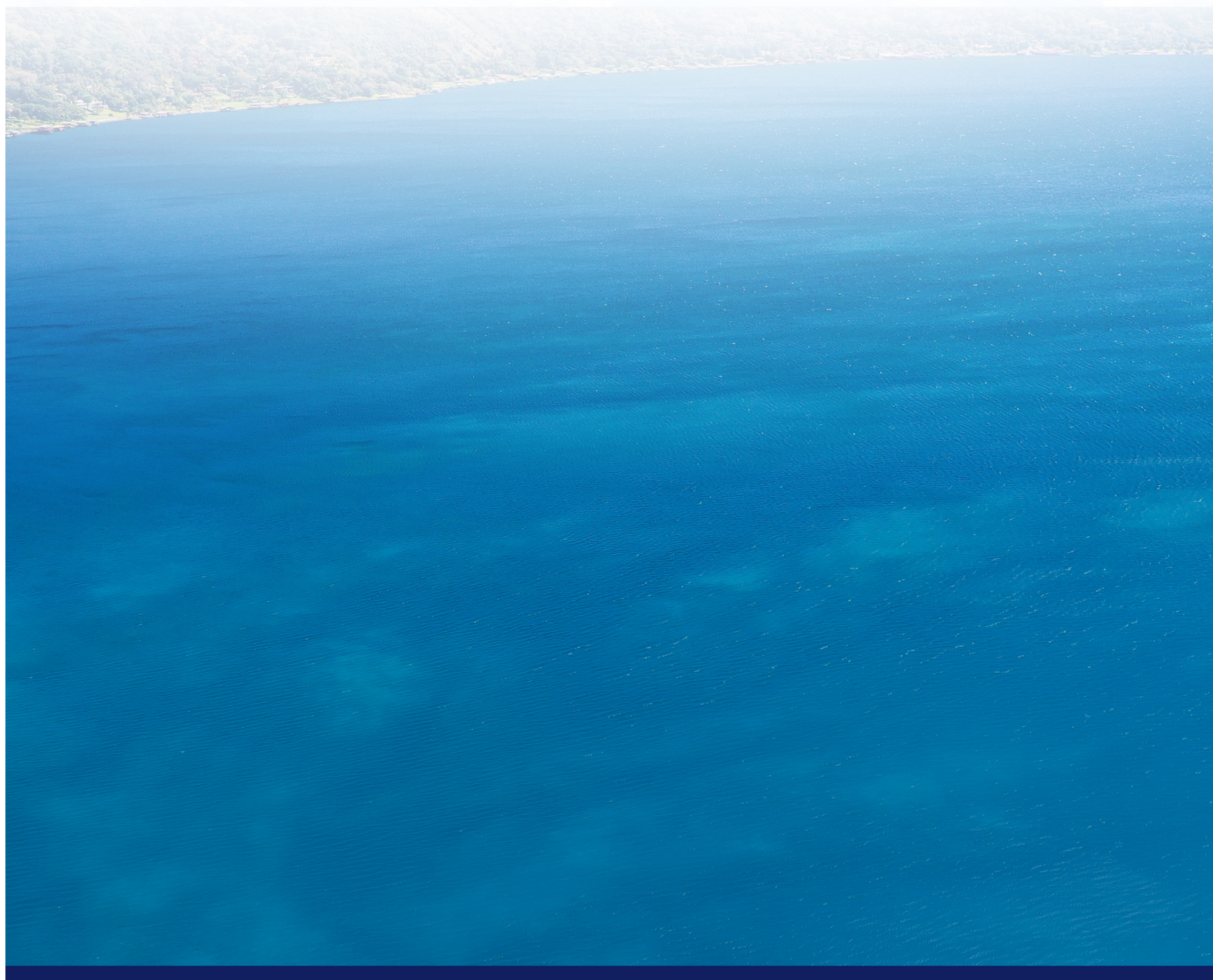




MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE

Producto 3: Informe de Batimetría del Lago de Ilopango

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



Contenido

Resumen ejecutivo	1
Antecedente	3
Objetivo	3
1. Identificación de área o sitio de medición hidrográfica	4
1.1. Ubicación general.....	4
1.2. Descripción morfológica	4
2. Referencias geodésicas.....	5
2.1. Amarre de la red geodésica nacional.....	5
2.2. Amarre altimétrico.	6
3. Metodología de levantamiento batimétrico	8
3.1. Descripción de los trabajos	8
3.1.1. Actividades previas.	8
3.1.2. Rutina y Trabajo de campo diario	8
3.2. Mapa de transectos levantados	9
3.3. Representación del Levantamiento batimétrico	9
3.4. Levantamiento perimetral con GPS GNSS (Rover), zonas perimetrales sin cobertura de ecosonda.....	10
3.5. Sistema de georreferencia utilizada en levantamiento.....	12
3.6.1. Control planimétrico con sistema GNSS	13
3.6.1.1. Base GPS GNSS.....	13
3.6.1.2. Envío de señal de corrección en tiempo real.....	14
3.6.1.3. Puntos de control para base GPS GNSS	14
4. Registro fotográfico del levantamiento batimétrico	17
5. Resultados.....	19
5.1. Acople de MDT con Levantamiento LIDAR.....	19
5.2. Modelo Digital de Elevaciones (MDE).....	20
5.3. Isobatas.....	23
5.4. Medición topográfica y determinación del nivel de espejo de agua.	23
5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen	24
5.6. Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG)	26
5.7. Representación gráfica en ArcGIS del espejo de agua	27
ANEXOS.....	29
ANEXO 1. Ficha de mojón geodésico y banco de marca a gran precisión.....	30
ANEXO 2. Ubicación de sensor hidrométrico, puntos de amarre para control geodésico y vertical.....	31

ANEXO 3. Mapa con ubicación de transectos resultante de levantamiento batimétrico.....	32
ANEXO 4. Levantamiento multihaz del Lago de Ilopango	33
ANEXO 5. Mapa batimétrico general del Lago de Ilopango.....	34
ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría del Lago de Ilopango.....	35
ANEXO 7. Memoria de cálculo.....	36

Índice de imágenes

Imagen 1. Ubicación geográfica del lago de Ilopango.	4
Imagen 2. Mapa geológico en los contornos de la zona de estudio.	5
Imagen 3. Ficha de Red Geodésica Departamento de La Paz.	6
Imagen 4. Ficha de Banco de marca de gran precisión.	7
Imagen 5. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.	9
Imagen 6. Levantamiento multihaz del Lago de Ilopango.	10
Imagen 7. Levantamiento topográfico en zonas perimetrales al lago, sin cobertura con equipo multihaz.	11
Imagen 8. Levantamiento topográfico en zonas perimetrales al lago, sin cobertura con equipo multihaz.	12
Imagen 9. Instalación de Base Trimble SPS855.	13
Imagen 10. Antena Trimble Zephyr 3.	13
Imagen 11. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.....	14
Imagen 12. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.	15
Imagen 13. Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.	16
Imagen 14. Representación gráfica de acople de Batimetría del Lago de Ilopango con datos LIDAR de Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.	19
Imagen 15. Vista de la zona oriente del lago.	20
Imagen 16. Vista de la zona norte del lago.	20
Imagen 17. Vista de la zona sur-este del lago.	21
Imagen 18. Vista de la zona sur-oeste del lago.	22
Imagen 19. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.	23
Imagen 20. Curva E-A-V del Lago de Ilopango.....	24
Imagen 21. Ubicación de islas intermedias al lago de Ilopango.	25
Imagen 22. Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG).	26
Imagen 23. Contorno de espejo de agua y su variación según el cambio de elevación.....	27

Índice de tabla

Tabla 1. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.	5
Tabla 2. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.....	6
Tabla 3. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.....	11
Tabla 4. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.....	14
Tabla 5. Ubicación geodésica y elevación brocal de estación hidrométrica.	15
Tabla 6. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.....	17
Tabla 7. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.....	18
Tabla 8. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.....	28

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.3, correspondiente a Lago de Ilopango; ubicado en el departamento de San Salvador, Republica de El Salvador.

Desarrollado durante los meses de septiembre y octubre de 2020; este trabajo involucro el establecimiento y desarrollo de actividades previas concernientes al establecimiento de referencias geodésicas y altimetrías por medio de puntos de control vertical y de posicionamiento que fueron establecidas por el Centro Nacional de Registros, de donde se obtuvieron los datos y valores ya procesados con el objetivo que los mapas y resultados se generen en concordancia al sistema de referencia utilizado para los trabajos geográficos locales en la Republica de El Salvador.



El Lago de Ilopango, representa el mayor cuerpo de agua dulce de la Republica, con una profundidad de 232m, comprende una zona de captación y almacenamiento de agua producida por un accidente geográfico morfológicamente formado de una depresión vertical de origen volcánico, conformando el cráter, de tipo “caldera volcánica”, su fondo detectado en este estudio se encuentra a una elevación aproximada de 209 metros sobre el nivel promedio del mar, mientras su espejo de agua al momento de la medición hidrográfica se mantenía en el orden de 440.51 metros del mismo sistema de referencia.

Los niveles de espejo de agua, o “nivel del agua” del Lago de Ilopango, es controlado principalmente por su desagüe, que se ubica al costado oriente del cuerpo de agua. También posee ríos tributarios de gran caudal y afluente con arrastre de sedimentos limo arenosos. Lo anterior, especialmente al costado norte, nororiental y norponiente con tributaciones de ríos que azolvan lentamente a una tasa agresiva según las imágenes y representaciones en tres dimensiones obtenidas como parte de este trabajo.

Utilizando una ecosonda Multiház de alta resolución, se realizó el levantamiento batimétrico con el uso de una embarcación debidamente equipada con equipos de posicionamiento GNSS, corrección de movimiento con sensor inercial, computadora de a bordo con programa de adquisición de datos hidrográficos, perfilómetro de

velocidad del sonido y por supuesto el personal técnico nacional con la mas alta experiencia en la realización de mapeo hidrográfico.

Según los resultados obtenidos y en consideración del modelo digital de terreno (DTM) comparado con la superficie de agua encontrada, se obtuvo un volumen de agua actual de 10.80 kilómetros cúbicos de agua en una superficie de 70 kilómetros cuadrados de espejo hidráulico.

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, generación de datos en Sistema de Identificación Geográfica (SIG) correspondientes a los requerimientos de variación del área del espejo hidráulico con respecto a la disminución de la elevación y su respectivo cambio en el volumen de agua dentro del reservorio de la caldera.

En consideración de los resultados obtenidos en este trabajo, se menciona que la caldera de Ilopango posee profundidades de fondo del cráter mayores a los 232m; taludes y pendientes verticales de gran consideración, con materiales producto de las acciones volcánicas del sitio, condiciones ideales para la navegación durante horas diurnas, vientos frecuentes durante las tardes y sus aguas poseen emanaciones probablemente de azufre en ciertas horas especialmente al costado nororiente.

En su entorno de aguas someras, el Lago de Ilopango se encuentra cubierto por plantas acuáticas y zacate de humedales que imposibilitaron las mediciones hidrográficas con la ecosonda Multiház, haciéndose necesario realizar trabajos de topo-batimetría en el contorno de este.

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

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 Ilopango, 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 Ilopango.

1. Identificación de área o sitio de medición hidrográfica

1.1. Ubicación general

El lago de Ilopango es un lago de origen volcánico en El Salvador. Tiene una superficie de 72 km², profundidad máxima de 230m y se sitúa a una altitud de 440.51 msnm. Se encuentra en las coordenadas geográficas centrales E: 495062m y N: 282974m, a 16 km de la ciudad San Salvador, entre los departamentos de San Salvador, Cuscatlán y La Paz.



Imagen 1. Ubicación geográfica del lago de Ilopango.

1.2. Descripción morfológica

Las zonas adyacentes a la caldera de Ilopango están rodeadas por tres formaciones volcánicas denominadas: Formación Bálsamo del Mioceno Tardío-Plioceno, la Formación Cuscatlán (Plioceno-Pleistoceno temprano y la Formación San Salvador del Pleistoceno Tardío-Holoceno.

La Formación Bálsamo, la unidad principal en la estructura de la Cordillera del Bálsamo ubicada al sur del Graben Central y la litoestratigrafía más antigua, representa los restos de grandes estratovolcanes, tobas y brechas volcánicas epiclásicos, flujos de lavas basálticas andesíticas. La Formación Cuscatlán es un conjunto de productos explosivos asociados a la evolución de las calderas Jayaque e Ilopango, más joven o contemporáneo a la Formación Bálsamo, comprende domos silícicos, tobas, ignimbritas, interestratificadas localmente con basaltos y/o lavas andesíticas. La Formación San Salvador se encuentran mayoritariamente en el sector norte del sitio de estudio, comprende una compleja unidad de coladas de lavas, aluviones y tefra de las calderas Coatepeque, el volcán de San Salvador e Ilopango asociados con la evolución del Graben Central

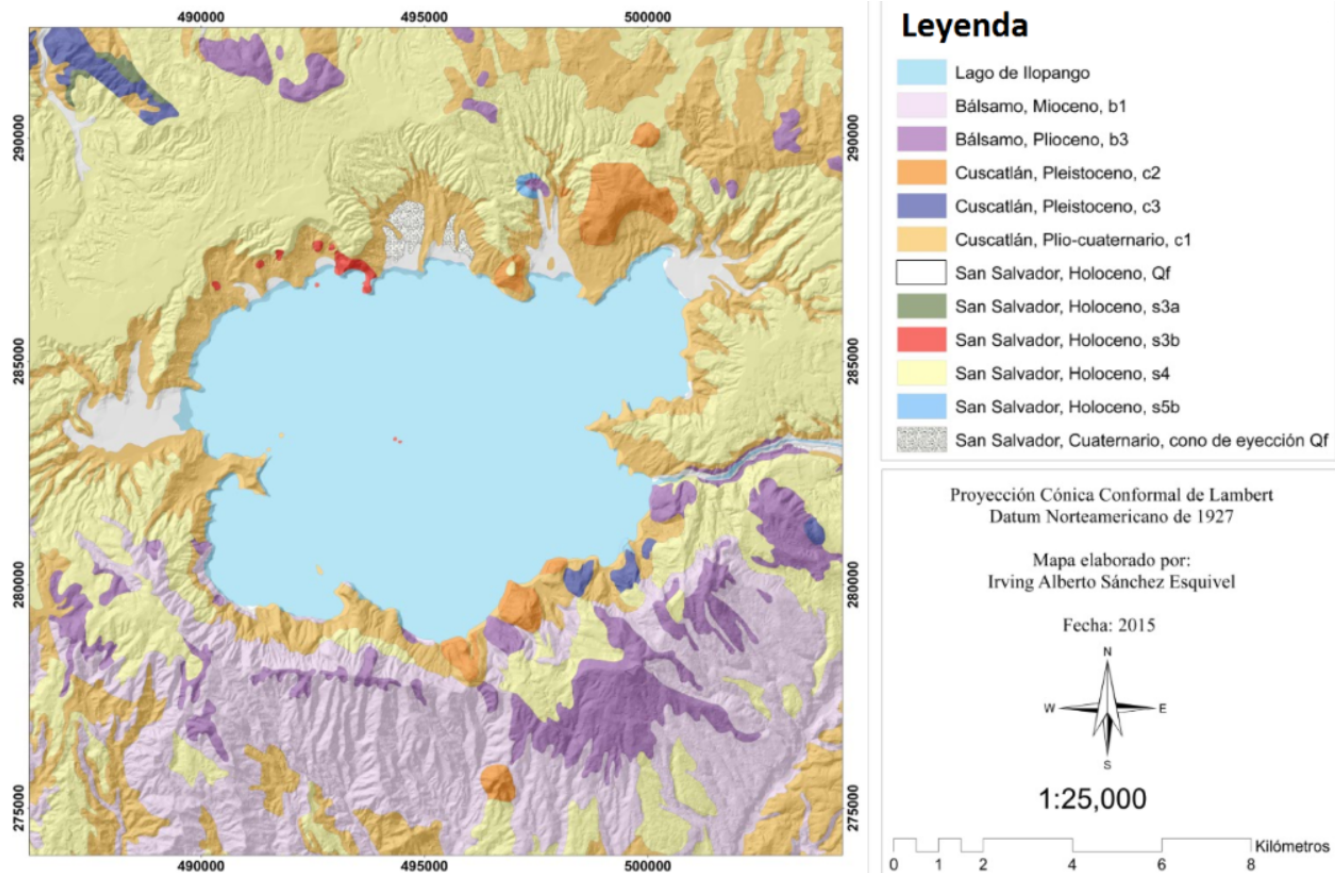


Imagen 2. Mapa geológico en los contornos de la zona de estudio.

2. Referencias geodésicas

2.1. Amarre de 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	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (elipsoidal)
ESTACIÓN CIRO (según código de CNR)	277896.252	491441.378	879.731

Tabla 1. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.

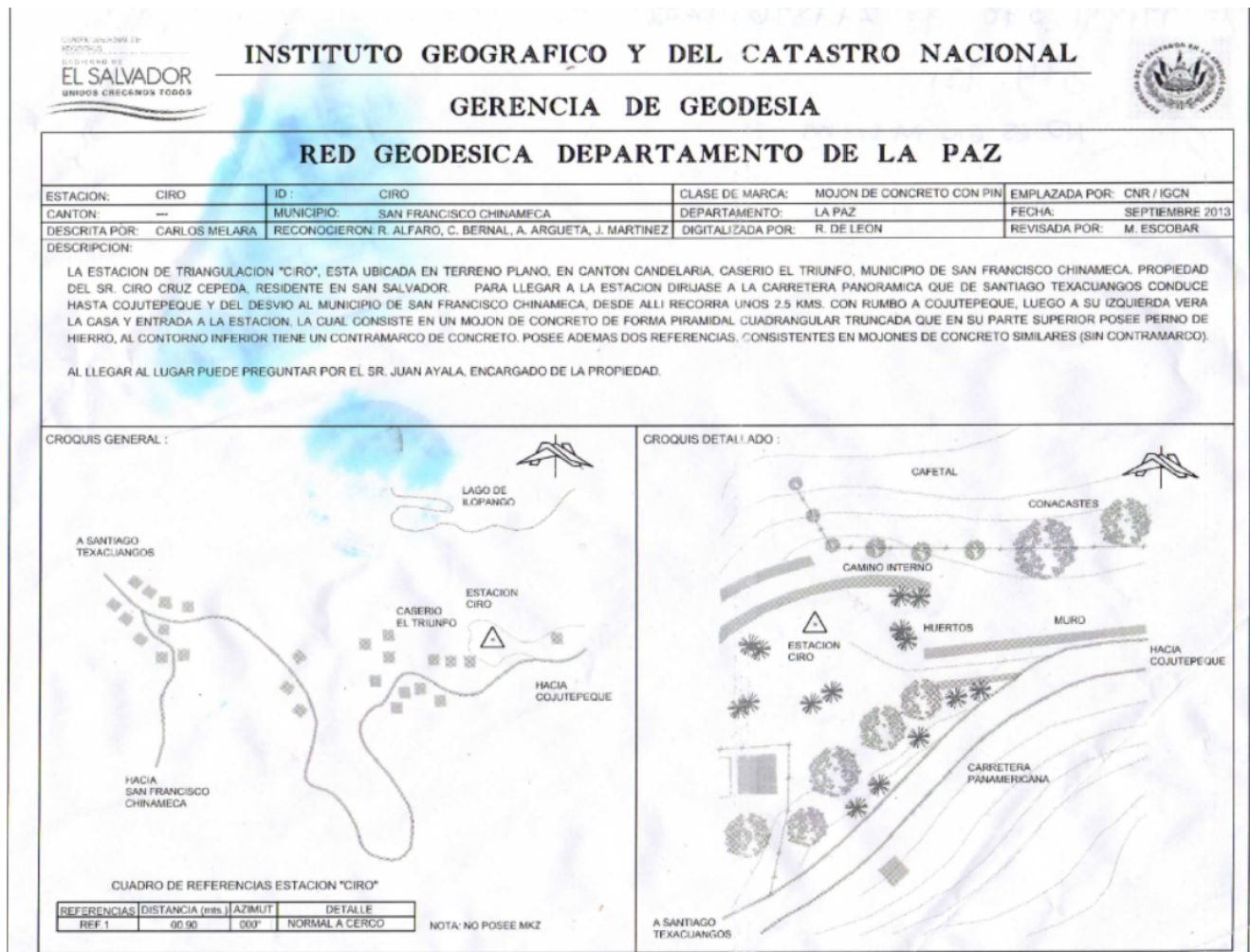


Imagen 3.Ficha de Red Geodésica Departamento de La Paz.

2.2. Amarre altimétrico.

Se utilizó el Banco de Marca proporcionado por CNR.

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)
BM-A-AUX1A3	287068.871	489511.989	650.3211

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

Línea: A	De: Palacio Nacional(S.S.)	Pasando Por: Cojutepeque (Cuscatlán)	A: Puente Cuscatlán (San Vicente)
Identificación: BM: A-AUX1A3	Tipo de Marca: Mojón con Placa		Elevación - Mts <u>650.3211</u>
Orden: PRIMER ORDEN	Datum: La Unión		establecida por: CNR/IGCN
Leyenda Grabada en la Marca: AUX-1-A-3	Organización-Fundida en la Marca: M.O.O.P.P.		
País: El Salvador	Departamento: San Salvador	Municipio: Ilopango	
Colonia:	Lugar: desvío a Lago de Ilopango		
Coordenada WGS84: 13°42'19" N, 89°05'49" W Alt elipsoidal: Tipo Coordenada: Navegación <u>X</u> Ajustadas			
Descrita por: Oscar Pérez	Digitalizada por: Rafael López	Revisada por:	
Observador: Rafael López	Equipo: Nivel Geodésico Sokkia SDL1X	Fecha: Abril 2013	

Descripción:

El BM: A-AUX1A3 está ubicado en Carretera Panamericana en desvío al balneario del Lago de Ilopango.

Para llegar tome como punto de partida la pasarela de la Terminal de Oriente con Rumbo a San Martín y recorra una distancia de 9.5 kms llegara a Desvío a Lago Ilopango Lugar donde está el BM.

El BM: consiste en un Mojón con Placa descubierto 0.10 mts.

Croquis de Ubicación y Referencias Graficas

N°	Referencia	Distancia
1	Poste Concreto Electricidad	7.83 mts
2	Árbol de Ámate	7.33 mts
3	Poste Concreto Sostenedor	28.24 mts
4	Esquina de Banca de Cemento	2.57 mts
5	Esquina de Banca de Cemento	1.23 mts

Imagen 4. Ficha de Banco de marca de gran precisión.

3. Metodología de levantamiento batimétrico

3.1. Descripción de los trabajos

Al igual que el levantamiento batimétrico del Lago de Coatepeque; este trabajo de medición de profundidades se ha realizado con ecosonda Multiház de alta resolución; siguiendo estándares y procedimientos dictados por la OHI (Organización Hidrográfica Internacional). En tal sentido, en el presente trabajo todas las actividades han sido desarrolladas con el uso de equipo profesional de última tecnología, alta precisión de adquisición de datos tanto de posicionamiento como de la medición vertical de profundidades, utilizando también el más moderno de los programas hidrográficos de adquisición de datos y uso a nivel mundial para trabajos de mapeo hidrográfico.

3.1.1. Actividades previas.

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

El trabajo aquí descrito comprendió la realización de actividades previas de preparación de referencias geodésicas y altimétricas. Dichas referencias se ubicaron al Sur del Lago de Coatepeque para el control horizontal, y la utilización de un Banco de Marca del CNR ubicado en el desvío de Apulo para el control vertical.

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 variable y acorde a los avances de la embarcación, y su posición alejada de una ubicación cualquiera. Es por ello, que todos los días, se instalaba y desinstalaba el equipo de corrección satelital en tiempo real: GPS Base y Radio VHF en un punto conocido.

Calibración de equipo: la calibración de los equipos de medición, es continua mediante el monitoreo constante y permanente por medio del mismo programa operativo de la ecosonda Multiház, el programa WBMS GUI, controla y verifica en todo momento las precisiones verticales, el posicionamiento horizontal, la recepción de señal RTK de buena calidad y la transferencia al programa de adquisición Qinsy, que también organiza y filtra los datos crudos recibidos del sistema operativo de la ecosonda, sensor de movimiento integrado, posicionamiento y por supuesto el almacenamiento de toda la información en un orden adecuado y ordenado para el fácil manejo posterior de los datos y la emisión de resultados en un ambiente gráfico de gran calidad

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 y almacenaje en otro computador diferente al utilizado en la embarcación.

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.

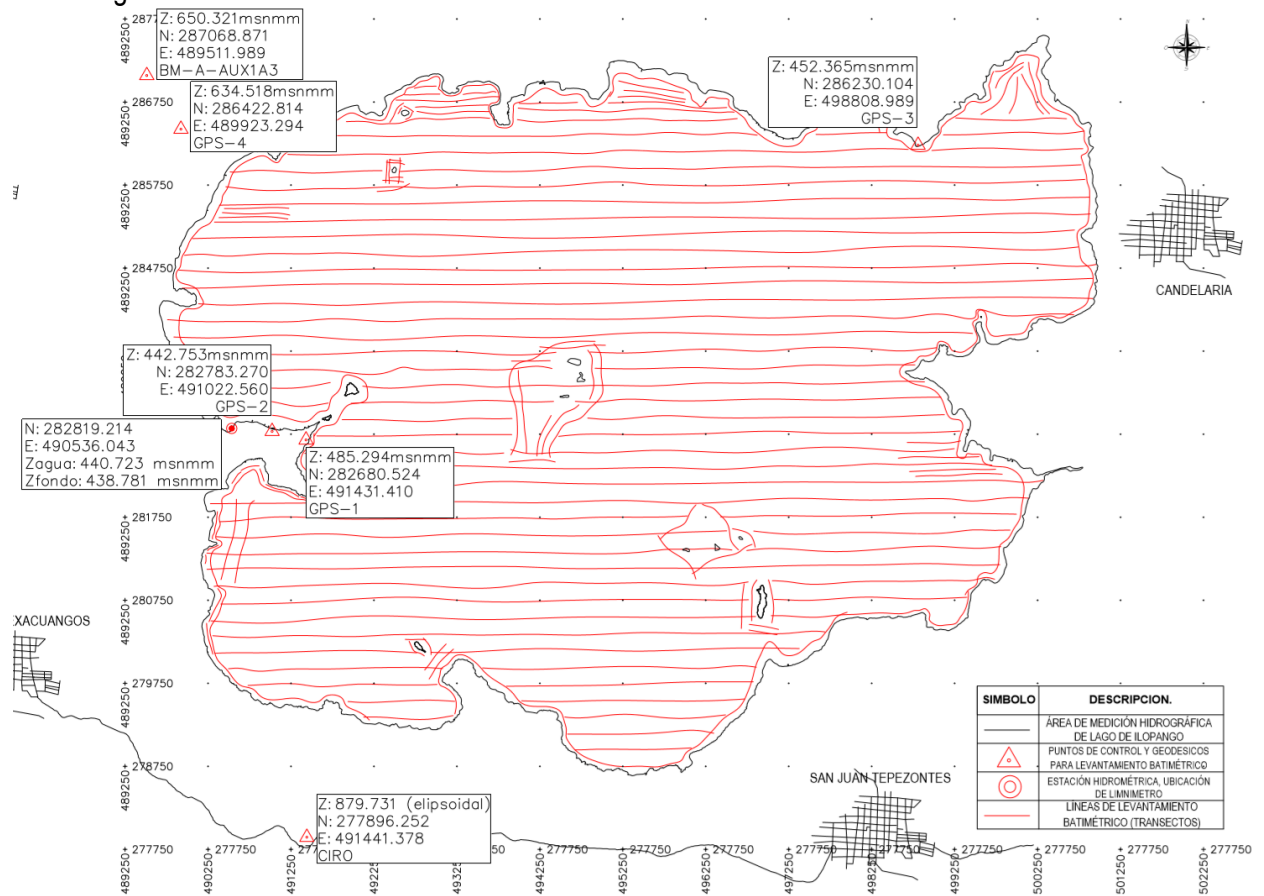


Imagen 5. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.

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.

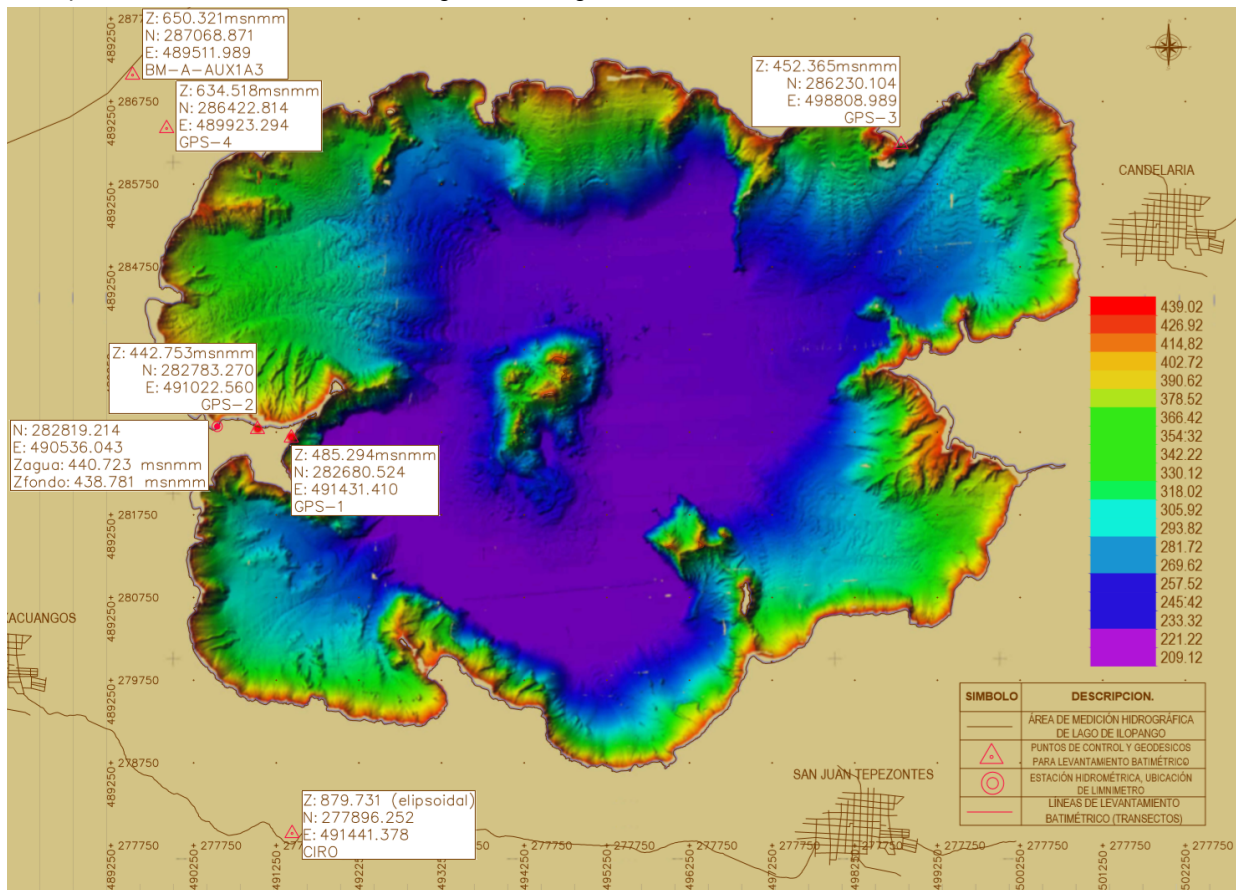


Imagen 6. Levantamiento Multiház del Lago de Ilopango.

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

Durante el levantamiento batimétrico realizado con ecosonda Multiház, no se ha podido cubrir zonas perimetrales del lago de Ilopango 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	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)
GPS-1	282680.524	491431.410	485.294
GPS-2	282783.270	491022.560	442.753
GPS-3	286230.104	498808.989	452.365
GPS-4	286422.814	489923.294	634.518

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

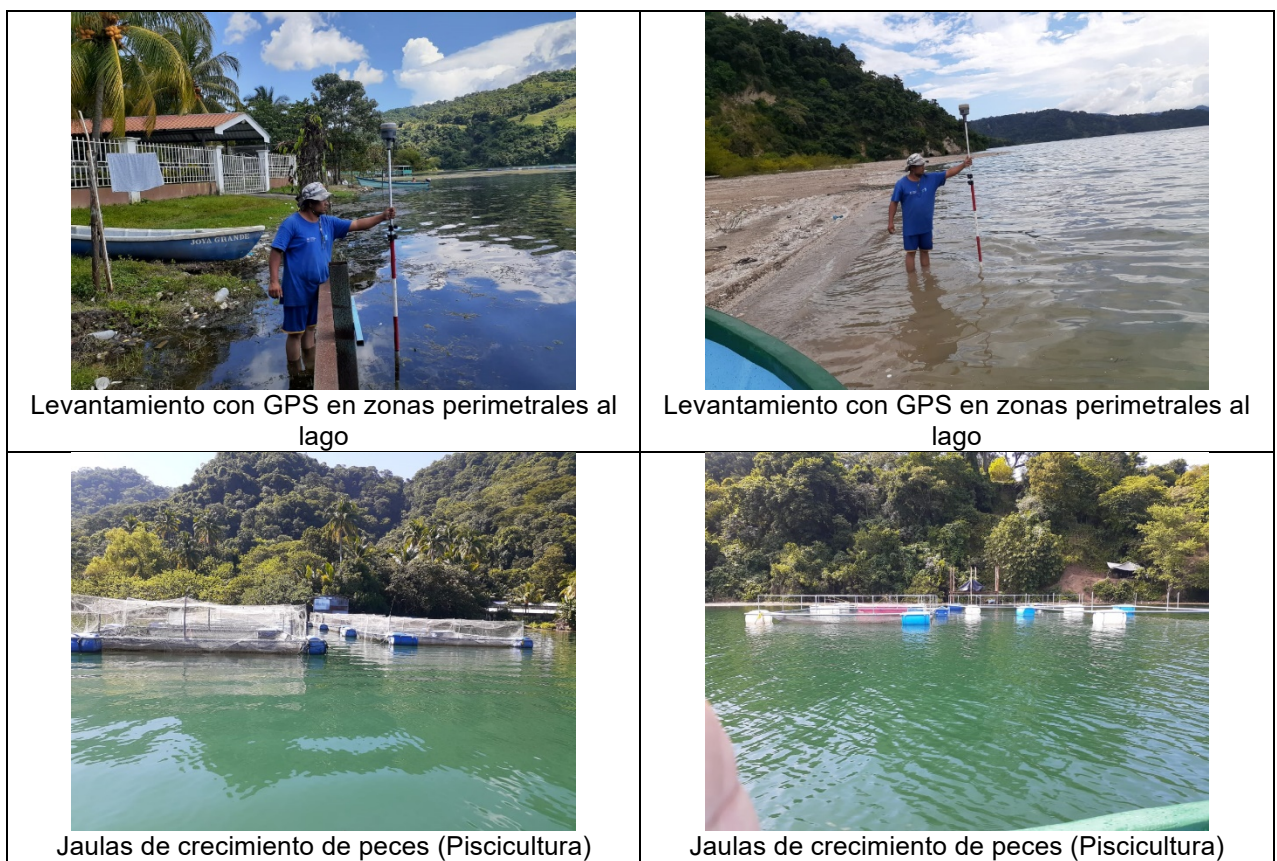


Imagen 7. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales al lago, sin cobertura con equipo Multiház.

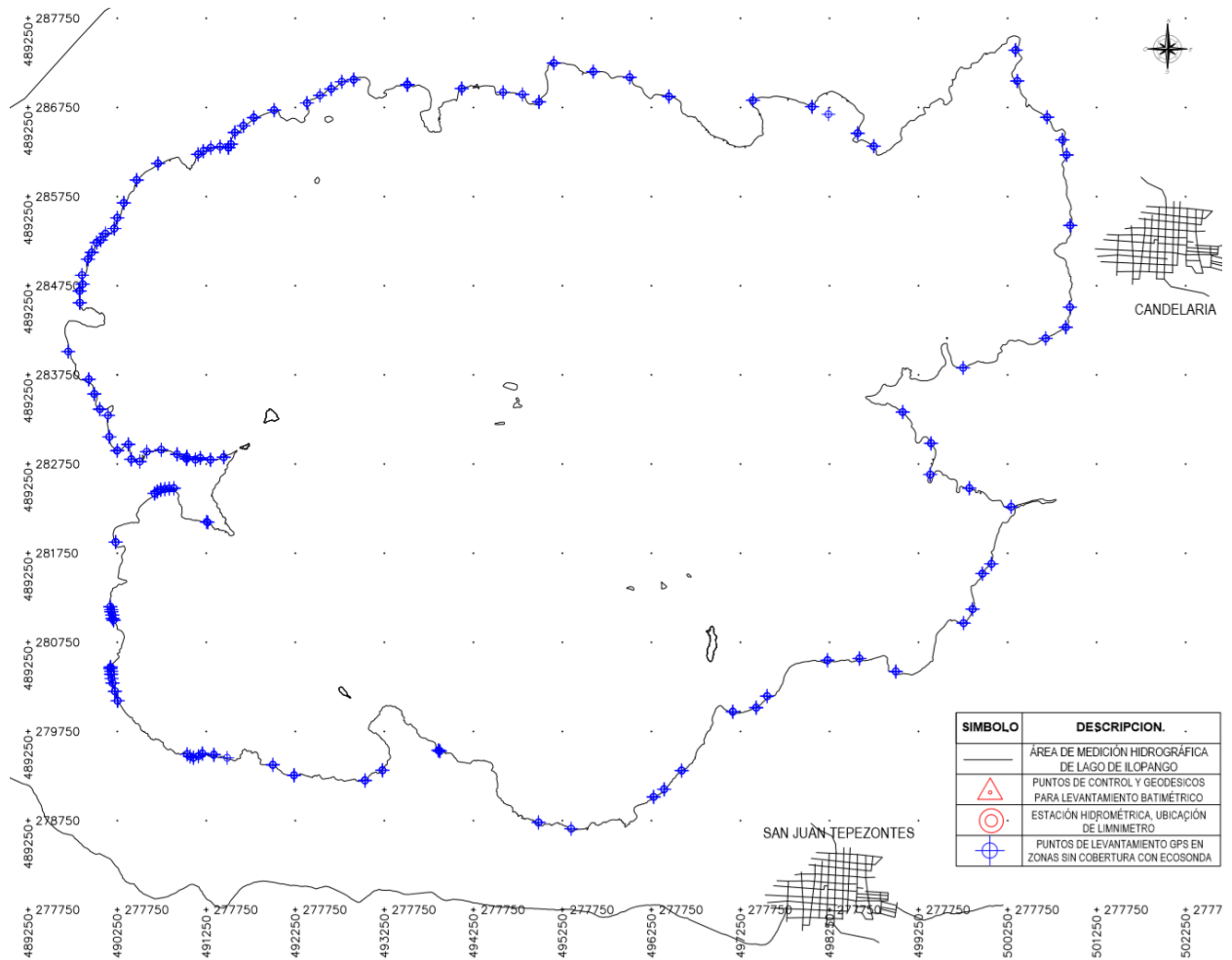


Imagen 8. Perímetro de levantamiento topográfico en zonas perimetrales al lago, sin cobertura con equipo Multiház.

3.5. Sistema de georreferencia utilizada en levantamiento

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 de C.N.R: ESTACIÓN CIRO y sus referencias.

3.6. Posicionamiento, corrección de error y control vertical

3.6.1. Control planimétrico con sistema GNSS

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 utilizó 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. **Puntos de control para base GPS GNSS**

Partiendo del punto geodésico “Lago de Ilopango” 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	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnmm)
GPS-1	282680.524	491431.410	485.294
GPS-2	282783.270	491022.560	442.753
GPS-3	286230.104	498808.989	452.365
GPS-4	286422.814	489923.294	634.518

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

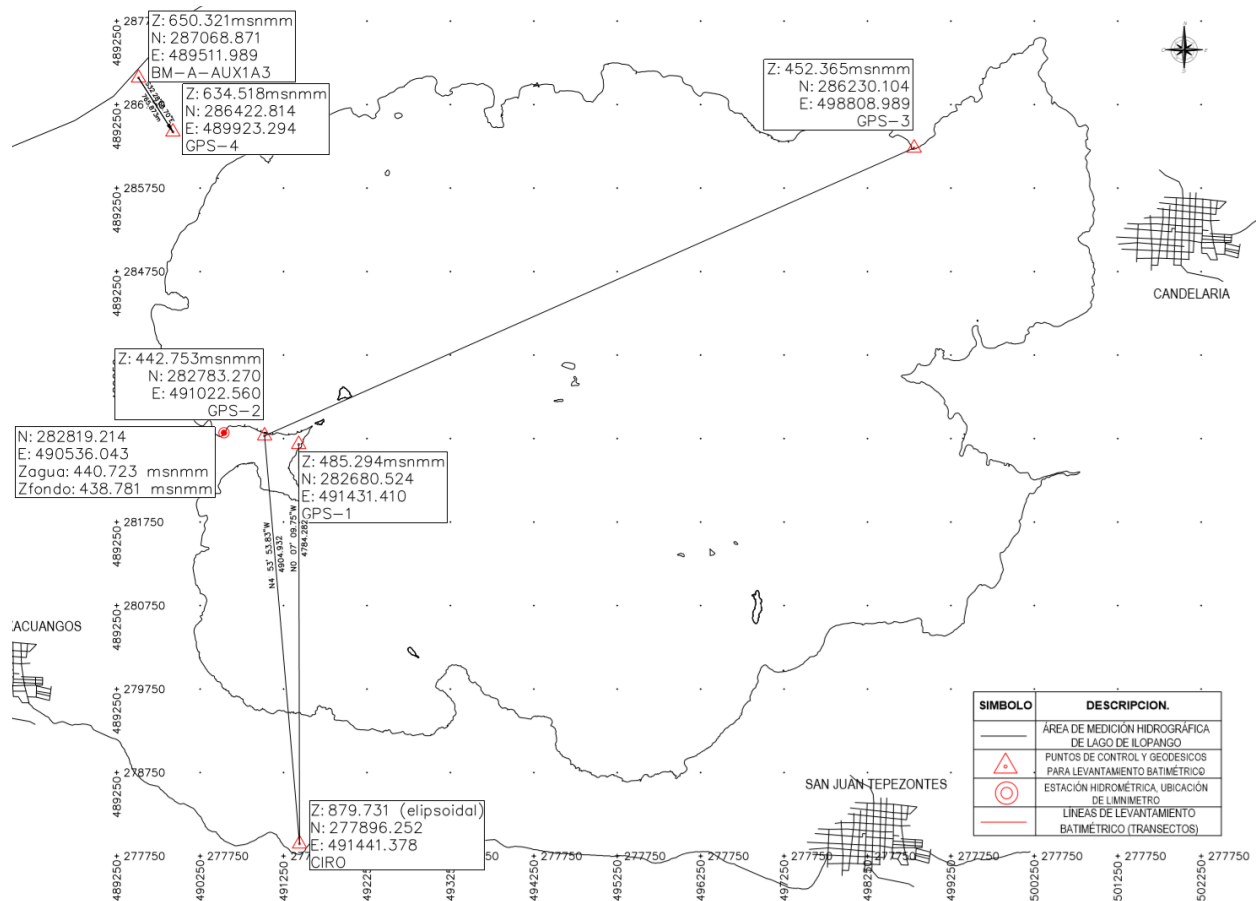


Imagen 12. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.

3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica

A continuación, se detallan las coordenadas de la estación hidrométrica del lago de Ilopango:

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnmm)	Descripción
LIMN-01	282819.214	490536.043	438.781	Elevación de fondo en estación hidrométrica
			440.723	Elevación hasta el espejo de agua
El nivel de cota máxima indicada por los pobladores fue de 441.894m.s.n.m Con coordenadas N: 286319.837 E: 491483.950				

Tabla 5. Ubicación geodésica y elevación brocal de estación hidrométrica.

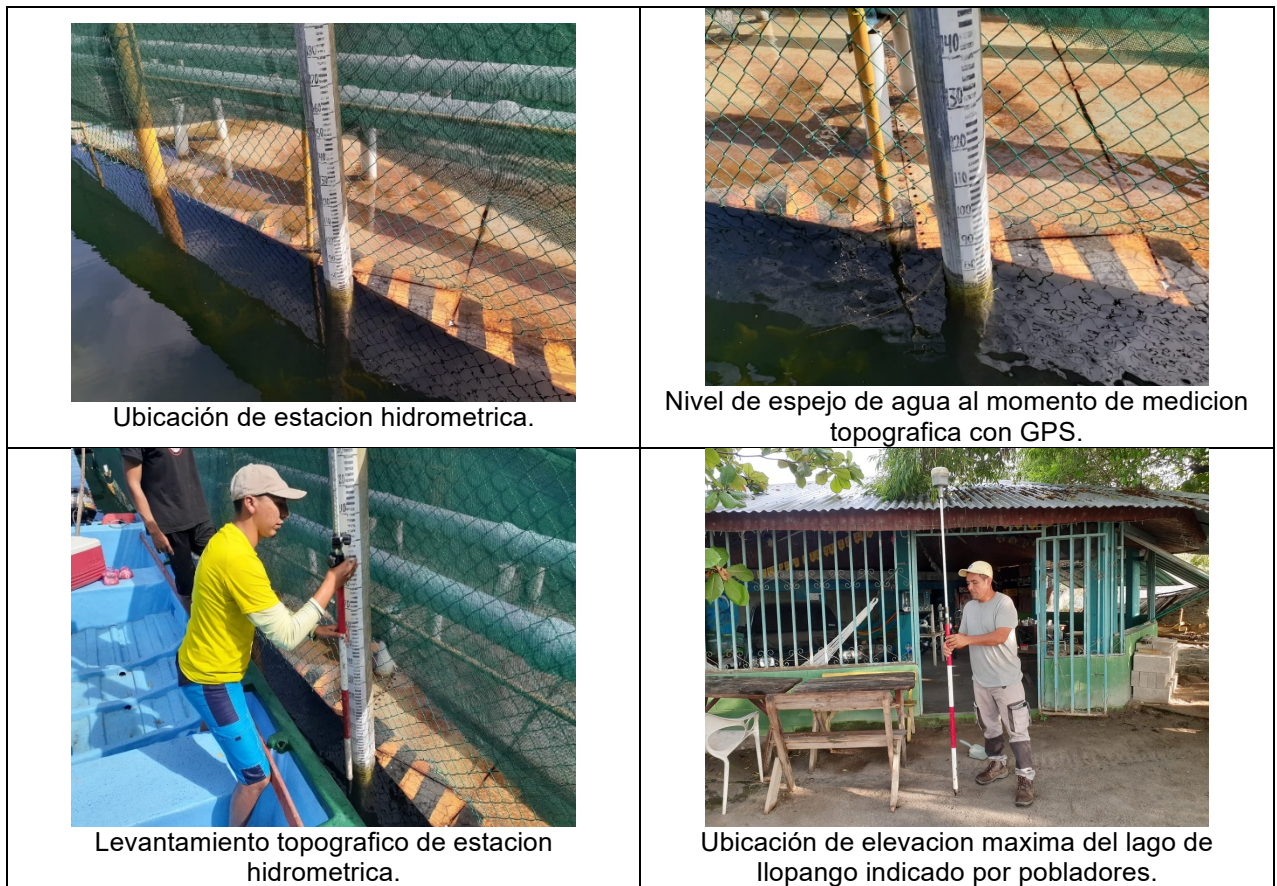


Imagen 13. Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.

3.6.2. Control vertical de adquisición de datos

Ecosonda Multihaz NORBIT-iWBMSe: en el presente trabajo, se adquirieron los datos de profundidades por medio de una Ecosonda Multihaz de banda ancha, todo en uno (side scan sonar, backscatter y record 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 Multihaz 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 Geoconsulting 01 MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 75 Hp, Marca YAMAHA	MANGA: 25 pies ESLORA: 27 pies CALADO VACÍO: 2.5 pies
REALIZACIÓN DE BATIMETRÍA EN LAGO DE ILOPANGO	
 Embarcadero en Canton Joya Grande	 Instalacion de Base SPS 855 en GPS-1
 Instalacion de Base R10 en GPS-1	 Equipo hidrográfico instalado en embarcación
 Equipo hidrográfico instalado en embarcación	

Tabla 6. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.

REALIZACIÓN DE LEVANTAMIENTO TOPO-BATIMÉTRICO EN LAGO DE ILOPANGO



Jaulas de crecimiento de peces que obstaculizaron la medición con multihaz



Jaulas de crecimiento de peces que obstaculizaron la medición con multihaz



Levantamiento topográfico con GPS en las zonas de poca profundidad



Levantamiento topográfico con GPS en las zonas de poca profundidad



Levantamiento topográfico con GPS en las zonas de poca profundidad



Levantamiento topográfico con GPS en las zonas de poca profundidad

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

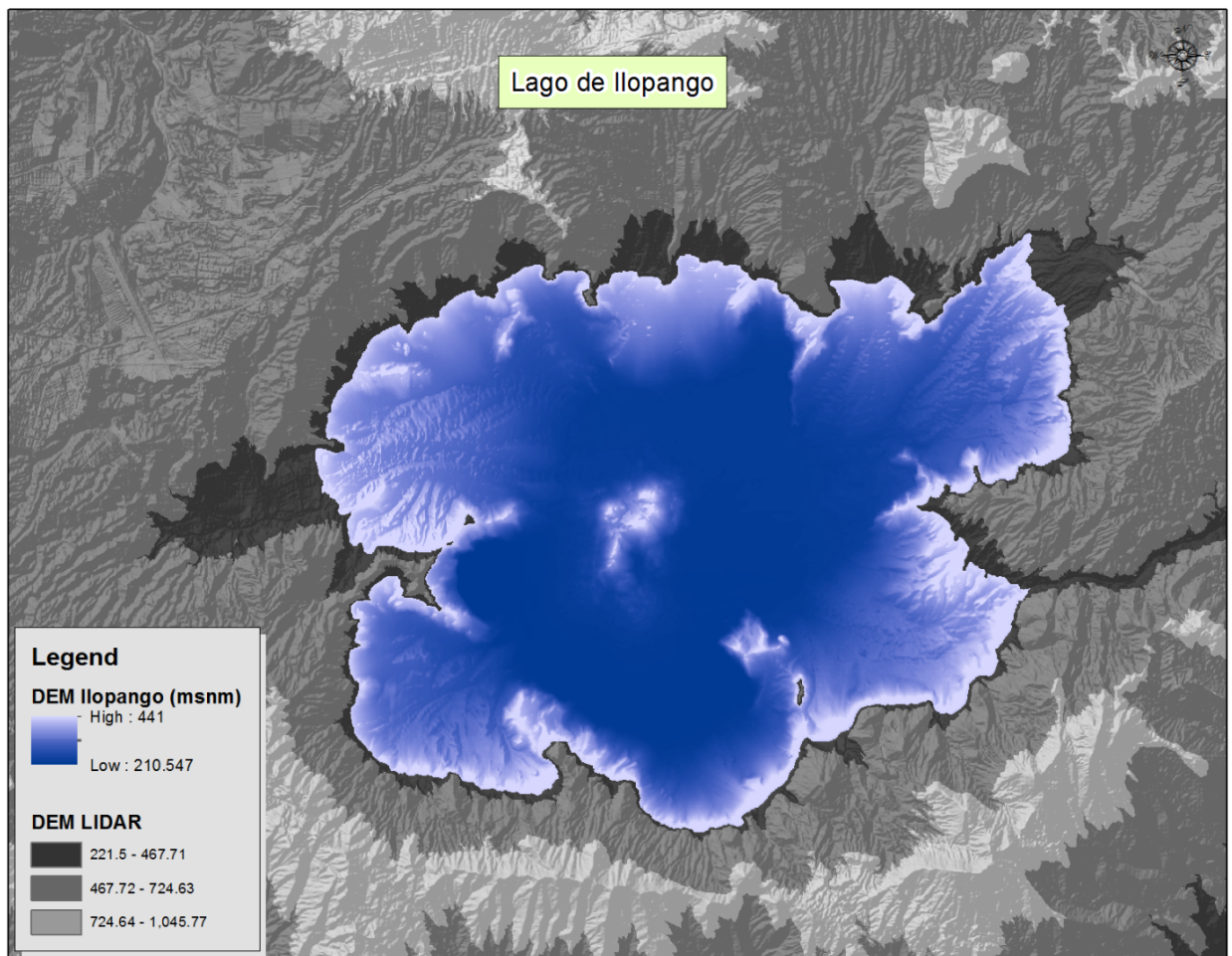


Imagen 14. Representación gráfica de acople de Batimetría del Lago de Ilopango con datos LIDAR de Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.

5.2. Modelo Digital de Elevaciones (DTM)

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

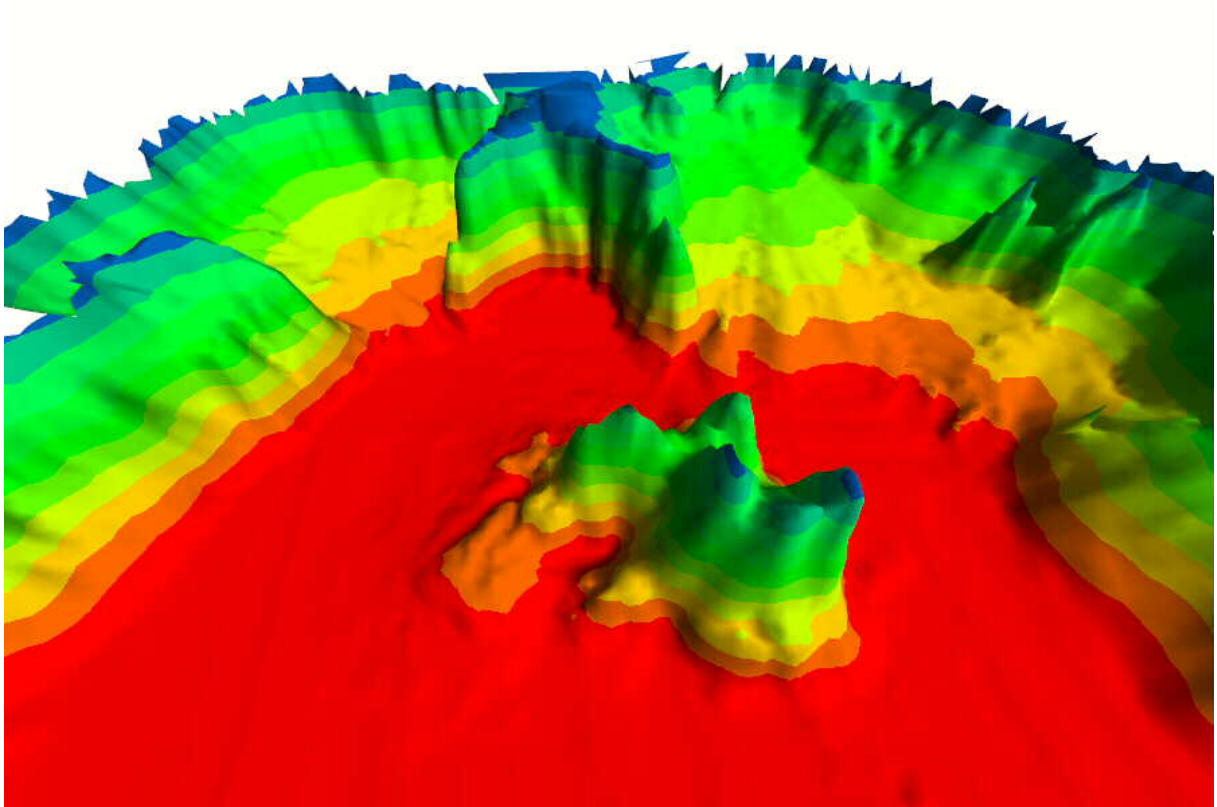


Imagen 15. Vista de la zona oriente del lago.

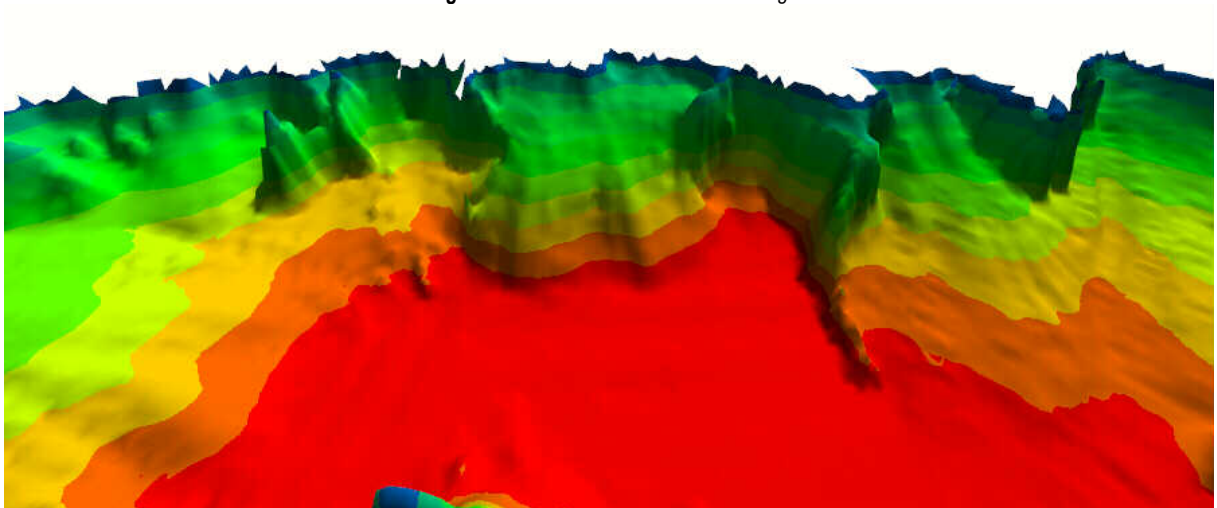


Imagen 16. Vista de la zona norte del lago.

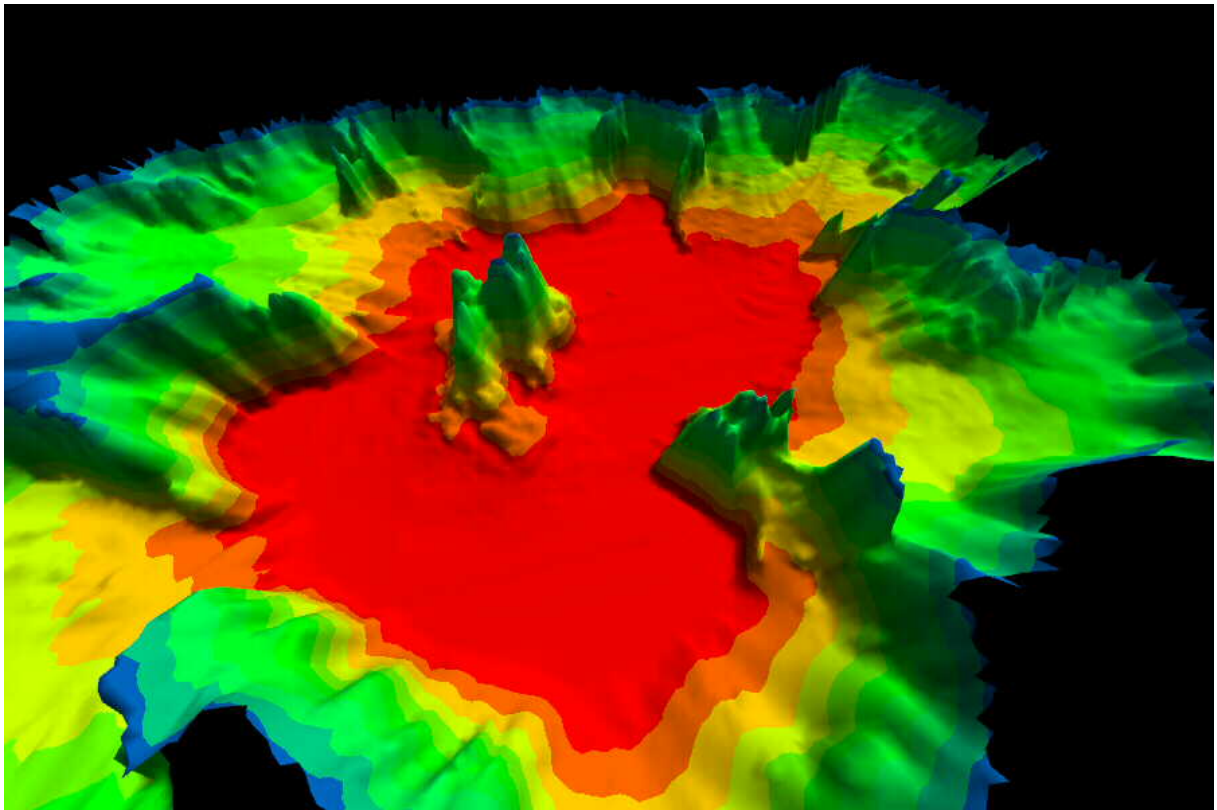
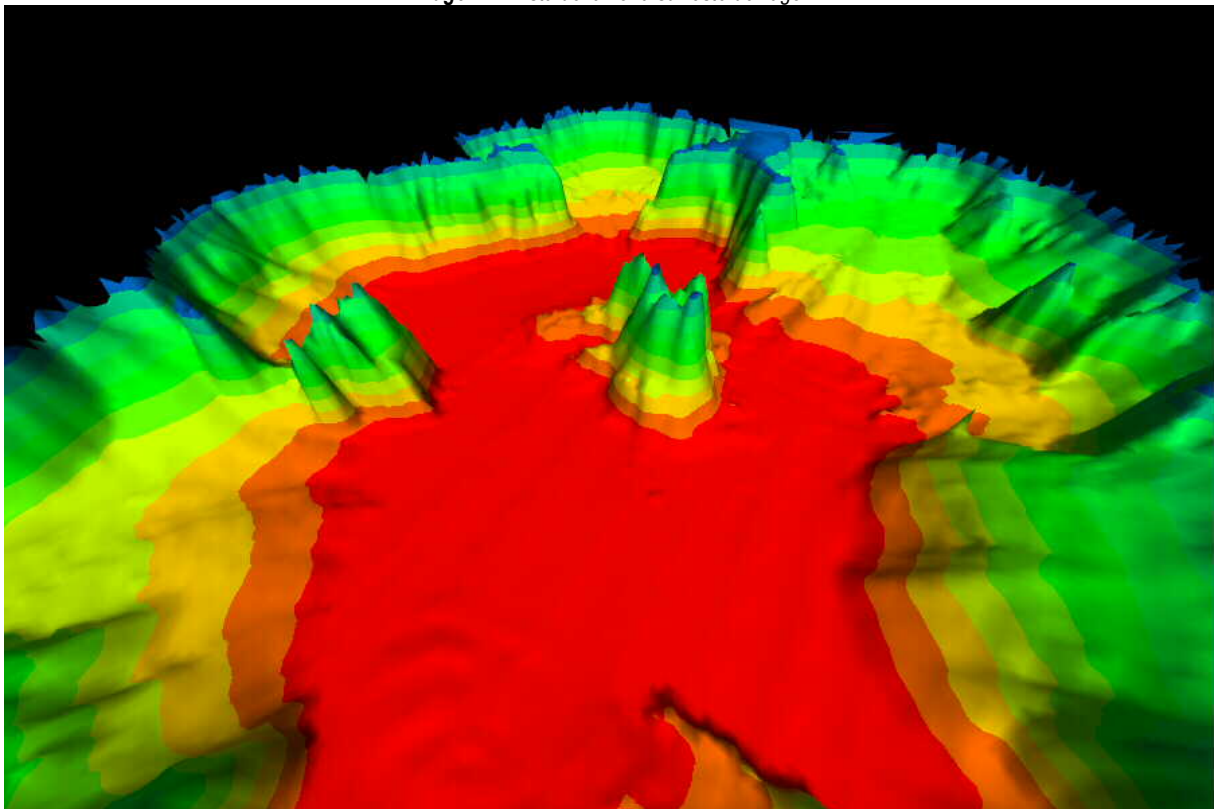


Imagen 17 Vista de la zona sur-este del lago.



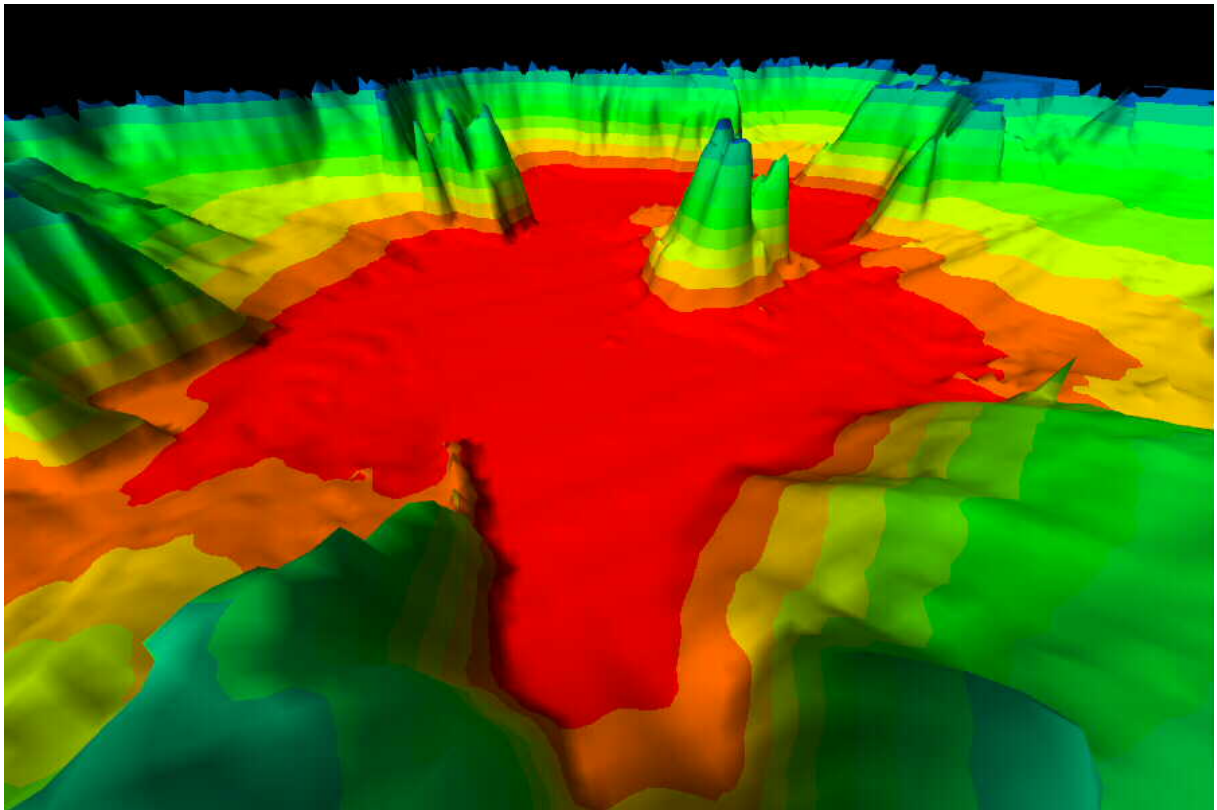


Imagen 18. Vista de la zona suroeste del lago.

5.3. Isobatas.

Modelo de Isobatas del levantamiento batimétrico con un espaciamiento vertical de 5m.

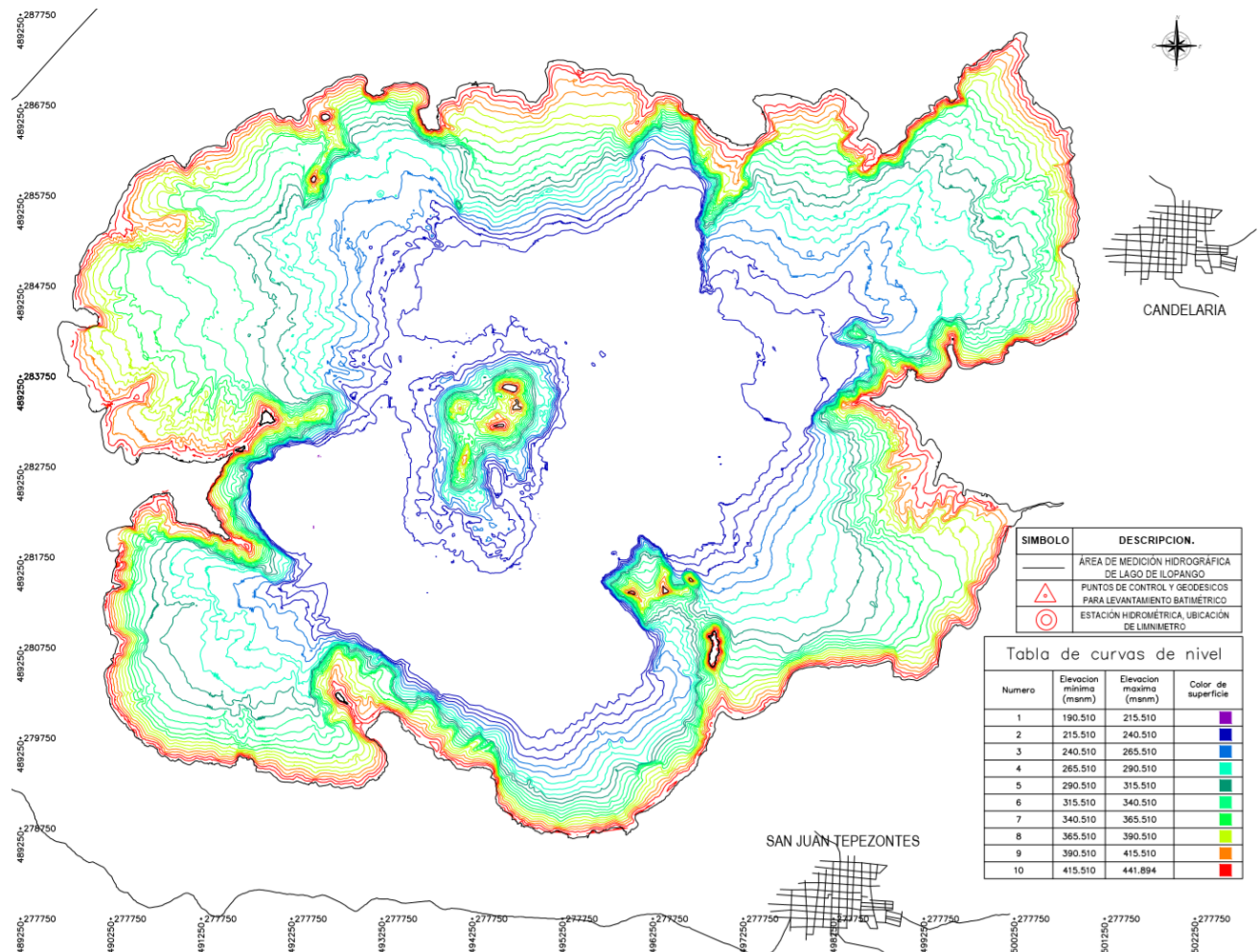


Imagen 19. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.

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

La elevación del nivel del espejo de agua registrado fue de: 440.510 aunque en algunos casos durante la medición de los niveles en el sensor hidrométrico fue de 440.723, 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. Curvas Elevación – Área – Volumen

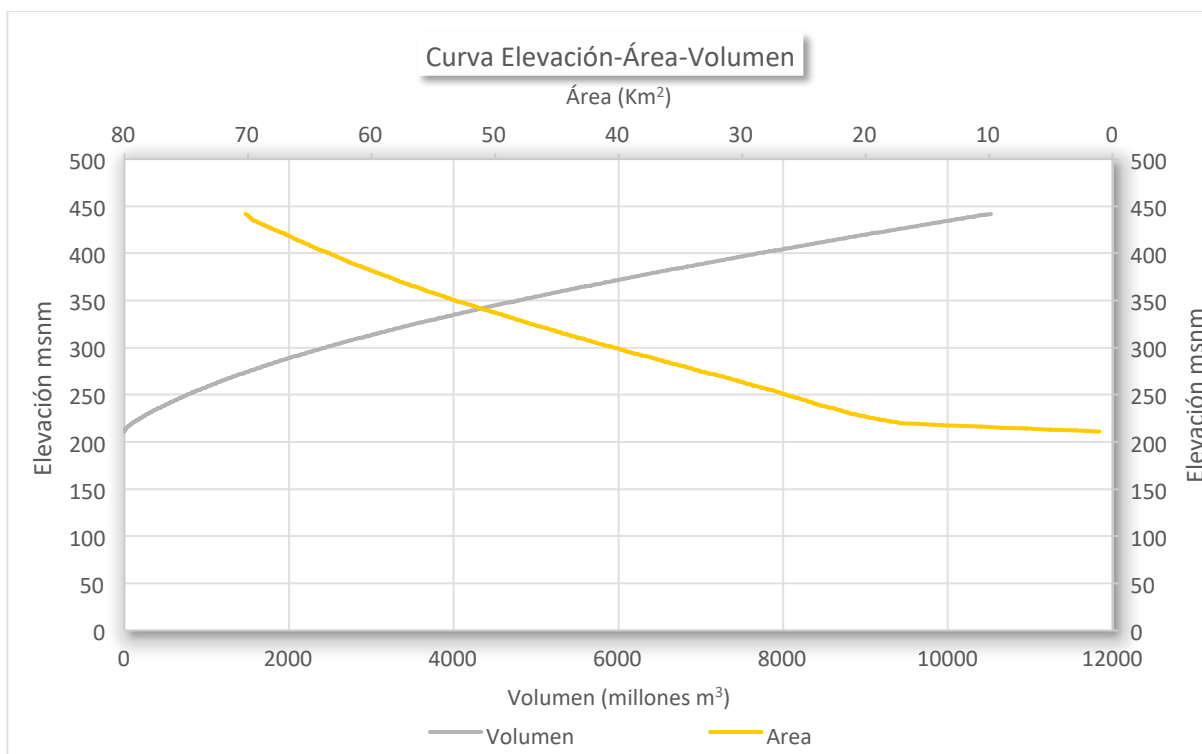


Imagen 20. Curva E-A-V del Lago de Ilopango.

Volumen de agua al nivel de espejo de agua

Durante la medición (440.510 m.s.n.m.m):

10,383.800 Millones de m³
10.384 kilómetros cúbicos (km³)

**Volumen de agua al nivel máximo histórico del lago,
indicado por los pobladores (441.894 m.s.n.m.m):**

10,516.56 Millones de m³
10.517 kilómetros cúbicos (km³)

Datos topo-batimétricos resultantes de las mediciones.

Elevación mínima del fondo del lago: 209.070 m.s.n.m
Elevación del espejo de agua al momento de medición: 440.510 m.s.n.m
Elevación máxima histórica del lago indicada por pobladores: 441.894 m.s.n.m
Profundidad máxima de columna de agua encontrada: 231.440 m
Islas intermedias al lago: 8

Alto transporte de sedimentos lacustres observado: Asolvamiento desde lateral Oeste (rio El Chagüite), Norte (rio Guluchapa) y Nororiente (rio Cujuapa y arenal Chacuyo) por escorrentía superficial, materiales arenosos transportados hasta el fondo del lago, se observa gráficamente cuña de depósitos en la representación del DTM del modelo obtenido con la ecosonda Multiház. (ver mapa u hoja 3/5)

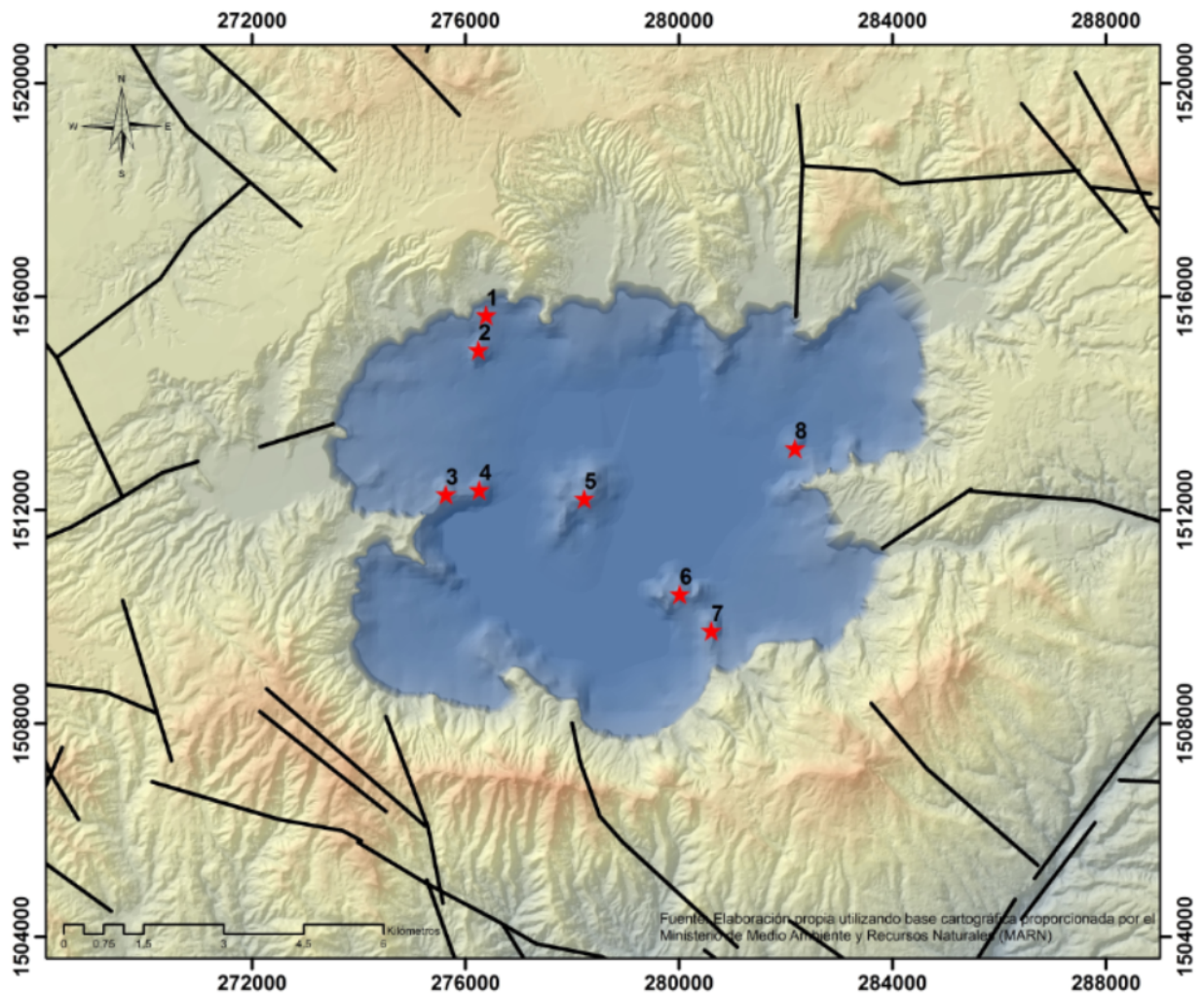


Imagen 21. Ubicación de islas intermedias al lago de Ilopango.

1. Islas Chachagaste, 2. Sin nombre, 3. Isla Portillo, 4. Isla Cerrón, 5. Islas Los Cerros Quemados, 6. Sin nombre, 7. Isla Cerro Los Patos y 8. Sin nombre

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.

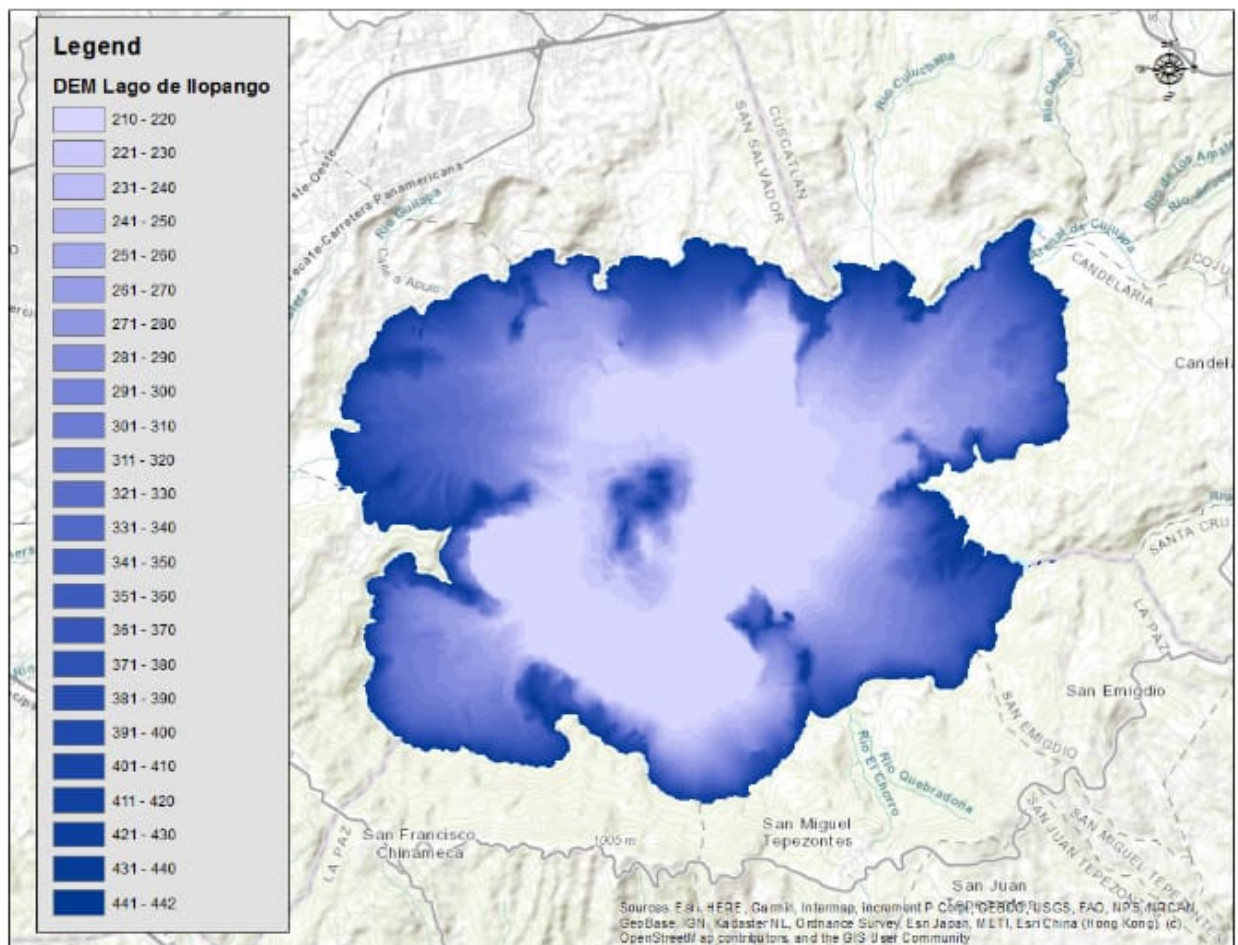


Imagen 22. Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG).

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 5 años.

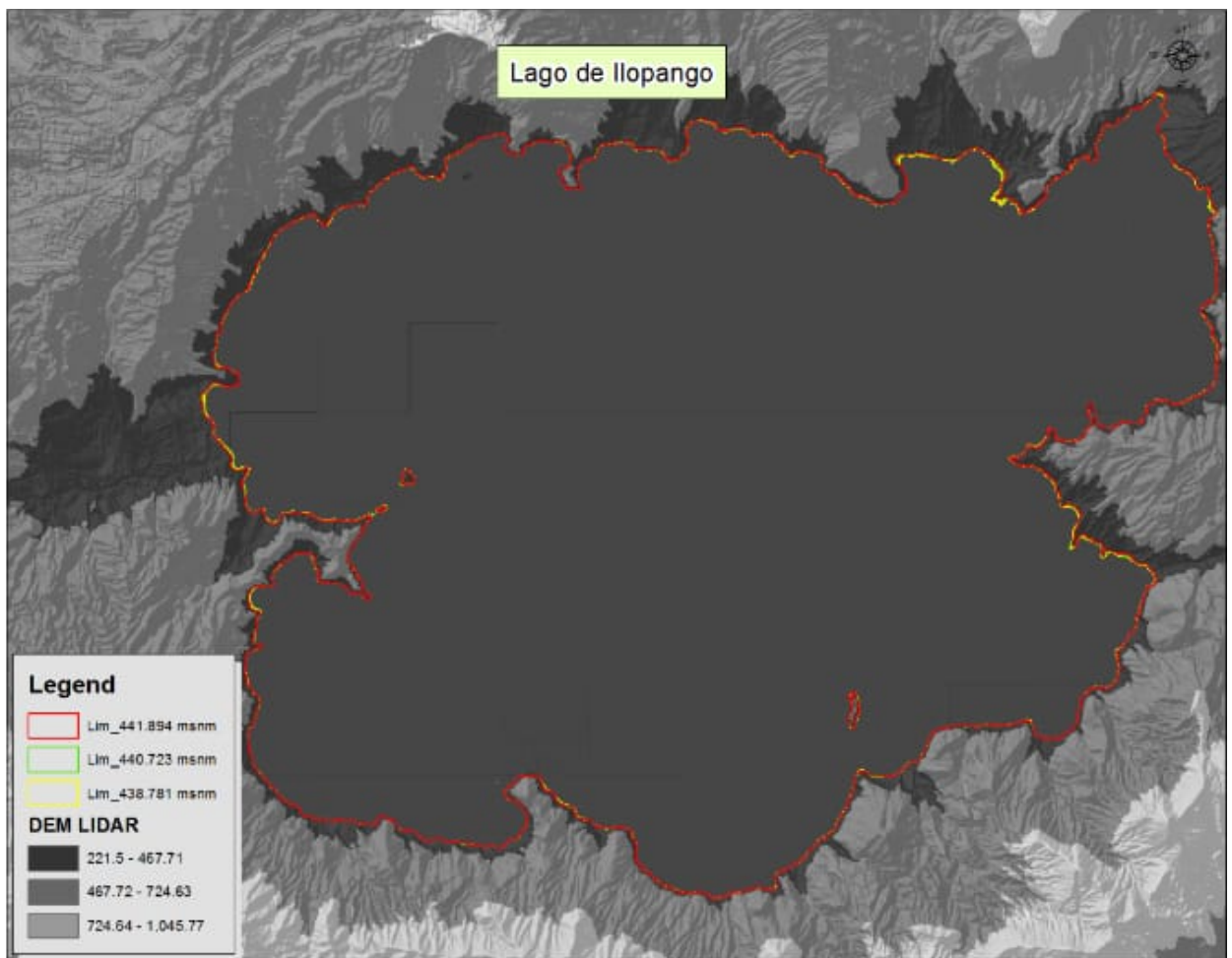


Imagen 23. Contorno de espejo de agua y su variación según el cambio de elevación.

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:

Condición de la elevación del espejo de agua	Elevación (msnm)	Área (km ²)
Nivel de espejo de agua según "0" hidrométrico medido en 2020	438.781	69.915873
Nivel de espejo de agua máximo según medición actual 2020	440.510	70.061921
Nivel de espejo de agua según datos histórico.	441.894	70.167434

Tabla 8. Variaciones 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 Ilopango
- ANEXO 5. Mapa batimétrico general del Lago de Ilopango
- ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría del Lago de Ilopango
- 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

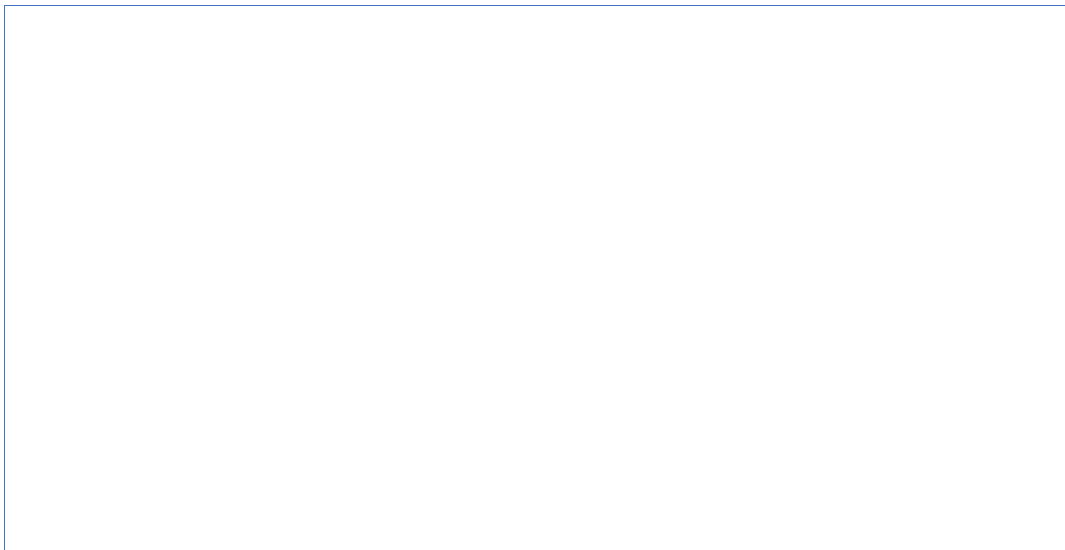
ANEXO 3. Mapa con ubicación de transectos resultante de levantamiento batimétrico

ANEXO 4. Levantamiento Multiház del Lago de Ilopango

ANEXO 5. Mapa batimétrico general del Lago de Ilopango

ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría del Lago de Ilopango

ANEXO 7. Memoria de cálculo de curvas EAV, datos de velocidad del sonido.





MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE