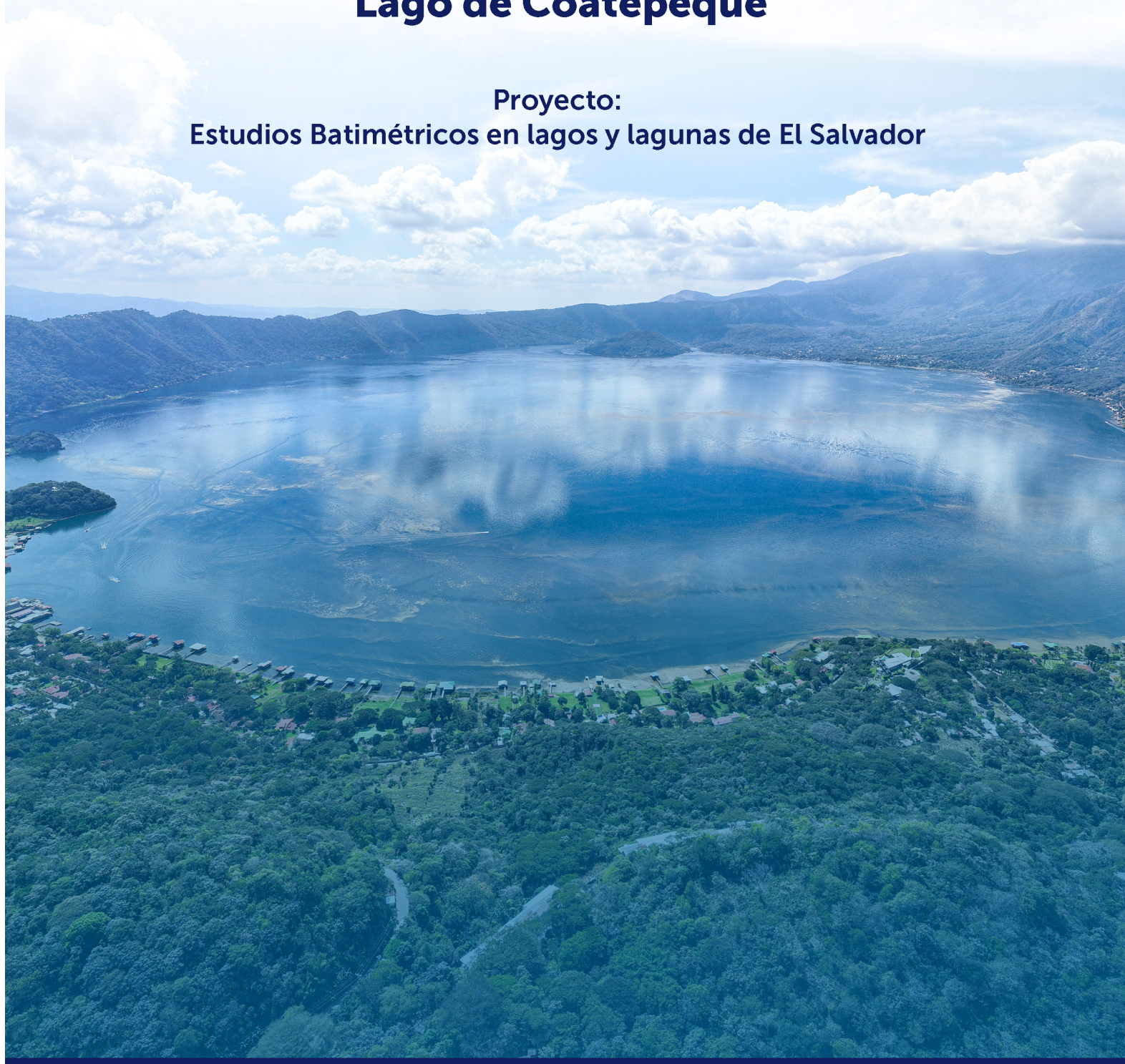




MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE

Producto 2: Levantamiento Batimétrico del Lago de Coatepeque

**Proyecto:
Estudios Batimétricos en lagos y lagunas de El Salvador**



Índice general

Resumen ejecutivo	1
Antecedente	2
Objetivo y Resultados.....	2
1. Identificación de área o sitio de medición hidrográfica	3
1.1. Ubicación general	3
1.2. Descripción morfológica.....	3
2. Referencias geodésicas oficiales.	4
2.1. Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional	4
2.2. Amarre altimétrico.....	5
3. Metodología de levantamiento batimétrico.....	7
3.1. Descripción de los trabajos.....	7
3.1.1. Actividades previas al levantamiento batimétrico.....	7
3.1.2. Rutina y Trabajo de campo diario.....	7
3.2. Mapa de transectos levantados	8
3.3. Representación del Levantamiento batimétrico.....	9
3.4. Levantamiento perimetral con GPS GNSS (Rover), zonas sin cobertura con ecosonda Multihaz.....	9
3.5. Sistema geodésico utilizado.	11
3.6. Posicionamiento, corrección de error y control vertical.	12
3.6.1. Control de Posicionamiento horizontal.	12
3.6.1.1. Base GPS GNSS	12
3.6.1.2. Envío de señal de corrección en tiempo real.	13
3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS.....	13
3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica	15
3.6.2. Control vertical de adquisición de datos.....	15
4. Registro fotográfico del levantamiento batimétrico.....	16
5. Resultados.....	18
5.1. Acople de MDT con Levantamiento LIDAR	18
5.2. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	19
5.3. Isobatas.	21
5.4. Medición topográfica y determinación del nivel de espejo de agua.....	22
5.5. Datos hidrométricos resultantes.	22
5.6. Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG).....	23
5.7. Representación gráfica en ArcGIS del espejo de agua.	24
ANEXOS.....	25

<i>ANEXO 1. Ficha de mojón geodésico y banco de marca a gran precisión</i>	<i>26</i>
<i>ANEXO 2. Ubicación de sensor hidrométrico, puntos de amarre para control geodésico y vertical</i>	<i>27</i>
<i>ANEXO 3. Mapa con ubicación de transectos resultante de levantamiento batimétrico.....</i>	<i>28</i>
<i>ANEXO 4. Levantamiento multihaz del Lago de Coatepeque.....</i>	<i>29</i>
<i>ANEXO 5. Mapa batimétrico general del Lago de Coatepeque</i>	<i>30</i>
<i>ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría del Lago de Coatepeque</i>	<i>31</i>
<i>ANEXO 7. Memoria de cálculo.....</i>	<i>32</i>

Índice de imágenes

Imagen 1. Ubicación geográfica del lago de Coatepeque.	3
Imagen 2. Ficha de Red Geodésica Departamento de Santa Ana.	5
Imagen 3. Esquema de ubicación de mojón geodésico principal.	5
Imagen 4. Ficha de Banco de marca de gran precisión, El Congo, Santa Ana.	6
Imagen 5. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.	8
Imagen 6. Levantamiento multihaz del Lago de Coatepeque.	9
Imagen 7. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales al lago, sin cobertura con equipo Multihaz.	10
Imagen 8. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales al lago, sin cobertura con equipo multihaz.	11
Imagen 9. Instalación de Base Trimble SPS855.	12
Imagen 10. Antena Trimble Zephyr 3.	12
Imagen 11. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.	13
Imagen 12. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.	14
Imagen 13. Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.	15
Imagen 14. Representación gráfica de acople de Batimetría del Lago de Coatepeque con datos LIDAR de Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.	18
Imagen 15. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Lago de Coatepeque (Vista Panorámica del lago).	19
Imagen 16. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Lago de Coatepeque (Zona Norte del lago).	19
Imagen 17. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Lago de Coatepeque (Vista en Planta del lago).	20
Imagen 18. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Lago de Coatepeque (Zona Sur del lago).	20
Imagen 19. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.	21
Imagen 20. Curva E-A-V del Lago de Coatepeque.	22
Imagen 21. Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG).	23
Imagen 22. Contorno de espejo de agua y su variación según el cambio de elevación.	24

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.	4
Tabla 2. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.	5
Tabla 3. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.	10
Tabla 4. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.	13
Tabla 5. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.	15
Tabla 6. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.	16
Tabla 7. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.	17
Tabla 8. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.	24

Resumen ejecutivo

El presente informe, representa el trabajo de hidrografía, topografía e hidrología desarrollado como parte de la consultoría: Estudios Batimétricos en Lagos y Lagunas de El Salvador. En su producto No.2, correspondiente al Lago de Coatepeque, ubicado en el departamento de Santa Ana.

Durante el mes de julio de 2020, se desarrolló este trabajo, iniciando principalmente con el establecimiento de una red de puntos de control que se referenciaron a la red geodésica nacional, así mismo al sistema de referencia de control altimétrico establecido por el Centro Nacional de Registros (CNR) y por su Instituto geográfico y del Catastro Nacional (IGN); de donde se obtuvieron los datos procesados por la Institución y se establecieron nuevas referencias acorde al lugar de uso e interés para la realización de los levantamiento batimétricos.

Después de la identificación del sensor hidrométrico establecido por MARN, establecer los puntos de control vertical y configurar el sistema de posicionamiento horizontal y vertical, se procedió a inicial el levantamiento batimétrico utilizando un ecosonda Multiház de alta resolución y un sistema de posicionamiento con un sensor inercial de movimiento, todo anexado a una interfaz o programa de aplicación hidrográfica (Qinsy) para la obtención final de datos batimétricos de alta precisión.

Los trabajos de medición se desarrollaron desde una embarcación adecuada para tal fin, iniciando una campaña prospectiva diaria de recolección de datos; todo el levantamiento ha sido realizado en aguas sin oleaje, las profundidades son variables y el cuerpo de agua presenta una morfología variable, compuesta por grandes depresiones subacuáticas, taludes inclinados con pendiente fuertes, zonas de azolvamiento debido a la erosión superficial y desplazamiento de sedimentos fluviales, zonas de colapso de taludes, cráteres, zonas de alzamiento magmático (isla Teopán), zonas poco profundas con cauces rocosos por flujos de lava, y zonas profundas planas por depósitos de sedimentos de baja densidad a más de 100m.

Debido a su extensión, el trabajo de recolección de datos se ha desarrollado con normalidad dentro de turnos matutinos de medición hidrográfica, por las tardes, el Lago de Coatepeque se vuelve no apto para la navegación principalmente debido al incremento de viento Sur o Norte y por consiguiente del incremento del oleaje.

Dentro del alcance de este trabajo, también se desarrollaron actividades como: procesamiento de datos batimétricos, medición de la ubicación y elevación del sensor hidrométrico, cálculo de las curvas EAV (elevación, área, volumen), dibujos de mapas hidrográficos, cálculo de volumen de agua, etc.

El levantamiento diario de datos hidrográficos y su rutina; comprendió la ubicación de una base corrección GNSS, la preparación de las líneas transectos, la verificación de la calibración de la ecosonda, la verificación de la velocidad del sonido con perfilómetro, la verificación del estado integral de la embarcación, el monitoreo de la información climática y por supuesto la descarga diaria y respaldo de toda la información y datos obtenidos.

Hacia el final de este trabajo, también se presentan los resultados de la creación de un Modelo Digital de Terreno, con perspectivas de presentación realística, donde se aprecia los cráteres que actualmente posee el volcán caldera de Coatepeque, deslizamientos de taludes, y zonas de acumulamiento de arenas producto de la erosión y/o transporte de sedimentos. Así mismo y lo más importante, los datos de control hidrométrico determinados como parte del alcance de este estudio.

Antecedente

En El Salvador se han desarrollado pocas actividades en cuanto a la determinación de los volúmenes de almacenamiento de lagos y lagunas; adicionalmente es importante destacar que estos se han realizado de manera dispersa, por diferentes instituciones y algunos en zonas específicas de los cuerpos de agua, por lo que ofrecen la integralidad necesaria para conformar una base que permita controlar periódicamente su comportamiento, tanto en el mediano como en el largo plazo, ni para realizar las estimaciones de pérdida de volumen a consecuencia de la recurrencia de años hidrológicos secos y de procesos de sedimentación.

Lo anterior es de especial importancia cuando se toma en cuenta que la mayor parte del agua superficial no puede ser retenida, y los lagos y lagunas representan una fuente importante de agua acumulada, por lo que su adecuada gestión es de extrema importancia. Tomando en cuenta que en el transcurso del año 2018 se instalaron equipos de medición de niveles en ocho lagos y lagunas a nivel nacional, por lo que es necesario complementar esta información con el desarrollo de un Estudio Batimétrico, con el propósito de contar con una referencia o línea base para el monitoreo, control y aprovechamiento de este recurso en los próximos años y para mejorar la planificación y gestión hídrica.

El presente estudio tiene como objetivo la cuantificación de los recursos hídricos a nivel nacional, para realizar las gestiones de forma adecuada y cumplir con los objetivos de Desarrollo sostenible, lo cual requiere que se tomen medidas para su monitoreo, protección y uso responsable.

Objetivo y Resultados

Realizar un trabajo de medición hidrográfica con técnicas actualizadas y sistemas de posicionamiento con medición de profundidades de manera cualitativa, adquiriendo datos fiables y precisos para la conformación del Modelo Digital del Terreno del cuerpo de agua en interés. Lo anterior para cuantificar el volumen de almacenamiento de agua del lago de Coatepeque, que en conjunto con las mediciones limnimétricas del MARN, permita conocer y controlar un registro de las variaciones volumétricas del cuerpo de agua a lo largo del tiempo.

En tal sentido, como objetivo secundario se ha establecido un sistema de puntos de referencia geodésica, un Modelo Digital del terreno, una cuantificación volumétrica y capacidad de almacenamiento, una cuantificación de la pérdida de volumen o capacidad según registros dictados por los pobladores y un mapa o representación gráfica de la morfológica subacuática del Lago de Coatepeque.

1. Identificación de área o sitio de medición hidrográfica

1.1. Ubicación general

El lago Coatepeque es un lago de origen volcánico, situado a 18 km al sur de la ciudad de Santa Ana en el municipio de El Congo. Tiene una altitud de 736.867 msnm (espejo de agua), superficie de 25.3 km², profundidad de 112.497 m y cuenta con una isla llamada la Isla del Cerro o Teopán.



Imagen 1. Ubicación geográfica del lago de Coatepeque.

1.2. Descripción morfológica

La superficie del lago es de 25.3km², mientras la cuenca del Lago de Coatepeque es de aproximadamente 90km² con un largo máximo del eje sur hacia el norte de 7.1km y una distancia de 5km del oeste al este.

El fondo del lago presenta una elevación de 624.37m sobre el nivel medio del mar, los estratos del sitio están compuestos por materiales volcánicos (productos de Pómez, ceniza, bloques magmáticos, lava y materiales piroclásticos sueltos en sus taludes). Según los resultados de este trabajo, la parte subacuática del lago, presenta taludes inclinados con pendientes fuertes de más de 60° desde la horizontal, al lado Este y Oeste; zona displayada al Norte, y zona de poca profundidad (25m) al Sur de la isla Teopán. Así mismo, se encuentra una zona de poca profundidad (<3m) en la parte central del canal estrecho entre Teopán y la zona circundante al Suroeste del lago, donde se aprecia superficialmente un flujo de lava de ignimbritas y materiales (breccia) volcánicos en forma de flujo y bloques provenientes del volcán de Santa Ana.

La acción erosiva y el azolvamiento por transporte de sedimentos en sus afluentes, también se deja notar; los principales lugares afectados directamente por este fenómeno se ubican en el sector del “embarcadero” al Suroeste del lago, y en la parte Norte cercana a los centros turísticos. Los materiales depositados normalmente se componen por arenas limosas con abundancia de pómez, los cuales forman cuñas temporales e inestables de depósitos sobre los taludes, que fallan y se mueven hacia la

parte central del lago, formando zonas planas y de suave pendiente hacia el centro del cráter que se ubica al costado Nororiente en la elevación según se mencionó en el segundo párrafo.

El lago de Coatepeque, presenta dos cráteres principales según los resultados de este estudio, el primero y el principal, se ubica al costado Noreste, siendo un cráter aparentemente en colapso reciente con asentamientos de sus taludes, emanando cantidades importantes de azufre en cierto tiempo (ver imagen 15); el segundo cráter, se ubica al costado Este de Teopán, con una profundidad promedio de 75 a 85m, se manifiesta como un depósito plano de sedimentos sin rastros de colapsos.

El cerro Teopán, o la isla que se encuentra al costado Sur del lago, es un levantamiento magmático de la caldera, se compone principalmente por bloques fracturados de lava.

2. Referencias geodésicas oficiales

2.1. Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional

Se utilizó un punto geodésico comprado a CNR (ver Imagen 2), para la ubicación de puntos de control en el área de Estudio.

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (elipsoidal)
LAGO COATEPEQUE II	13°52'31.69873"	89°30'57.7442"	305955.839	444220.208	1035.489
MKZ LAGO COATEPEQUE II	13°52'31.72154"	89°30'56.92902"	305956.488	444244.685	1033.776

Tabla 1. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.



CENTRO NACIONAL DE REGISTROS
INSTITUTO GEOGRAFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL

GERENCIA DE GEODÉSIA



DEPARTAMENTO DE CALCULO Y PROCESAMIENTO

HOJA DE DATOS GEODESICOS

Datos proporcionados a:
FACTURA:

Cuadrante :

[illegible]

Compiló: _____ **Revisó:** _____ **Autorizó:** _____

Fecha: 16 de marzo de 2020



Imagen 2. Ficha de Red Geodésica Departamento de Santa Ana.

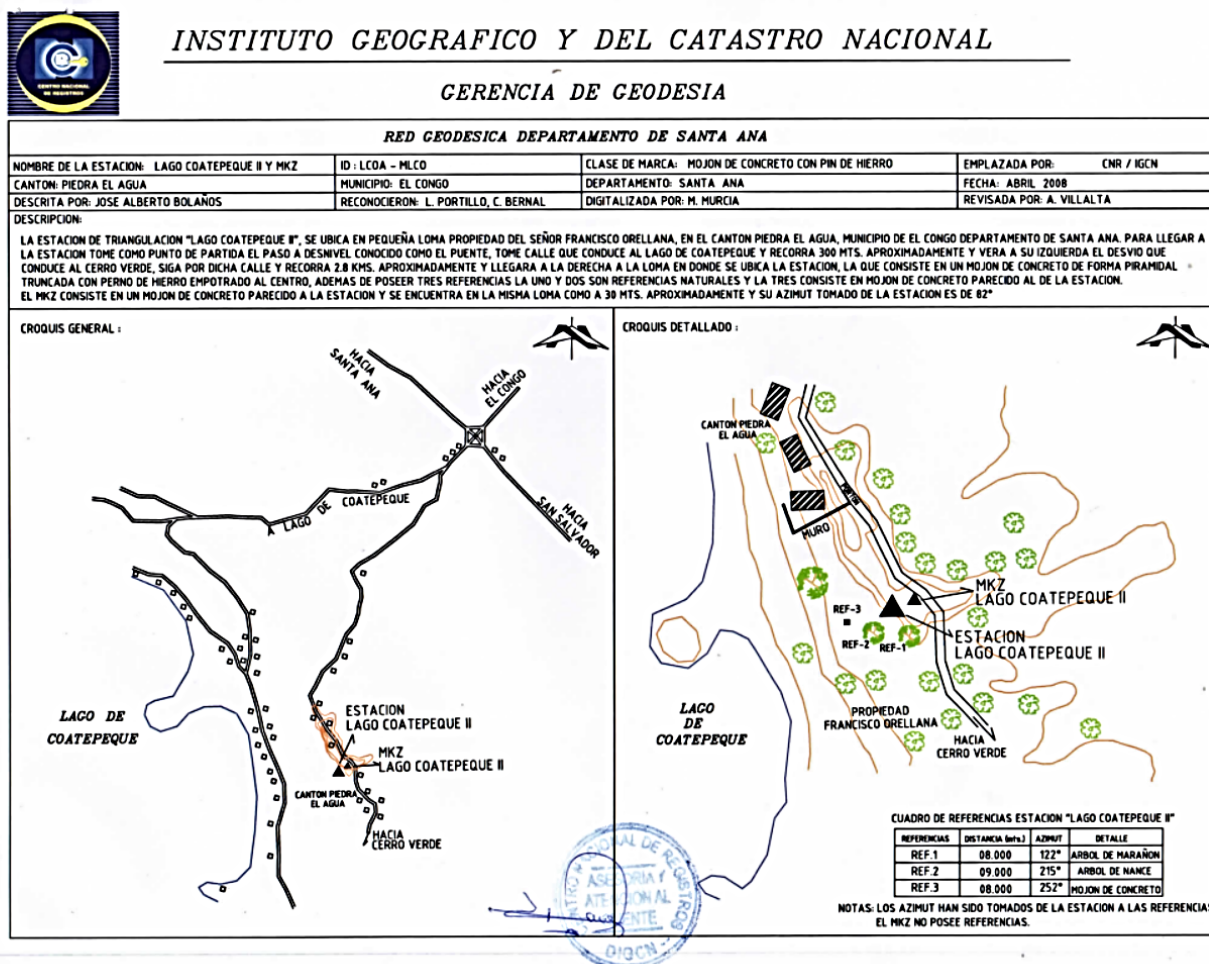


Imagen 3. Esquema de ubicación de mojón geodésico principal.

2.2. Amarre altimétrico

Se utilizó el Banco de Marca proporcionado por CNR.

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)
EG-40	13°52'36.08975"	89°31'0041809"	306091.057	444140.22	1022.39

Tabla 2. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.



EL SALVADOR
CREEMOS PARA CRECER

CENTRO NACIONAL DE REGISTROS
INSTITUTO GEOGRAFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL
GERENCIA DE GEODESIA



DESCRIPCION DE BANCO DE MARCA DE GRAN PRECISION

Línea: EG	De: El Congo (Santa Ana)	Pasando Por: Cerro Verde	A: Dvto. C. Verde Crft. Sn. Salv.-Sonsonate
Identificación: EG-40	Tipo de Marca: Perno de hierro		Elevación - Mts: 1022.3904
Orden: PRIMERO	Datum: La Unión		Establecida por: CNR/IGCN
Leyenda Grabada en la Marca:		Organización-Fundida en la Marca:	
País: El Salvador		Departamento: Santa Ana	Municipio: El Congo
Cantón: El Guineo		Caserío: Piedra del Agua	
Descrita por: Ezequiel Chávez	Digitizada por: Ezequiel Chávez	Revisada por:	
Observador: Ezequiel Chávez	Equipo: Nivel Geodésico Sokkia SDL1X	Fecha: Septiembre 2017	

Descripción:

El BM EG-40 Se encuentra ubicado en plancha de concreto de casa propiedad de Sra. Delmy Lisbeth Marroquin Castro a orilla de calle que de El Congo conduce al Cerro Verde.

Para llegar tomando como punto de partida el desvío al cerro verde y lago de Costepeque (EG-22), recorra una distancia aproximada de 2.5 kms. Con rumbo al Cerro Verde y llegará al lugar donde se encuentra el BM.

El BM. consiste en un perno de hierro en plancha de concreto.

Croquis de Ubicación y Referencias Graficas
Nota: Los rumbos han sido tomados de las referencias al BM.

N°	REFERENCIAS	DISTANCIA	RUMBO
1	Esquina de Casa	1.42 mts.	S 75° W
2	Árbol de Laurel de la India	5.41 mts.	N 56° W
3	Árbol de Amate	13.12 mts.	N 64° E
4	Árbol de Amate	14.95 mts.	N 83° E
5	Poste concreto Lámpara	9.25 mts.	S 37° E

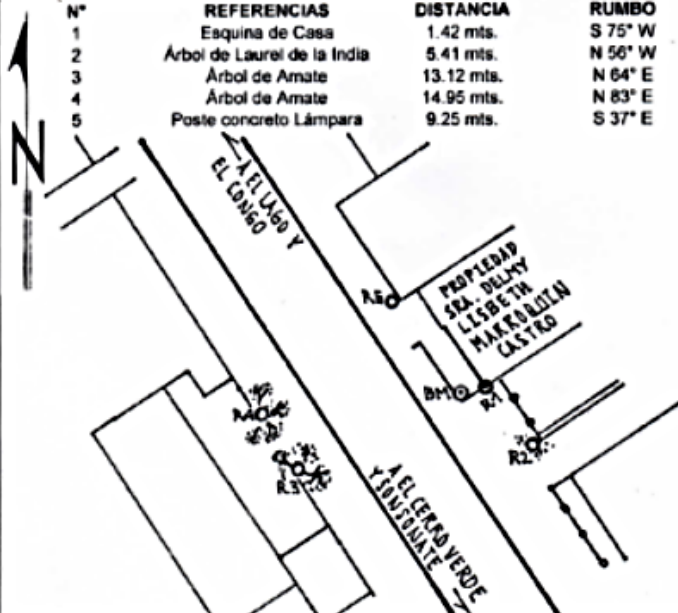



Imagen 4.Ficha de Banco de marca de gran precisión, El Congo, Santa Ana.

3. Metodología de levantamiento batimétrico

3.1. Descripción de los trabajos

El levantamiento batimétrico, se ha realizado con ecosonda Multiház de alta resolución; siguiendo patrones dictados por la OHI (Organización Hidrográfica Internacional), y los requisitos y procedimientos mínimos que se debe realizar como parte del levantamiento Hidrográfico. En tal sentido, en el presente trabajo, las actividades se desollaron con el uso de equipo profesional para levantamiento batimétricos de alta precisión, tanto en horizontal de ubicación geodésica como en control vertical con la adquisición de datos con el programa informático de mayor calidad y reconocimiento a nivel mundial.

3.1.1. Actividades previas al levantamiento batimétrico

Primeramente, se realizó el reconocimiento de la zona para el acceso y salida de lancha, búsqueda de mojones con coordenadas geodésicas cercanos al lago y referenciación de puntos de control.

Los mojones con coordenadas geodésicas en zonas cercanas al lago fueron necesarios para la calibración de los equipos de posicionamiento. Por lo que se requirió la identificación de mojones existentes, y la mayoría de los casos la construcción de mojones de referencia (ver sección 2.1 y 2.2)

3.1.2. Rutina y Trabajo de campo diario

Instalación de base GPS GNSS con RTK:

La instalación de la base GNSS, se realizó de manera rutinaria todos los días, en el entendido que la ubicación podría ser variables y acorde a los avances de la embarcación, y su posición alejada de una ubicación cualquiera. Es por ello que todos los días, se montaba y desmontaba el equipo de corrección satelital en tiempo real: GPS Base y Radio VHF en un punto conocido.

Calibración de equipo: Se trabaja con la misma calibración del equipo oficial, mediante el programa WBMS GUI, sin ningún cambio en la modificación. Únicamente se calcula mediante el ajuste del programa la elevación del transductor de la ecosonda, de forma directa, el programa hace el protocolo de calibración diario en base a su path test. Así mismo, si se tienen bajas precisiones, mayores a 4cm, el sistema avisa de inmediato al operador para la toma de decisiones.

Preparación de un Levantamiento hidrográfico diario: se prepararán y estudian las zonas por medir un día antes de cada actividad hidrográfica, por medio del programa Survey Manager de QPS, se preparan los transectos, áreas por medir, se importan y exportan datos para archivo, etc

QPS Navegador: Se trabaja con el programa Qinsy de Quality Positioning Service QPS, su navegador incluye todo lo relacionado a la configuración del sitio, Modelos geodéticos, DXF, creación de transectos en campo, creación de archivos grid, configuración de la embarcación, visualización de los datos y el DTM en tiempo real.

3.2. Mapa de transectos levantados

Cuando se hace el reconocimiento del área que abarca la medición, se creó una matriz de cobertura con la ayuda del software Qinsy Survey Manager. Dentro de la matriz, se dibujó las líneas de sondeo paralelas entre ellas, donde la equidistancia que las separa está en función de la profundidad de la zona, a mayor profundidad mayor cobertura. Estas líneas a su vez sirvieron de orientación para navegación.

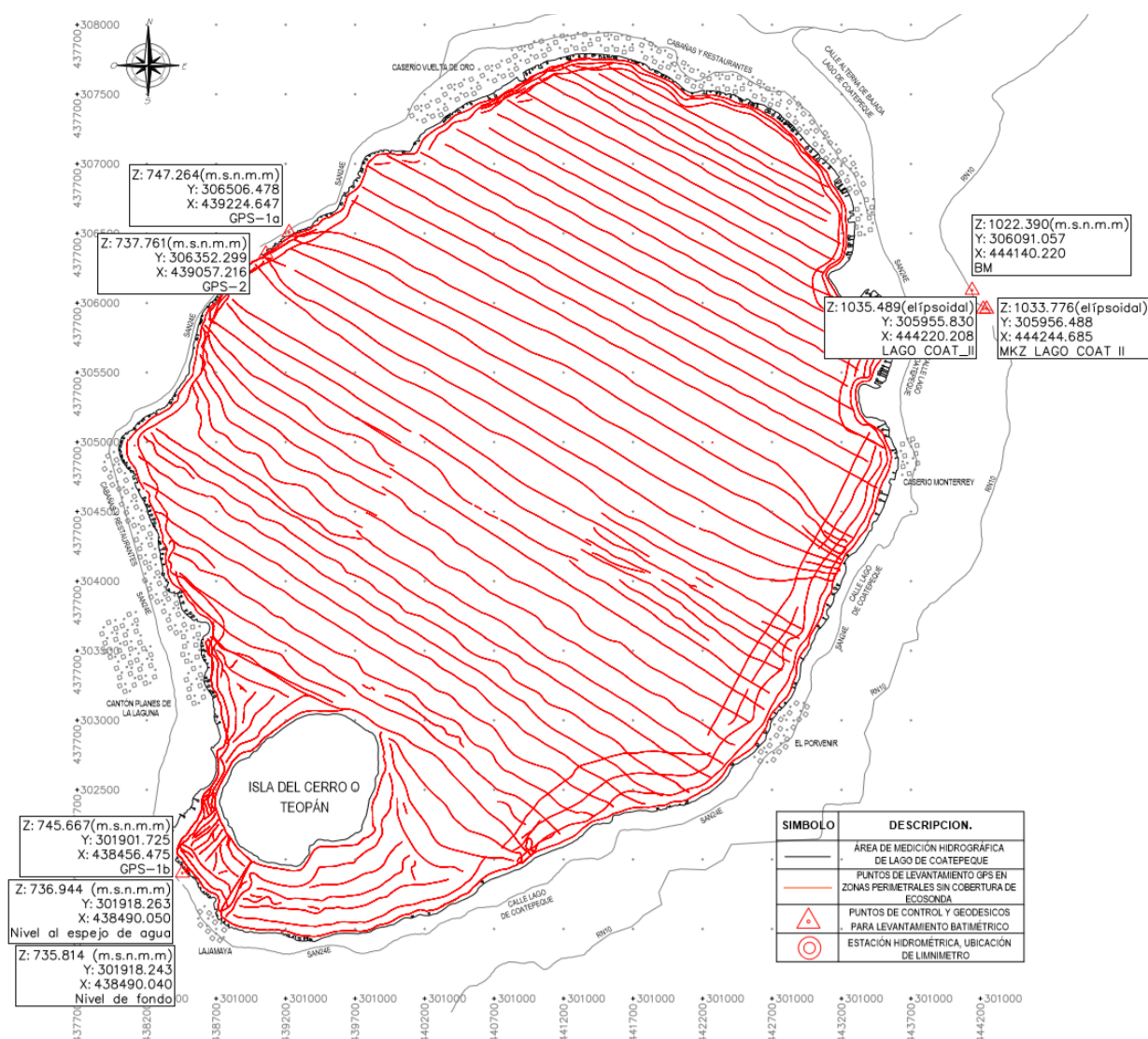


Imagen 5. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.

3.3. Representación del Levantamiento batimétrico

En la embarcación, Qinsy recibe y procesa los datos en tiempo real de la corrección de posicionamiento horizontal por radio modem, utilizando NORBIT WBMS-GUI para los datos de la ecosonda y directamente del sensor de movimiento inercial para compensar el movimiento para cualquier lado de la embarcación. Todo lo anterior para general un modelo digital del terreno tal como se presenta a continuación en la siguiente imagen.

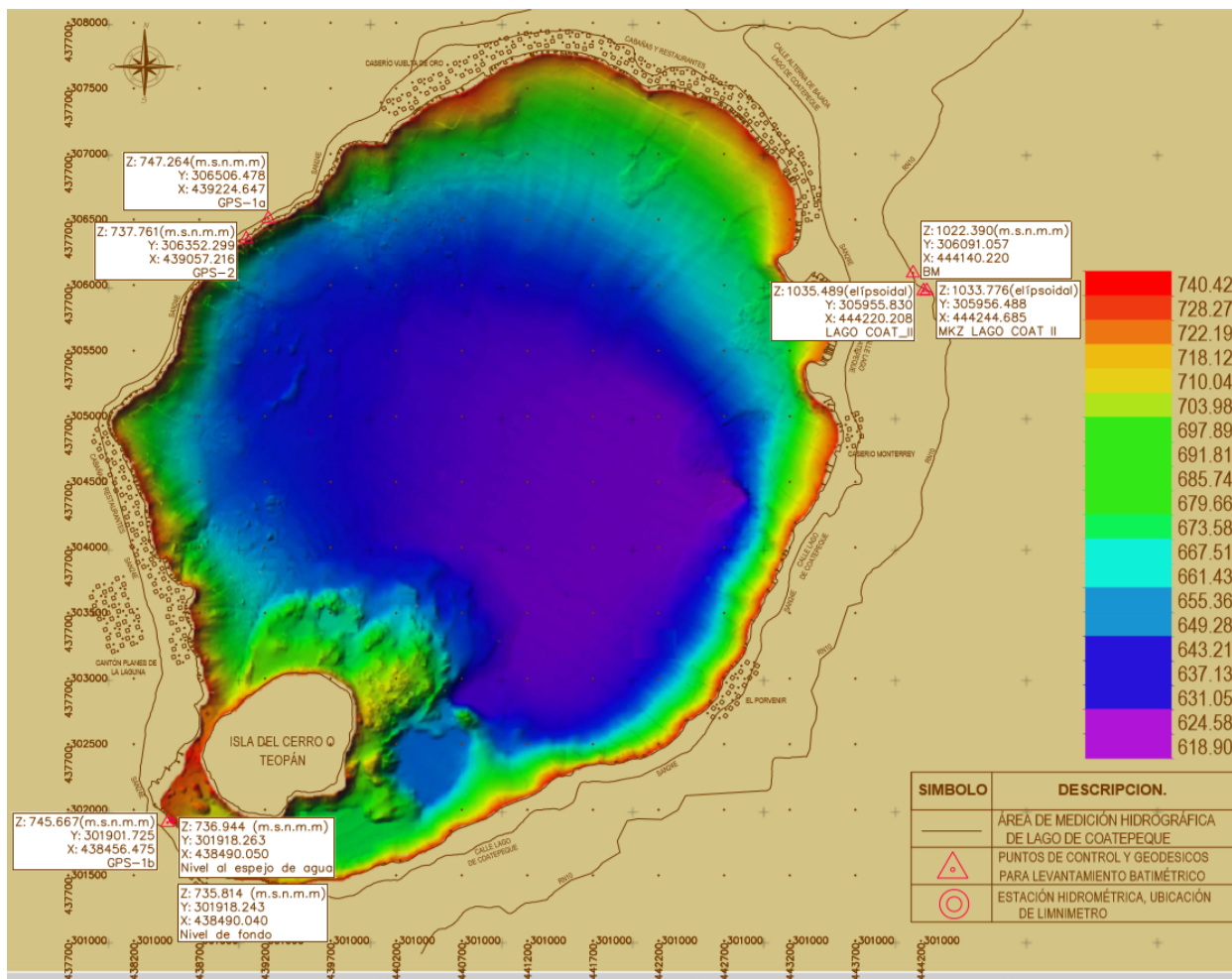


Imagen 6. Levantamiento Multiház del Lago de Coatepeque.

3.4. Levantamiento perimetral con GPS GNSS (Rover), zonas sin cobertura con ecosonda Multiház

Durante el levantamiento batimétrico realizado con ecosonda Multiház, no se ha podido cubrir zonas perimetrales del lago de Coatepeque principalmente debido a:

- Disminución brusca de la profundidad, debido a la morfología del sitio.
- Obstrucción por la ubicación de jaulas de crecimiento de peces (Piscicultura)
- Presencia de planta subacuática, que entorpece o modifica los datos reales medidos por la Multiház.

- Alta presencia de roca de diverso tamaño, que pudiesen dañar el equipo por colisión.
- Muelles alrededor de todo el perímetro

En tal sentido; se decidió realizar un levantamiento perimetral con equipo GPS GNSS con precisión milimétrica de igual manera que el sistema de posicionamiento de la embarcación hidrográfica, midiendo la posición geodésica y vertical del espejo de agua en ese momento. Adicionalmente se levantaron puntos en tierra a las orillas del lago, espejo de agua y hasta con 1m de columna de agua.

Los puntos de control utilizados para este trabajo de levantamiento perimetral, se ubicaron en los mismos puntos utilizados por el equipo de medición hidrográfica y utilizando la misma frecuencia de radio que el sistema de corrección.

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)
GPS-1a	13°52'49.24863"	89°33'44.16912"	306506.478	439224.647	747.264
GPS-1b	13°50'19.35348"	89°34'09.39127"	301901.725	438456.475	745.667
GPS-2	13°52'44.21897"	89°33'49.73364"	306352.299	439057.216	737.761

Tabla 3. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.



Levantamiento topo-batimétrico en zonas complementarias (aguas someras)



Levantamiento topo-batimétrico en zonas complementarias (fondo del lago)

Imagen 7. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales al lago, sin cobertura con equipo Multiház.

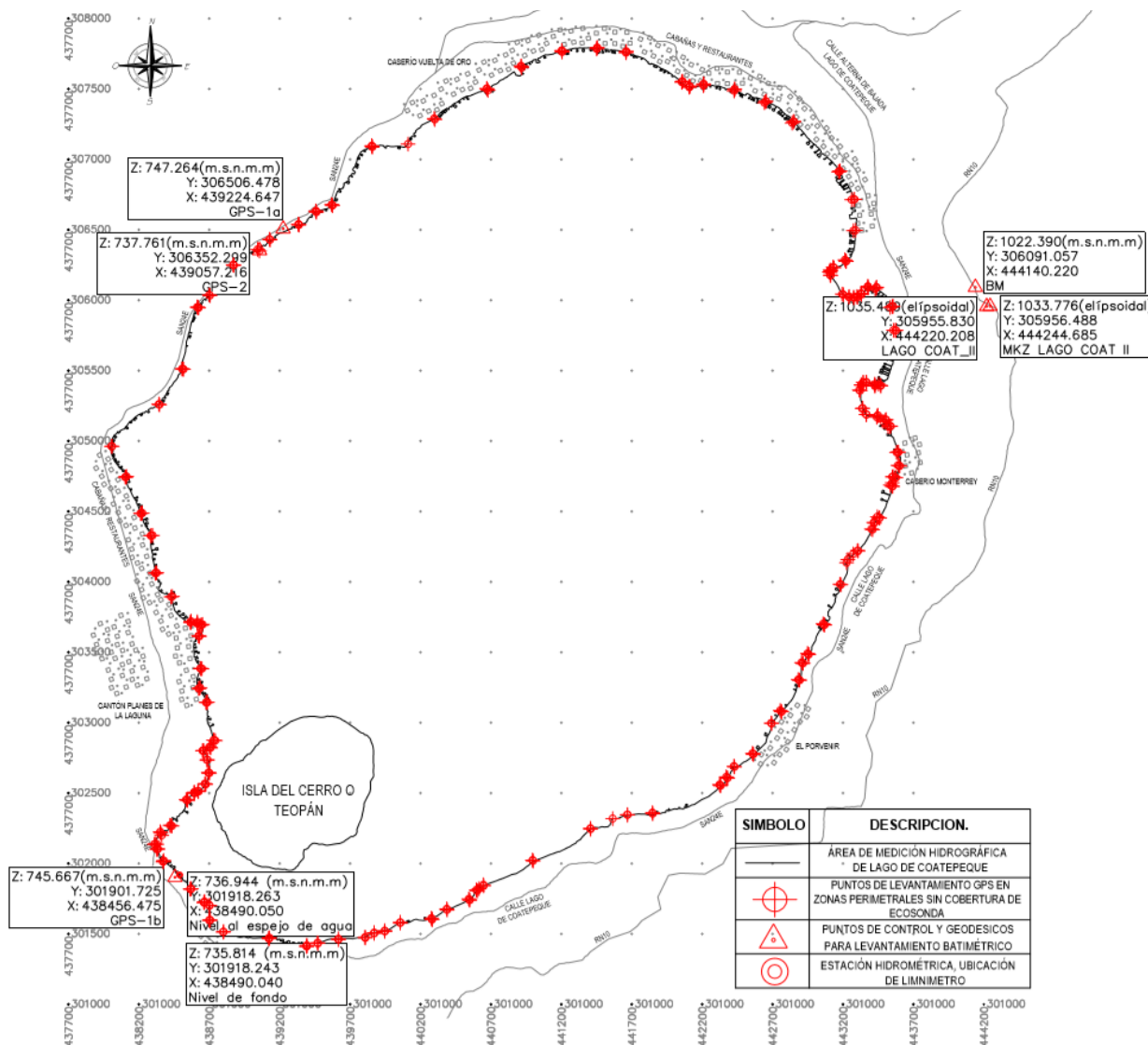


Imagen 8. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales al lago, sin cobertura con equipo multihaz.

3.5. Sistema geodésico utilizado

Esferoide:	CLARKE 1866	Proyección:	Lambert con 2 S.P.
Datum:	NAD 1927	Meridiano central:	89°W
Semieje mayor (a):	6,378,206.400 m	Latitud de referencia:	13°47'N
Aplanamiento inverso (1 / f):	294.9786982		
Primer paralelo estándar:	13°19' N (Valor de NAD27)		
Segundo paralelo estándar:	14°15' N (Valor de NAD27)		

dx:	0.00 m	rx:	0.000"	Falso Este:	500,000 m.
dy:	105.50 m	ry:	0.000"	Falso norte:	295,809.184 m
dz:	197.20 m	rz:	0.000"	Corrección de escala:	0.000 ppm

Referencias geodésicas: mojón geodésico de C.N.R: LAGO DE COATEPEQUE II y sus referencias.

3.6. Posicionamiento, corrección de error y control vertical

3.6.1. Control de Posicionamiento horizontal

3.6.1.1. Base GPS GNSS

Receptor base GPS GNSS Trimble SPS855:

Se utilizó este equipo para el control de posicionamiento horizontal y vertical, por su estabilidad y rapidez en el cálculo y envío de corrección RTK.

Se trabajó con un mínimo de 18 satélites en la recepción.



Imagen 9. Instalación de Base Trimble SPS855.

Antena receptora ZEPHYR 3: se utilizó este tipo de antena para la mejor recepción de satélites de todas las constelaciones, pero principalmente se trabajó con GLONASS, GPS y GALILEO en señales de banda L1/L2/L5/G1/G2/G3/E1/E5ab/B1/B2/B3.



Imagen 10. Antena Trimble Zephyr 3.

GPS GNSS Trimble R10 Rover: Rover GPS utilizado para la ubicación geográfica de cualquier punto requerido para la consultoría y de la más alta calidad de adquisición de datos.

Antenas UHF: Antenas de soporte para transmitir la señal de radio hacia puntos más alejados de 10 Km.

Es importante resaltar que el rover Trimble R10 tiene un magnetómetro y sensor inercial, que le permite la calibración de la brújula electrónica que utiliza el aparato para su correcto funcionamiento, y utilizando el software Trimble Access, se realiza la calibración de los equipos diariamente.

3.6.1.2. ***Envío de señal de corrección en tiempo real***

Radio Pacific Crest ADL Vantage 35: Radios de transmisión UHF, que envían la información de posición y corrección al Rover, capaz de recibir señal de frecuencia desde 430 MHz hasta 473 MHz, recibiendo correcciones RTK de bases GNSS. Se utilizo en todo momento para el envío de corrección de posicionamiento y control vertical tanto a los GPS Rover como a la embarcación: Geoconsult01, también se instalaron radios adicionales repetidoras para ampliar la cobertura y recepción del cálculo del error en Qinsy.



Imagen 11. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.

3.6.1.3. ***Red de Puntos de control para base GPS GNSS***

Partiendo del punto geodésico “Lago de Coatepeque” se establecieron Puntos de control en las cercanías del área de estudio. A continuación, se detallan los Puntos de la red auxiliar para la medición hidrográfica:

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnmm)
GPS-1a	13°52'49.24863"	89°33'44.16912"	306506.478	439224.647	747.264
GPS-1b	13°50'19.35348"	89°34'09.39127"	301901.725	438456.475	745.667
GPS-2	13°52'44.21897"	89°33'49.73364"	306352.299	439057.216	737.761

Tabla 4. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.

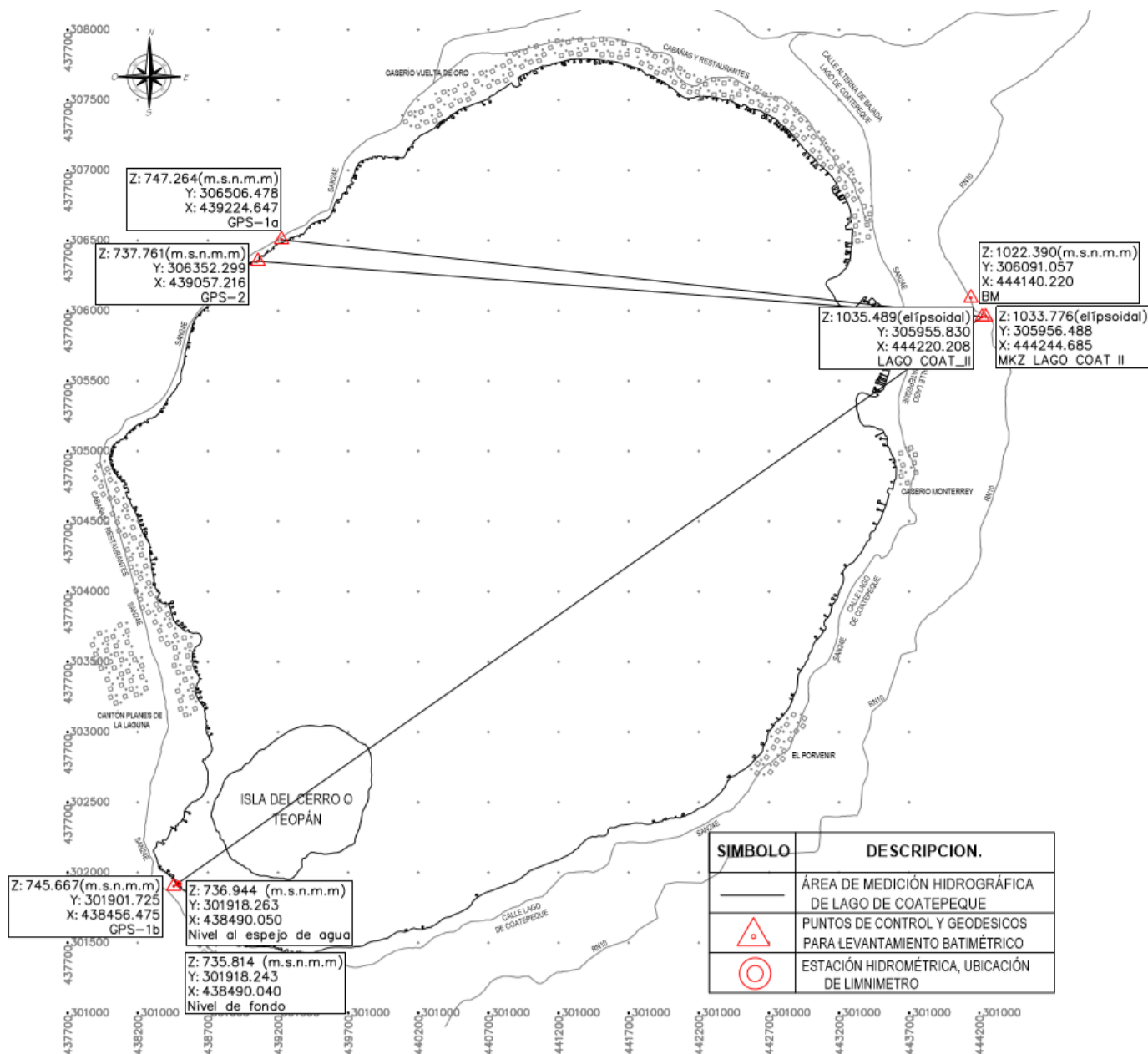


Imagen 12. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.

3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica

A continuación, se detallan las coordenadas resultantes de la estación hidrométrica del Lago de Coatepeque:

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnmm)	Descripción
E_HIDRO_01	438490.04	301918.243	735.814	Elevación de fondo en estación hidrométrica
E_HIDRO_02	438490.05	301918.263	736.944	Elevación hasta el espejo de agua
El nivel de cota máxima indicada por los pobladores fue de 743.973 m.s.n.m. Con coordenadas N: 301901.943 E: 438459.280				

Tabla 5. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.



Imagen 13. Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.

3.6.2. Control vertical de adquisición de datos

Ecosonda Multiház NORBIT-iWBMS_e: en el presente trabajo, se adquirieron los datos de profundidades por medio de una Ecosonda Multiház de banda ancha, todo en uno (side scan sonar, backscatter y récord de la columna de agua) y estrechamente integrada al sistema inercial de corrección de movimiento por medio del sistema Applanix surfmaster de Trimble, resultando una medición batimétrica con alta resolución.

WBMS GUI: configuración y operación gracias a NORBIT Interfaz gráfica de usuario WBMS GUI, que controla el funcionamiento y operación del transductor Multiház de 540 haces y una resolución de 400 a 700 MHz

AML Base.X2: Perfilómetro de velocidad de Sonido, dato necesario para el ajuste de la adquisición de datos.

Qinsy 9.2: Programa hidrográfico de adquisición de datos, configuración de equipos, planeamiento y navegación.

4. Registro fotográfico del levantamiento batimétrico

Se ha utilizado una embarcación tipo Lancha bermuda, de fibra de vidrio, con las siguientes descripciones físicas:

TIPO DE EQUIPO: Lancha Tipo Bermuda de Fibra de Vidrio, Nombre Geoconsult01	MANGA: 25 pies ESLORA: 27 pies CALADO VACÍO: 2.5 pies
MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 75 Hp	

REALIZACIÓN DE BATIMETRÍA EN LAGO DE COATEPEQUE



Medicion de Velocidad del Sonido



Realizacion de Levantamiento batimetrico



Embarque de lancha hidrográfica en Lago



Realización de Levantamiento batimétrico

Tabla 6. Registro fotográfico de trabajos de batimetría y medición de velocidad de sonido.

Realización de Topo-Batimetría al contorno del Lago de Coatepeque.



Instalacion de base RTK en Punto de control
GPS-2



Levantamiento topo-batimetrico en zonas
complementarias (a 1m dentro de espejo de agua)



Levantamiento topo-batimetrico en zonas
complementarias (fuera de espejo de agua)



Levantamiento topo-batimetrico en zonas
complementarias (dentro de espejo de agua)



Levantamiento topo-batimetrico en zonas
complementarias (obstrucciones por muelles)



Levantamiento topografico en zonas
complementarias (fuera de espejo de agua)

Tabla 7. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.

5. Resultados

5.1. Acople de MDT con Levantamiento LIDAR

Según lo indicado en los Términos de referencia de este trabajo, los datos del levantamiento batimétrico se deben acoplar al levantamiento LIDAR que posee MARN, por lo tanto; a continuación, se presenta de manera gráfica dicho resultado.

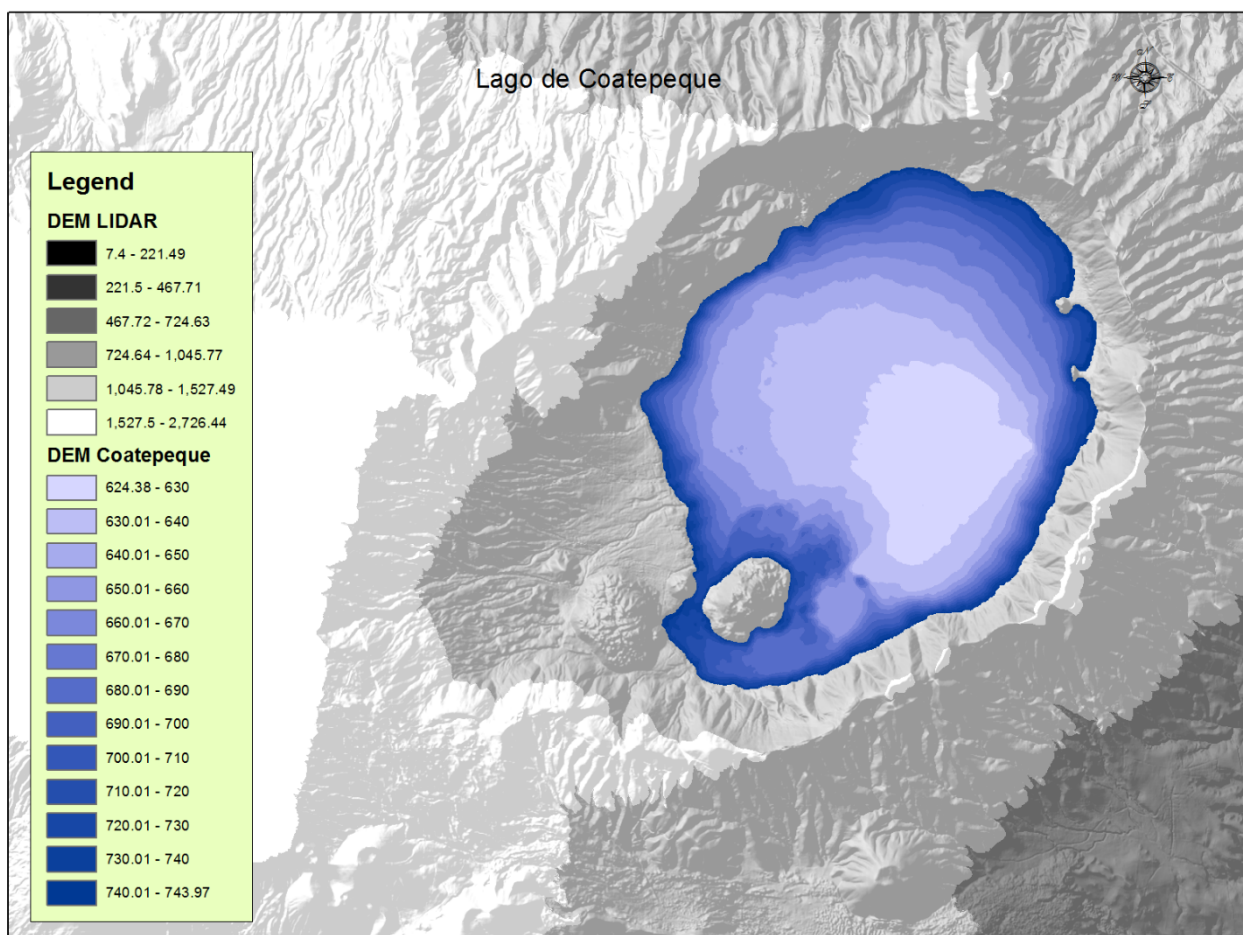


Imagen 14. Representación gráfica de acople de Batimetría del Lago de Coatepeque con datos LIDAR de Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.

Los archivos digitales resultantes de este proceso han sido entregados como parte de la remisión de este reporte.

5.2. ***Modelo Digital de Elevaciones (MDE)***

A continuación, se presentan imágenes en 3D creadas en el programa “Terramodel” con los datos del levantamiento batimétrico realizado en todo el Lago de Coatepeque.

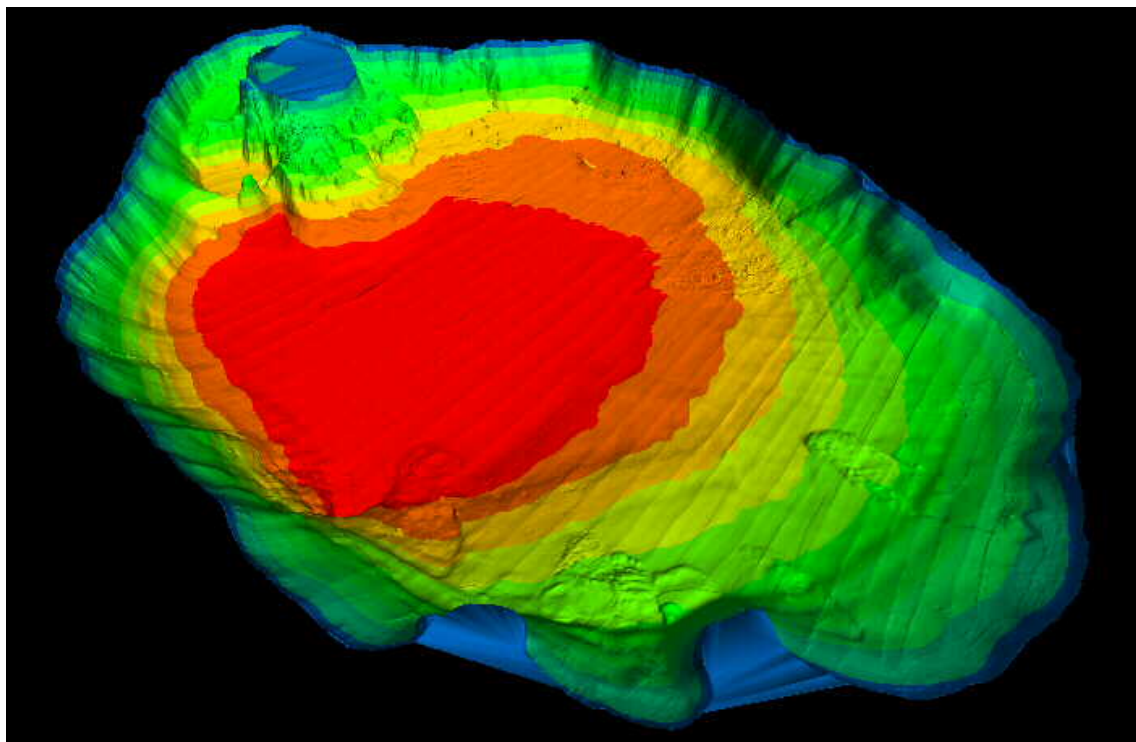


Imagen 15.. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Lago de Coatepeque (Vista Panorámica del lago).

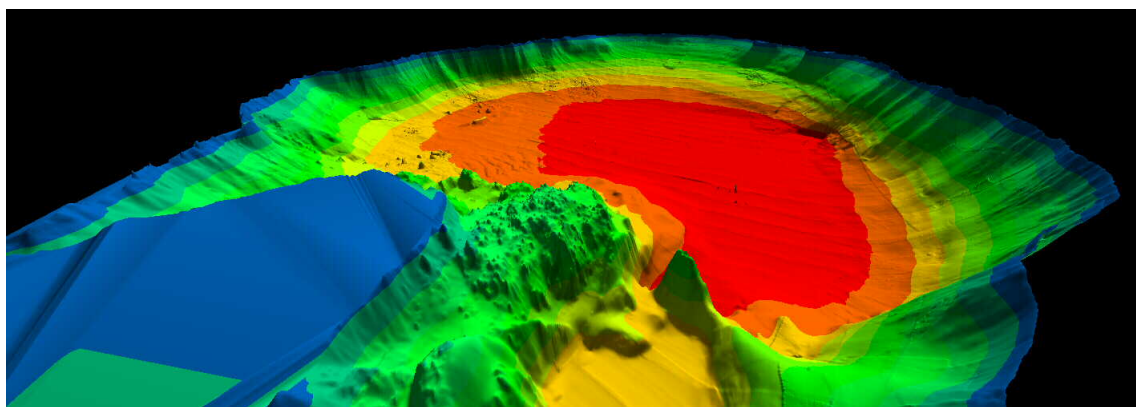


Imagen 16. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Lago de Coatepeque (Zona Norte del lago).

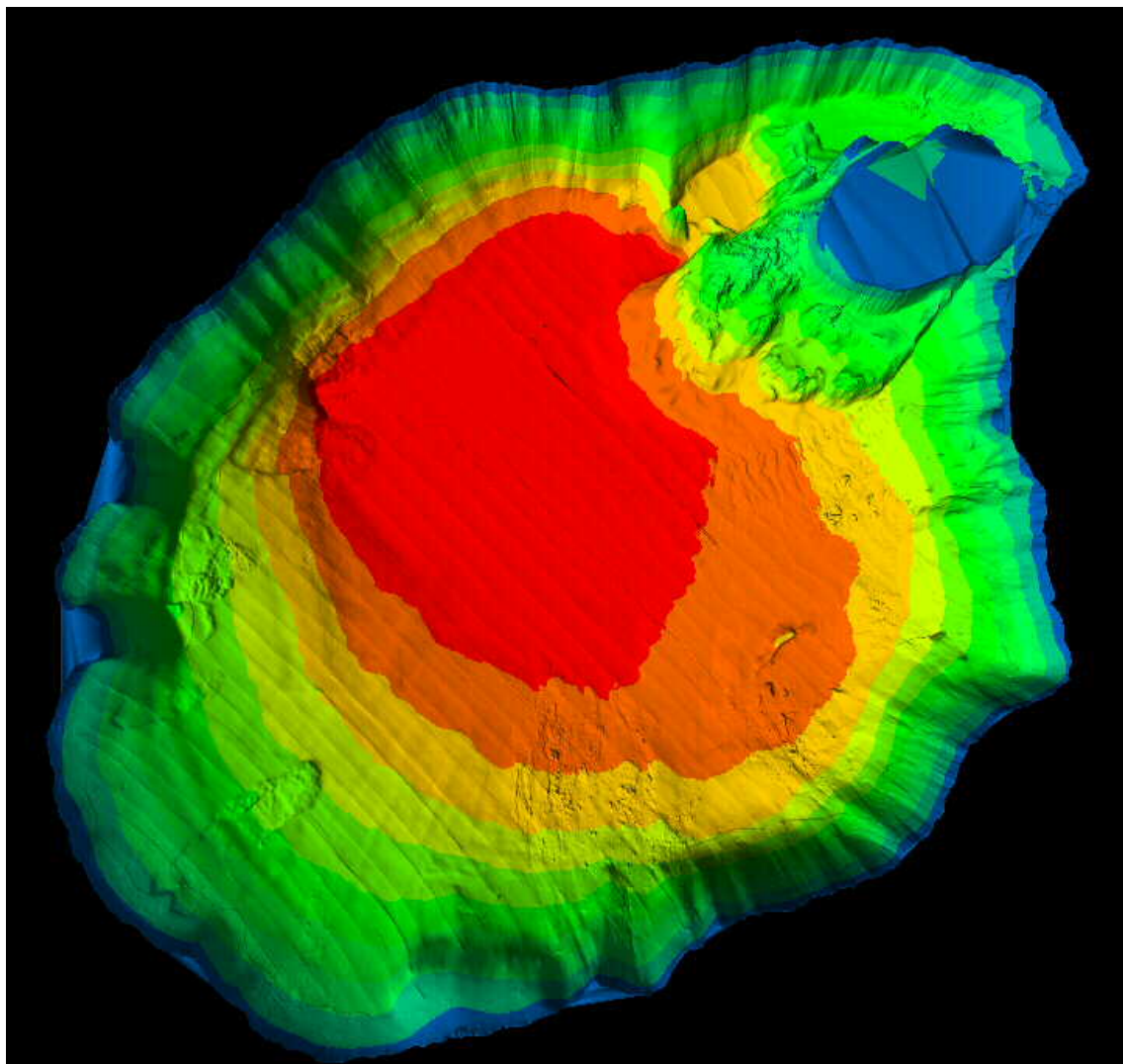


Imagen 17.. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Lago de Coatepeque (Vista en Planta del lago).

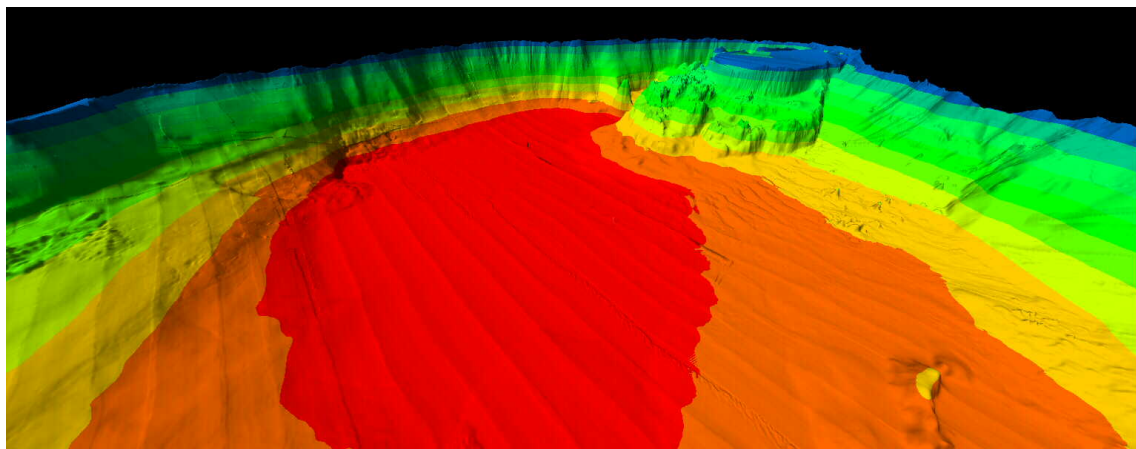


Imagen 18. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Lago de Coatepeque (Zona Sur del lago).

5.3. Isobatas

Modelo de Isobatas de levantamiento batimétrico con un espaciamiento vertical de 5.0 metros.

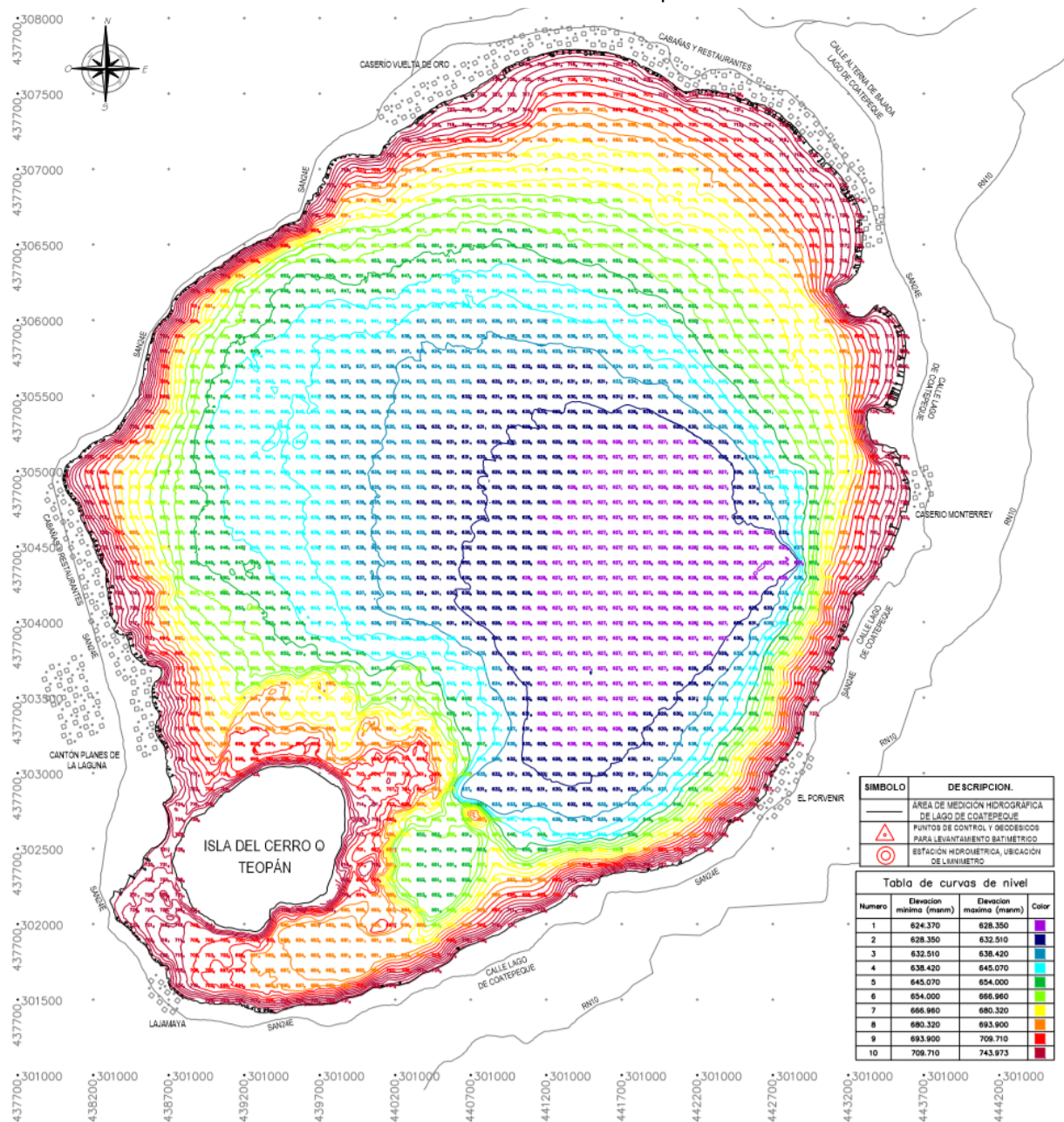


Imagen 19. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.

5.4. Medición topográfica y determinación del nivel de espejo de agua

La elevación del nivel del espejo de agua registrado fue de: 736.867 aunque en algunos casos durante la medición de los niveles en el sensor hidrométrico fue de 736.944, este nivel es variable según las precipitaciones actuantes en la cuenca del lago, y en una sola tormenta puede incrementar hasta 20cm. (elevaciones en metros sobre nivel medio del mar).

5.5. Datos hidrométricos resultantes

Curvas Elevación – Área - Volumen

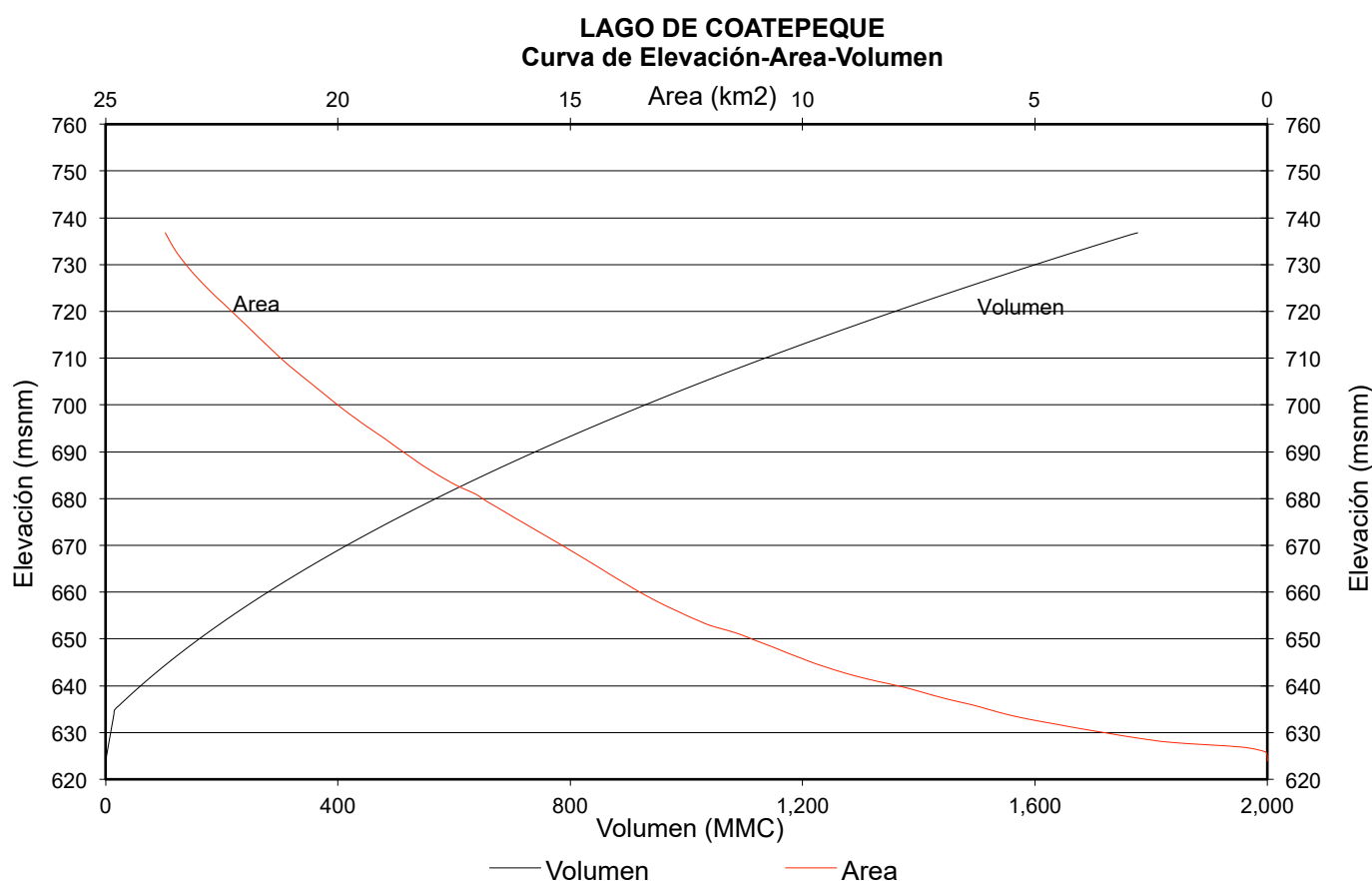


Imagen 20. Curva E-A-V del Lago de Coatepeque.

Volumen de agua al nivel de espejo de agua

Durante la medición (736.867 m.s.n.m.m):

1,770 Millones de m³
1.770 kilómetros cúbicos (km³)

**Volumen de agua al nivel máximo histórico del lago,
indicado por los pobladores (743.973 m.s.n.m.m):**

(hace aprox. 40 años, dato no validado/comprobado científicamente)

1,955.63 Millones de m³
1.995 kilómetros cúbicos (km³)

Datos topo-batimétricos resultantes de las mediciones.

Elevación mínima del fondo del lago:	624.370 m.s.n.m
Elevación del espejo de agua al momento de medición:	736.867 m.s.n.m
Elevación máxima histórica del lago indicada por pobladores:	743.973 m.s.n.m
Profundidad máxima de columna de agua encontrada:	112.497 m

5.6. Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG)

El modelo se generó a partir de la interpolación de la nube de puntos levantada con el equipo Multiház, donde se exportó una superficie con 50 puntos/m², sin embargo, para la generación del modelo en ArcGIS se ha utilizado una densidad de puntos menor con el objetivo que los datos puedan ser manipulados en dicho programa, aplicando el método IDW. El ráster obtenido tiene una resolución de 1 metro.

El método IDW se basa en la inversa de la distancia elevada a una potencia, lo que le permite controlar la significancia de puntos conocidos en los valores interpolados basándose en la distancia desde el punto de salida. Al definir una potencia más alta se puede poner énfasis en los puntos más cercanos.

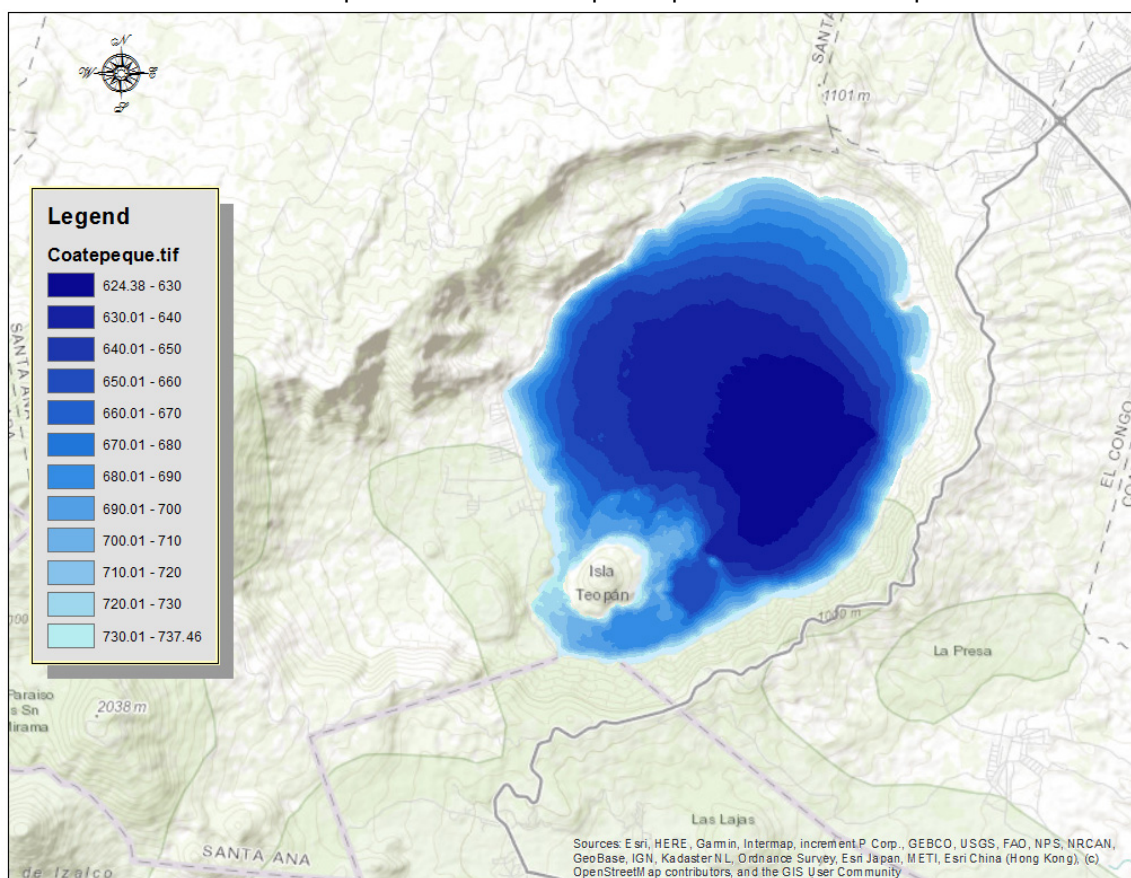


Imagen 21. Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG).

5.7. Representación gráfica en ArcGIS del espejo de agua

A continuación, se presenta en esquema, la representación geográfica del contorno del espejo de agua con diferentes elevaciones según las mediciones realizadas para las tres condiciones siguientes:

- Con un nivel de espejo de agua igual al “cero” hidrométrico según las condiciones actuales de instalación del sensor.
- Con un nivel igual al encontrado según la medición en determinado momento del espejo de agua.
- Con la elevación de un nivel máximo histórico, según recuerdo de los pobladores, hace aproximadamente 40 años.

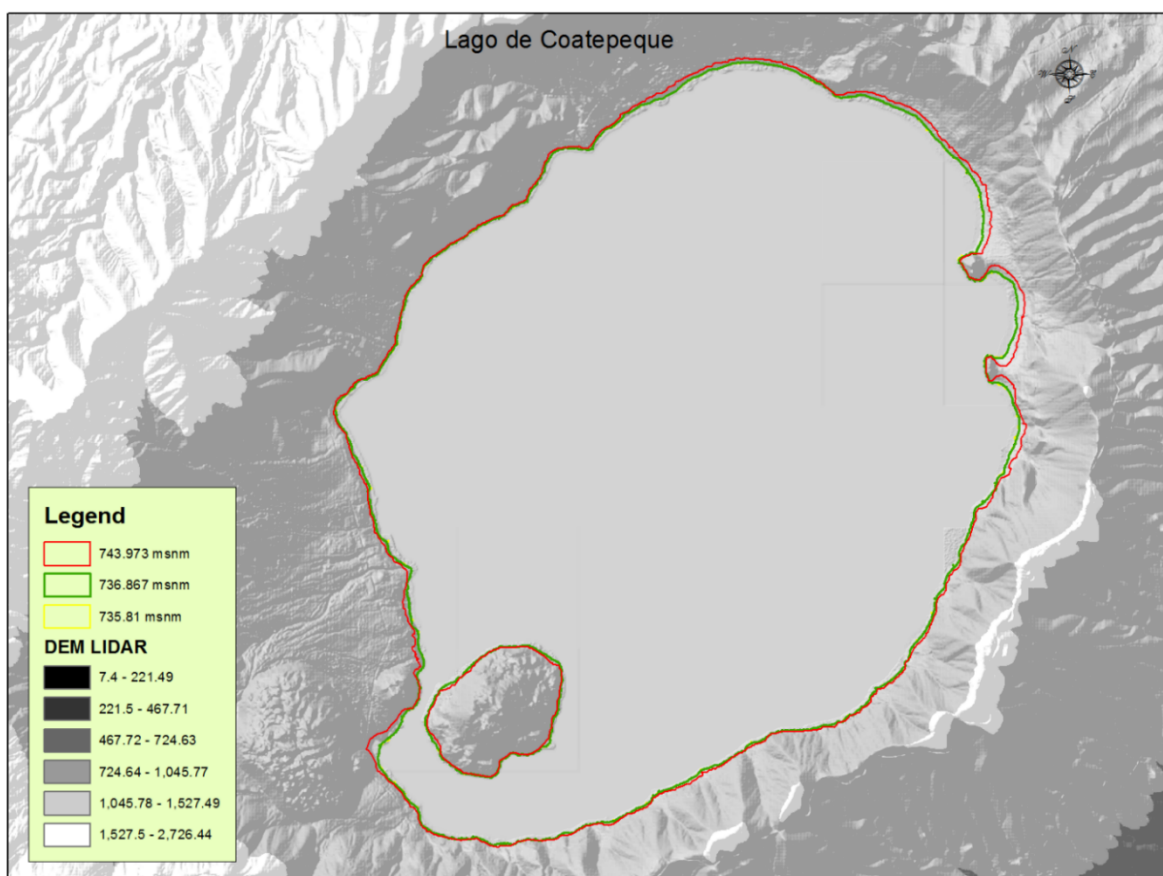


Imagen 22. Contorno de espejo de agua y su variación según el cambio de elevación.

Según el esquema anterior, los resultados del cálculo en la variación del área que cubre el espejo de agua según el cambio de la elevación son como sigue:

Tab la 8. Vari acio	Condición de la elevación del espejo de agua	Elevación (msnmm)	Área (km2)
	Nivel de espejo de agua según “0” hidrométrico medido en 2020	735.814	23.684
	Nivel de espejo de agua máximo según medición actual 2020	736.867	23.720
	Nivel de espejo de agua según datos histórico de 40 años atrás.	743.973	23.947

nes en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.

ANEXOS.

- ANEXO 1. Ficha de mojón geodésico y banco de marca a gran precisión
- ANEXO 2. Ubicación de sensor hidrométrico, puntos de amarre para control geodésico y vertical
- ANEXO 3. Mapa con ubicación de transectos resultante de levantamiento batimétrico
- ANEXO 4. Levantamiento Multiház del Lago de Coatepeque
- ANEXO 5. Mapa batimétrico general del Lago de Coatepeque
- ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría del Lago de Coatepeque
- ANEXO 7. Memoria de cálculo

ANEXO 1. Ficha de mojón geodésico y banco de marca.

ANEXO 2. Ubicación de sensor hidrométrico, puntos de amarre para control geodésico y vertical

ANEXO 3. Mapa con ubicación de transectos resultante de levantamiento batimétrico

ANEXO 4. Levantamiento Multiház del Lago de Coatepeque

ANEXO 5. Mapa batimétrico general del Lago de Coatepeque

ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría del Lago de Coatepeque

ANEXO 7. Memoria de cálculo de curva EAV (datos obtenidos de programa terramodel)



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE