



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos (ERIS)

ESTUDIO BATIMÉTRICO DE LA LAGUNA DE AYARZA

Ing. Yorik Alexander Campos Morales

Asesorado por el M.Sc. Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, septiembre de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO BATIMÉTRICO DE LA LAGUNA DE AYARZA

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

ING. YORIK ALEXANDER CAMPOS MORALES

ASESORADO POR EL M.SC. ING. ZENÓN MUCH SANTOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) CIENCIAS DE INGENIERÍA
SANITARIA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO BATIMÉTRICO DE LA LAGUNA DE AYARZA

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 29 de julio de 2010.



ING. YORIK ALEXANDER CAMPOS MORALES

Correo electrónico: ycamposm@gmail.com

Carné No. 100015410

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hídricos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de Prefabricados, CII
Ciudad universitaria Zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C..A.

Tel. (502) 24188000,
Ext.86212 y 86213
(502) 24189138
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

www.ingenieria-usac.edu.gt



Desde 1964

ERiS

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos

Guatemala, 24 de mayo del 2024

M. Sc. Ing. Adán Pocasangre
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS" Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento de titulado:

"Estudio Batimetrico de la Laguna de Ayarza".

Elaborado por el Ingeniero Yorik Alexander Campos Morales como parte de su Estudio Especial, requisito previo para optar al grado académico de Maestro en Ciencias de Ingeniería Sanitaria.

Mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y, por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi **APROBACIÓN**.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".

M. Sc. Ing. Zenón Much Santos
Asesor del estudio



Guatemala, 2 de septiembre de 2024

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS):

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el informe final del Estudio Especial titulado:

ESTUDIO BATIMÉTRICO DE LA LAGUNA DE AYARZA

Presentado por el estudiante:

Ing. Yorik Alexander Campos Morales

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos - ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS



MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos, MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis y Msc. Ing. Zenon Much Santos, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Jéssica Melgarejo Monterroso, Colegiada No. 27003, al trabajo de el estudiante **Ing. Yorik Alexander Campos Morales**, titulado: ESTUDIO BATIMÉTRICO DE LA LAGUNA DE AYARZA.

En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, se procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los tres días del mes de septiembre de 2024.

IMPRIMASE

ID Y ENSEÑADA A TODOS



MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

The circular stamp contains the text: ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y RECURSOS HIDRAULICOS, FACULTAD DE INGENIERIA, U.S.A.C., DIRECCION.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Ese ser divino que guía mi vida, quien es imprescindible, ese ser que nunca me abandona y es la fortaleza para realizar todo en mi vida.

M.Sc. Ing. Zenón Much

Por el asesoramiento brindado para la realización de este trabajo de graduación, y por haber compartido su conocimiento sin egoísmo.

Mis amigos

Por su sincera amistad y apoyo brindado

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por abrirme sus puertas para obtener el conocimiento de este grado académico.

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Quienes me brindaron la vida y me enseñaron a perseverar en mis metas.

Mi esposa e hijos

Por ser mi fuente de apoyo y de amor en mi vida.

Mis amigos en general

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XI
JUSTIFICACIÓN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
ANTECEDENTES.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. DATOS ESENCIALES DE LA LAGUNA DE AYARZA	1
1.1. Ubicación geográfica	1
1.2. Acceso.....	2
1.3. Clima	3
1.4. Uso del suelo.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Batimetría	5
2.2. Métodos de medición batimétrica	6
2.2.1. Métodos de posicionamiento planimétrico	11
2.2.2. Métodos de posicionamiento altimétrico	14
2.2.3. Métodos de posicionamiento 3D.....	19
2.2.3.1. GPS (fase) y ecosonda digital	23

2.2.3.2.	GPS (código) y ecosonda.....	25
3.	METODOLOGÍA	27
4.	RESULTADOS.....	31
4.1.	Medidas de la laguna de Ayarza	31
4.2.	Ruta para definición de matriz de puntos para calcular profundidades	33
4.3.	Profundidades y esquema de secciones de la laguna de Ayarza	35
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
	CONCLUSIONES.....	43
	RECOMENDACIONES.....	45
	REFERENCIAS	47
	APÉNDICE	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. Mapa satelital de la laguna de Ayarza	2
Figura 2. Propuesta de alineación de mapeo por seguir para ubicación de puntos	9
Figura 3. Ejemplo gráfico del funcionamiento de un mareógrafo	10
Figura 4. Esquema de referencias de regletas con un punto fijo en tierra	11
Figura 5. Ejemplo de uso de equipo tipo ecosonda	14
Figura 6. Aspecto físico de una ecosonda	19
Figura 7. Ejemplo de ecosonda con impresión de perfiles de profundidades .	20
Figura 8. Mapa de ubicación de la laguna de Ayarza	28
Figura 9. Mapa satelital de la laguna de Ayarza	31
Figura 10. Trazo del lado horizontal de la laguna	32
Figura 11. Trazo del lado vertical de la laguna.....	33
Figura 12. Trazo de la ruta por seguir para ubicación de puntos por medir	34
Figura 13. Planta de la laguna con trazos de secciones y curvas de nivel	36
Figura 14. Planta de la laguna con trazos de secciones y profundidades.....	37
Figura 15. Sección del perfil longitudinal de la laguna	38
Figura 16. Sección del perfil transversal No. 1 de la laguna	39
Figura 17. Sección del perfil transversal No. 2 de la laguna	40
Figura 18. Sección de las profundidades de la laguna y su tabulación.....	42

TABLAS

Tabla 1. Nube de puntos tomados de referencia in situ	35
--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
PC	Computadora personal
°C	Grado Celsius
Km	Kilómetro
Km ²	Kilómetro cuadrado
m	Metro

GLOSARIO

Batimetría	Se refiere al levantamiento topográfico del Relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, ciénagas, humedales, lagos, embalses, entre otros, es decir, la cartografía de los fondos de los diferentes cuerpos de agua.
Ecosonda	Instrumento que permite medir profundidades en cuerpos de agua.
GPS	Sistema de posicionamiento global (por sus siglas en inglés).
Limnológico	Campo multidisciplinario en donde suelen converger ramas como la biología, ecología, matemáticas, ingenierías (civiles, ambientales, entre otros, acuicultores, químicos, físicos, arquitectos del paisaje, sociólogos, estadistas.
Planimétrico	Conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana (plano geometría), prescindiendo de su relieve y se representa en

una proyección horizontal.

RESUMEN

En este trabajo de investigación, tuvo como objetivo determinar la profundidad del cuerpo de agua de manera seccionada, con parte de un estudio limnológico, por medio del método utilizado que involucra equipo de GPS y Ecosonda.

Para obtener dichos datos se realizó un recorrido por todo el perímetro de la laguna, se colocó una serie de puntos con georreferencia por medio de un GPS portátil. Con esta nube de puntos se determinó el perímetro y el área de la laguna; posteriormente se hicieron recorridos transversales y longitudinales, también un recorrido con una grida trazada y serpenteando el cuerpo de agua y en cada punto se hicieron lecturas de la posición y profundidad, los cuales fueron tomados con el equipo de ecosonda.

Después de la recaudación de datos se aplicó en la investigación el procedimiento teórico correspondiente para el cálculo de cada punto tomado y se determinó la profundidad. Finalmente, después del procesamiento de datos se encontraron lecturas esperadas en profundidad y otras que superaron las esperadas, y otras que no alcanzo la capacidad del equipo para poder encontrar las profundidades. Sin embargo, se lograron trazar las secciones, dos transversales las cuales, la primera tiene una longitud de 1.97 km y la segunda tiene una longitud de 3.73 km; y una longitudinal con una distancia de 5.78 km de la laguna, con lo que se conoció que la profundidad en la parte más ancha de la sección transversal máxima que se logró leer es de 400 metros de igual manera

en la parte central la lectura alcanzada a leer son 400 metros. Es necesario comentar que los 400 metros es la lectura máxima del ecosonda con la que se contaba, sin embargo, la laguna muestra que tiene profundidades superiores de los 400 metros y lecturas mínimas de 3 metros.

Con lo anterior se puede concluir que por la forma de la laguna tiene profundidades mínimas de 3.00 metros y alcanzadas a leer de 400.00 metros, sin embargo, en las partes centrales la profundidad supera los 400.00 metros. La laguna consta por su forma de ocho, en uno de sus círculos tiene un ancho que mide 1.97 km y en el otro círculo su ancho es de 3.73 km y tiene un largo total de 5.78 km.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el artículo 90 de la Ley de Áreas Protegidas, Decreto 4-89, del Congreso de la República de Guatemala, la laguna de Ayarza es una de las treinta y siete áreas protegidas por el Estado de Guatemala, es decir, tiene por objetivo la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, entre otros.

Se considera importante su conservación, su uso controlado y vigilado, ya que además de ser un lugar encantador para la recreación, para compartir en familia, o dar un paseo en lancha, esta también preserva el ecosistema.

En Guatemala se desconocen los datos limnológicos de la laguna de Ayarza, la importancia de conocer estos datos radica en conocer su batimetría para poder entender cuál es su forma debajo del espejo de agua, específicamente sus secciones y medidas. Este estudio fue realizado con el objetivo de conocer los datos batimétricos de la laguna, así como para determinar si ¿Su profundidad rebasa los 200 metros?

JUSTIFICACIÓN

Debido a que se conocen algunos datos estimados de la laguna de Ayarza, únicamente existe la necesidad de realizar un levantamiento batimétrico para determinar con precisión el perímetro, área y profundidad de la laguna, esperando que esto también conlleve al buen manejo del recurso por parte de las comunidades aledañas.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio batimétrico de la laguna de Ayarza y determinar su profundidad por medio de secciones.

Específicos

1. Determinar el área de la laguna de Ayarza, midiendo el ancho y longitud, con equipo de posicionamiento global.
2. Calcular el perímetro de la laguna de Ayarza mediante el método de posicionamiento planimétrico y altimétrico, con equipo de posicionamiento global.
3. Medir la profundidad de la laguna de Ayarza con el método de posicionamiento planimétrico y altimétrico, y equipo de Ecosonda.
4. Proporcionar información a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), con el fin de que se cree una base de datos de la laguna.

HIPÓTESIS

El estudio batimétrico de la laguna de Ayarza demostrará que su profundidad es mayor a 200 metros.

ANTECEDENTES

Desde 1975, en Guatemala no existen nuevos estudios batimétricos realizados a cuerpos de agua, y en este año fue realizado uno al lago de Atitlán el cual se realizó el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Sin embargo, se realizó una actualización de ese estudio en el año 2014, en el cual se presentan pocas diferencias morfométricas y morfológicas (Revista Científica 2017).

Para Guatemala la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), es la entidad que ha dado a conocer y ha motivado en sus egresados, la conformación de grupos de trabajo multidisciplinarios para desarrollar programas de investigación conjunta, con el propósito de que se lleguen a conocer estados completos por medio de estudios limnológicos actuales a los cuerpos de agua, para que sean objetos de preservación de los recursos.

En el 2010 la ERIS abrió una línea de investigación específica para la laguna de Ayarza, que tiene como base la caracterización de la laguna incluyó estudios limnológicos (calidad fisicoquímica, estudios de sedimentación, estudios de plancton, batimetría, entre otros), con el fin de poder monitorear este recurso hídrico.

Como consecuencia de esto, se realizaron varios trabajos de investigación, entre ellos están la de Ortega (2010) titulada *Estimación de la carga contaminante y el volumen de sedimento en la laguna de Ayarza*. También se encuentra el trabajo de Argueta (2011) titulada *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael*

Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la Republica de Guatemala presentado por el Ingeniero. Por otra parte, se encuentra Rodas (2013) con su trabajo titulado *Evaluación del estado trófico del lago de Ayarza utilizando el modelo de simulación WASP*.

La presente investigación se realizó como complemento de los trabajos anteriormente mencionados, para ampliar y enriquecer los datos con los que se cuentan, acerca de esta área protegida por el Estado de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

La laguna de Ayarza es un lago de cráter ubicado entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores, en el departamento de Santa Rosa, Guatemala. Se cree que fue formada hace 2000 años, como resultado de una erupción catastrófica que destruyó un volcán gemelo, que cubrió toda la región con pumita. El lago se encuentra a una altitud de 1409 msnm, se calcula que tiene una extensión de 14 km² y se estima que tiene una profundidad máxima de 230m. La caldera está formada por dos cuencas unidas, casi circulares, de paredes fuertemente inclinadas y constituidas en gran parte por rocas volcánicas terciarias, principalmente por riolita porfirítica e intercalaciones de piroclásticos.

La importancia turística que tiene por su belleza tiene relevancia económica, biológica y científica por la diversidad de sus recursos. Es un refugio de fauna silvestre, en donde se realiza pesca artesanal, tiene cultivos regionales, y reservorios para agua potable y riego, es fundamental para el ciclo hidrológico de la región.

Por otra parte, los antecedentes de los trabajos batimétricos se remontan a los egipcios, ellos los realizaban con ayuda de piedras atadas a una cuerda. La longitud de la cuerda sumergida definía la profundidad. Los métodos han evolucionado con el paso del tiempo. Las últimas tecnologías apuntan hacia el empleo de equipos con observaciones a satélites (GPS) y determinación de la profundidad por técnicas sónicas digitales, todo ello computarizado y controlado en tiempo real por un potente software capaz de gestionar los datos de estos equipos. El desarrollo técnico informático hace que las tareas en un

levantamiento batimétrico se reduzcan, con lo que disminuyen tiempos de ejecución, aminoran gastos y mejoran las precisiones finales, tanto en planimetría, como en determinación de la profundidad.

En comparación con los levantamientos terrestres, los levantamientos batimétricos presentan diferencias contables. La diferencia principal consiste en que los levantamientos terrestres cuentan con la estabilidad de los instrumentos de observación y con la repetibilidad de las mediciones. En cambio, en los levantamientos batimétricos, el movimiento de la masa de agua provoca inestabilidad en los instrumentos durante la observación, aunado a que no es posible estacionar una y otra vez en un mismo punto. La masa de agua constituye una barrera tanto para la vista del observador como para las radiaciones electromagnéticas; técnicas que han proporcionado un aumento considerable de precisión en las medidas en la superficie terrestre.

Otro inconveniente en este tipo de trabajos es la necesidad de embarcaciones y equipos específicos de alto costo, en cuanto a las embarcaciones, es importante tomar en cuenta que debe ser espaciosa, es decir, lo suficientemente amplia para llevar el equipo y algunas personas, debe ser estable y con las velocidades adecuadas.

Por último, con el fin de conocer algunas de las características de la laguna, se llevó cabo un estudio batimétrico de la laguna, que sirvió para el cálculo de parámetros tales como la longitud y ancho máximos, ancho medio, perímetro o longitud de línea de costa, volumen retenido y la profundidad máxima y media.

1. DATOS ESENCIALES DE LA LAGUNA DE AYARZA

1.1. Ubicación geográfica

Ubicada a 108 kilómetros de la ciudad capital, la laguna de Ayarza se convierte en un destino práctico para escaparse de las tensiones rutinarias. Aquí el humo de los automóviles y el estridente sonido de camiones, son reemplazados por el vaivén del agua cristalina y un agradable aroma a pureza.

Se encuentra en el departamento de Santa Rosa, entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores, y tiene las siguientes coordenadas aproximadas de referencia; latitud 14° 25'00" y longitud 90° 07'30".

La depresión de la laguna tiene origen volcánico, ya que se compone de dos calderas, que probablemente en tiempos pasados fueron dos conos volcánicos que explotaron de manera catastrófica. Además de extenderse por 14 kilómetros cuadrados y contar con una silueta única en Guatemala; los alrededores de la laguna son un lugar perfecto para acampar.

Las áreas verdes que la rodean proveen un clima agradable y protección de vientos fuertes. En estos, también se puede dar una larga y agradable caminata, observar la fauna que allí habita, así como la vasta vegetación que cubre el lugar. La profundidad de la laguna intriga a lugareños y visitantes.

Figura 1.

Mapa satelital de la laguna de Ayarza



Nota. En la figura se presenta la ubicación satelital de la laguna de Ayarza. Obtenido de Farjas (s.f.) *Levantamientos Batimétricos.* ([https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/725/mod_label/intro/Teoria Batimetria Tema 13.pdf](https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/725/mod_label/intro/Teoria_Batimetria_Tema_13.pdf)) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

1.2. Acceso

Ubicada entre los municipios de San Rafael Las Flores y el municipio de Casillas, departamento de Santa Rosa, la laguna cuenta con 4 accesos:

- Ciudad capital, Barberena, Jutiapa, aldea Cienaguilla, Ayarza
- Ciudad capital, Barberena, Nueva Santa Rosa, Casillas, Tapalapa, Pinos Altos.
- Ciudad capital, Sanarate, San Rafael Las Flores, San Rafaelito, laguna de Ayarza.

- Ciudad capital, Fraijanes, Lo de Diéguez, aldea el Salitre, Amberes, Nueva Santa Rosa, Casillas, San Rafael Las Flores, San Rafaelito, laguna de Ayarza.

Para ingresar al citado lugar turístico, actualmente, se debe pagar peaje, cuyo monto fijan los administradores del lugar, y es acorde con el tamaño del vehículo en que se movilicen las personas que quieran entrar.

1.3. Clima

La laguna tiene un clima agradable que oscila entre los 17 °C y 23 °C y muestra una precipitación promedio arriba de los 1,400 milímetros anuales.

1.4. Uso del suelo

El suelo de sus áreas aledañas podría ser utilizado para vivienda, poco uso comercial, turístico a pequeña escala, y como uso principal la agricultura local para la subsistencia de las personas que habitan las comunidades aledañas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Batimetría

El término “batimetría” procede del griego, el diccionario de la Real Academia de la Lengua lo define como el arte de medir las profundidades. Para la rama de la topografía la batimetría se debe entender como el levantamiento del relieve de superficies subacuáticas, tanto los levantamientos del fondo de mar, como del fondo de cursos de agua, de embalses, entre otros. Los trabajos de batimetría también son denominados topografía hidrográfica, cartografía náutica, entre otros. Por otro lado, la labor del topógrafo consiste en realizar el levantamiento de los fondos, como si de un terreno seco se tratase.

El principal cometido en la realización de cartografía marina, en la obtención de cartas de navegación, es describir las características de la superficie subacuática para hacer posible la navegación por terrenos invisibles.

Las cartas de navegación han de incluir la forma y el contorno de las costas visibles desde el mar, la situación de los puntos notables de la costa y el relieve submarino destaca las zonas accidentadas y peligrosas para la navegación, e identificado las corrientes predominantes, la naturaleza geológica de los fondos, la declinación magnética y su variación anual, entre otros. De todo ello se ocupa la Hidrografía.

Al igual que en levantamientos convencionales, en las batimetrías la finalidad será la obtención de las coordenadas (X, Y, Z) de todos estos puntos. La parte más compleja y que caracteriza a los diversos métodos de

levantamientos batimétricos es la determinación de la profundidad. Esta tarea se denomina operación de sondeo o simplemente sondar. La profundidad de un punto se obtendrá al medir la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo.

Para obtener la verdadera cota del punto levantado se deben tener en cuenta una serie de correcciones entre las que se incluye la corrección por marea. Hay que las mareas son las variaciones periódicas en la altura del nivel del mar, debidas a las atracciones de los cuerpos celestes. El estudio de la marea ha de hacerse en las cercanías de la zona que se realiza el levantamiento, para poder reducir los sondeos al datum o cota de referencia.

Además del conocimiento de la marea, en cualquier carta náutica son imprescindibles los siguientes parámetros:

- Nivel medio del mar, al que referimos las cotas de los vértices
- Nivel de la bajamar escorada: altura de las meras mientras dura la operación de sonda, para reducir a la bajamar escorada.
- Unidad de altura y establecimiento del puerto, para que el navegante pueda calcular en cualquier momento los niveles y horas de pleamar y bajamar de un lugar dado.

2.2. Métodos de medición batimétrica

- Métodos de posicionamiento planimétrico
- Métodos de posicionamiento altimétrico
- Métodos de posicionamiento 3D

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de los levantamientos batimétricos es la determinación de las coordenadas x , y , z de los puntos del fondo. Hasta época reciente los trabajos necesarios para ello se dividían en dos partes, separa la metodología de obtención de los datos en planimetría de la altimetría. En cada punto observado se medía la situación horizontal y la profundidad por separado. En la actualidad la metodología GPS hace posible aunar ambas tareas.

Una batimetría realizada por métodos clásicos precisa en primer lugar que se realicen una serie de trabajos topográficos terrestres para poder representar la línea de costa (implantación de una red básica, trabajos de nivelación y la radiación). En una segunda fase se realiza el levantamiento del relieve submarino, que es el fin de todas estas operaciones.

Para las tareas de georreferenciación (enlace con un sistema de coordenadas existente), se aplican los métodos estudiados en los temas anteriores, se determina con precisión la posición de un específico número de bases sobre el terreno cercanas a la zona de trabajo. Estas bases pueden estar referidas directamente a los vértices geodésicos o bien a otras bases de orden superior, todo ello dependerá de la distancia existente entre la zona de trabajo, de los vértices geodésicos y de las necesidades del trabajo.

Mediante métodos altimétricos determinados las altitudes de los distintos vértices de la red altimétrica refiriéndolas a la superficie del nivel del mar.

Con apoyo en estas bases establecidas, y con sus coordenadas perfectamente definidas, se observan los puntos que representan la línea de costa y los accidentes del terreno. Se realiza el levantamiento de la línea de

costa, se procede a realizar el levantamiento batimétrico propiamente dicho. Este proceso se realiza en dos etapas:

- Determinar la posición de la embarcación. Esto dependerá de si existe visual posible con las bases terrestres previamente determinadas, terminan desde ellas por método topográficos la posición del barco. En caso contrario tendría que apoyarse en visuales astronómicas.
- Sondar, es decir, determinar la cota submarina correspondiente a cada punto y que se referirán a la bajamar escorada.

Por último, se finalizará con la representación gráfica sobre un plano los datos procesados y procedentes de las medidas efectuadas anteriormente expuestas. En el levantamiento batimétrico los puntos se organizan en perfiles. Los perfiles consisten en un conjunto de puntos alineados en una determinada dirección. Se sitúan paralelos unos a otros, algunos también se realizan en direcciones transversales a los principales para una mayor cobertura de la zona. En algunos casos posteriormente se replantean puntos singulares (X, Y conocida) para obtener la cota de estos.

Figura 2.

Propuesta de alineación de mapeo por seguir para ubicación de puntos



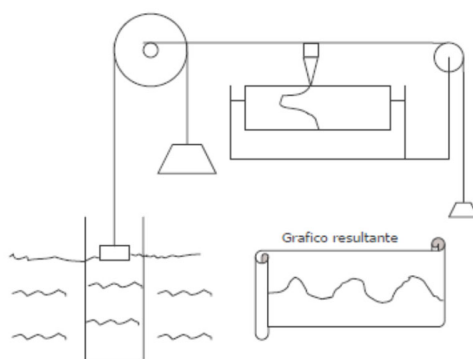
Nota. La figura representa una propuesta de alineación de mapeo. Obtenido de Farjas (s.f.) *Levantamientos Batimétricos.* (https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/725/mod_label/intro/Teoria_Batimetria_Tema_13.pdf) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

El número de puntos a tomar depende de la escala del levantamiento. La norma tal como sucede en los levantamientos terrestres, es contar con un punto por cm cuadrados de plano, para poder asegurar la precisión en el curvado. La distancia entre los perfiles será la que corresponde a este centímetro a la escala del levantamiento. Las medidas sucesivas en cada perfil, normalmente y por la misma razón, habrán de ser de un centímetro gráfico a la escala del levantamiento.

El desnivel se mide respecto a la superficie del agua, por lo que el primer trabajo a proyectar será el de controlar la variación de cota que presente la lámina del agua en el transcurso del tiempo. En embalses no suele ser significativa esta variación en el tiempo que dura el levantamiento, pero en el mar sí, lo que hace necesario el estudio de mareas. Mientras se lleva a cabo el sondeo es necesario observar continuamente la marea, con objeto de poder reducir cada sonda a la bajamar escorada. Para estos trabajos se puede recurrir a mareógrafos que recogen la variación de la marea en un registro gráfico.

Figura 3.

Ejemplo gráfico del funcionamiento de un mareógrafo

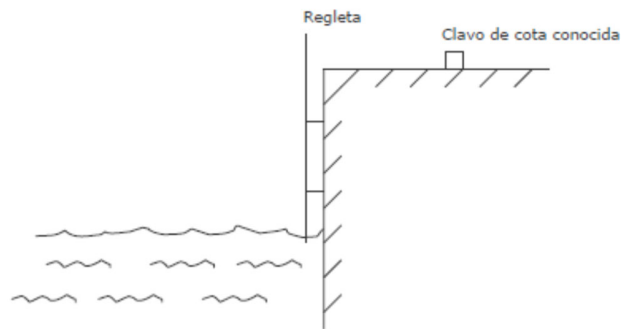


Nota. En la imagen se representa el funcionamiento de un mareógrafo. Obtenido de Farjas (s.f.) *Levantamientos Batimétricos.* (https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/725/mod_label/intro/Teoria_Batimetria_Tema_13.pdf) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

También puede realizarse el control de marea con una nivelación mediante regletas, cada cierto tiempo, al contrastar el nivel de la superficie de agua con respecto a un punto fijo en tierra, que habrá de estar lo más cercano posible a la zona por levantar (Figura 4).

Figura 4.

Esquema de referencias de regletas con un punto fijo en tierra



Nota. La figura representa el esquema de referencias. Obtenido de Farjas (s.f.) *Levantamientos Batimétricos.* (https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/725/mod_label/intro/Teoria_Batimetria_Tema_13.pdf) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

2.2.1. Métodos de posicionamiento planimétrico

El levantamiento topográfico de las costas realizado desde tierra se realiza como en cualquier trabajo topográfico, pero para determinar la posición planimétrica de un punto marino (materializado por la embarcación que efectúa el sondeo), cuya profundidad queremos medir, es necesario recurrir a procedimientos especiales.

El problema consiste en guiar el barco por el perfil que pretende levantarse (replantear el perfil), perfil que se ha diseñado en función de la densidad de puntos que requiere el levantamiento; y dentro del perfil se han de determinar las coordenadas (X, Y) de los puntos en los que se mide la profundidad.

Existen varios métodos de posicionamiento para obtener las coordenadas (X, Y) de los puntos submarinos, métodos que han ido evolucionado a medida que lo han hecho las tecnologías:

- Métodos directos

Es el más básico y se utiliza para poca precisión. Se fundamenta en la materialización de una alineación, por medio de una cuerda atada a cada extremo de la orilla, a distancias determinadas. El método consiste en colocar el buque en cada marca de la cuerda y determinar en estos puntos la profundidad. Está limitado por las dimensiones de trabajos y la precisión requerida.

- Métodos ópticos

Consiste en medir mediante sextante, el ángulo que forman en el punto dos referencias conocidas y así deducir la posición del buque por intersección inversa desde la embarcación. Este método obtiene precisiones de 3-5 m, es un sistema poco costoso.

- Radiación

Se realiza con una estación total situado en tierra en un punto de coordenadas conocidas, y que se ha orientado a otro punto de coordenadas también conocidas. La cabeza del perfil se replantea previamente. El barco recorre el perfil y se observan, topográficamente, los puntos de la embarcación desde los que a su vez se sondea la profundidad. La observación se realiza con la estación total desde ángulos horizontales, cenitales y distancia para poder calcular las coordenadas de dichos puntos posteriormente. El prisma va en la embarcación.

El mayor inconveniente es el movimiento del barco y el oleaje del agua. El prisma, que refleja la onda emitida por el distanciómetro, está en continuo movimiento y esto provocará una pérdida de señales

- Bisección

En tierra se estacionan dos teodolitos sobre dos puntos de coordenadas conocidas y se orientan los equipos visando a puntos también conocidos. Por intersección directa simple (bisección) se determina la posición del punto visado en la embarcación. El instante de toma de datos de los tres operadores (profundidad el operador en el barco, y los datos angulares de los dos operadores en tierra) han de ser simultáneos. Antiguamente (y para precisiones inferiores) se utilizaba para ello la brújula topográfica desde puntos terrestres, con observaciones angulares.

- Metodología GPS

Los equipos GPS han hecho posible la aplicación de las observaciones a satélites en la determinación de la posición de puntos en la superficie terrestre o en embarcaciones. Los escasos tiempos de observación que se requieren permiten alcanzar elevadas precisiones, evitando la excesiva influencia del movimiento de la embarcación. Se necesita situar una estación de referencia en tierra y llevar un receptor en la embarcación.

- Radiobalizas

Basado en el método de navegación Loran y Decca. Esencialmente consiste en la medición de distancias entre el buque y dos puntos de

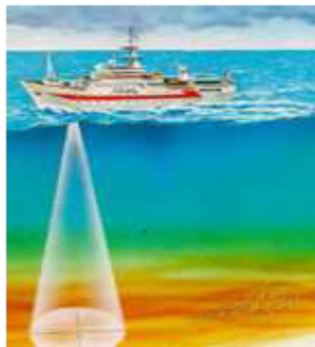
coordenadas conocidas, por medio de ondas electromagnéticas, al comparar diferencias de fase o de tiempos. Este método tiene un alcance de 1200 km con ondas UHF u 80 km con microondas.

2.2.2. Métodos de posicionamiento altimétrico

La determinación altimétrica consiste en determinar la cota de los puntos al medir la distancia vertical existente entre la superficie del agua y el punto en el fondo. Estas cotas habrán de referirse siempre, a las coordenadas (X, Y) del punto en el que se está situado en el momento de la obtención de la profundidad. A esta determinación altimétrica del relieve submarino se le denomina operación de sondeo o, simplemente, sondar. Ya se ha indicado anteriormente que el trabajo previo consistía en situar un origen altimétrico (punto de cota conocida) en tierra, respecto al cual se determina la cota de la superficie de agua.

Figura 5.

Ejemplo de uso de equipo tipo ecosonda



Nota. La imagen representa la forma en que se usa el equipo ecosonda. Obtenido de Farjas (s.f.) *Levantamientos Batimétricos.* (https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/725/mod_label/intro/Teoria_Batimetria_Tema_13.pdf) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

El sondeo es la parte definitiva de cualquier batimetría y aporta los elementos suficientes para garantizar la seguridad en la navegación al facilitar información de las profundidades submarinas. Un perfecto conocimiento del relieve submarino exige un alto número de puntos de profundidad conocida o puntos sondados sistemáticamente espaciados. Las zonas que queden sin sondar se han de considerarse linealmente crecientes entre dos puntos de profundidad determinada, el método de sondeo es generalmente un método discreto con todas las consecuencias que ello con lleva.

Cuando se trabaja por perfiles, se usan generalmente dos sistemas para llevar a cabo el sondeo:

- Por líneas rectas paralelas
- Por líneas radiales

Las líneas rectas paralelas suelen presentar direcciones normales a la costa. La utilización de perfiles paralelos tiene el inconveniente de ocultar información entre líneas. Para reducir la pérdida de información, se realiza una densificación de la malla mediante perfiles transversales. La distancia entre cada dos líneas paralelas varía, según la escala del levantamiento.

El sistema de líneas radiales se empleará en aquellos lugares donde el perfil de costa cambie bruscamente de dirección y alrededor de islas de pequeña dimensión. Las líneas de sonda radiales se proyectarán de tal forma que la zona por sondar por este sistema quede suficientemente cubierta.

Es de vital importancia evitar que la embarcación sufra desviaciones con respecto al rumbo de navegación diseñado, si esto sucede se rompe la uniformidad del levantamiento. El control del rumbo se consigue de diversas formas:

- Al mantener el rumbo fijo con brújula
- Al señalar los extremos de un perfil en tierra y mantenerlo lo más alineado posible.
- Al materializar la línea con un láser o con un teodolito desde tierra
- Mediante el sistema de radiobalizas, al mantener un arco de radio constante (a distancias grandes se pueda confundir la cuerda con el arco).

Como se ha indicado, a la medida de la profundidad se denomina sonda o sondeo. El instrumento que se utiliza se denomina “sonar”; *sound navigation and ranging*. Son aparatos que graban información de transmisiones bajo el agua. Consta de un emisor de ondas de sonido y de un receptor. Las ondas regresan tras rebotar en algún cuerpo material. Mediante el sonar, la medida de la profundidad es continua a lo largo de la línea que sigue la embarcación, se pueden obtener en un registro gráfico o en un medio magnético. Para correlacionar este registro con las determinaciones planimétricas, se efectúan marcas en él para indicar el momento en que se realizan las medidas horizontales. Antes de utilizarla no debe olvidarse el realizar el calibrado.

El problema que presenta este tipo de aparatos es la posibilidad de obtener un registro erróneo al interponerse algún material en el camino de la onda al falsearse el relieve del fondo. Desde el escandallo hasta las sondas de eco (ecosondas), los instrumentos de sondeo han ido evolucionando. Se pueden encontrar los siguientes equipos:

- Escandallo; las primeras sondas eran simples pesos de plomo de forma troncocónica (escandallo) atados a una cuerda (sondaleza), que se dejaba caer hasta tocar el fondo. Este tipo de sonda se utiliza hoy en día para trabajos muy expeditos y cercanos a la costa.

- Sondas mecánicas; formadas por una bobina de cuerda de acero y un dispositivo de registro de profundidades. Esta influenciada por las corrientes, lo que hace perder la verticalidad con lo que pueden estar afectados los resultados de un gran error de desplazamiento. Además de este error, existía otra dificultad y es que los puntos de sondeo se elegían a ciegas, por lo que el relieve quedaba enmascarado en muchos casos, puede pasar desapercibida una gran elevación o una fosa.
- Sondas eléctricas; en estos aparatos se aplica la electricidad al reemplazar ventajosamente a las sondas anteriores. Un cilindro vertical lleno de mercurio hasta cierta altura va sujeto a una cuerda que contiene tejido un doble conductor flexible y aislado; los dos extremos de los hilos son los reóforos de una pila que se halla en el buque y terminan en una caja cilíndrica; en el circuito, cerca de la pila, va un timbre; el cilindro se halla completamente cerrado. Mientras desciende el escandallo, el mercurio ocupa la parte baja del cilindro, no hay contacto y el circuito está abierto; pero en el momento en que el cilindro ha tocado fondo se inclina, y el mercurio cubre los reóforos, los une eléctricamente, y cierra el circuito lo que hace sonar el timbre. La sondaleza, arrollada a un tambor, le hace girar, y pone en movimiento a un contador que señala la profundidad.
- Sondas acústicas; permiten una mayor rapidez en el levantamiento, a la par que proporcionan una mejor representación del fondo submarino, al registrar de una forma continua la línea que se va levantando. En 1920 se empezó a emplear esta sonda de eco o ecosonda. El principio fundamental consiste simplemente en registrar el tiempo que transcurre desde que un impulso sonoro es emitido desde el buque y recogido nuevamente en el tras reflejar en el fondo del mar. Se basa en el principio de que todo sonido producido cerca de la superficie del agua se refleja en

el fondo y vuelve a la superficie como un eco. Como la velocidad del sonido en el agua es conocida, el problema se reduce a medir el tiempo empleado en el doble recorrido.

Existen los modelos portátiles, movidos por acumuladores y aptos para profundidades de 60 m, hasta grandes instalaciones permanentes, que pueden sondear hasta 10 – 12 km de profundidad. Las sondas acústicas constan en esencia de las siguientes partes:

- Un aparato registrado, que a la vez es el órgano de control de todo el instrumento.
- Un generados de alta tensión, que lleva a su vez un condensador cuya descarga actúa sobre el transmisor de la onda sonora.
- Transmisor
- Receptor, recibe la onda reflejada en el fondo del mar, que después de ser amplificada por medio del amplificador, se registra gráficamente en el aparato registrador.
- Amplificador
- Aparato registrador

El aparato registrador es quizá la parte más importante de la sonda acústica.

- Sondas ultrasónicas; son sondadores que utilizan como fuente sonora las oscilaciones de frecuencia audible. Presentaban el inconveniente, desde el punto de vista militar, de que la onda sonora esférica que generan se propaga en todas las direcciones posibles y puede ser captada por algún buque en inmersión. Estas sondas requieren, para sondear en grandes profundidades, mayor energía para producir ondas de gran potencia cuyo eco llegue al hidrófono con intensidad suficiente para su recepción. Puede

ocurrir que en fondos muy escarpados la onda se refleje sobre cualquier superficie más próxima a la quilla que al fondo del mar. Estas dificultades han desaparecido con el empleo de ondas ultra sonoras de frecuencia inaudible superior a 20000 periodos por segundo y longitudes inferiores a 7 cm, en la suposición de que la velocidad de propagación es de 1450m/s.

Figura 6.

Aspecto físico de una ecosonda



Nota. La imagen representa el aspecto físico de una ecosonda. Obtenido de Farjas (s.f.) *Levantamientos Batimétricos*. (https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/725/mod_label/intro/Teoria_Batimetria_Tema_13.pdf) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

La principal característica de las ondas ultra sonoras está en su propagación a través del agua, haciéndolo solamente en forma de un haz bastante cerrado cuyo eje es normal a las armaduras del condensador.

2.2.3. Métodos de posicionamiento 3D

Como se ha indicado el problema en los levantamientos batimétricos es correlacionar la posición planimétrica y la determinación de la profundidad para no introducir errores en la determinación de la posición del punto situado por debajo de la superficie del agua, y que va a ser el que se represente en la cartografía final.

El problema del movimiento en la superficie se consigue disminuir al aumentar la rapidez en la determinación de las coordenadas del punto radiado. Ambas cuestiones afectaban considerablemente a la precisión de la cartografía batimétrica.

Existe gran variedad de métodos para realizar levantamientos batimétricos, pero sin lugar a duda, el más extendido y utilizado actualmente, es el método combinado de GPS + ecosonda digital.

Figura 7.

Ejemplo de ecosonda con impresión de perfiles de profundidades



Nota. Se presenta un modelo de ecosonda. Obtenido de Farjas (s.f.) *Levantamientos Batimétricos.* (https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/725/mod_label/intro/Teoria_Batimetria_Tema_13.pdf) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

El equipo de sondeo está proyectado para producir el sonido, recibir y amplificar el eco, medir el tiempo transcurrido desde la emisión y la recepción del sonido, convertir este intervalo de tiempo en unidades de profundidad y registrar estas medidas de profundidad en una banda de papel arrollada sobre un tambor giratorio. El sonido es producido por un transductor, que automáticamente convierte un impulso eléctrico en una onda sonora. En instalaciones permanentes

de sondeo por eco, este dispositivo va montado en el casco del barco de sondeo; en los modelos portátiles el transductor va montado por lo menos 50 cm por debajo del nivel del agua, preferiblemente a ras con la quilla. En función de la profundidad existen diversos transductores. Para los sondeos en aguas profundas se hace uso de señales de baja frecuencia, ya que las señales de alta frecuencia están sujetas a una mayor absorción y necesitan una potencia inicial más elevada cuando se emplean en aguas muy profundas.

El transductor también recoge el eco reflejado por el fondo y lo convierte en una señal eléctrica, que es amplificada y registrada en unidades de profundidad sobre una banda graduada. Las ondas sonoras son emitidas por el transductor a intervalos de tiempo muy cortos; así por ejemplo un modelo portátil de sonda de esta clase, cuya máxima profundidad de alcance no llega a los 75 m, hace los sondeos a la velocidad de 600 por minutos.

Debido a la pequeñez de intervalos entre uno y otro sondeo, el registro de estos sobre la banda en movimientos es una línea continua que representa el perfil del fondo por debajo del bote en movimiento.

Las sondas de eco tienen una precisión instrumental que varía desde unas centésimas por ciento de la profundidad en las grandes instalaciones permanentes, hasta un medio por ciento de la profundidad en las máquinas portátiles.

La precisión en la medida puede ser definida en función de la resolución del equipo acústico. Esta está determinada por:

- Duración de pulso o longitud: un pulso tiene una duración finita, determinada por la frecuencia, la velocidad de propagación y la duración del pulso. La resolución es la mitad de la duración del pulso.
- Ángulo de incidencia de la onda en el objetivo: si el rayo, no incide normal a la superficie a representar, la longitud del pulso efectivo será mayor y disminuirá la precisión.
- Resolución del medio de grabación: se debe disponer de un medio de recogida de datos capaz de recoger ondas reflejadas con una resolución acorde con el pulso. Normalmente se graba sobre papel tratado químicamente, o bien sobre papel carbón, también se pueden registrar los datos en medio magnético.
- Naturaleza del objetivo: las superficies en las que rebotan las ondas pueden ser de distinta naturaleza.
- Ancho de emisión: la energía devuelta por un objeto depende de su tamaño, de la densidad de sus elementos y de la inclinación del proyector. Se recogerán mejor las ondas que al rebotar en los lados del objeto se reflejen en la dirección del buque.

Muchas de las sondas portátiles cuentan con mecanismos y software capaz de corregir los sondeos teniendo en cuenta los valores de base para obtener la profundidad real del sondeo.

La ecosonda es muy utilizada en los grandes pesqueros para localizar bancos de pesca y en los buques oceanográficos para realizar batimetrías. La metodología GPS ha permitido aumentar la precisión planimétrica. El registro de tiempos que en ella se efectúa permite sincronizar los datos de los archivos GPS con los datos de los archivos de la ecosonda, mediante el campo común “tiempos”, se tiene especial cuidado en la sincronización de relojes de ambos tipos de registros.

El método de observación GPS, que más precisión puede aportar, es el método diferencial en tiempo real en las que se anulan las principales fuentes de error y dispone de la posición precisa en el instante de medición. Esto exige el trabajar con dos receptores GPS de forma simultánea. Para trabajar en tiempo real se utiliza un radio de enlace entre la estación de referencia y el equipo móvil que va instalado en la embarcación.

Un sistema que realice levantamientos batimétricos según este método ha de realizar fundamentalmente dos tareas:

- Navegación, el sistema debe ser capaz de indicar la ruta por seguir para no crear zonas de solapes indeseados, o bien, de guiar la embarcación por unos perfiles predeterminados.
- Sincronización de los datos recibidos por el instrumento de medidas de profundidades (ecosonda) con el instrumento que indica planimétricamente dónde se ha producido esta medida de profundidad (GPS).

La precisión que se puede obtener en la posición estará condicionada por el tipo de observables que se utilicen, código o fase. Esta precisión va a ser la que determine la metodología de trabajo.

2.2.3.1. GPS (fase) y ecosonda digital

Este método ofrece precisiones del orden de $2 - 3 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$. La sincronización de datos obtenidos en el mismo instante por el GPS y la ecosonda es mucho más eficaz, con grados por debajo del segundo. Los errores producidos por el efecto de las mareas y variación de altura debido al oleaje quedan total y

automáticamente eliminados. Además, no precisa de instrumentación clásica para completar el trabajo en tierra.

Todas estas características hacen que este método sea el más eficaz y de mayor rendimiento en las operaciones de levantamientos batimétricos. Se han llegado a comparar modelos digitales del terreno obtenidos según esta metodología con modelos fotogramétricos y en ningún caso las diferencias excedían de los 5 cm. Básicamente el sistema se compone de los siguientes elementos:

- Como estación de referencia se dispone de un GPS de doble frecuencia, unidad de control conectada a un radio – modem, que envía correcciones de código y fase con observables de fase en tiempo real.
- El sistema de a bordo de la embarcación está compuesto por un receptor GPS de doble frecuencia, unidad de control en la que corre el software para el tratamiento de observables de fase en tiempo real, radio – modem recibe las correcciones procedentes del equipo de referencia, ecosonda digital y PC portátil.

En cuanto a las conexiones, se puede observar que existen dos variantes, con relación al sistema estándar de batimetría con GPS:

- En primer lugar, considerar el hecho de utilizar como opción más aconsejable receptores de doble frecuencia, puesto que, al trabajar con medidas de fase, es necesaria la inicialización para la resolución de ambigüedades, y tan solo los equipos de doble frecuencia son capaces de inicializar en movimiento.
- En segundo lugar, se consigue un grado de sincronización mucho más alto debido a que los registros tomados, tanto la posición de la antena GPS (x,

y, z), como la profundidad medida por la ecosonda, incorporan una señal de tiempo por el receptor GPS, que permite realizar una correlación entre ambas medidas.

2.2.3.2. GPS (código) y ecosonda

Es el método utilizado desde algunos años por muchos profesionales para realizar levantamientos batimétricos y que muchos fabricantes de accesorios para la navegación han incorporado en su gama de productos como equipos estándar y soluciones totalmente terminadas, pero que solamente se pueden emplear para levantamientos expeditos con precisión del entorno del metro. Este sistema proporciona un rendimiento inigualable comparado con cualquiera de los métodos anteriores, ya que se pueden levantar puntos (x, y, z) con cadencia de segundo. Por otra parte, tampoco es necesario un operario en tierra que vaya guiando la embarcación, puesto que se dispone de la información necesaria para situarlo con suficiente precisión sobre el perfil teórico.

Pero en este método se pueden tener los siguientes errores e inconvenientes:

- Error en la posición de carácter submétrico debido a la precisión que proporcionan las observables GPS de solo código.
- Errores debido a la sincronización entre el instante de toma de posición y profundidad.
- Problemas de mareas y oleaje de manera integrada en el mismo sistema.

Básicamente el equipo consta de:

- Equipo GPS de referencia con radio – modem incorporado, emite correcciones de código.
- Computadora portátil para el manejo de datos

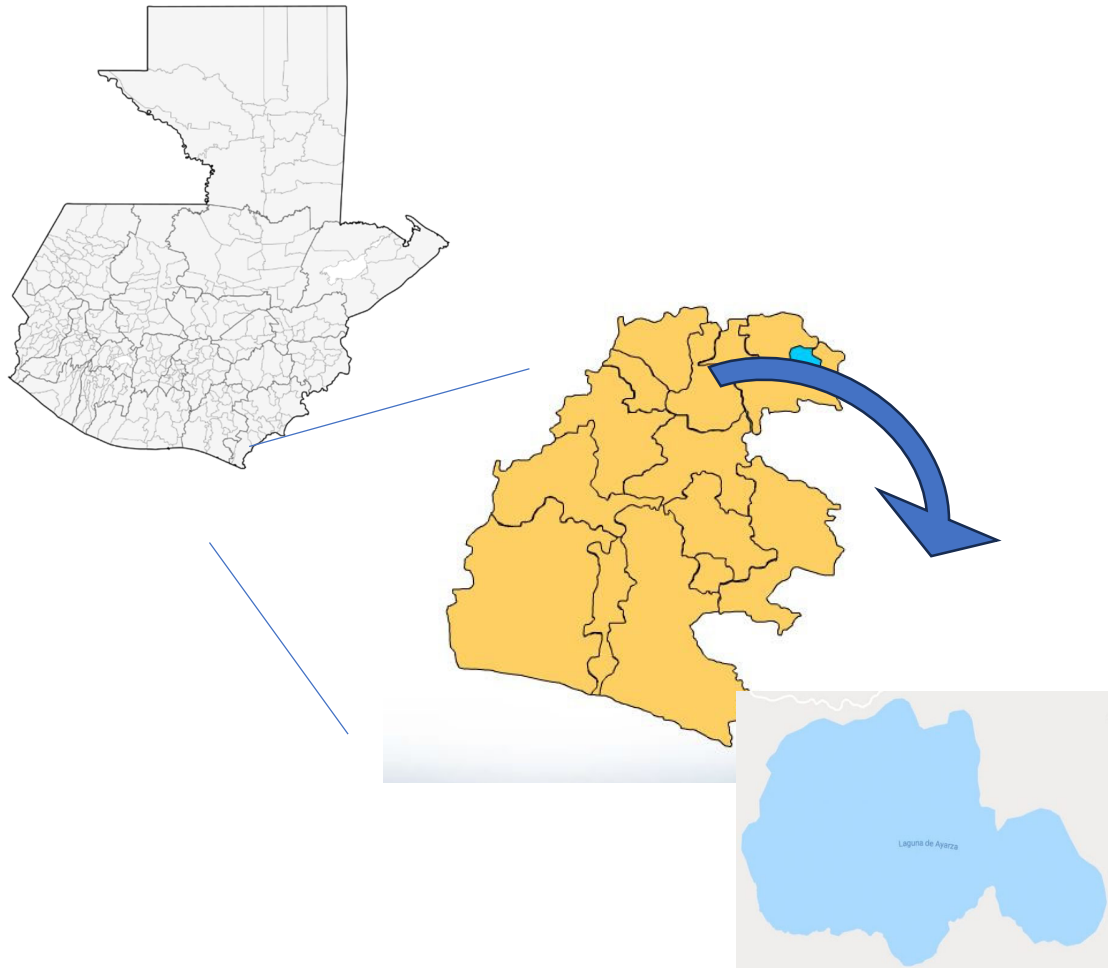
- Ecosonda y transductor con medida continuamente enviada a la computadora.

3. METODOLOGÍA

Para realizar el presente estudio, se hizo una visita al lugar, para conocer sus accesos, las poblaciones aledañas, el tipo de actividad que los habitantes del área realizan, así como la ubicación de los pueblos que dividen la laguna, principalmente conocer el que hacer de los lugareños, que viven y trabajan directamente en la laguna, como pescadores y lancheros que brindan tours de forma turística.

Figura 8.

Mapa de ubicación de la laguna de Ayarza



Nota. Se presenta el mapa de ubicación de la laguna de Ayarza. Obtenido de Google Earth (2024) Laguna de Ayarza. [Mapa] (<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

Tiempo después de la primera visita, al llegar se notó que había ya algunos cambios para poder acceder al área de la laguna, ya que como al ser área protegida existe ahora una talanquera con personas autorizadas del área para poder ingresar. Con el fin de poder contribuir con el entorno de las personas del área se contrató a un lugareño con su lancha y se hizo un recorrido por todo

el perímetro de la laguna, se utilizó el GPS Garmin, para tomar una serie de puntos para luego extraerlos y plotearlos por medio del software AutoCAD. De esta manera se pudo esquematizar la superficie de la laguna y determinar el área de esta, datos que se encontrarán en el capítulo de resultados.

Dichos resultados también sirvieron para trazar la ruta, ya con el trazo se realizó una tercera visita y en esta ocasión se utilizó el equipo Garmin Fishfinder 400C, equipo con el cual se hicieron las localizaciones de la ruta y se midieron las profundidades, obteniendo las lecturas máximas que el equipo podía medir. Se repasaron algunos puntos en los que se pensó que no había una lectura adecuada, y se pudo percibir que no estaban mal, sino que eran más profundos de la capacidad de lectura del equipo. Ya con los datos recolectados posteriormente fueron digitalizados y con la base de datos se pudo esquematizar la sección de la laguna desde la superficie del agua hasta el lecho que se pudo tener lectura.

Cabe mencionar que el recorrido fue controlado ya que hubo partes de la laguna a las que no fue permitido poder llegar especialmente en la parte central de los anillos de la laguna, esto por el temor de los lugareños a que las lanchas se queden a mitad de camino y por los vientos estas puedan dar vuelta y provocar algún accidente si las personas no son buenas nadadoras se corre el riesgo de ahogarse, pero con los datos recopilados se pudo trabajar lo que se requería para poder mostrar los resultados esperados.

Finalmente, después de las visitas y la recolección de datos se llevó a cabo la tabulación completa de los datos, se digitalizó la información y se procesó con ayuda del programa de Autodesk Civil y AutoCAD y con ello se pudo lograr obtener las secciones del largo y ancho de la laguna, así como la sección indicando las curvas de nivel de las profundidades de la laguna.

Lamentablemente la capacidad del equipo alcanzó a leer un máximo de 400.00 metros de profundidad y la laguna tiene partes que son más profundas que la capacidad de la ecosonda. Sin embargo, con la información se lograron resultados, tanto numéricos, como gráficos y de esta forma presentar un mapa con sus curvas de nivel submarinas.

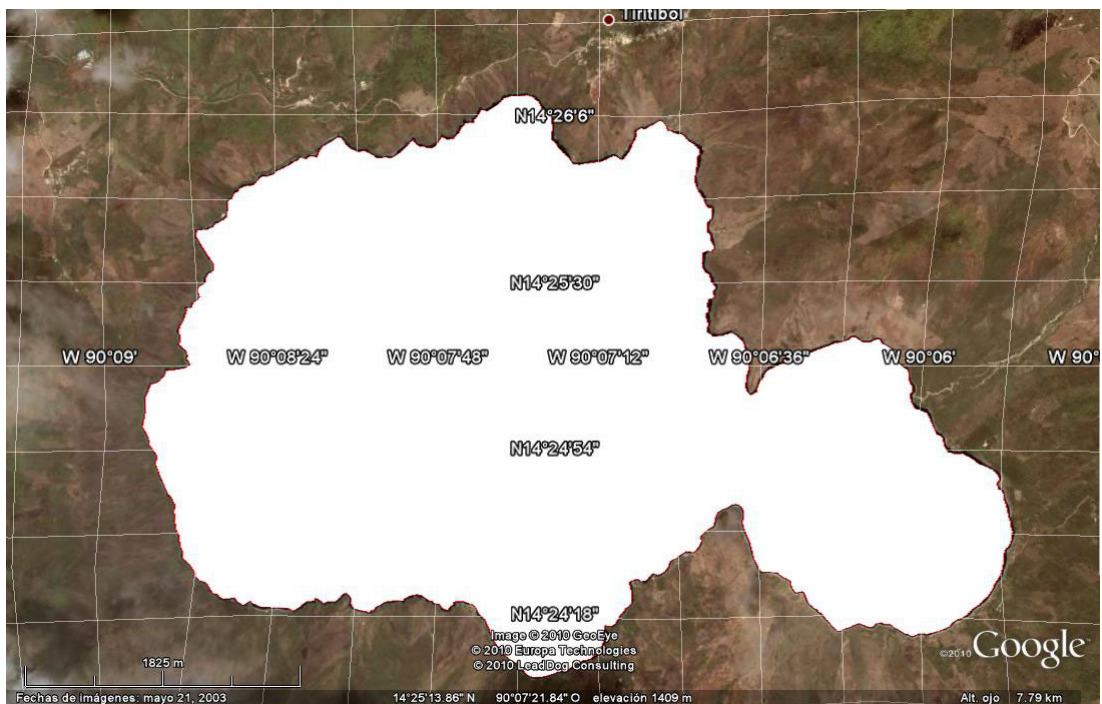
4. RESULTADOS

4.1. Medidas de la laguna de Ayarza

A continuación, se presentan las medidas de la laguna de Ayarza:

Figura 9.

Mapa satelital de la laguna de Ayarza



Nota. Se presenta la imagen satelital de la laguna de Ayarza. Obtenido de Google Earth (2024) Laguna de Ayarza. [Mapa] (<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

- Perímetro del cuerpo de agua: 20.00 km
- Área del cuerpo de agua: 13.80 km²

- Coordenadas generales de la laguna:
 - Latitud $14^{\circ}25'7.57''$ N
 - Longitud $90^{\circ}7'16.65''$ O

Figura 10.

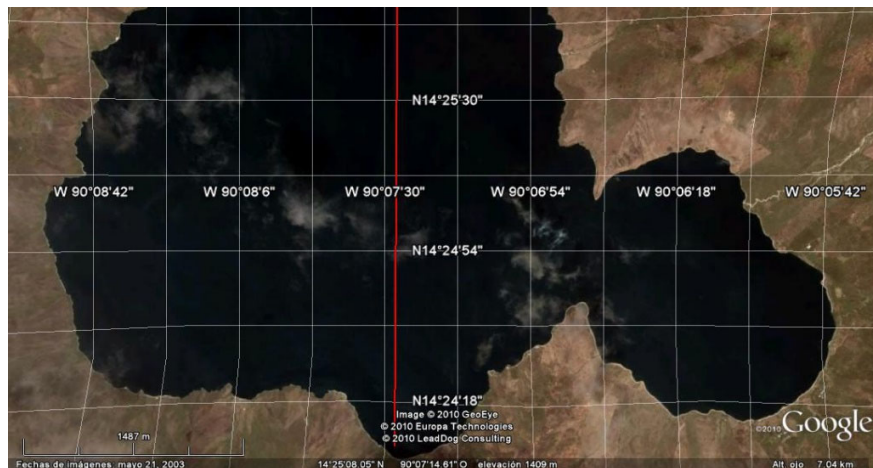
Trazo del lado horizontal de la laguna



Nota. Lado más grande horizontal: 5.78 Km. Obtenido de Google Earth (2024) Laguna de Ayarza. [Mapa] (<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

Figura 11.

Trazo del lado vertical de la laguna



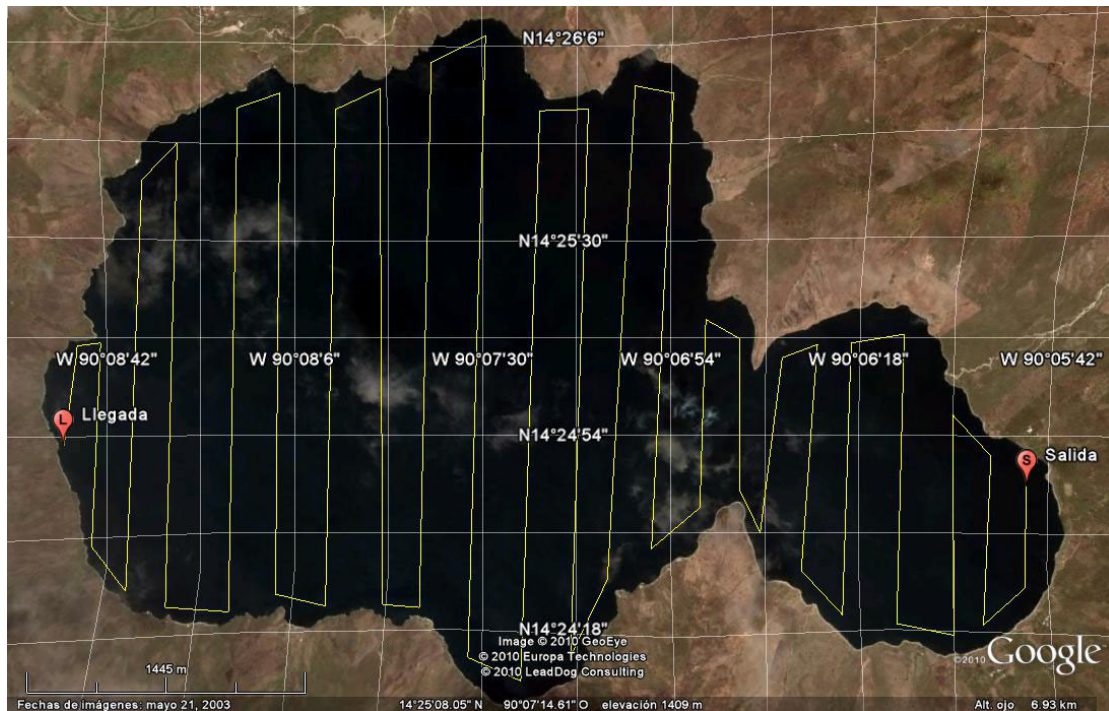
Nota. Lado más grande vertical: 3.73 Km. Obtenido de Google Earth (2024) Laguna de Ayarza. [Mapa] (<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

4.2. Ruta para definición de matriz de puntos para calcular profundidades

A continuación, en la siguiente figura se presenta la ruta para definir la matriz de puntos.

Figura 12.

Trazo de la ruta por seguir para ubicación de puntos por medir



Nota. Se presenta la ruta por seguir para ubicar los puntos para medir. Obtenido de Google Earth (2024) Laguna de Ayarza. [Mapa] (<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>) consultado el 15 de abril de 2024. De dominio público.

- Coordenadas de salida:
 - Latitud 14°24'44.61" N
 - Longitud 90° 5'45.81" O
- Coordenadas de llegada:
 - Latitud 14°24'52.13" N
 - Longitud 90° 8'50.30" O

4.3. Profundidades y esquema de secciones de la laguna de Ayarza

En la siguiente tabla se presenta el esquema de secciones de la laguna.

Tabla 1.

Nube de puntos tomados de referencia in situ

Punto	COORDENADAS		Profundidad
	North	West	
	Grados (°)	Grados (°)	(m)
1	14.40561	90.09640	10.20
2	14.40548	90.09757	33.70
3	14.40533	90.09864	27.40
4	14.40555	90.09975	62.60
5	14.40591	90.10096	49.30
6	14.40618	90.10220	73.50
7	14.40669	90.10343	68.80
8	14.40726	90.10456	67.40
9	14.40793	90.10577	41.10
10	14.40868	90.10694	43.80
11	14.40964	90.10782	45.00
12	14.41048	90.10875	80.40
13	14.41127	90.10934	87.70
14	14.41203	90.11006	64.60
15	14.41257	90.11105	61.10
16	14.41252	90.11208	79.40
17	14.41199	90.11345	85.10
18	14.41142	90.11462	92.30
19	14.41085	90.11565	159.80
20	14.41026	90.11645	125.30
21	14.40965	90.11723	125.30
22	14.40895	90.11799	125.30
23	14.40817	90.11869	87.30
24	14.40734	90.11929	84.20
25	14.40661	90.11996	124.60
26	14.40557	90.12050	135.00
27	14.40471	90.12099	135.00
28	14.40456	90.12207	145.80
29	14.40475	90.12315	26.00
30	14.40514	90.12404	129.60
31	14.40521	90.12414	129.60
32	14.40594	90.12527	219.60
33	14.40643	90.12613	167.60
34	14.40688	90.12697	169.70
35	14.40728	90.12798	169.70
36	14.40742	90.12900	150.30
37	14.40755	90.13176	21.90
38	14.40730	90.13328	95.40
39	14.40730	90.13435	97.40
40	14.40738	90.13531	147.00
41	14.40738	90.13634	123.00
42	14.40743	90.13802	112.00
43	14.40756	90.13899	112.00
44	14.40775	90.13998	100.50
45	14.40805	90.14098	155.00

Punto	COORDENADAS		Profundidad
	North	West	
	Grados (°)	Grados (°)	(m)
46	14.40861	90.14179	155.00
47	14.40951	90.14240	193.20
48	14.41030	90.14285	192.00
49	14.41110	90.14331	192.00
50	14.41198	90.14338	218.00
51	14.41287	90.14417	267.00
52	14.41376	90.14458	226.00
53	14.41484	90.14486	257.00
54	14.41575	90.14502	251.00
55	14.41670	90.14494	45.20
56	14.41767	90.14475	69.40
57	14.41856	90.14452	52.80
58	14.41948	90.14437	164.00
59	14.42045	90.14417	120.00
60	14.42181	90.14366	247.00
61	14.42274	90.14342	254.00
62	14.42380	90.14317	282.00
63	14.42469	90.14297	305.00
64	14.42568	90.14265	236.00
65	14.42676	90.14227	162.00
66	14.42756	90.14191	242.00
67	14.42831	90.14129	254.00
68	14.42911	90.14066	256.00
69	14.42982	90.14003	201.00
70	14.43043	90.13928	164.00
71	14.43096	90.13853	145.00
72	14.43141	90.13778	136.00
73	14.43186	90.13697	152.00
74	14.43195	90.13609	90.70
75	14.43190	90.13490	93.80
76	14.43180	90.13393	104.00
77	14.43177	90.13229	93.80
78	14.43178	90.13190	88.70
79	14.43174	90.13100	106.00
80	14.43208	90.13029	88.70
81	14.43252	90.12937	84.60
82	14.43269	90.12839	183.00
83	14.43273	90.12742	183.00
84	14.43254	90.12621	96.40
85	14.43235	90.12523	96.90
86	14.43205	90.12424	92.70
87	14.43179	90.12336	55.30
88	14.43153	90.12247	45.00
89	14.43143	90.12154	32.00
90	14.43127	90.12061	62.70

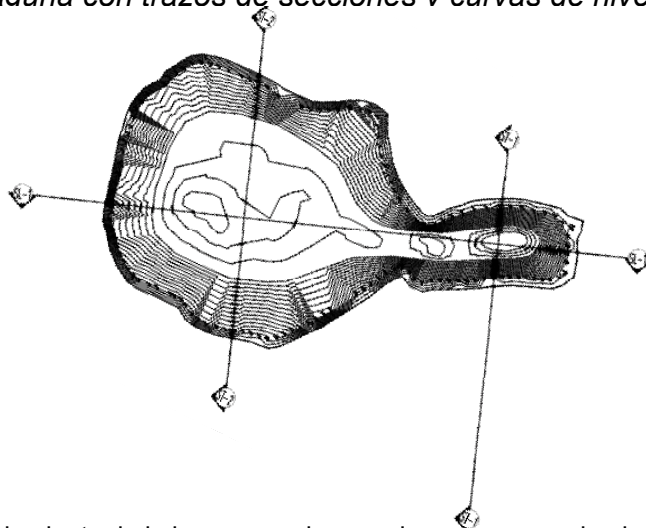
Punto	COORDENADAS		Profundidad
	North	West	
	Grados (°)	Grados (°)	(m)
91	14.43074	90.11983	69.30
92	14.42998	90.11921	95.30
93	14.42924	90.11863	133.30
94	14.42850	90.11803	203.00
95	14.42770	90.11743	96.50
96	14.42694	90.11686	218.00
97	14.42612	90.11634	230.00
98	14.42539	90.11582	236.00
99	14.42262	90.11417	62.00
100	14.42181	90.11363	58.40
101	14.42097	90.11321	95.60
102	14.42002	90.11280	147.00
103	14.41917	90.11237	149.00
104	14.41836	90.11172	149.00
105	14.41780	90.11107	94.40
106	14.41797	90.11009	21.30
107	14.41839	90.10925	94.70
108	14.41833	90.10828	74.60
109	14.41770	90.10744	84.90
110	14.41725	90.10657	90.60
111	14.41684	90.10571	100.00
112	14.41639	90.10485	47.80
113	14.41601	90.10399	81.50
114	14.41546	90.10325	95.90
115	14.41488	90.10241	20.60
116	14.41438	90.10159	24.50
117	14.41390	90.10078	61.90
118	14.41347	90.10001	50.70
119	14.41305	90.09912	55.60
120	14.41275	90.09836	59.80
121	14.41242	90.09749	60.00
122	14.41212	90.09664	44.80
123	14.41177	90.09585	44.80
124	14.41113	90.09522	28.30
125	14.41031	90.09486	28.30
126	14.40927	90.09515	3.00
127	14.40842	90.09551	6.30
128	14.40764	90.09592	60.80
129	14.40673	90.09638	21.70
130	14.40577	90.09634	20.60

Nota. Ruta por seguir. Elaboración propia, realizado con Word.

- Algunos de los puntos tomados con su referencia de profundidad para poder esquematizar las secciones de la laguna.
- Cabe resaltar que el punto 16 coincide con la toma de muestra de agua del punto 6 de la tesis *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la Republica de Guatemala* presentado por el Ingeniero Dennis Salvador Argueta Mayorga, mayo de 2011.
- También los puntos 34 y 35 coinciden con la toma de muestra de agua del punto 3 de la tesis *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la Republica de Guatemala* presentado por el Ingeniero Dennis Salvador Argueta Mayorga, mayo de 2011.

Figura 13.

Planta de la laguna con trazos de secciones y curvas de nivel

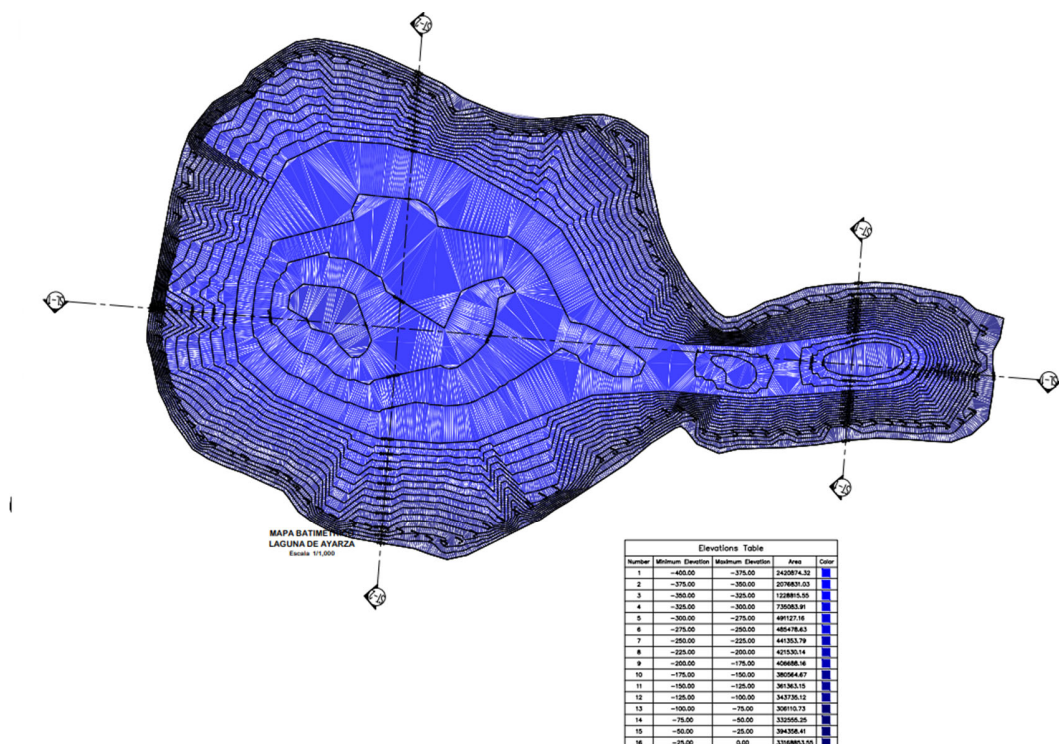


Nota. Se presenta la planta de la laguna con las secciones y curvas de nivel. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

- Planta con curvas de nivel submarinas de las profundidades alcanzadas a leer por la ecosonda.

Figura 14.

Planta de la laguna con trazos de secciones y profundidades

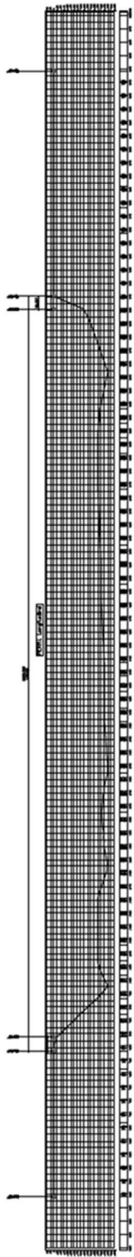


Nota. Trazos de secciones y profundidades de la laguna de Ayarza. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

- Planta con curvas de nivel submarinas de las profundidades alcanzadas a leer por la ecosonda.

Figura 15.

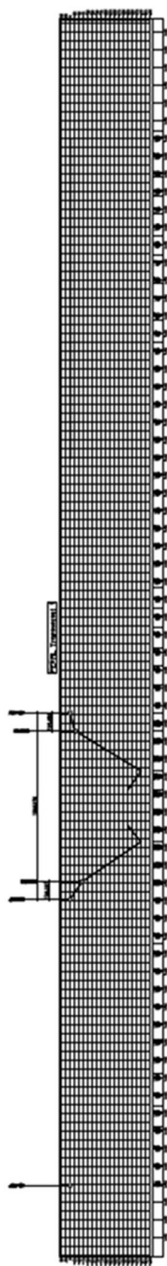
Sección del perfil longitudinal de la laguna



Nota. Perfil longitudinal de la Laguna, donde se puede denotar la profundidad máxima alcanzada.
Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 16.

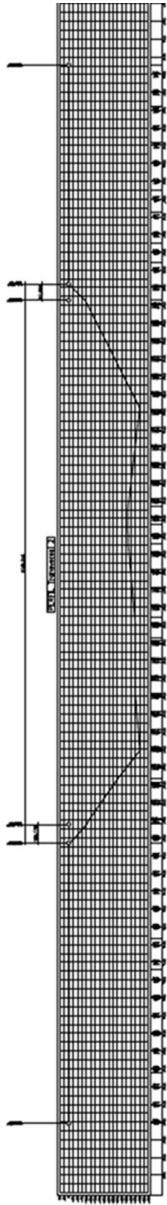
Sección del perfil transversal No. 1 de la laguna



Nota. Perfil transversal de la parte pequeña del ocho de la Laguna, con una profundidad máxima alcanzada a leer de 235.00 metros. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 17.

Sección del perfil transversal No. 2 de la laguna



Nota. Perfil transversal de la parte grande del ocho de la Laguna, con una profundidad máxima alcanzada a leer de 305.00 metros. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

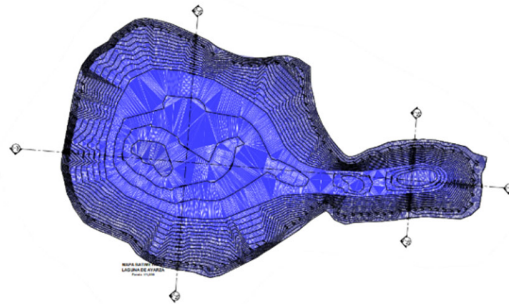
De lo demostrado en el punto anterior, se debe explicar que al cotejar el valor medido en cada punto colocado en la laguna y al momento de realizar el cálculo mediante el software de apoyo donde se grabaron los datos trabajados, se forma una serie de curvas de nivel, las cuales ayudan a demostrar gráficamente las secciones trazadas en la laguna, determinando de esta forma que existen puntos ciegos, dado que el instrumento utilizado (ecosonda) perdió su límite y no alcanzó a leer dichas profundidades por exceder su capacidad.

Sin embargo, los datos procesados se pudieron convertir en una gráfica entendible que permite tener un aspecto visual de la forma que tiene la laguna por debajo de su espejo de agua, lo que demuestra valores de profundidad que oscilan entre los 250.00 metros a más de 300.00 metros; al realizar algunas interacciones se encontraron valores pico, por lo que no se alcanzó a tener un dato real, ya que el equipo tiene un alcance máximo de 400.00 metros.

Figura 18.

Sección de las profundidades de la laguna y su tabulación

Number	Minimum Elevation	Maximum Elevation	Area	Color
1	-400.00	-375.00	2420874.32	
2	-375.00	-350.00	2076831.03	
3	-350.00	-325.00	1228815.55	
4	-325.00	-300.00	735083.91	
5	-300.00	-275.00	491127.16	
6	-275.00	-250.00	485478.63	
7	-250.00	-225.00	441353.79	
8	-225.00	-200.00	421530.14	
9	-200.00	-175.00	406688.16	
10	-175.00	-150.00	380564.67	
11	-150.00	-125.00	361363.15	
12	-125.00	-100.00	343735.12	
13	-100.00	-75.00	306110.73	
14	-75.00	-50.00	332555.25	
15	-50.00	-25.00	394358.41	
16	-25.00	0.00	33168803.55	



Nota. Se presenta la sección de las profundidades, así como la tabulación. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

CONCLUSIONES

1. Según el estudio limnológico realizado la profundidad de la laguna de Ayarza supera los 400 metros, siendo mucho más profunda que los 200 metros calculados inicialmente, siendo sus profundidades mínimas entre el rango de 25 metros en adelante, según la capacidad de lectura de la ecosonda que se utilizó para llevar a cabo la tarea de medición.
2. La profundidad de la laguna de Ayarza es mucho mayor de los 400 metros es decir que con este aparato no se puede determinar su profundidad máxima.
3. El perímetro de la laguna de Ayarza es de 20 km, con un ancho máximo de 3.73 km y longitud máxima de 5.78 km
4. Con el software de soporte y el procesamiento de los datos obtenidos y con los puntos referenciados se determinó que el área de la Laguna consta de 13.80 km²
5. La laguna tiene pocas partes con playa, debido a que alrededor sus pendientes en el 60 % de sus orillas son muy pronunciadas, con maleza y vegetación y poco accesibles.

RECOMENDACIONES

1. Debido a la escasa información respecto a estudios de batimetría realizados a esta Laguna, se puede considerar éste como el primer estudio realizado con equipo de medición, que muestra resultados palpables y considerables, que reflejan que la profundidad de la laguna sobrepasa los 400.00 m.
2. Se estima necesario indicar, que dado a que existen picos que no fueron medibles por las limitaciones del equipo, se recomienda que, al llevar a cabo otras mediciones, se haga con equipo más moderno y con mayor capacidad de leer en grandes profundidades.

REFERENCIAS

Ley de Áreas Protegidas, Decreto 4-89, (7 de febrero de 1989) Congreso de la República de Guatemala. Diario de Centroamérica. No. 45 tomo CCXXVIII. Guatemala.

Martínez Martínez, M. L. (2015) *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la Republica de Guatemala*. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0461_MT.pdf

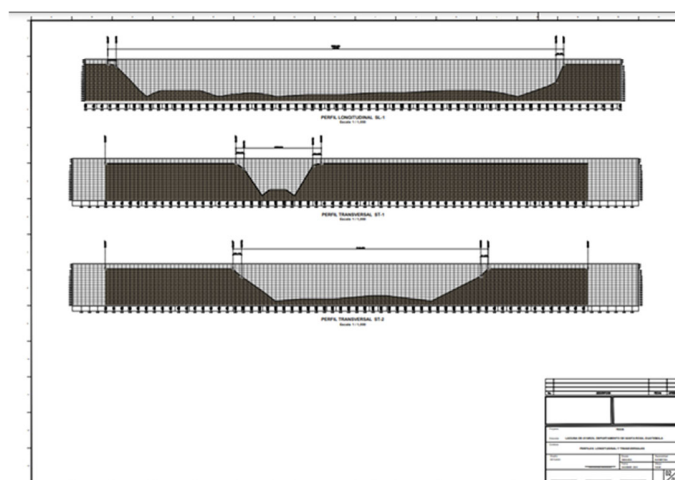
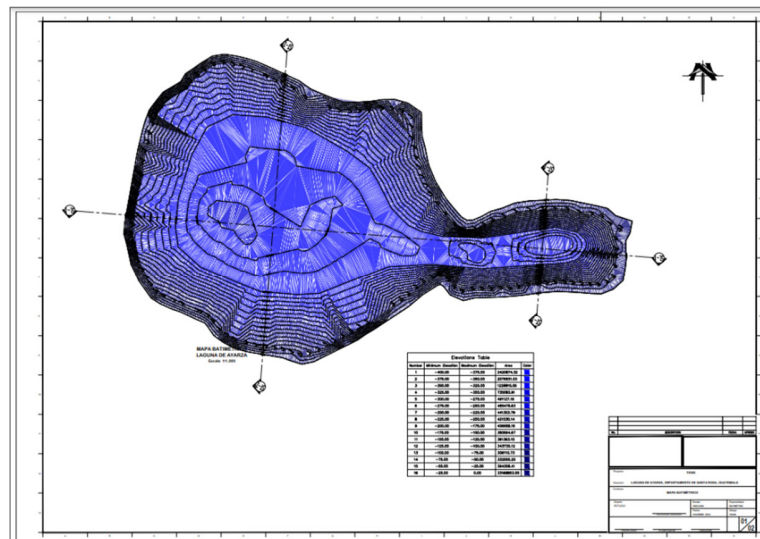
Ortega Flores, I. M. (2011) Estimación de la carga contaminante en la laguna de Ayarza. *Revista Científica* 1 (1) 1-6
<file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Estimacion%20de%20la%20carga%20contaminante%20en%20la%20laguna%20de%20Ayarza%20-%20Irene%20Maria%20Ortega%20Flores.pdf>

Rodas Morán, A. E. (2014) Evaluación del estado trófico del lago de Ayarza utilizando el modelo de simulación WASP 7.41. *Revista Científica*. 9 (1) 1-5 (<https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1465/934>)

APÉNDICE

Apéndice 1.

Planos de la escala de profundidad de la laguna y secciones de longitudinales



Nota. Se representa la escala de profundidad. Elaboración propia realizado con AutoCAD.

