encontró datos inconsistentes, por los que se realizó la depuración de datos, el cual consiste en la eliminación de datos confusos o desplazados, los cuales se deben a marcaciones de poca profundidad y con registros de valor nulo.

Con los datos corregidos se ha construido una red de 557 puntos ordenados aleatoriamente a una distancia de 500 metros entre puntos. Los valores de sondajes en esta parte de la metodología son referenciales de acuerdo al dato obtenido por la ecosonda, los que se corrigen posteriormente con los datos de nivel registrado el día de la toma del dato y la distancia entre el transductor y el nivel de agua. Los gaps o huecos, se han rellenado con los datos de sondajes obtenidos del Levantamiento batimétrico del año 2018.

Figura 17. Mapa de sondaje clasificados



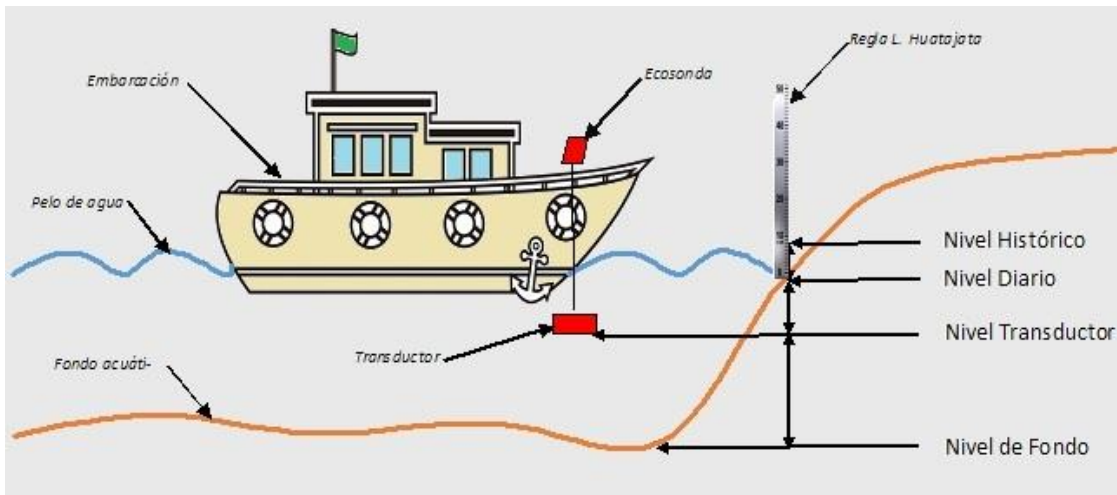
Fuente: Elaboración propia

4.4. CORRECCIÓN DE NIVELES

Los puntos de sondaje obtenidos fueron corregidos en función al nivel de reducción tomado del registro de nivel diario y el valor del nivel histórico de la regla limnimétrica de Huatajata. El valor de referencia o nivel histórico para la regla de Huatajata es 3808,84 msnm. El nivel final se ha obtenido de la diferencia obtenida del nivel histórico y el nivel diario registrado por Senamhi, la distancia de inmersión del transductor y el dato registrado.

El dato obtenido de la operación, es el dato corregido de sondaje; el valor obtenido se encuentra en función a la cota del nivel histórico de la regla de Huatajata.

Figura 18. Grafico para la corrección de niveles



Fuente: Elaboración propia

La operación realizada se expresa de la siguiente manera:

$$D_T = D_{h-d} + D_{d-t} + D_r$$

- Dónde:
- D_T = Distancia Total
 - D_{h-d} = Distancia entre el nivel histórico y el diario registrado
 - D_{d-t} = Distancia entre el nivel diario y el transductor
 - D_r = Distancia de registro de la ecosonda

4.5. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

4.5.1. Análisis descriptivo

El propósito del análisis exploratorio de datos es determinar mediante un análisis geoestadístico el método adecuado de interpolación espacial para la presentación de resultados del comportamiento de los sondeos en un espacio geográfico.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de los sondeos

Descriptivos			
		Estadístico	Desv. Error
SONDAJES	Media	8,4638	0,40001
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	7,6781
		Límite superior	9,2495
	Media recortada al 5%	7,3313	
	Mediana	5,2449	

Varianza	89,125	
Desv. Desviación	9,44061	
Mínimo	0,00	
Máximo	39,13	
Rango	39,13	
Rango intercuartil	5,51	
Asimetría	2,013	0,104
Curtosis	3,083	0,207

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos con SPSS

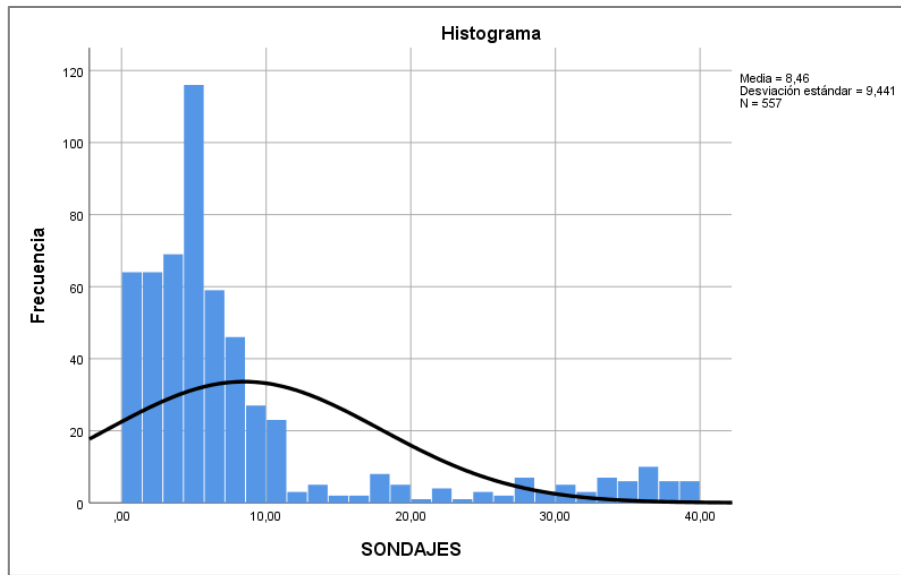
De los datos estadísticos descriptivos se obtuvo una media de 8,46 m. de los sondeos al 95,00% de confianza, una mediana de 5,25 m., y valores de sondeo de 0 m. como valor como mínimo y 39,13 m. como valor máximo. El valor obtenido de la desviación estándar fue de 9,44 m., se puede observar preliminarmente que la población de muestra es dispersa.

De acuerdo al valor obtenido de asimetría correspondiente a 2,013, podemos observar que la muestra corresponde a una asimetría positiva, el coeficiente de curtosis es de 3,083 lo que significa que los datos siguen una distribución Leptocúrtica.

4.5.2. Análisis gráfico de frecuencia

Mediante el histograma de frecuencia se observa una asimetría positiva, ya que la concentración de los datos se encuentra en la parte izquierda de la gráfica y además el valor de asimetría de es mayor que 0. La curva de ajuste de la muestra es Leptocúrtica, el coeficiente de curtosis es mayor que 0 y gran parte de los datos se encuentran concentrados en un rango de 4 y 6 m. y los valores extremos se encuentran mayores a 16,9 m.

Figura 19. Histograma de frecuencias

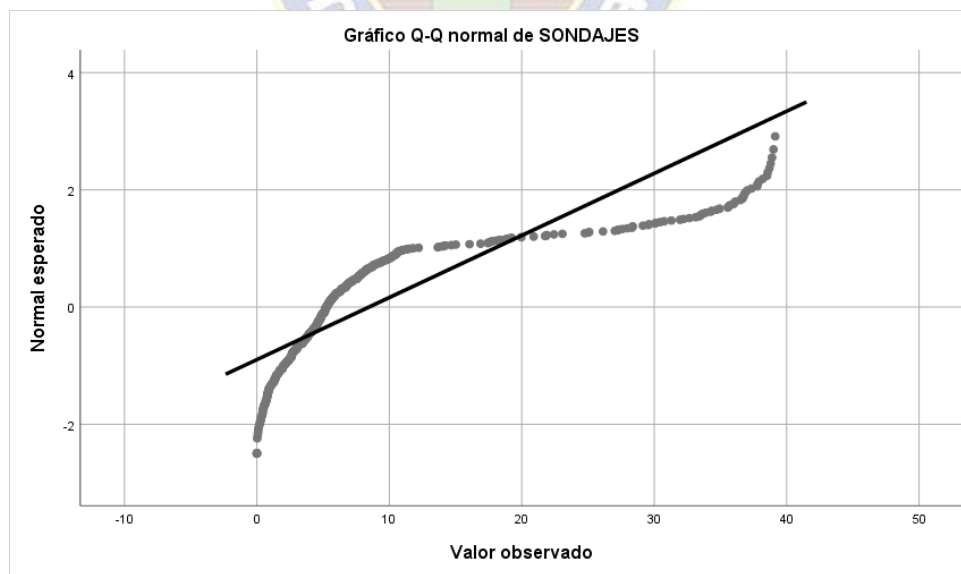


Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos con SPSS

4.5.3. Análisis de Normalidad

Un gráfico Cuantil-Cuantil permite observar cuan cerca está la distribución de un conjunto de datos a alguna distribución ideal ó comparar la distribución de dos conjuntos de datos. (Kelmansky, 2008).

Figura 20. Gráfica Cuantil - Cuantil



Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos con SPSS

Tabla 6. Parámetros de Kolmogorov – Smirnov

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SONDAJES	0,250	557	0,000	0,699	557	0,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos con SPSS

Inicialmente se manejaron dos hipótesis sobre la muestra analizada:

- Ho= Los datos tienen una distribución normal
- Ha= Los datos no tienen una distribución normal

De acuerdo a los resultados gráficos del análisis de normalidad y el valor de significancia por el método de Kolmogorov – Smirnov es menor a 0.05, por tanto, la hipótesis Ho se rechaza, entonces se afirma que los datos de sondeos no siguen una distribución normal.

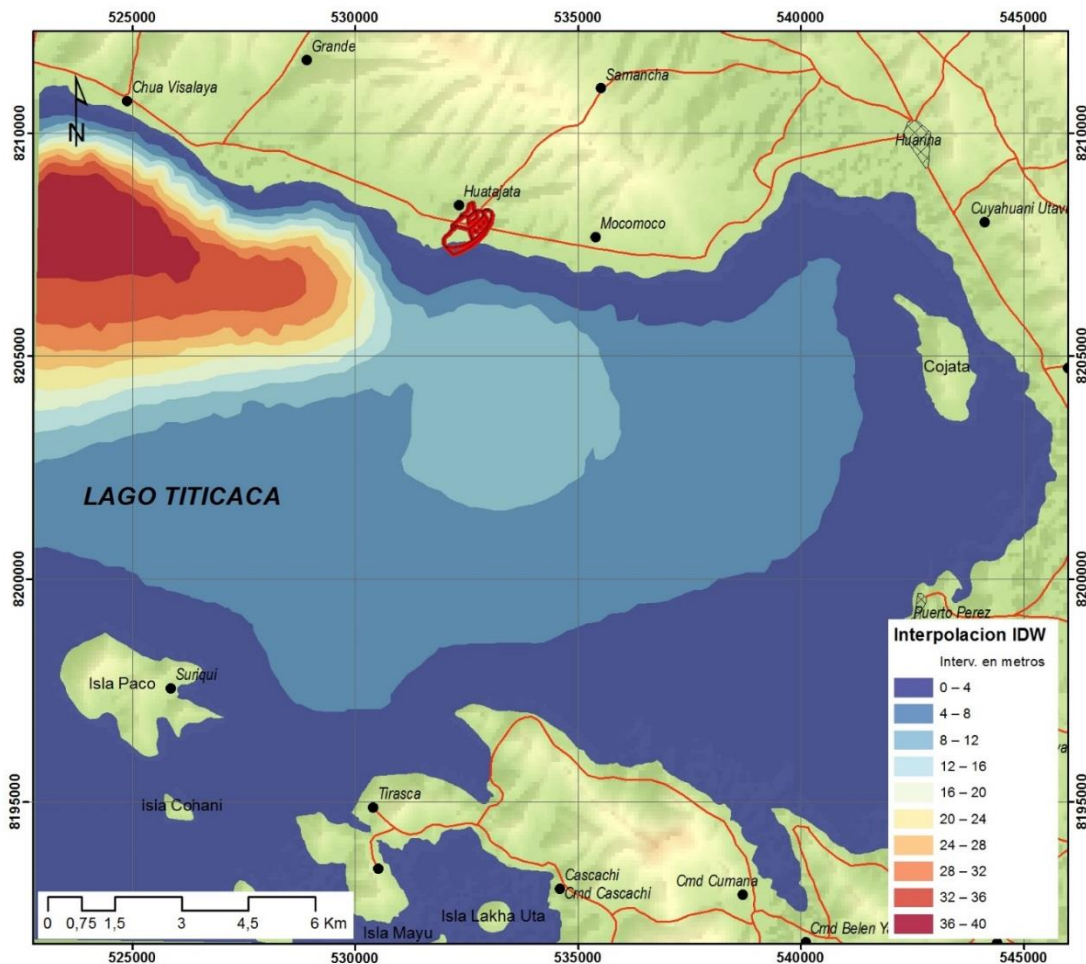
4.6. INTERPOLACIÓN DE SONDAJES

De acuerdo a la naturaleza de los datos puestos en evidencia en el análisis exploratorio, los datos de sondeo presentan una curva anormal, con datos atípicos, tienen una asimetría positiva y una curtosis Leptocúrtica por lo que se optó en interpolar los datos mediante el método IDW (Inverse Distance Weighting).

El interpolador IDW, determina los valores de las celdas usando una combinación de puntos de muestreo linealmente pesada. Para el análisis de las variables se ha combinado la Interpolación IDW con diferentes pesos, donde se ha realizado la bondad de ajuste con una correlación de 1.

De los resultados obtenidos de la interpolación se han obtenido las curvas batimétricas y los valores de sondeo representados en la siguiente figura.

Figura 21. Mapa de interpolación método IDW



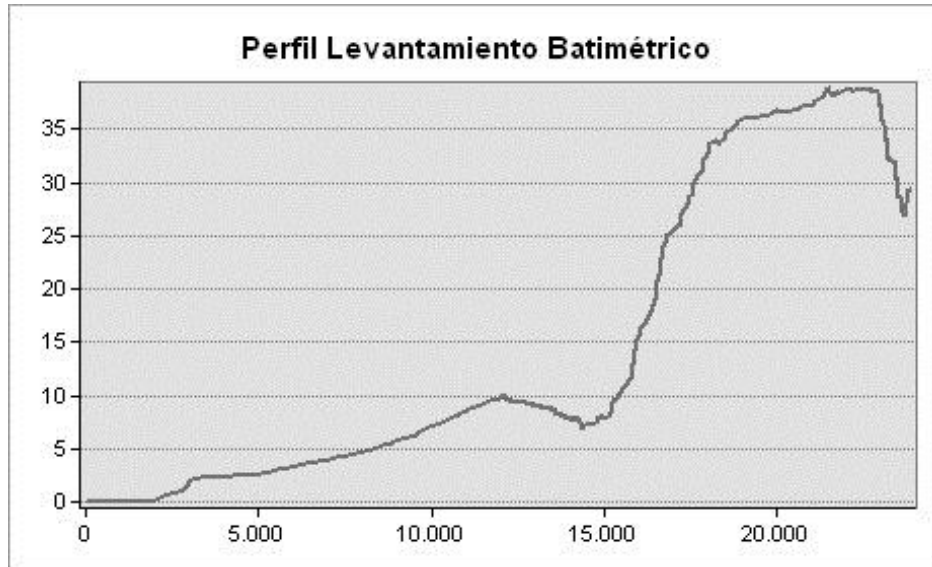
Fuente: Elaboración propia

El proceso del cálculo de los valores para la red de drenaje se ha obtenido con la aplicación de la herramienta *Extract Values To Points*³ de la caja de herramientas de Análisis Espacial de ArcGIS, el proceso se ha realizado a partir del ráster de interpolación, donde el punto ha extraído el valor de Z o el valor del sondaje. La validación del punto obtenido se ha realizado con la herramienta de validación y predicción del Módulo de Análisis Geoestadístico el cual exporta una capa de estadísticas geográficas a puntos. La herramienta también se puede utilizar para predecir valores en ubicaciones no medidas o para validar predicciones realizadas en ubicaciones medidas.

³ Extrae los valores de celda basados en un conjunto de entidades de punto y registra los valores en la tabla de atributos de una clase de entidad de salida.

El perfil topográfico del levantamiento batimétrico muestra los valores de los sondeos en el eje vertical.

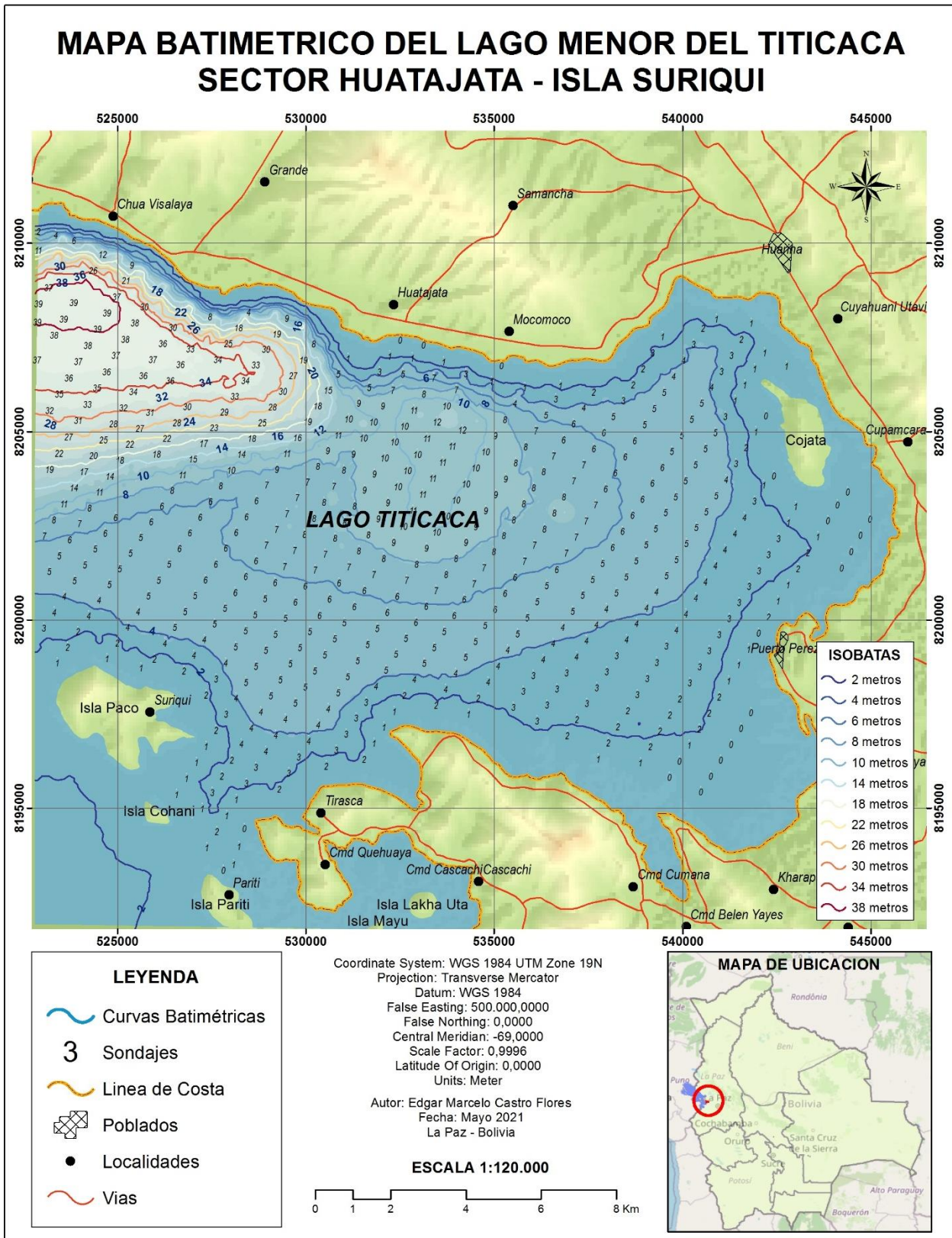
Figura 22. Perfil Topográfico del Levantamiento Batimétrico



En la figura 23, se muestra el Mapa Batimétrico de lago menor del Lago Titicaca, Sector Huatajata y Suriqui. Este mapa está representado por las curvas batimétricas en intervalos de 2 metros, la profundidad está representada mediante los sondeos en valores de números enteros.

Para fines de interpretativos se ha clasificado la interpolación en intervalos de 2 metros, siendo 0 el punto más bajo y 39,13 el punto más alto. La paleta de colores representa las profundidades, donde azul es el color que representa las profundidades mínimas y rojo la mayor profundidad. A simple vista es evidente que la zona de estudio es bastante somera, las riberas se caracterizan por ser de baja profundidad de 0 a 4 metros en promedio, motivo por el que existe bastante vegetación. Al frente del poblado de Huatajata existe un bajo fondo con una profundidad entre 8 y 12 metros. La mayor variación de profundidad se encuentra al frente del poblado de Chua, conocida por el nombre de la fosa de Chua, donde existe un descenso abrupto desde la orilla al fondo, la profundidad varía de 0 a 39,13 metros en una distancia recta de 3 km. aproximadamente.

Figura 23. Mapa Batimétrico del lago Menor del Titicaca, Sector Huatajata – Suriqui

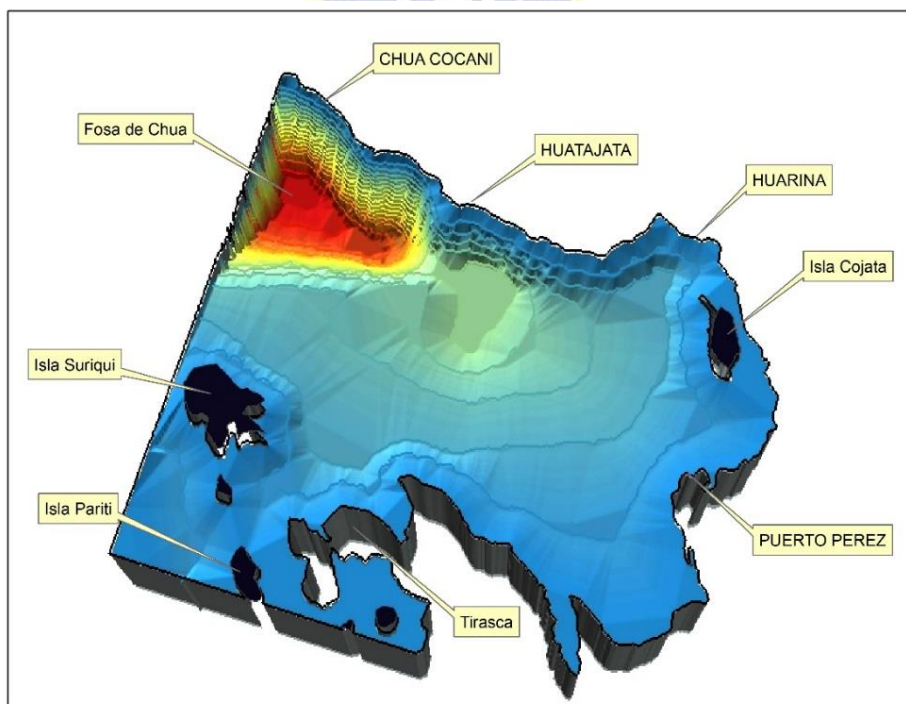


Fuente: Elaboración propia

4.7. MODELO DIGITAL DEL TERRENO

Con los datos obtenidos de las curvas batimétrica se ha diseñado un modelo digital del terreno, con el propósito de obtener parámetros que describen las formas y características físicas de la zona de estudio. El proceso de obtención del Modelo Digital del Terreno y los parámetros morfométricos de la zona de estudio se realizaron con la aplicación de las herramientas de *3D Analyst Tools*⁴ de ArcGIS.

Figura 24. Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Parámetros Morfométricos del Área de Estudio

Parámetro	Valor	Unidad
Longitud máxima	25,93	Km
Área	302,52	Km ²
Volumen (Capacidad de almacenamiento)	2.914.781,66	M ³
Profundidad Máxima	39,13	M
Profundidad Media	8,46	M
Línea de costa	143,51	Km
Línea de costa islas	9,18	Km

⁴ La Extensión ArcGIS 3D Analyst proporciona herramientas para crear, visualizar y analizar los datos de SIG en un contexto tridimensional (3D)

CAPITULO V

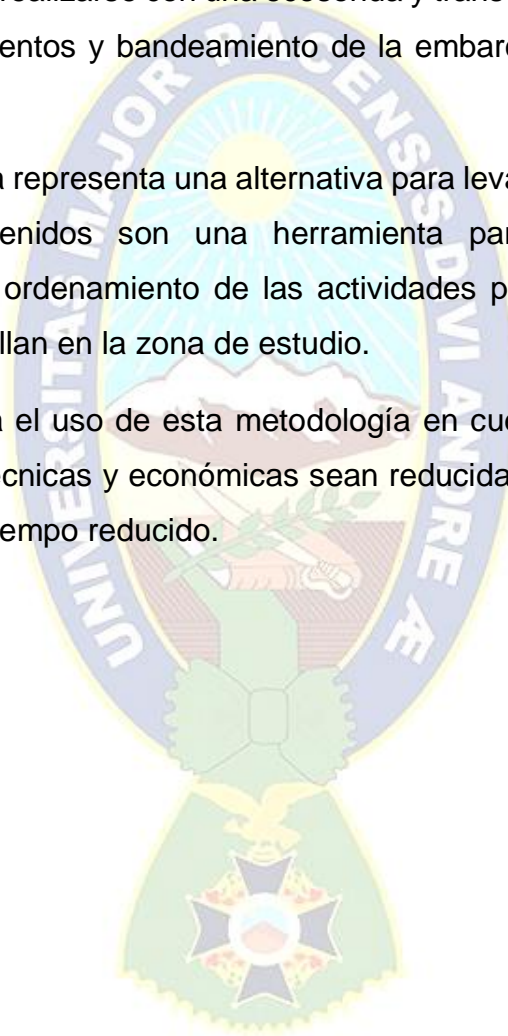
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ La Ecosonda GPS Garmin Striker 4CV es una herramienta de precisión adecuada para el levantamiento de datos batimétricos en lugares de someros y profundidad menor a 50 metros.
- ✓ La metodología permite realizar levantamientos batimétricos en lugar someros con profundidades menor al metro, para este tipo de levantamiento se debe utilizar las embarcaciones de bajo calado o las denominadas “peque peque”.
- ✓ La metodología permite realizar levantamientos con alto nivel de resolución donde el operador decide la distancia entre los puntos de sondaje.
- ✓ Los valores obtenidos fueron validados en campo con el uso del disco Secchi, los resultados fueron coherentes con los datos obtenidos con la ecosonda.
- ✓ El Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) ha permitido diferenciar el cuerpo de agua en función a las bandas espectrales, el infrarrojo cercano de onda corta muestra una alta absorción de luz en el cuerpo de agua.
- ✓ El análisis exploratorio de los datos de los sondajes determinó que los datos tienen una distribución anormal, por lo que se utilizó el método de interpolación IDW (Ponderación de distancia inversa) para la representación del modelo digital del terreno.
- ✓ Las profundidades obtenidas de los datos de sondajes, dieron como resultados el valor máximo de 39,13 metros en la fosa de Chua y la profundidad media con un valor de 8,46 metros.
- ✓ Los parámetros morfométricos en la zona de estudio para la zona de estudio son: la capacidad de almacenamiento de agua es de 2.914.781,66 m³ y la superficie del espejo de agua de 302,52 Km² para la cota de 3808,84 m.s.n.m.

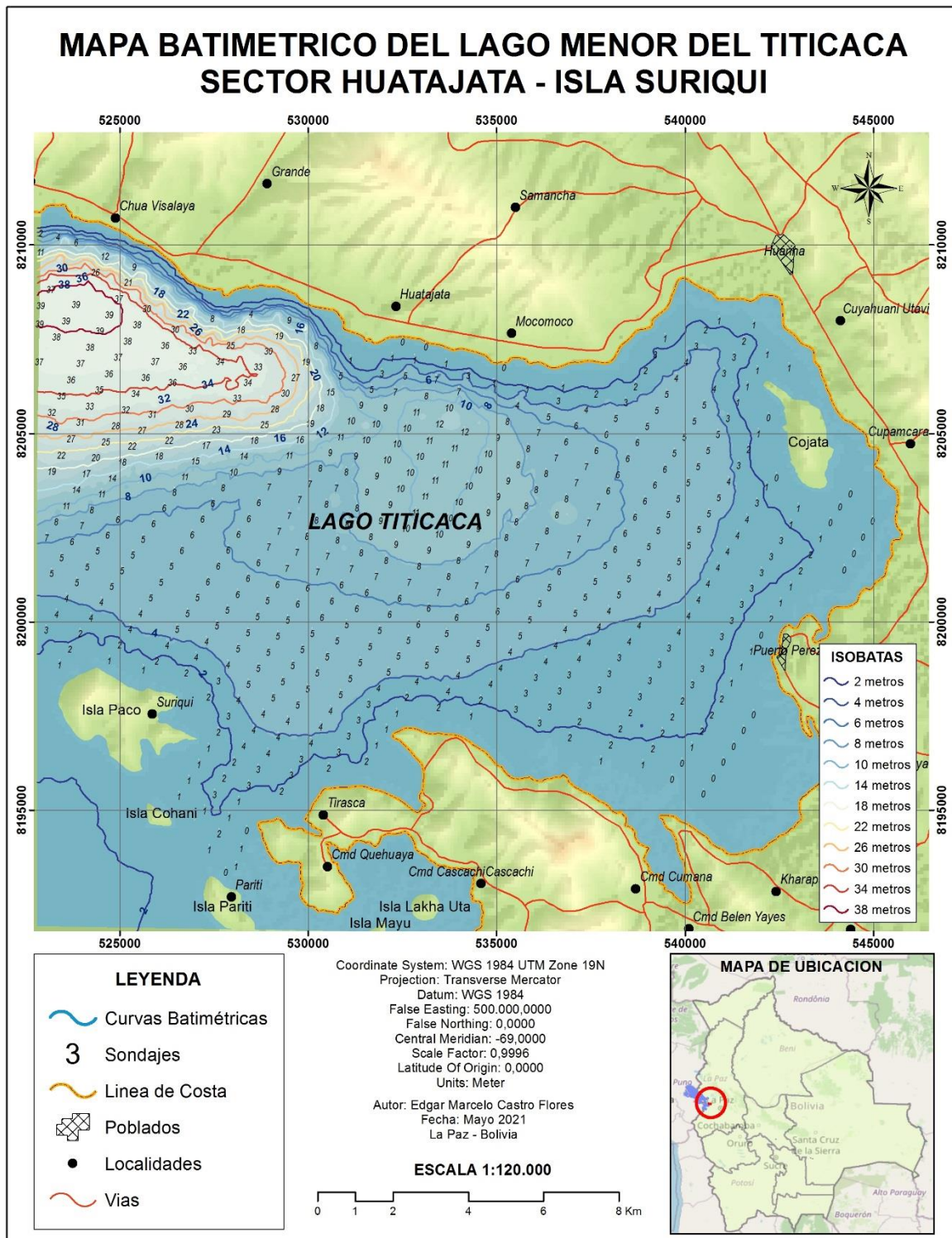
5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ La metodología realizada depende del tipo de Ecosonda y transductor la ecosonda GPS Garmin Striker 4CV es recomendable en cuerpos de agua con profundidades menores a 50 metros.
- ✓ Para el lago Mayor del Lago Titicaca, donde la profundidad se encuentra entre los 0 y 283 metros de profundidad, la metodología de muestreo de sondeos debe realizarse con una ecosonda y transductor de mayor precisión debido a los vientos y bandeamiento de la embarcación ocasionado por el oleaje.
- ✓ La metodología representa una alternativa para levantamientos batimétricos, los datos obtenidos son una herramienta para realizar estudios de planificación y ordenamiento de las actividades productivas y económicas que se desarrollan en la zona de estudio.
- ✓ Se recomienda el uso de esta metodología en cuerpos de agua donde las capacidades técnicas y económicas sean reducidas, y se requiere de datos confiables en tiempo reducido.



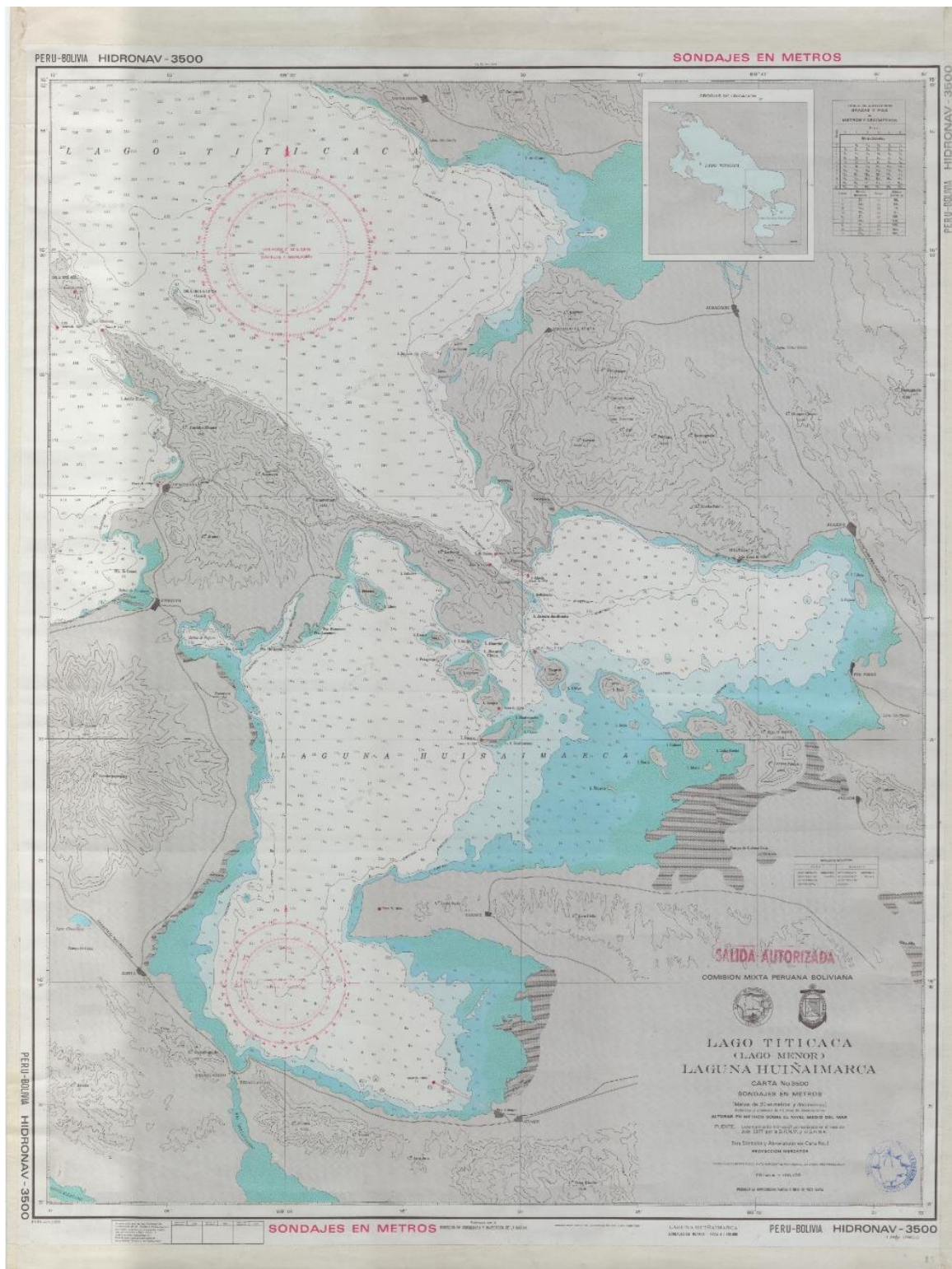
ANEXOS

Anexo 1



Mapa Batimétrico del lago Menor del Titicaca, Sector Huatajata – Suriqui

Anexo 2



Carta Náutica HIDRONAV 3500 de 1977

Anexo 3

Coordenadas de los Puntos de Sondajes Mapa Batimétrico

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
1	3808,8	532506	8207560	0
2	3808,8	532233	8207150	0,8
3	3808,8	531959	8206730	2,9
4	3808,8	531685	8206310	5,1
5	3808,8	531412	8205890	8,9
6	3808,8	531138	8205470	10,3
7	3808,8	530865	8205050	10,9
8	3808,8	530591	8204630	9,4
9	3808,8	530318	8204220	7,8
10	3808,8	530044	8203800	6,8
11	3808,8	529771	8203380	6,8
12	3808,8	529497	8202960	7,2
13	3808,8	529224	8202540	7,2
14	3808,8	528950	8202120	6,9
15	3808,8	528676	8201700	6,3
16	3808,8	528403	8201290	5,8
17	3808,8	528129	8200870	5,5
18	3808,8	527856	8200450	5,1
19	3808,8	527582	8200030	4,7
20	3808,8	527309	8199610	4,5
21	3808,8	527035	8199190	3,7
22	3808,8	526762	8198770	1,7
23	3808,8	527355	8198140	1,6
24	3808,8	527616	8198560	3
25	3808,8	527877	8198990	4,4
26	3808,8	528138	8199420	4,6
27	3808,8	528399	8199840	4,8
28	3808,8	528660	8200270	5
29	3808,8	528921	8200700	5,4
30	3808,8	529182	8201120	6
31	3808,8	529443	8201550	6,6
32	3808,8	529704	8201980	7,2
33	3808,8	529965	8202400	7,7
34	3808,8	530226	8202830	7,6
35	3808,8	530487	8203260	7,7
36	3808,8	530748	8203680	7,3
37	3808,8	531009	8204110	7,8
38	3808,8	531269	8204540	8,6
39	3808,8	531530	8204960	10,3
40	3808,8	531791	8205390	10,2
41	3808,8	532052	8205820	8,8
42	3808,8	532313	8206240	6,8
43	3808,8	532574	8206670	4,6
44	3808,8	532835	8207100	1
45	3808,8	533127	8207440	0,1

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
46	3808,8	533665	8206990	0,7
47	3808,8	533403	8206560	6,7
48	3808,8	533140	8206140	8,3
49	3808,8	532877	8205710	10,8
50	3808,8	532614	8205290	10,5
51	3808,8	532352	8204860	9,8
52	3808,8	532089	8204440	9,6
53	3808,8	531826	8204010	9,1
54	3808,8	531564	8203590	9,1
55	3808,8	531301	8203160	8
56	3808,8	531038	8202730	8,1
57	3808,8	530775	8202310	7,9
58	3808,8	530513	8201880	7,4
59	3808,8	530250	8201460	6,7
60	3808,8	529987	8201030	6
61	3808,8	529725	8200610	5,6
62	3808,8	529462	8200180	5,2
63	3808,8	529199	8199760	5,1
64	3808,8	528936	8199330	4,9
65	3808,8	528674	8198910	4,6
66	3808,8	528411	8198480	4,5
67	3808,8	528148	8198050	4,2
68	3808,8	527886	8197630	3
69	3808,8	527623	8197200	1,9
70	3808,8	527360	8196780	0,7
71	3808,8	527097	8196350	0,8
72	3808,8	526835	8195930	1,3
73	3808,8	526572	8195500	0,7
74	3808,8	526995	8194750	0,8
75	3808,8	527259	8195130	1,5
76	3808,8	527518	8195550	2,6
77	3808,8	527777	8195980	2,4
78	3808,8	528036	8196410	2,5
79	3808,8	528295	8196840	3,5
80	3808,8	528554	8197260	4,1
81	3808,8	528813	8197690	4,3
82	3808,8	529072	8198120	4,6
83	3808,8	529332	8198550	4,8
84	3808,8	529591	8198980	5,1
85	3808,8	529850	8199400	5,2
86	3808,8	530109	8199830	5,4
87	3808,8	530368	8200260	5,5
88	3808,8	530627	8200690	5,9
89	3808,8	530886	8201110	6,3
90	3808,8	531145	8201540	7,1

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
91	3808,8	531405	8201970	7,7
92	3808,8	531664	8202400	8,5
93	3808,8	531923	8202820	9
94	3808,8	532182	8203250	9,3
95	3808,8	532441	8203680	9,5
96	3808,8	532700	8204110	9,8
97	3808,8	532959	8204530	10,4
98	3808,8	533218	8204960	11,3
99	3808,8	533478	8205390	11,8
100	3808,8	533737	8205820	10,4
101	3808,8	533996	8206240	6,8
102	3808,8	534255	8206670	3,4
103	3808,8	535195	8206890	0,1
104	3808,8	534934	8206460	1,5
105	3808,8	534674	8206030	5,5
106	3808,8	534413	8205610	9,9
107	3808,8	534153	8205180	11,5
108	3808,8	533892	8204750	11,3
109	3808,8	533632	8204330	11
110	3808,8	533371	8203900	10,7
111	3808,8	533111	8203470	11
112	3808,8	532850	8203040	10,6
113	3808,8	532590	8202620	9,6
114	3808,8	532329	8202190	8,8
115	3808,8	532068	8201760	8
116	3808,8	531808	8201340	7
117	3808,8	531547	8200910	6,4
118	3808,8	531287	8200480	5,8
119	3808,8	531026	8200060	5,5
120	3808,8	530766	8199630	5,3
121	3808,8	530505	8199200	5,2
122	3808,8	530245	8198780	5,1
123	3808,8	529984	8198350	4,8
124	3808,8	529724	8197920	4,6
125	3808,8	529463	8197500	4,3
126	3808,8	529203	8197070	4,1
127	3808,8	528942	8196640	3,8
128	3808,8	528682	8196220	3,5
129	3808,8	528421	8195790	2,7
130	3808,8	528161	8195360	1,4
131	3808,8	527900	8194940	1,4
132	3808,8	527640	8194510	1,9
133	3808,8	527379	8194080	0,9
134	3808,8	527110	8193650	0,2
135	3808,8	526850	8193220	0,6
136	3808,8	526590	8192790	0,6
137	3808,8	526330	8192360	0,3
138	3808,8	526070	8191930	2
139	3808,8	525810	8191500	2,6

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
140	3808,8	529815	8196500	3,1
141	3808,8	530076	8196930	3,9
142	3808,8	530337	8197350	4,2
143	3808,8	530598	8197780	4,4
144	3808,8	530859	8198200	4,6
145	3808,8	531119	8198630	4,8
146	3808,8	531380	8199060	5
147	3808,8	531641	8199480	5,1
148	3808,8	531902	8199910	5,4
149	3808,8	532163	8200340	5,9
150	3808,8	532424	8200760	6,4
151	3808,8	532684	8201190	7,2
152	3808,8	532945	8201620	8,3
153	3808,8	533206	8202040	9
154	3808,8	533467	8202470	10,2
155	3808,8	533728	8202900	10,3
156	3808,8	533989	8203320	10,1
157	3808,8	534250	8203750	10,1
158	3808,8	534510	8204180	10
159	3808,8	534771	8204600	9,9
160	3808,8	535032	8205030	9,4
161	3808,8	535293	8205460	8
162	3808,8	535554	8205880	4,4
163	3808,8	535815	8206310	1,4
164	3808,8	536076	8206740	0,9
165	3808,8	536337	8207170	2,7
166	3808,8	536598	8207600	4,9
167	3808,8	536859	8208030	6,9
168	3808,8	537120	8208460	7,6
169	3808,8	537381	8208890	8,2
170	3808,8	537642	8209320	8,6
171	3808,8	537903	8209750	8,8
172	3808,8	538164	8210180	8,8
173	3808,8	538425	8210610	8,8
174	3808,8	538686	8211040	8,5
175	3808,8	538947	8211470	8,3
176	3808,8	539208	8211900	7,6
177	3808,8	539469	8212330	6,8
178	3808,8	539730	8212760	6,2
179	3808,8	540000	8213190	5,7
180	3808,8	540261	8213620	5,2
181	3808,8	540522	8214050	4,9
182	3808,8	540783	8214480	4,7
183	3808,8	541044	8214910	3,9
184	3808,8	541305	8215340	3,1
185	3808,8	541566	8215770	2,7
186	3808,8	541827	8216200	3,2
187	3808,8	542088	8216630	2,6
188	3808,8	542349	8217060	1,6

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
189	3808,8	531555	8196430	1,7
190	3808,8	531820	8196860	0,9
191	3808,8	532085	8197280	0,5
192	3808,8	532349	8197710	1
193	3808,8	532614	8198130	2,3
194	3808,8	532879	8198550	3,9
195	3808,8	533144	8198980	4,8
196	3808,8	533408	8199400	5,1
197	3808,8	533673	8199830	5,4
198	3808,8	533938	8200250	5,8
199	3808,8	534202	8200670	6,2
200	3808,8	534467	8201100	6,9
201	3808,8	534732	8201520	7,4
202	3808,8	534996	8201950	7,6
203	3808,8	535261	8202370	7,8
204	3808,8	535526	8202800	8,1
205	3808,8	535791	8203220	8,2
206	3808,8	536055	8203640	7,9
207	3808,8	536320	8204070	7,6
208	3808,8	536585	8204490	7
209	3808,8	536849	8204920	6,3
210	3808,8	537114	8205340	5,7
211	3808,8	537379	8205770	3,9
212	3808,8	537643	8206190	1,7
213	3808,8	539477	8207660	1,3
214	3808,8	539215	8207240	2,5
215	3808,8	538953	8206810	2
216	3808,8	538692	8206380	2
217	3808,8	538430	8205960	3,4
218	3808,8	538168	8205530	4,8
219	3808,8	537907	8205110	5,9
220	3808,8	537645	8204680	6,2
221	3808,8	537383	8204250	6,8
222	3808,8	537122	8203830	7,2
223	3808,8	536860	8203400	7,5
224	3808,8	536598	8202980	8,4
225	3808,8	536337	8202550	7,7
226	3808,8	536075	8202120	7,3
227	3808,8	535813	8201700	6,9
228	3808,8	535552	8201270	6,3
229	3808,8	535290	8200850	5,8
230	3808,8	535028	8200420	5,6
231	3808,8	534766	8199990	5,2
232	3808,8	534505	8199570	5
233	3808,8	534243	8199140	4,6
234	3808,8	533981	8198710	4,3
235	3808,8	533720	8198290	3,5
236	3808,8	533458	8197860	2
237	3808,8	533200	8197430	1,2

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
238	3808,8	534584	8198060	2,5
239	3808,8	534844	8198490	3,6
240	3808,8	535103	8198910	4
241	3808,8	535363	8199340	4,3
242	3808,8	535622	8199770	4,7
243	3808,8	535882	8200190	4,9
244	3808,8	536142	8200620	5,2
245	3808,8	536401	8201050	5,4
246	3808,8	536661	8201480	6
247	3808,8	536920	8201900	6,5
248	3808,8	537180	8202330	6,9
249	3808,8	537439	8202760	7
250	3808,8	537699	8203190	6,8
251	3808,8	537959	8203610	6,5
252	3808,8	538218	8204040	6
253	3808,8	538478	8204470	5,9
254	3808,8	538737	8204900	5,6
255	3808,8	538997	8205320	5,4
256	3808,8	539256	8205750	5,1
257	3808,8	539516	8206180	4,9
258	3808,8	539776	8206600	4,1
259	3808,8	540035	8207030	3,6
260	3808,8	540295	8207460	3,2
261	3808,8	540554	8207890	2
262	3808,8	540912	8208120	0,9
263	3808,8	541830	8208010	0,9
264	3808,8	541567	8207590	2,1
265	3808,8	541304	8207160	3
266	3808,8	541041	8206740	3
267	3808,8	540777	8206310	3,8
268	3808,8	540514	8205890	4,9
269	3808,8	540251	8205460	5,2
270	3808,8	539988	8205040	5,3
271	3808,8	539725	8204610	5,4
272	3808,8	539461	8204190	5,5
273	3808,8	539198	8203760	5,6
274	3808,8	538935	8203340	5,6
275	3808,8	538672	8202910	5,7
276	3808,8	538408	8202490	5,9
277	3808,8	538145	8202060	5,9
278	3808,8	537882	8201640	5,4
279	3808,8	537619	8201210	5,2
280	3808,8	537355	8200790	4,8
281	3808,8	537092	8200360	4,6
282	3808,8	536829	8199940	4,3
283	3808,8	536566	8199510	4,1
284	3808,8	536303	8199090	3,8
285	3808,8	536039	8198660	3,5
286	3808,8	535776	8198240	3

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
287	3808,8	535513	8197810	2,8
288	3808,8	536141	8197450	2,6
289	3808,8	536404	8197880	2,7
290	3808,8	536667	8198300	3,1
291	3808,8	536930	8198730	3,5
292	3808,8	537193	8199150	3,7
293	3808,8	537456	8199580	4
294	3808,8	537719	8200000	4,2
295	3808,8	537982	8200430	4,4
296	3808,8	538246	8200860	4,7
297	3808,8	538509	8201280	4,9
298	3808,8	538772	8201710	5,2
299	3808,8	539035	8202130	5,2
300	3808,8	539298	8202560	5,3
301	3808,8	539561	8202980	5,3
302	3808,8	539824	8203410	5,3
303	3808,8	540087	8203830	5,2
304	3808,8	540350	8204260	5,1
305	3808,8	540613	8204680	4,9
306	3808,8	540876	8205110	4,8
307	3808,8	541139	8205530	3,5
308	3808,8	541402	8205960	1,4
309	3808,8	541665	8206380	0,8
310	3808,8	541929	8206810	0,9
311	3808,8	542192	8207230	1,3
312	3808,8	542764	8206870	0,5
313	3808,8	542215	8205560	0,4
314	3808,8	541951	8205130	0,9
315	3808,8	541688	8204710	2,1
316	3808,8	541424	8204280	3,3
317	3808,8	541160	8203860	4,3
318	3808,8	540897	8203430	4,5
319	3808,8	540633	8203010	4,5
320	3808,8	540369	8202580	4,5
321	3808,8	540106	8202160	4,6
322	3808,8	539842	8201740	4,5
323	3808,8	539578	8201310	4,5
324	3808,8	539315	8200890	4,4
325	3808,8	539051	8200460	4,2
326	3808,8	538787	8200040	3,9
327	3808,8	538524	8199610	3,7
328	3808,8	538260	8199190	3,5
329	3808,8	537996	8198760	3,2
330	3808,8	537732	8198340	2,9
331	3808,8	537469	8197710	2,6
332	3808,8	537205	8197490	2,4
333	3808,8	536941	8197060	1,7
334	3808,8	537771	8196440	1,1
335	3808,8	538030	8196870	1,8

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
336	3808,8	538289	8197300	2,2
337	3808,8	538547	8197720	2,4
338	3808,8	538806	8198150	2,6
339	3808,8	539065	8198580	2,8
340	3808,8	539324	8199010	3,1
341	3808,8	539582	8199440	3,4
342	3808,8	539841	8199860	3,6
343	3808,8	540100	8200290	3,7
344	3808,8	540359	8200720	3,8
345	3808,8	540618	8201150	3,9
346	3808,8	540876	8201570	3,8
347	3808,8	541135	8202000	3,8
348	3808,8	541394	8202430	3,7
349	3808,8	541653	8202860	3,6
350	3808,8	541911	8203290	2,7
351	3808,8	542170	8203710	1,3
352	3808,8	542435	8203960	0,4
353	3808,8	543014	8203150	0,5
354	3808,8	542818	8202720	1,5
355	3808,8	542556	8202300	2,7
356	3808,8	542294	8201870	3
357	3808,8	542032	8201450	3,1
358	3808,8	541769	8201020	3,1
359	3808,8	541507	8200600	2,6
360	3808,8	541245	8200170	2,6
361	3808,8	540983	8199740	2,9
362	3808,8	540721	8199320	2,8
363	3808,8	540459	8198890	2,8
364	3808,8	540196	8198470	2,6
365	3808,8	539934	8198040	2,4
366	3808,8	539672	8197610	2,4
367	3808,8	539410	8197190	2,3
368	3808,8	539148	8196760	1,7
369	3808,8	538885	8196340	0,8
370	3808,8	539663	8195960	0
371	3808,8	539925	8196380	0,4
372	3808,8	540188	8196810	1,2
373	3808,8	540450	8197230	2,2
374	3808,8	540712	8197660	1,9
375	3808,8	540975	8198090	1,6
376	3808,8	541237	8198510	1,3
377	3808,8	541500	8198940	1
378	3808,8	541762	8199360	0,8
379	3808,8	542024	8199790	0,4
380	3808,8	542287	8200210	1,6
381	3808,8	542549	8200640	0,8
382	3808,8	542812	8201070	1,4
383	3808,8	543074	8201490	1,7
384	3808,8	543336	8201920	2,2

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
385	3808,8	543599	8202340	1,1
386	3808,8	543861	8202770	0,5
387	3808,8	544124	8203190	0,1
388	3808,8	544396	8203540	0
389	3808,8	544983	8202810	0
390	3808,8	544732	8202380	0
391	3808,8	544480	8201950	0,1
392	3808,8	544229	8201520	0,2
393	3808,8	541828	8197680	0,2
394	3808,8	541560	8197250	0,3
395	3808,8	541292	8196830	0,5
396	3808,8	541024	8196410	0,3
397	3808,8	540756	8195990	0
398	3808,8	540488	8195560	0
399	3808,8	531128	8207080	0,6
400	3808,8	530857	8206660	5,2
401	3808,8	530586	8206240	14,7
402	3808,8	530316	8205820	18,2
403	3808,8	530045	8205400	18,8
404	3808,8	529774	8204980	16,1
405	3808,8	529503	8204560	10,5
406	3808,8	529232	8204140	8,7
407	3808,8	528962	8203720	7,1
408	3808,8	528691	8203300	6,4
409	3808,8	528420	8202880	6,4
410	3808,8	528149	8202460	6,3
411	3808,8	527878	8202040	6,1
412	3808,8	527608	8201620	5,8
413	3808,8	527337	8201200	5,5
414	3808,8	527066	8200780	5,1
415	3808,8	526795	8200360	4,9
416	3808,8	526524	8199940	4,5
417	3808,8	526254	8199520	4
418	3808,8	525983	8199100	2,2
419	3808,8	525634	8198860	1,3
420	3808,8	524722	8199100	0,7
421	3808,8	524997	8199520	2
422	3808,8	525271	8199940	4,1
423	3808,8	525545	8200360	4,4
424	3808,8	525819	8200770	4,8
425	3808,8	526094	8201190	5
426	3808,8	526368	8201610	5,3
427	3808,8	526642	8202030	5,5
428	3808,8	526916	8202450	5,6
429	3808,8	527191	8202860	5,6
430	3808,8	527465	8203280	6,3
431	3808,8	527739	8203700	7,5
432	3808,8	528013	8204120	9,9
433	3808,8	528288	8204540	14

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
434	3808,8	528562	8204950	18
435	3808,8	528836	8205370	25,1
436	3808,8	529110	8205790	27,6
437	3808,8	529385	8206210	30,1
438	3808,8	529659	8206630	27
439	3808,8	529933	8207040	19,2
440	3808,8	530207	8207460	7,9
441	3808,8	529497	8208150	8,6
442	3808,8	529220	8207740	19,1
443	3808,8	528943	8207320	29,6
444	3808,8	528666	8206900	33,1
445	3808,8	528389	8206490	34,3
446	3808,8	528112	8206070	32,7
447	3808,8	527835	8205650	29,1
448	3808,8	527558	8205240	23,1
449	3808,8	527281	8204820	17,4
450	3808,8	527004	8204410	15
451	3808,8	526727	8203990	10,6
452	3808,8	526449	8203570	8,2
453	3808,8	526172	8203160	6,4
454	3808,8	525895	8202740	5,7
455	3808,8	525618	8202320	5,4
456	3808,8	525341	8201910	5,2
457	3808,8	525064	8201490	4,9
458	3808,8	524787	8201080	4,6
459	3808,8	524510	8200660	4,3
460	3808,8	524233	8200240	3,9
461	3808,8	523956	8199830	2,5
462	3808,8	523679	8199410	1,9
463	3808,8	523402	8199000	1,1
464	3808,8	523047	819920	2,7
465	3808,8	523318	8200340	3,6
466	3808,8	523590	8200760	4,2
467	3808,8	523862	8201180	4,7
468	3808,8	524133	8201600	4,9
469	3808,8	524405	8202020	5,3
470	3808,8	524677	8202440	5,8
471	3808,8	524948	8202860	6,4
472	3808,8	525220	8203280	8,2
473	3808,8	525492	8203700	9,4
474	3808,8	525764	8204120	13,7
475	3808,8	526035	8204540	17,6
476	3808,8	526307	8204960	22,4
477	3808,8	526579	8205380	28,3
478	3808,8	526850	8205800	30,1
479	3808,8	527122	8206210	34,3
480	3808,8	527394	8206630	35,7
481	3808,8	527665	8207050	33,7
482	3808,8	527937	8207470	25

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
483	3808,8	528209	8207890	17,7
484	3808,8	528480	8208310	4
485	3808,8	527460	8208180	7,7
486	3808,8	527194	8207760	21,9
487	3808,8	526927	8207340	33,5
488	3808,8	526660	8206920	36
489	3808,8	526393	8206490	35,5
490	3808,8	526126	8206070	33,6
491	3808,8	525860	8205650	31,3
492	3808,8	525593	8205220	27,3
493	3808,8	525326	8204800	21,8
494	3808,8	525059	8204380	18,4
495	3808,8	524792	8203960	14,1
496	3808,8	524525	8203530	10,6
497	3808,8	524259	8203110	7,9
498	3808,8	523992	8202690	6,7
499	3808,8	523725	8202260	6
500	3808,8	523458	8201840	5,4
501	3808,8	523191	8201420	4,8
502	3808,8	523058	8202370	6,7
503	3808,8	523312	8202790	8
504	3808,8	523575	8203220	10,5
505	3808,8	523837	8203640	14,2
506	3808,8	524100	8204070	16,9
507	3808,8	524363	8204500	20
508	3808,8	524625	8204920	24,8
509	3808,8	524888	8205350	28,3
510	3808,8	525151	8205770	32,2
511	3808,8	525413	8206200	33,9
512	3808,8	525676	8206620	35,6
513	3808,8	525939	8207050	36,8
514	3808,8	526201	8207470	36,5
515	3808,8	526464	8207900	29,6
516	3808,8	526727	8208320	17,5
517	3808,8	526238	8209070	8,2
518	3808,8	525957	8208890	13,7
519	3808,8	525705	8208460	30,5
520	3808,8	525454	8208020	37,8

Punto	Cota	Coordenadas UTM		Sondaje
		X	Y	
521	3808,8	525203	8207590	37,8
522	3808,8	524952	8207160	37
523	3808,8	524701	8206730	36,1
524	3808,8	524450	8206290	34,9
525	3808,8	524199	8205860	33,4
526	3808,8	523948	8205430	30,7
527	3808,8	523697	8205000	27,3
528	3808,8	523445	8204560	21,9
529	3808,8	523194	8204130	18,9
530	3808,8	523106	8205220	28,4
531	3808,8	523196	8205700	32
532	3808,8	523449	8206130	34,7
533	3808,8	523702	8206560	36
534	3808,8	523955	8207000	36,9
535	3808,8	524208	8207430	37,9
536	3808,8	524461	8207860	38,7
537	3808,8	524714	8208290	38,9
538	3808,8	524967	8208720	36,8
539	3808,8	525220	8209150	20,9
540	3808,8	525384	8209560	9,2
541	3808,8	524603	8209840	12,2
542	3808,8	524345	8209420	26,1
543	3808,8	524087	8208990	38,6
544	3808,8	523829	8208560	39,1
545	3808,8	523571	8208130	39
546	3808,8	523313	8207700	38,2
547	3808,8	523055	8207270	37,4
548	3808,8	522853	8207040	36,7
549	3808,8	522869	8208040	38,5
550	3808,8	522899	8208540	38,8
551	3808,8	523159	8208960	36,7
552	3808,8	523419	8209390	28
553	3808,8	523679	8209820	17,7
554	3808,8	523841	8210210	5,9
555	3808,8	523362	8210350	4,4
556	3808,8	522907	8210460	2,1
557	3808,8	522899	8209960	10,5

Anexo 4
Registro fotográfico



Levantamiento de sondajes en trabajo de campo



Embarcación científica, adecuada por el IIGEO

GLOSARIO

ALT:	Autoridad Binacional del Sistema Hídrico TDPS
DHN:	Dirección de Hidrografía Naval de la Marina de Guerra del Perú
SNHN:	Servicio Nacional de Hidrografía Naval de Bolivia
PDGB:	Plan director global Binacional de protección y prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del lago Titicaca, Rio Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S)
TDPS:	Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salar de Coipasa
DHNM:	Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina Perú (Año 1977)
SHNB:	Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Boliviana (Año 1977)
OHI:	Organización Hidrográfica internacional
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
IIGEO:	Instituto de Investigaciones Geográficas
UMSA:	universidad Mayor de San Andres
IRD:	Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo
NDWI:	Índice Diferencial de Agua Normalizado

BIBLIOGRAFIA

- ALT. (1993). *Batimetría y Topografía*. La Paz, Bolivia.
- ALT. (1993). *Plan Director Global Binacional, Resumen Ejecutivo*. La Paz, Bolivia.
- ALT. (2002). *Macrozonificación Ecológica Económica del Sistema TDPS*. La Paz, Bolivia.
- Burrough, P. A. (1994). *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Clarendon Press: Vista de fragmentos.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. Barcelona, España: Ariel S.A.
- Degioanni, A. (2002). Batimetría de lagunas mediante teledetección: ajustes de un modelo empírico en el sureste de Córdoba. *Revista de Teledetección*.
- Direccion de Hidrografía y Navegación. (2020). *Normas Técnica Hidrográficas N°27 - Hidronav 5156*. Lima: Marina de guerra del Perú.
- Farjas, M. (2006). *Métodos topográficos en Batimetría*. Madrid, España.
- Ferreira Garate, A. (2005). *Técnicas de Interpolacion Espacial utilizadas en la Evaluacion de Reservas Geologicas*. Valparaiso.
- FranPC. (s.f.). *ArcGeek*. Obtenido de <https://acolita.com/https://acolita.com/calcular-el-volumen-de-un-lago-embalse-laguna-arcgis/>
- GARMIN. (2020). *GARMIN*. Obtenido de <https://buy.garmin.com/es-ES/ES/p/592099/pn/010-01871-01>
- GIS&BEERS. (21 de Diciembre de 2019). Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/http://www.gisandbeers.com/lo-deberias-saber-imagenes-sentinel-2/>
- GIS&BEERS. (21 de Diciembre de 2019). *Todo lo que deberías saber sobre imágenes Sentinel 2*. Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/lo-deberias-saber-imagenes-sentinel-2/>
- GISGeography. (24 de Diciembre de 2020). *GISGeography*. Obtenido de <https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation/>

- Guamán Galarza, A. (s.f.). *Morfometría de un Lago*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/>:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6199/5/MORFOMETR%C3%8DA%20DE%20UN%20LAGO%20expo%20A%20Guaman.pdf>
- Kelmansky, D. M. (2008). *Análisis de datos*.
- Martínez, W. y. (2005). *Hacia un nuevo sistema vertical de referencia en Colombia*. Bogotá-Munich: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- *MÉTODOS TOPOGRÁFICOS*. (20 de Diciembre de 2016). Obtenido de <http://detopografia.blogspot.com/>
- Mitas, L. M. (1999). *Spatial Interpolation*. Wiley.
- NCGIA, N. C. (13 de Octubre de 2014). www.nosolosig.com. Obtenido de www.nosolosig.com/quesig.html
- Organización Hidrográfica Internacional. (2008). *Normas de la OHI para los Levantamientos Hidrográficos*. Monaco: Bureau Hidrográfico Internacional.
- Rusu, A. C. (2002). *Modelado de Superficies Asistido por Computadora, con aplicaciones en Geología*. Cluj-Napoca, Rumania: Resumen Tesis Doctoral.
- Sánchez, Y. (2015). *Análisis Exploratorio de Datos*. Tamaulipas: Universidad de Tamaulipas.
- Servicio de Hidrografía Naval. (2010). *Aviso a los Navegantes*. La Paz: Servicio de Hidrografía Naval.
- SHNB-DHNM. (1977). HIDRONAV 3500. *Mapa Batimétrico del Lago Titicaca*. Lima, Perú: DHNM.
- USGS. (2020). *Explorador de la Tierra*. Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov>
- Velásquez, S. (2004). *Apuntes clase del curso Sistema de Información Geográfica (SIG)*. Costa Rica: CATIE.