



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE

Producto 4: Informe de Batimetría de las lagunas de Metapán, Cuzcachapa y Chanmico

Proyecto:
Estudios Batimétricos en lagos y lagunas de El Salvador



Índice general

Resumen ejecutivo	1
Antecedente.....	3
Objetivos	3
A. LAGUNA DE METAPÁN.....	4
1. Identificación del área o sitio de medición hidrográfica	5
1.1. Ubicación general.....	5
1.2. Descripción morfológica	6
2. Referencias geodésicas oficiales	7
2.1. Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional	7
2.2. Amarre altimétrico	7
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	8
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 monohaz	10
3.5. Sistema geodésico utilizado	12
3.6. Posicionamiento, corrección de error y control vertical	13
3.6.1. Control de Posicionamiento horizontal.....	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. Red de Puntos de control para base GPS GNSS	14
3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica	15
3.6.2. Control vertical de datos adquiridos	16
4. Registro fotográfico del levantamiento batimétrico.....	17
5. Resultados	21
5.1. Acople de MDT con Levantamiento LIDAR.....	21
5.2. Modelo Digital de Elevaciones (MDE).....	22
5.3. Isobatas	24
5.4. Medición topográfica y determinación del nivel de espejo de agua	24
5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen.....	25
5.6. Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG)	25
5.7. Representación gráfica en ArcGIS del espejo de agua	26

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. Mapa en color degradado del levantamiento batimétrico.	33
ANEXO 5. Mapa batimétrico general de Laguna de Metapán.	34
ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría de Laguna de Metapán.	35
ANEXO 7. Memoria de cálculo.	36
B. LAGUNA DE CUZCACHAPA.	38
1. Identificación del área o sitio de medición hidrográfica.	39
1.1. Ubicación general.	39
1.2. Descripción morfológica.	39
2. Referencias geodésicas oficiales.	40
2.1. Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional.	40
2.2. Amarre altimétrico.	40
3. Metodología de levantamiento batimétrico.	40
3.1. Descripción de los trabajos.	40
3.1.1. Actividades previas al levantamiento batimétrico.	40
3.1.2. Rutina y Trabajo de campo.	41
3.2. Mapa de transectos levantados.	41
3.3. Representación del Levantamiento batimétrico.	42
3.4. Levantamiento perimetral con GPS GNSS (Rover), zonas sin cobertura con ecosonda monohaz.	43
3.5. Sistema geodésico utilizado.	45
3.6. Posicionamiento, corrección de error y control vertical.	46
3.6.1. Control de Posicionamiento horizontal.	46
3.6.1.1. Base GPS GNSS.	46
3.6.1.2. Envío de señal de corrección en tiempo real.	47
3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS.	47
3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica.	48
3.6.2. Control vertical de datos adquiridos.	49
4. Registro fotográfico del levantamiento batimétrico.	50
5. Resultados.	54
5.1. Acople de MDT con Levantamiento LIDAR.	54
5.2. Modelo Digital de Elevaciones (MDE).	55
5.3. Isobatas.	58
5.4. Medición topográfica y determinación del nivel de espejo de agua.	58
5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen.	59

5.6.	Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG)	59
5.7.	Representación gráfica en ArcGIS del espejo de agua	60
ANEXOS.		64
ANEXO 1. Ficha de mojón geodésico y banco de marca a gran precisión		65
ANEXO 2. Ubicación de sensor hidrométrico, puntos de amarre para control geodésico y vertical		66
ANEXO 3. Mapa con ubicación de transectos resultante de levantamiento batimétrico		67
ANEXO 4. Mapa en color degradado del levantamiento batimétrico.		68
ANEXO 5. Mapa batimétrico general de Laguna de Cuzcachapa.....		69
ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría de Laguna de Cuzcachapa.		70
ANEXO 7. Memoria de cálculo.....		71
C.	LAGUNA DE CHANMICO.....	73
1.	Identificación de área o sitio de medición hidrográfica	74
1.1.	Ubicación general.....	74
1.2.	Descripción morfológica	74
2.	Referencias geodésicas oficiales	75
2.1.	Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional	75
2.2.	Amarre altimétrico	75
3.	Metodología de levantamiento batimétrico.....	75
3.1.	Descripción de los trabajos	75
3.1.1.	Actividades previas al levantamiento batimétrico	75
3.1.2.	Rutina y Trabajo de campo	76
3.2.	Mapa de transectos levantados	76
3.3.	Representación del Levantamiento batimétrico	77
3.4.	Levantamiento perimetral con GPS GNSS (Rover), zonas sin cobertura con ecosonda monohaz	78
3.5.	Sistema geodésico utilizado	80
3.6.	Posicionamiento, corrección de error y control vertical	81
3.6.1.	Control de Posicionamiento horizontal.....	81
3.6.1.1.	Base GPS GNSS.....	81
3.6.1.2.	Envío de señal de corrección en tiempo real	82
3.6.1.3.	Red de Puntos de control para base GPS GNSS	82
3.6.1.4.	Medición de Coordenadas de estación hidrométrica	84
3.6.2.	Control vertical de datos adquiridos	84
4.	Registro fotográfico del levantamiento batimétrico.....	85
5.	Resultados	87
5.1.	Acople de MDT con Levantamiento LIDAR.....	87
5.2.	Modelo Digital de Elevaciones (MDE).....	88
5.3.	Isobatas	90

5.4.	Medición topográfica y determinación del nivel de espejo de agua	90
5.5.	Curvas Elevación – Área - Volumen.....	92
5.6.	Modelo digital en Sistema de Información Geográfica (SIG)	92
5.7.	Representación gráfica en ArcGIS del espejo de agua	93
ANEXOS.		97
ANEXO 1. Ficha de mojón geodésico y banco de marca a gran precisión		98
ANEXO 2. Ubicación de sensor hidrométrico, puntos de amarre para control geodésico y vertical		99
ANEXO 3. Mapa con ubicación de transectos resultante de levantamiento batimétrico		100
ANEXO 4. Mapa en color degradado del levantamiento batimétrico.		101
ANEXO 5. Mapa batimétrico general de Laguna de Channmico.		102
ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría de Laguna de Channmico		103
ANEXO 7. Memoria de cálculo.....		104

Índice de imágenes

Imagen 1.	Ubicación geográfica de laguna de Metapán.	5
Imagen 2.	Mapa topográfico de la laguna de Metapán.	6
Imagen 3.	Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.	9
Imagen 4.	Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna de Metapán.....	10
Imagen 5.	Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna sin cobertura con equipo Monoház.....	11
Imagen 6.	Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.....	12
Imagen 7.	Instalación de Base Trimble SPS855.	13
Imagen 8.	Antena Trimble Zephyr 3.	13
Imagen 9.	Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.....	14
Imagen 10.	Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.	15
Imagen 11.	Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.	16
Imagen 12.	Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de Metapán con datos LIDAR del Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.....	21
Imagen 13.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Metapán (Vista en planta de Laguna).	22
Imagen 14.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Metapán (Cuerpo de agua zona oriente).	22
Imagen 15.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Metapán (Cuerpo de agua zona poniente).	23
Imagen 16.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Metapán (Zona Sur del laguna).	23
Imagen 17.	Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.	24
Imagen 18.	Curva E-A-V de Laguna de Metapán.....	25
Imagen 19.	Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.....	26
Imagen 20.	Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.	27
Imagen 21.	Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.	28
Imagen 22.	Grafica de ecuación para cálculo de volumen	37
Imagen 23.	Ubicación geográfica de laguna de Cuzcachapa	39
Imagen 24.	Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.	42

Imagen 25.	Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna de Cuzcachapa.....	43
Imagen 26.	Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo Monoház.....	44
Imagen 27.	Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.....	45
Imagen 28.	Instalación de Base Trimble SPS855.....	46
Imagen 29.	Antena Trimble Zephyr 3.....	46
Imagen 30.	Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.....	47
Imagen 31.	Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.....	48
Imagen 32.	Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.....	48
Imagen 33.	Unión de Batimetría con Levantamiento LIDAR en SIG.....	55
Imagen 34.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Cuzcachapa (Vista en planta de Laguna).	56
Imagen 35.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Cuzcachapa (Vista panorámica de laguna).	56
Imagen 36.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Cuzcachapa (Vista norte de laguna).	57
Imagen 37.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Cuzcachapa (Zona Sur del laguna).	57
Imagen 38.	Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.....	58
Imagen 39.	Curva E-A-V de Laguna de Cuzcachapa.....	59
Imagen 40.	Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.....	61
Imagen 41.	Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.....	62
Imagen 42.	Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.....	63
Imagen 43.	Grafica de ecuación para cálculo de volumen.....	72
Imagen 44.	Ubicación geográfica de laguna de Chanmico.....	74
Imagen 45.	Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.....	77
Imagen 46.	Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna de Chanmico.....	78
Imagen 47.	Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo Monoház.....	79
Imagen 48.	Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.....	80
Imagen 49.	Instalación de Base Trimble SPS855.....	81
Imagen 50.	Antena Trimble Zephyr 3.....	81
Imagen 51.	Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.....	82
Imagen 52.	Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.....	83
Imagen 53.	Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.....	84
Imagen 54.	Unión de Batimetría con Levantamiento LIDAR en SIG.....	87
Imagen 55.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Chanmico (Vista en planta de Laguna).88	
Imagen 56.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Chanmico (Vista panorámica de laguna).	88
Imagen 57.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Chanmico (Vista norte de laguna).	89
Imagen 58.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Chanmico (Zona Sur del laguna).....	89
Imagen 59.	Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.....	90
Imagen 60.	Curva E-A-V de Laguna de Chanmico.....	92
Imagen 61.	Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.....	94
Imagen 62.	Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.....	95
Imagen 63.	Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.....	96
Imagen 64.	Grafica de ecuación para cálculo de volumen.....	106

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.....	7
Tabla 2. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.	7
Tabla 3. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.	11
Tabla 4. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.	14
Tabla 5. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.	15
Tabla 6. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.....	18
Tabla 7. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.....	20
Tabla 8. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.	28
Tabla 9. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Metapán.....	37
Tabla 10. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.....	40
Tabla 11. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.	40
Tabla 12. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.	44
Tabla 13. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.	47
Tabla 14. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.	48
Tabla 15. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.....	52
Tabla 16. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.....	54
Tabla 17. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.	63
Tabla 18. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Cuzcachapa.	72
Tabla 19. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.....	75
Tabla 20. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.	75
Tabla 21. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.	79
Tabla 22. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.	82
Tabla 23. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.	84
Tabla 24. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.....	85
Tabla 25. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.....	86
Tabla 26. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.	96
Tabla 27. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Channmico.	105

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.4, correspondiente a las lagunas de Metapán, Cuzcachapa y Chanmico.

Durante el mes de octubre de 2020, se inició 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. Se establecieron puntos de control auxiliares en lugares estratégicos y de mayor cobertura de señal para el envío y recepción de datos de posicionamiento y corrección. Posteriormente se realiza un reconocimiento de los lugares de ingreso de la embarcación, la identificación del sensor hidrométrico establecido por MARN y la cota máxima del nivel de agua según datos de pobladores, estos puntos son posicionados con el equipo GPS.

Al tener la red geodésica auxiliar en los 3 cuerpos de agua en estudio para el producto 4, se coordina y programan las actividades para iniciar en la laguna de Chanmico, Cuzcachapa y Metapán respectivamente. La laguna de Chanmico se programó iniciar el día 03 de noviembre, Cuzcachapa el 04 de noviembre y Metapán el 06 de noviembre. Al tener definido el programa de las actividades y el orden de los lugares a medir se realiza un reconocimiento por medio de los software Google earth de la ubicación de los puntos de control, se establecen los transectos con la separación mínima según TDR con el programa Qinsy survey manager y un monitoreo de la información climática.

Las actividades preliminares en cada medición fueron la instalación de la base GNSS RTK en los puntos geodésicos auxiliares establecidos al inicio, configurar el sistema de posicionamiento horizontal y vertical; a continuación se verifica el estado integral de la embarcación (motores y estructura de montaje de ecosonda), posteriormente se instala el equipo hidrográfico y se ingresa la embarcación en el acceso más adecuado, al tener la embarcación dentro de las aguas someras se hace la verificación de la calibración de la ecosonda para dar inicio a la campaña prospectiva de recolección de datos; todo el levantamiento ha sido realizado en aguas sin oleaje, las profundidades son variables y los cuerpos de agua presentan una morfología variable, compuesta por taludes inclinados con pendientes fuertes, zonas poco profundas con cauces rocosos por flujos de lava y árboles o troncos y plantas subacuáticas. En los alrededores de la laguna de Chanmico y Cuzcachapa se ha formado un bosque húmedo con una mayor densidad de árboles. En lo que respecta a Metapán, se encontró con una gran extensión de área cubierta por Jacinto de agua (ninfa) dificultando la medición con ecosonda en la embarcación tipo pantanera.

Para las lagunas de Chanmico y Cuzcachapa el trabajo de recolección de datos se ha desarrollado con normalidad, el área del nivel de espejo de agua es menor a 1 km², siendo posible la medición en un solo día de trabajo. La Laguna de Chanmico presenta cambios bruscos de profundidad en las orillas, en momentos se

tienen entre 1 a 3m de profundidad y al ingresar más al centro de la laguna desciende a 25m. La Laguna de Cuzcachapa alcanza una profundidad de columna de agua de 5.20m; en las orillas están presentes rocas y árboles superficiales la forma de esta laguna es como un “canal”; del sensor hidrométrico solo fue posible el levantamiento del fondo del limnómetro (cero hidrométrico) y el nivel de espejo de agua sobre el sensor no fue medido porque el nivel de espejo de agua está demasiado bajo.

La Laguna de Metapán, es de mayor extensión de agua; y al momento de iniciar la medición se observó que la laguna está dividida en dos cuerpos de agua. Se inició con la medición en el sector poniente cubriendo un área del 85% del cuerpo de agua con equipo monohaz debido a que el Jacinto de Agua obstaculizó el ingreso con la embarcación. El día siguiente se inicia con el sector oriente y se logró la medición de un 35% del área de espejo de agua con ecosonda, pues era mayor el área que cubre la ninfa, haciendo el ingreso y salida de la lancha difícil y con la ecosonda bajo el agua era imposible la medición pues no se lograba hacer un transecto con un recorrido continuo, porque la ninfa pausaba la recolección de datos.

Para la laguna de Metapán, se optó por realizar el levantamiento con equipo GPS en las zonas no completadas con ecosonda, haciendo más extenso el tiempo de trabajo en esta laguna, pues para el ingreso de la lancha en las áreas llenas de ninfa, debía removerse manualmente o empujar con los motores de lancha, sin embargo, al consultar con personas del lugar se optó por aprovechar los vientos provenientes del norte que desplazan la ninfa hacia el sur, dejando un poco más libre el área faltante (zona norte de la laguna oriente). La finalización de la medición en Metapán fue hasta el mes de diciembre de 2020.

Una vez finalizados los trabajos de campo se desarrollaron los trabajos de gabinete como: descarga y respaldo de toda la información y datos obtenidos, procesamiento de datos batimétricos, ubicación y elevación del sensor hidrométrico, cálculo de las curvas EAV (elevación, área, volumen), dibujos de mapas hidrográficos, cálculo de volumen de agua, etc.

Hacia el final de este trabajo, también se presentan los resultados de la creación de un Modelo Digital de Terreno, con perspectivas de presentación realista, donde se aprecia la geomorfología que la laguna actualmente posee. 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 no 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.

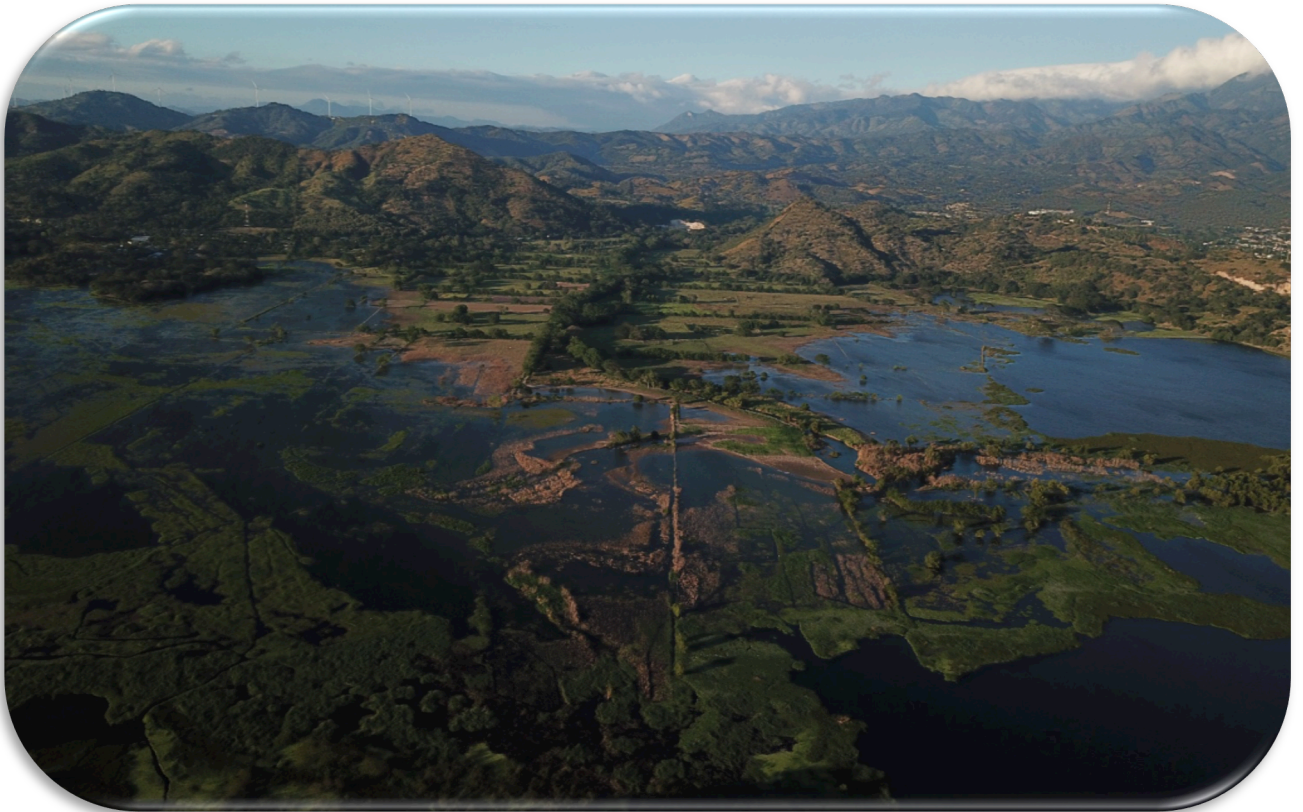
Lo anterior es de especial importancia cuando se toma en cuenta que la mayor parte del agua superficial no puede ser retenida, y los lagos y lagunas representan una fuente importante de agua acumulada, por lo que su adecuada gestión es de extrema importancia. Tomando en cuenta que en el transcurso del 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.

Objetivos

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 de las lagunas de Metapán, Cuzcachapa y Chanmico, 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 de los cuerpos de agua en estudio.



Lagunas de San Juan



1. Identificación del área o sitio de medición hidrográfica

1.1. Ubicación general

Esta laguna yace sobre un valle formado por corrientes de lava y se encuentra bordeada por pequeños volcanes; dicho ecosistema tiene un área aproximada de 5.0 Km², profundidad máxima de 6.75 metros y una altitud de nivel de espejo de agua de 452.853msnm.

Por su ubicación geográfica, la laguna se ubica en la Zona de Vida Bosque Seco Tropical, la cual cubre el 0.8% del territorio; se encuentra alrededor de este lago de Guija y de la laguna de Metapán.

Esta laguna está conformada por dos espejos de agua, siendo el primero el que se ubica junto al Bosque La Barra y el segundo caracterizándose por tener una isla en el centro, la cual es conocida popularmente como La Peñita.

La extensión de sus aguas depende de la época del año, en invierno suele tener una extensión de 6 Km²; mientras que en verano se reduce a 4 Km². Lo mismo sucede con su profundidad, la cual baja de 6 m a 2 m; su atractivo reside en el valle formado por corrientes de lava, espacio donde se encuentra ubicada.

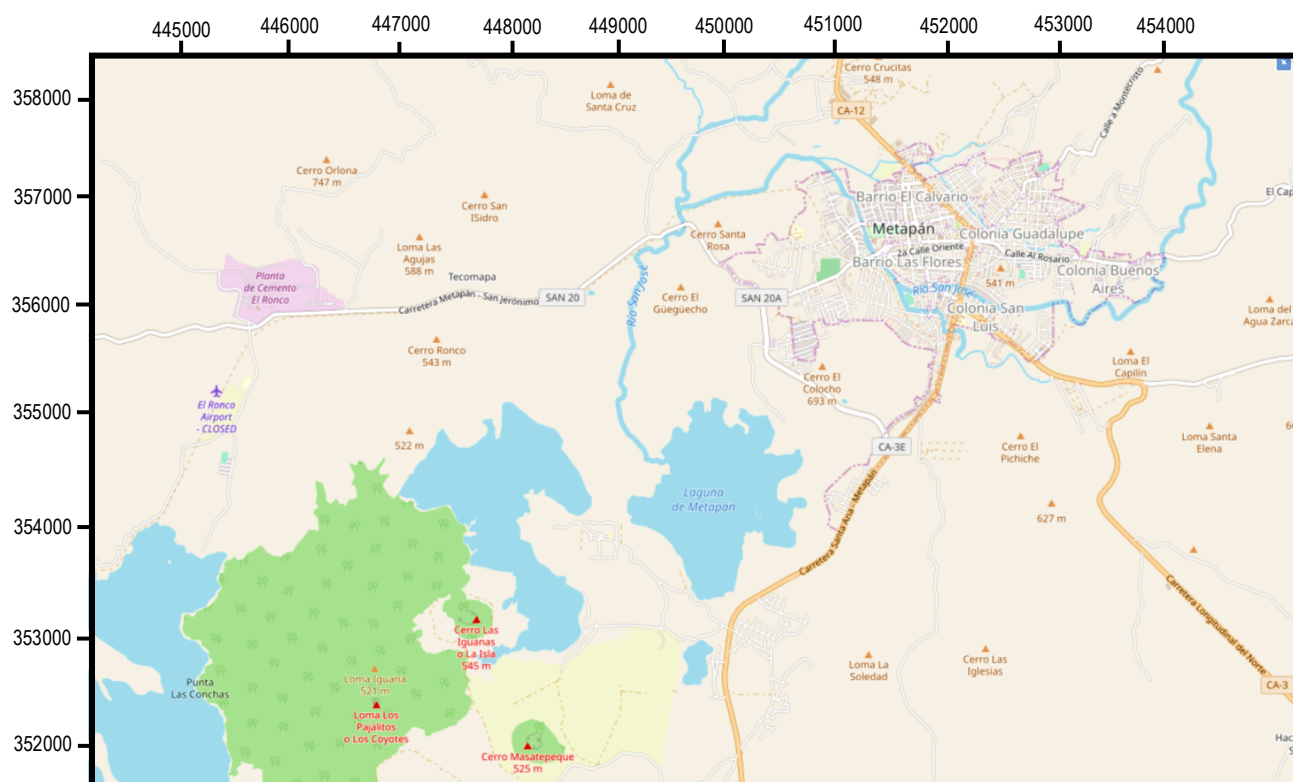


Imagen 1. Ubicación geográfica de laguna de Metapán.

1.2. Descripción morfológica

Existen rocas sedimentarias marinas solamente en el extremo NW cerca de Metapán, donde cubren un área aproximada de 200 km². Se trata de una sucesión litológica que lleva de rocas clásticas por una serie de calizas a otra serie de rocas clásticas.

El elemento estratigráfico pertenece al mioceno Inferior pertenecen areniscas finas de color rojo violeta, con bancos de conglomerados cuarcíticos; hacia abajo se encuentran conglomerados rojos de caliza con capas de areniscas. Esta serie representa los productos de erosión de las capas más inferiores; su espesor es mayor de 400 m.

Al Albiense (Cretácico Superior) pertenecen tobas volcánicas de carácter andesítico color violeta, con un espesor aproximado de 100 m. Del Cretácico Inferior son las areniscas rojas de granos finos, con cemento arcilloso y estratificaciones finas; hacia abajo hay conglomerados de cuarzo que en su parte inferior generalmente están silificados y metamorizados; su espesor es mayor de 350 m.

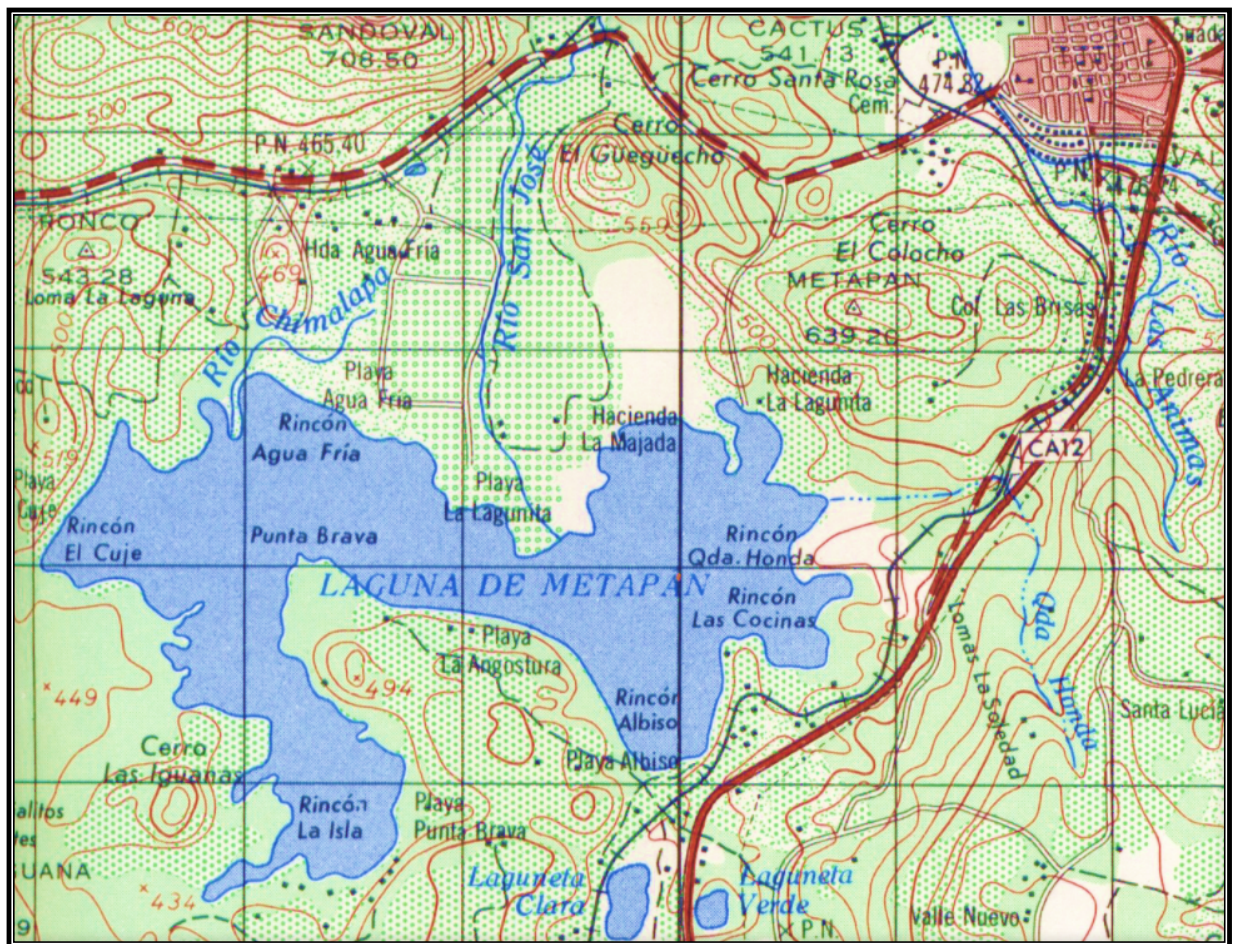


Imagen 2. Mapa topográfico de la laguna de Metapán.

2. Referencias geodésicas oficiales

2.1. Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional

Se utilizó un punto geodésico comprado a CNR (ver Imagen 10), para la ubicación de puntos de control en el área de Estudio.

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (elipsoidal)
RONCO	355491.536	447249.450	No definido
MKZ RONCO	355568.037	447203.151	529.924

Tabla 1. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.

2.2. Amarre altimétrico

Se utilizó el Banco de Marca proporcionado por CNR.

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)
Y-116	355740.491	447001.436	477.632

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

3. Metodología de levantamiento batimétrico

3.1. Descripción de los trabajos

El levantamiento batimétrico, se ha realizado con ecosonda monohaz 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 desarrollaron 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 y referenciación de puntos de control auxiliares cercanos a la laguna.

Los mojones con coordenadas geodésicas en zonas cercanas a la laguna fueron necesarios para la calibración de los equipos de posicionamiento. Por lo que se requirió la identificación de mojones existentes con la información proporcionada por CNR y el Instituto de Catastro (ver sección 2.1 y 2.2), y posteriormente la ubicación de nuevos puntos de control de referencia.

3.1.2. Rutina y Trabajo de campo

Instalación de base GPS GNSS con RTK:

La instalación de la base GNSS, se realizó en un punto de control cercano al lugar donde se ingresó la lancha, y en un punto estratégico para una mayor cobertura de señal para el envío/recepción de los datos de corrección de posicionamiento horizontal y vertical.

Calibración de equipo:

Se trabaja con la misma calibración del equipo oficial, 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 preparan 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 geodésicos, 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 hizo 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 dibujaron las líneas de sondeo paralelas entre ellas, donde la equidistancia que las separa se estableció según los términos de referencia de la consultoría, separación no mayor a 75 metros. Estas líneas a su vez sirvieron de orientación para la navegación.

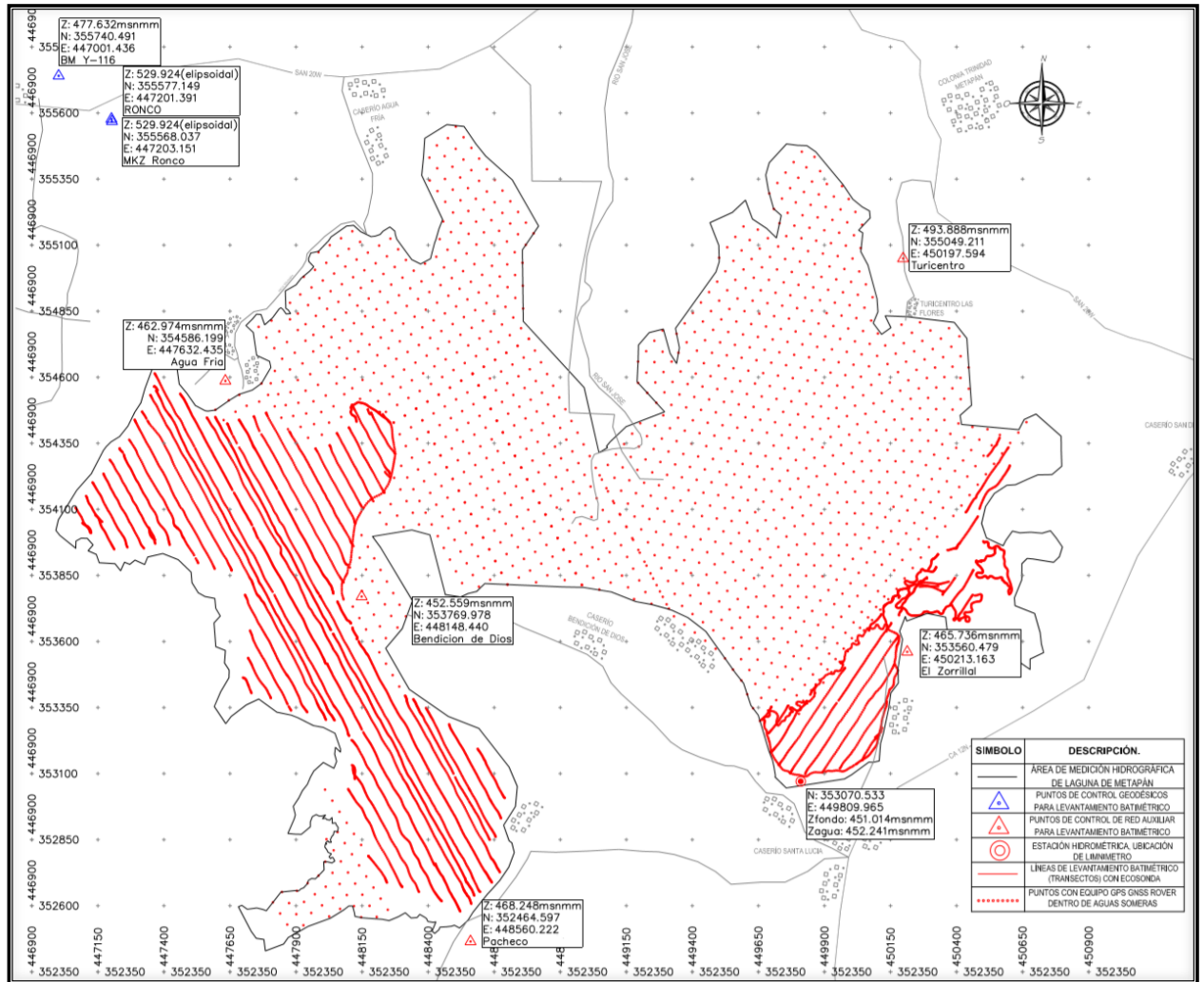


Imagen 3. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.

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 Qinsy online 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 generar un modelo digital del terreno tal como se presenta a continuación en la siguiente imagen.

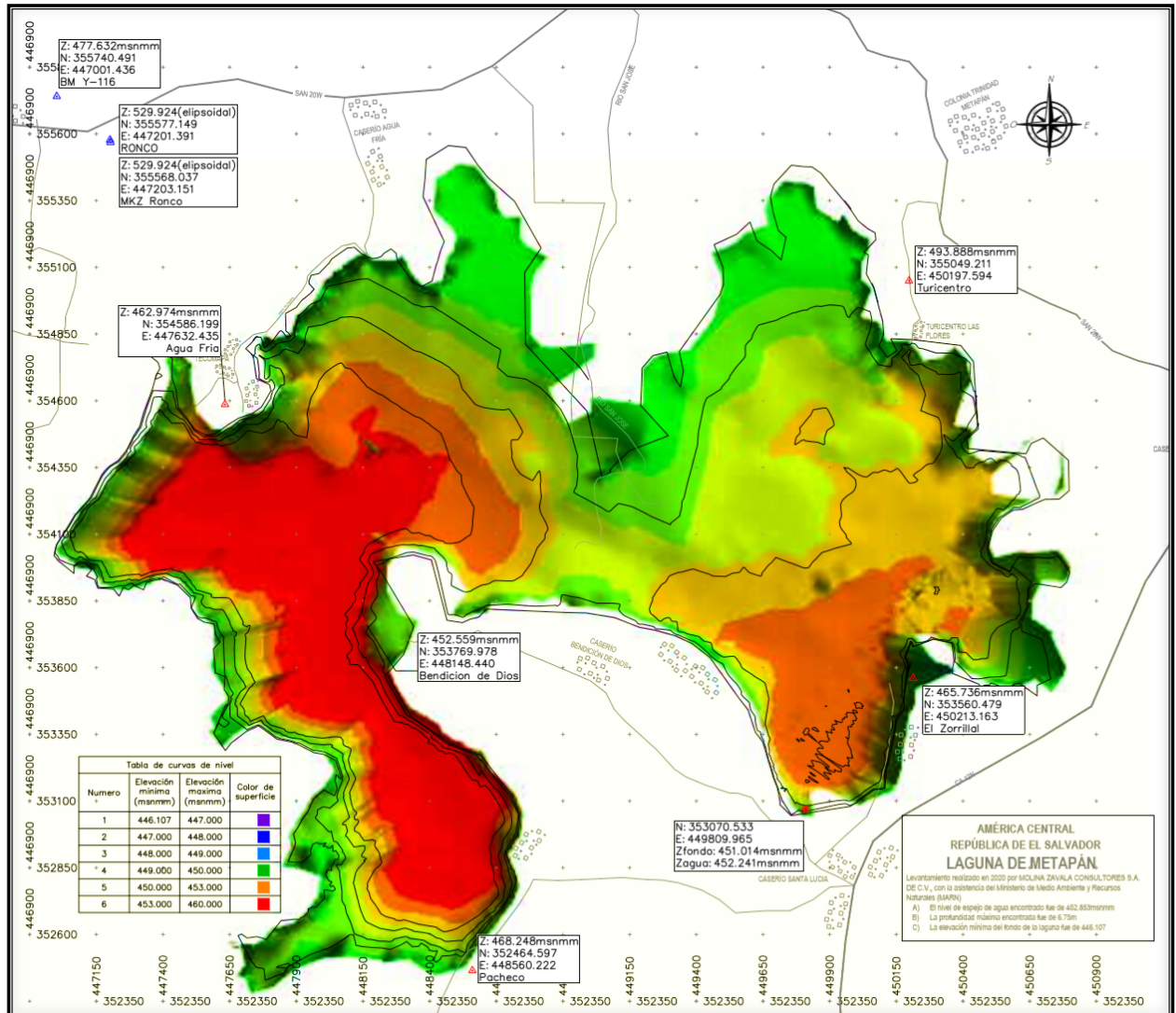


Imagen 4. Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna de Metapán.

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

Durante el levantamiento batimétrico realizado con ecosonda monoház, no se han podido cubrir zonas perimetrales de la laguna de Metapán principalmente debido a:

- Disminución brusca de la profundidad, debido a la morfología del sitio.
- Alto riesgo de colisión del transductor con obstáculos: árboles a poca profundidad (no son visibles)
- Alta presencia de roca de diverso tamaño que pudiesen dañar el equipo por colisión.
- Áreas de gran extensión cubiertas por Jacinto de agua, dificultando el acceso de la embarcación y la medición con ecosonda.

Por lo anterior se realizó 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 de la laguna, espejo de agua y dentro de las aguas someras con profundidades de 1-6 m.

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)
Agua Fría	14°18'54.2786" N	89°29'07.3659" W	354586.199	447632.435	462.974
Turicentro	14°19'09.5079" N	89°27'41.8003" W	355049.211	450197.594	493.888
El Zorrillal	14°18'21.0701" N	89°27'41.1854" W	353560.479	450213.163	465.736
Bendición de Dios	14°18'27.7549" N	89°27'50.0932" W	353769.978	448148.440	452.559
Pacheco	14°17'45.3084" N	89°28'36.2667" W	352464.597	448560.222	468.248

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



Imagen 5. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna sin cobertura con equipo Monoház.

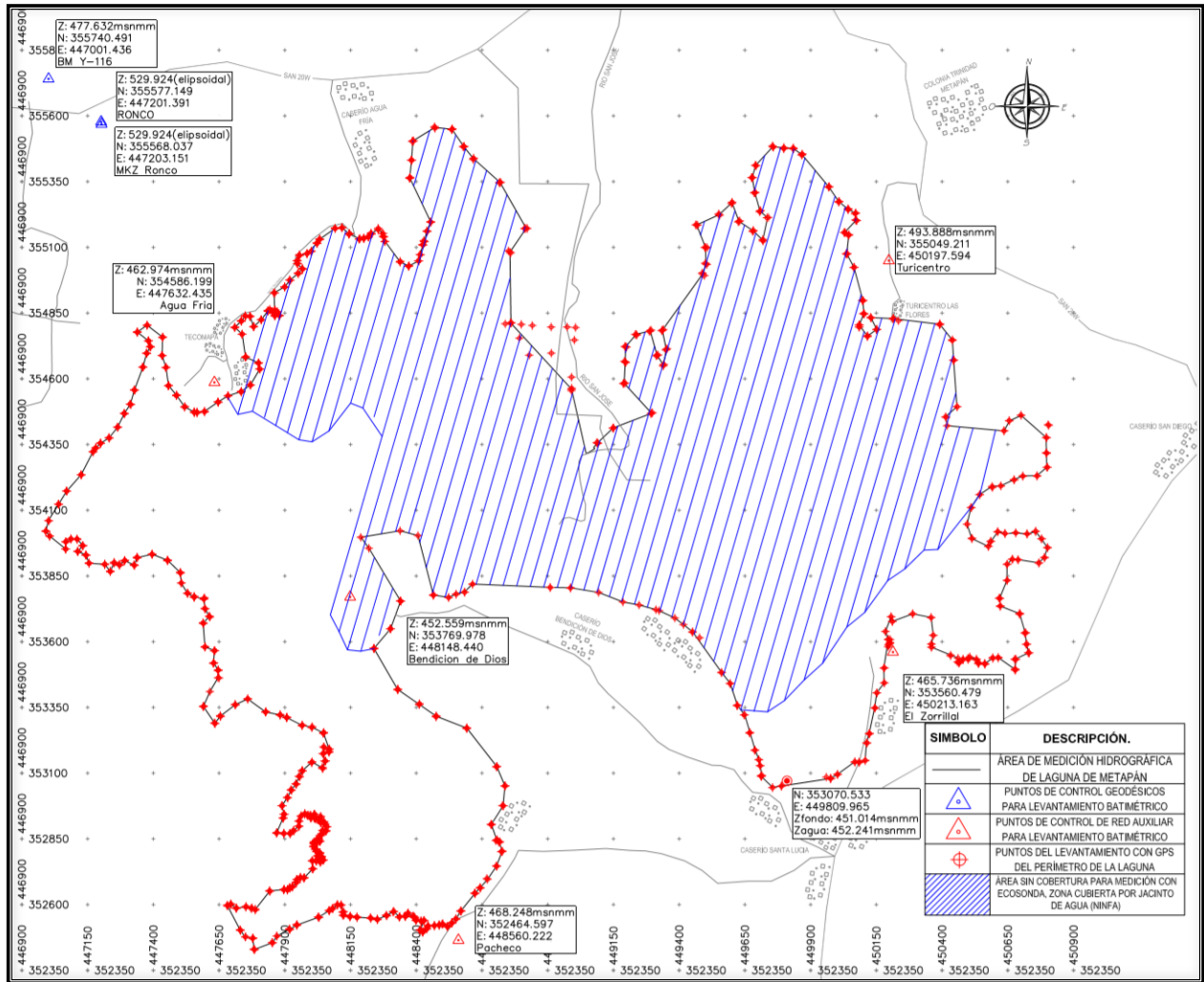


Imagen 6. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.

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 RONCO 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 7. 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 8. 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: Geoconsult02, también se instalaron radios adicionales repetidoras para ampliar la cobertura y recepción del cálculo del error en Qinsy.



Imagen 9. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.

3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS

Partiendo del punto geodésico “RONCO” 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)
Agua Fría	14°18'54.2786" N	89°29'07.3659" W	354586.199	447632.435	462.974
Turicentro	14°19'09.5079" N	89°27'41.8003" W	355049.211	450197.594	493.888
El Zorrillal	14°18'21.0701" N	89°27'41.1854" W	353560.479	450213.163	465.736
Bendición de Dios	14°18'27.7549" N	89°27'50.0932" W	353769.978	448148.440	452.559
Pacheco	14°17'45.3084" N	89°28'36.2667" W	352464.597	448560.222	468.248

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

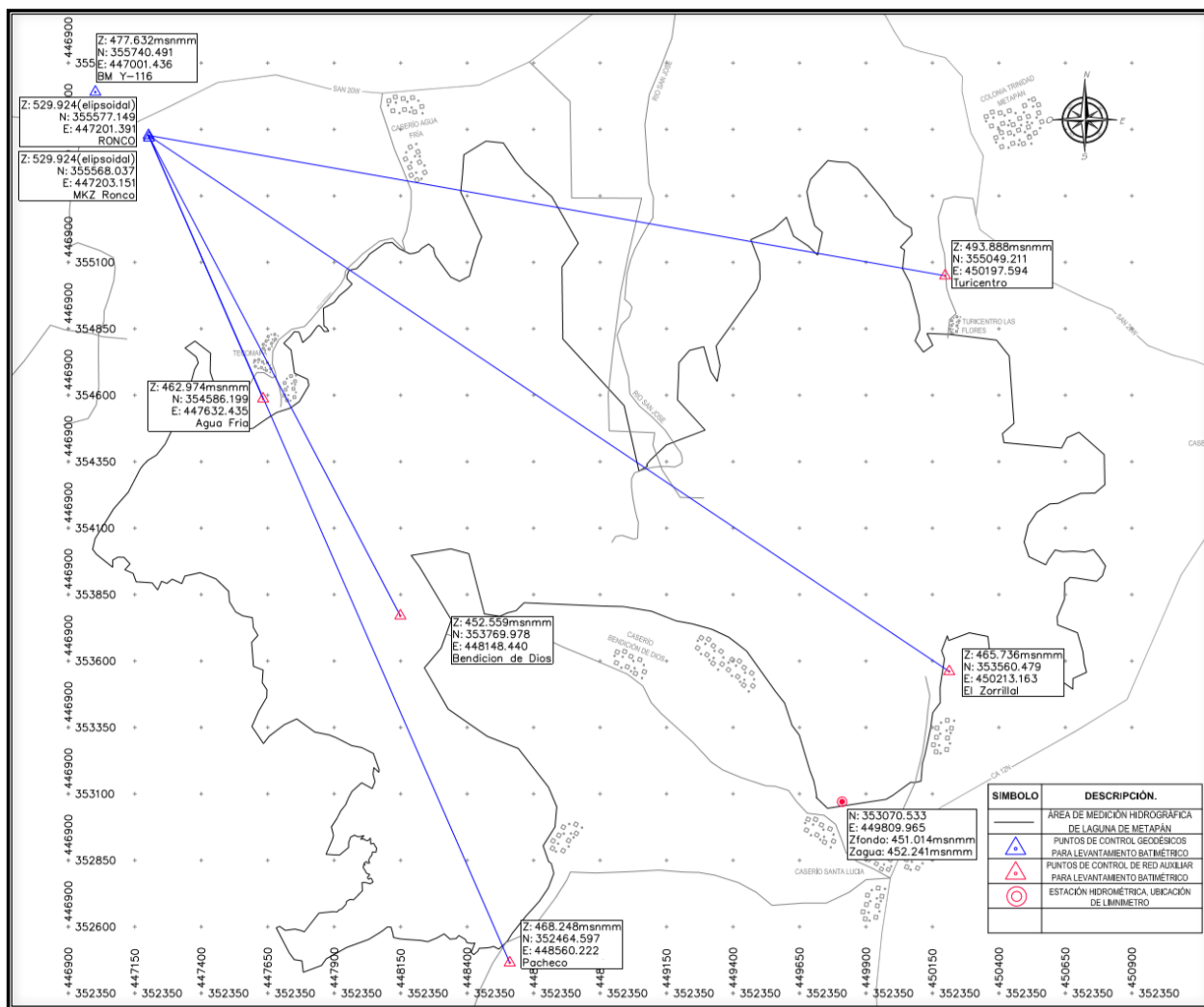


Imagen 10. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.

3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica

A continuación, se detallan las coordenadas resultantes de la estación hidrométrica de laguna de Metapán:

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnmm)	Descripción
E_HIDRO_01	353070.262	449809.927	451.014	Elevación de fondo en estación hidrométrica.
E_HIDRO_02	353070.533	449809.965	452.241	Elevación hasta el espejo de agua.
El nivel de cota máxima indicada por los pobladores fue de 456.567msnmm Con coordenadas N: 353622.319 E: 450209.364				

Tabla 5. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.



Imagen 11. Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.

3.6.2. Control vertical de datos adquiridos

Ecosonda CEE ECHO: en el presente trabajo, se adquirieron los datos de profundidades por medio de una Ecosonda monohaz, de doble frecuencia CEE ECHO[™] 33/200 kHz, ofrece una mayor penetración a través del agua y sedimentos sueltos, lodos y limo; para distinguir el fondo no perturbado del material resuspendido o redepositado, brinda la confianza adicional de que los resultados reportados son consistentes con la realidad. Los datos se muestran en tiempo real y se registra en el software hidrográfico, mostrando una vista compleja del fondo, con los datos de 200 kHz que identifican el fondo blando y de 33 kHz siguiendo la superficie inferior más densa que hay debajo.

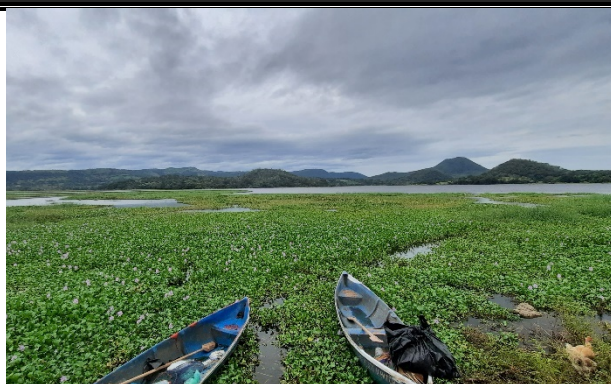
Qinsy 9.2: Programa hidrográfico de adquisición de datos, configuración de equipos, planeamiento y navegación.

4. Registro fotográfico del levantamiento batimétrico

Se ha utilizado una embarcación tipo Lancha Pantanera, de aluminio, con las siguientes descripciones físicas:

TIPO DE EQUIPO: Lancha Pantanera de aluminio, Nombre Geoconsult02	MANGA: 4.5 pies ESLORA: 14 pies
MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 15 Hp	CALADO VACÍO: 1 pie

Fotografías de realización de Batimetría en Laguna de Metapán



Ingreso de embarcación en zona norte de laguna de Metapán.



Instalación de base GPS GNSS sobre punto de control "Bendición de Dios".



Vista aérea de las zonas libres de jacinto de agua.



Vista aérea de las zonas cubiertas por jacinto de agua.



Zona oriente totalmente cubierta por el jacinto de agua, debido al desplazamiento por los vientos provenientes del norte.



Isla La Peñita visible, debido a la época de verano la laguna reduce la extensión del espejo de agua.

TIPO DE EQUIPO: Lancha Pantanera de aluminio, Nombre Geoconsult02	MANGA: 4.5 pies ESLORA: 14 pies
MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 15 Hp	CALADO VACÍO: 1 pie
Fotografías de realización de Batimetría en Laguna de Metapán	
 Ingreso de embarcacion en zona sur de laguna de Metapán.	 Levantamiento batimétrico en aguas someras, lecho rocoso en zona nor-poniente de la laguna.
 Obstáculos encontrados al momento de medición, jacinto de agua que dificultó el trayecto de la medición de los transectos.	 Se realiza intentos para ingresar con la embarcacion sobre la ninfa, para tener mas cobertura en la medición con ecosonda.
 Planta acuatica acumulada sobre la embarcacion, haciendo dificil la salida y fundiendo los motores de lancha.	 Árboles superficiales al espejo de agua o de poca profundidad.

Tabla 6. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.

Levantamiento en zonas complementarias, ubicación de mojones geodésicos y los puestos para el proyecto por parte del consultor:

Registro fotográfico de realización de Topo-Batimetría al contorno de Laguna de Metapán



Ubicación de mojón geodésico para georeferenciar puntos geodésicos auxiliares.



Instalación de base GPS RTK en mojón geodésico.



Establecimiento de puntos de control de red auxiliar, con nombre "Aqua Fría".



Establecimiento de puntos de control de red auxiliar, con nombre "Turicentro".



Levantamiento topo-batimétrico en profundidades de hasta 1.0 m de columna de agua.



Levantamiento topo-batimétrico en profundidades de hasta 5.0 m de columna de agua.

Registro fotográfico de realización de Topo-Batimetría al contorno de Laguna de Metapán



Levantamiento topo-batimétrico en espejo de agua de la laguna.



Levantamiento topo-batimétrico en profundidades de hasta 1.0m de columna de agua.



Levantamiento topo-batimétrico en zonas fuera de la laguna.



Levantamiento topo-batimétrico en profundidades de hasta 1.0 m de columna de agua.



Levantamiento topo-batimétrico en zonas fuera de la laguna.



Levantamiento topo-batimétrico en zonas fuera de la laguna.

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.

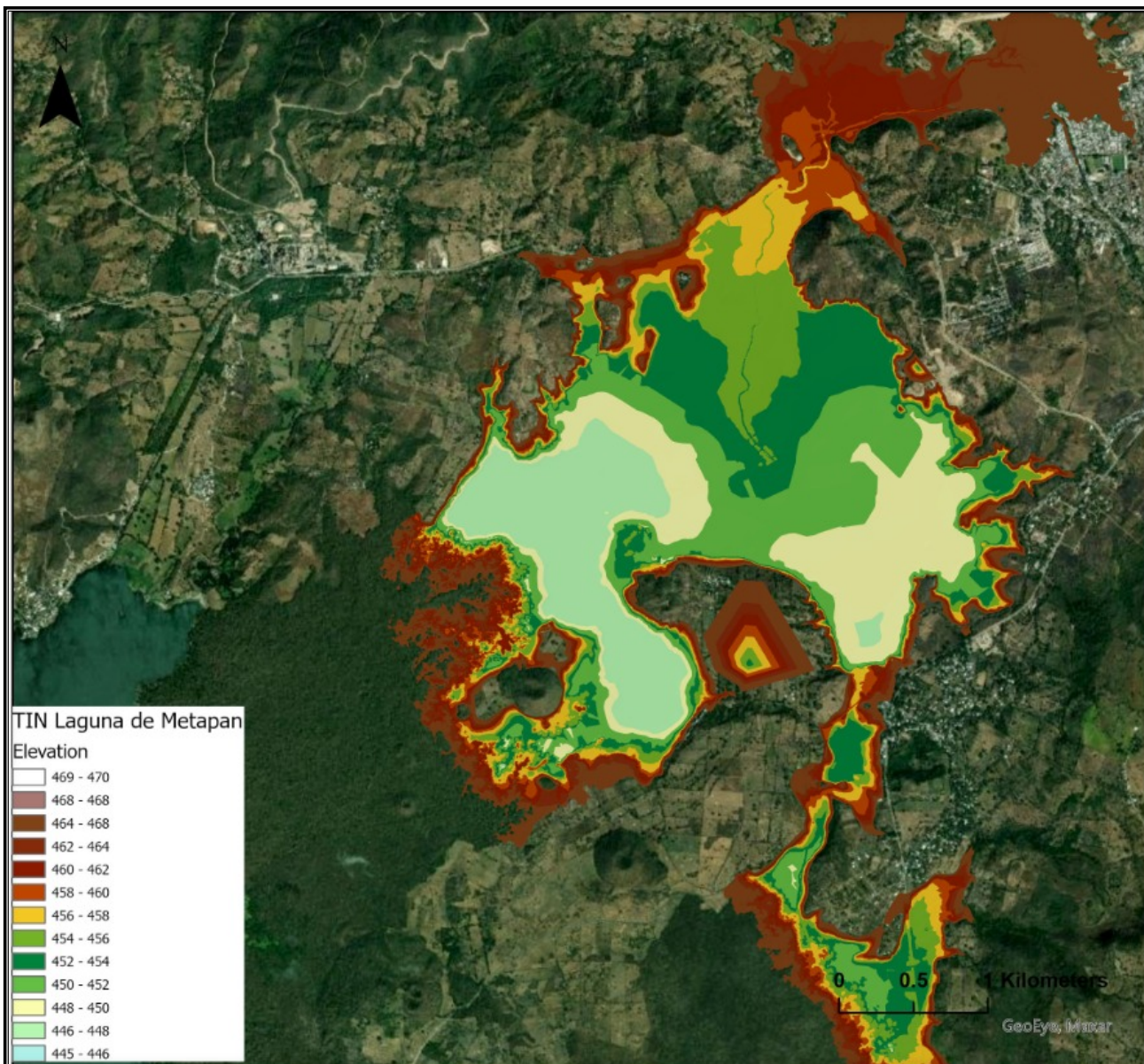


Imagen 12. Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de Metapán con datos LIDAR del Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.

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 toda la Laguna de Metapán:

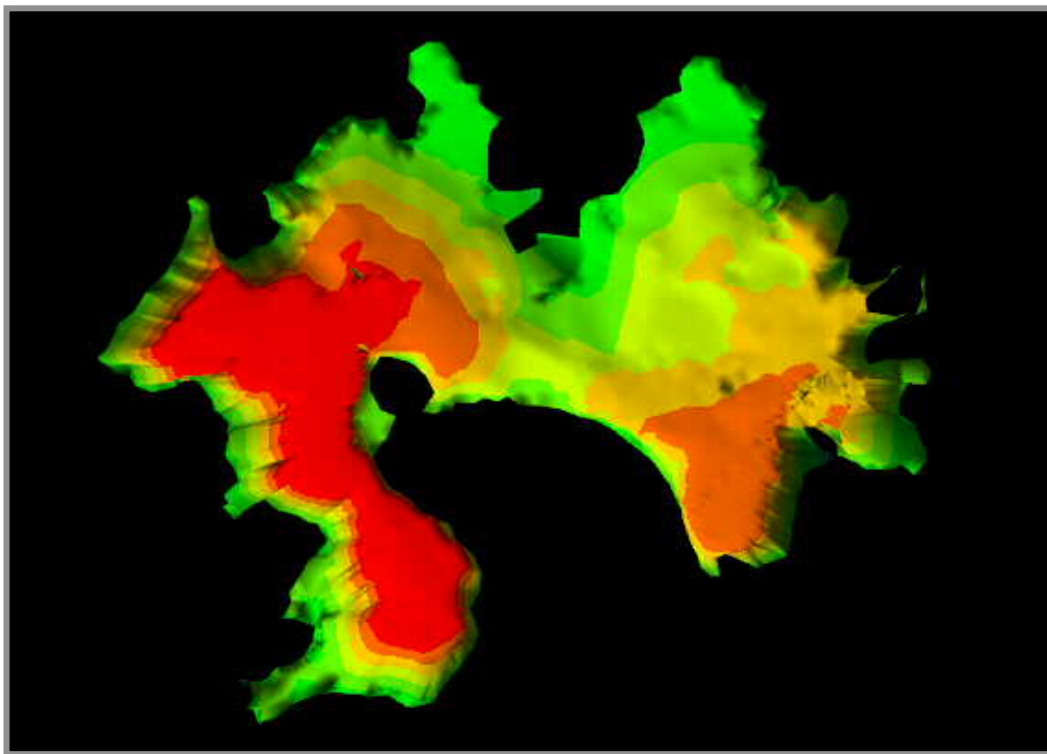


Imagen 13. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Metapán (Vista en planta de Laguna).

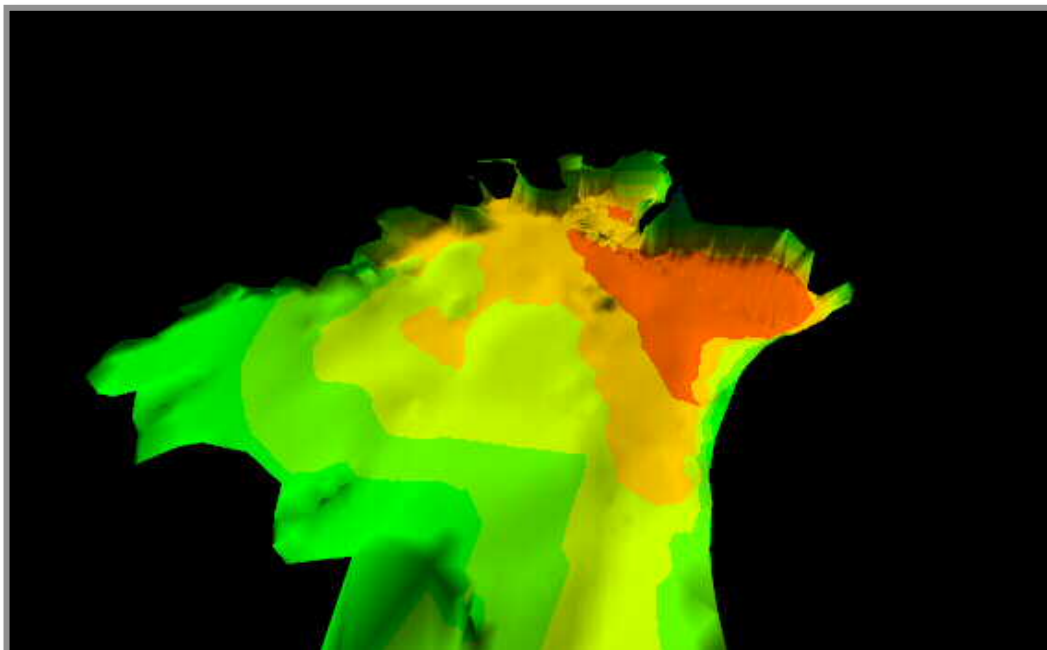


Imagen 14. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Metapán (Cuerpo de agua zona oriente).

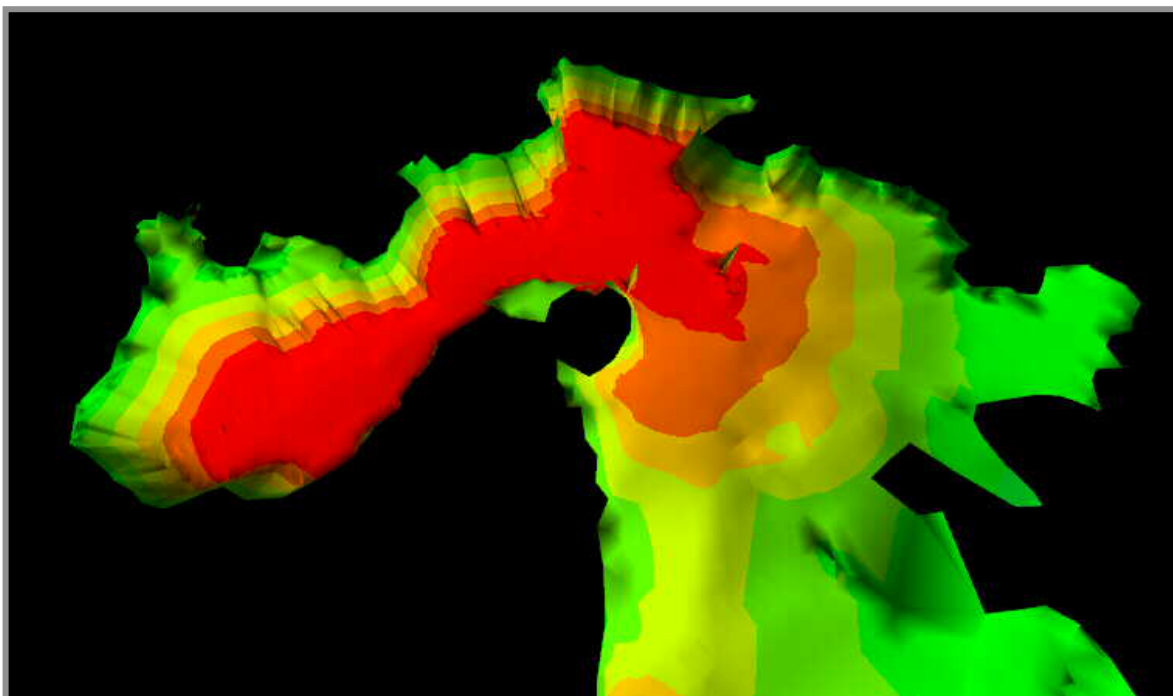


Imagen 15. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Metapán (Cuerpo de agua zona poniente).

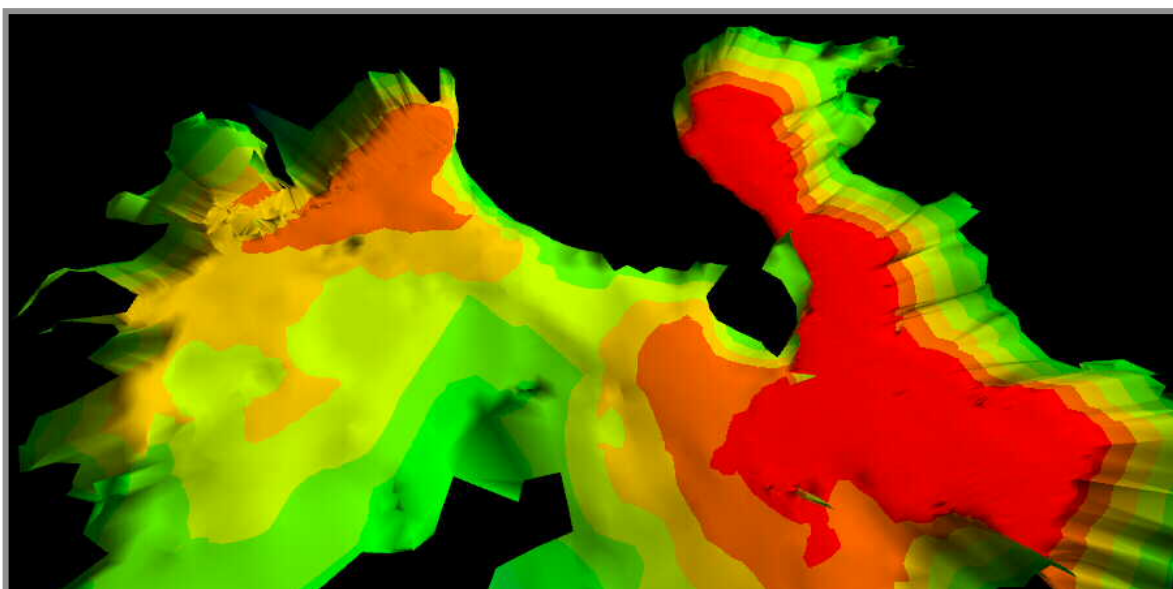


Imagen 16. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Metapán (Zona Sur del laguna).

5.3. Isobatas

Modelo de Isobatas de levantamiento batimétrico con un espaciamiento vertical de 1.0 m.

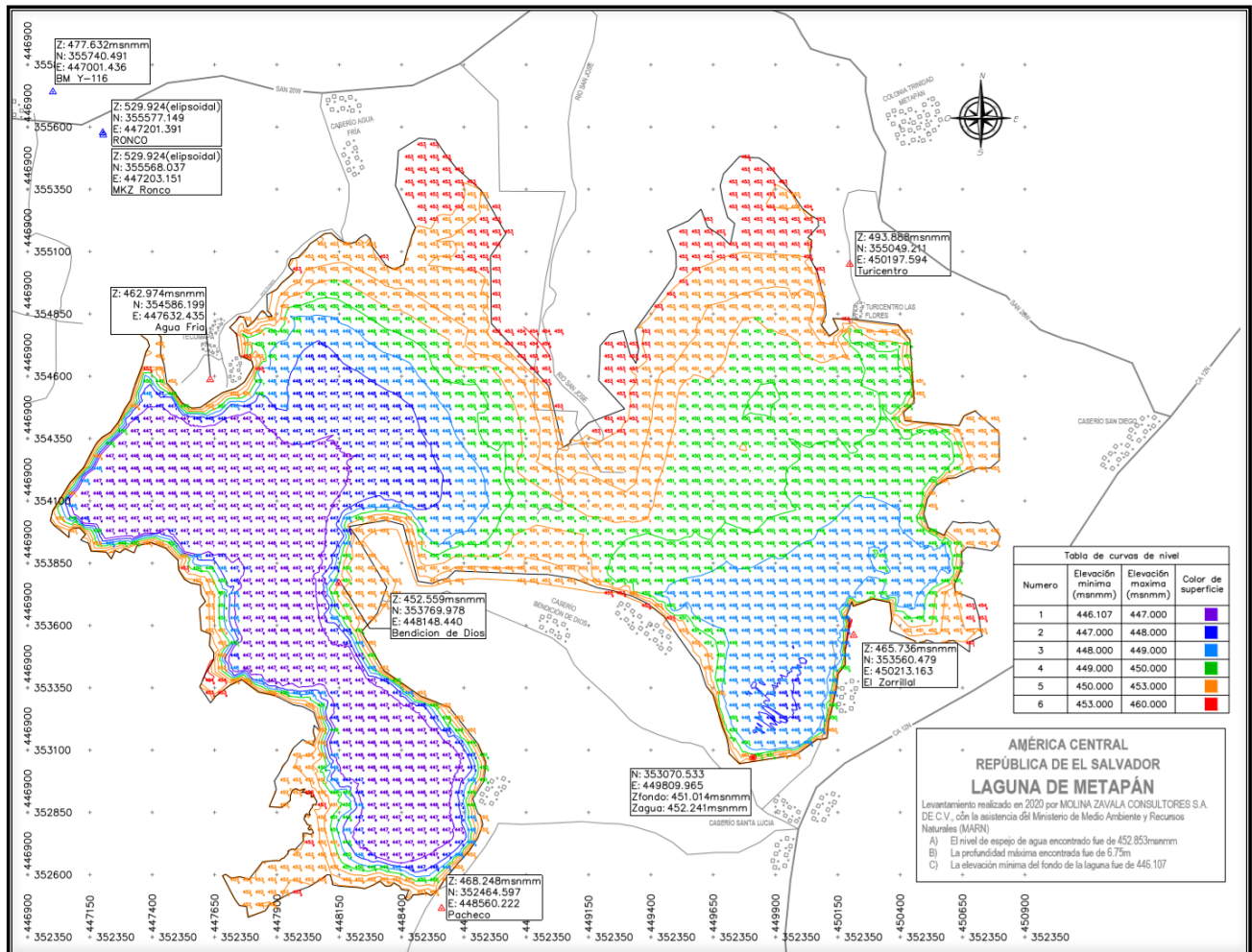


Imagen 17. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.

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

La elevación del nivel del espejo de agua promedio registrado al momento de medición fue de: 452.853 msnmm, en días preliminares a la medición batimétrica el nivel en el sensor hidrométrico fue de 452.241 msnmm, este nivel es variable según las precipitaciones actuantes en la cuenca de la laguna, y durante la medición el área en estudio se encontraba bajo las precipitaciones de la tormenta tropical Eta incrementando el nivel de agua 61cm aproximadamente (elevaciones en metros sobre nivel medio del mar).

5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen

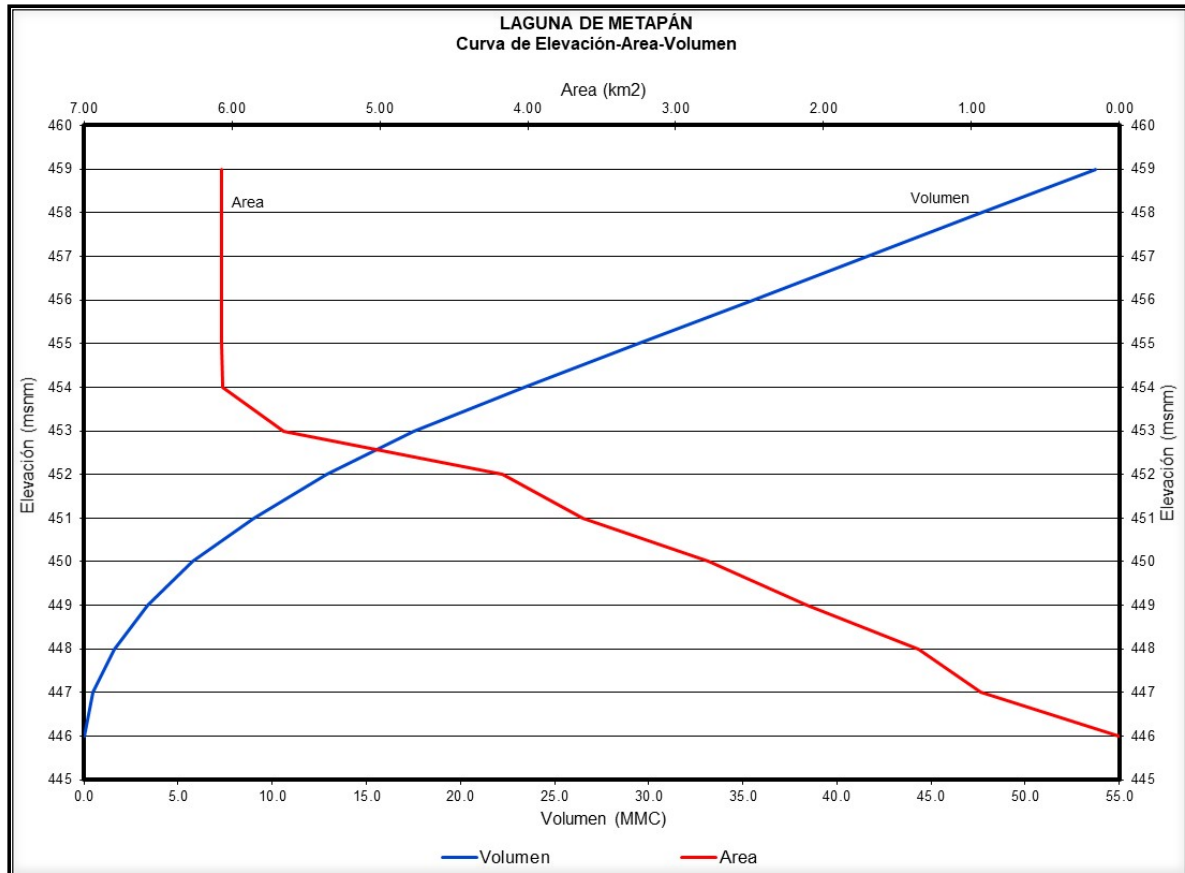


Imagen 18. Curva E-A-V de Laguna de Metapán.

Volumen de agua al nivel de espejo de agua:

Durante la medición (452.853 m.s.n.m.m):

16.7516 Millones de m³

Volumen de agua al nivel máximo histórico de laguna:

indicado por los pobladores (456.567 m.s.n.m.m):

38.9643 Millones de m³

(dato no validado/comprobado científicamente)

Datos topo-batimétricos resultantes de las mediciones.

Elevación mínima del fondo de la laguna:

446.107 m.s.n.m.m

Elevación del espejo de agua al momento de medición:

452.853 m.s.n.m.m

Elevación máxima histórica de la laguna indicada por pobladores:

456.567 m.s.n.m.m

Profundidad máxima de columna de agua encontrada:

6.75 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 monoház, 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.

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.

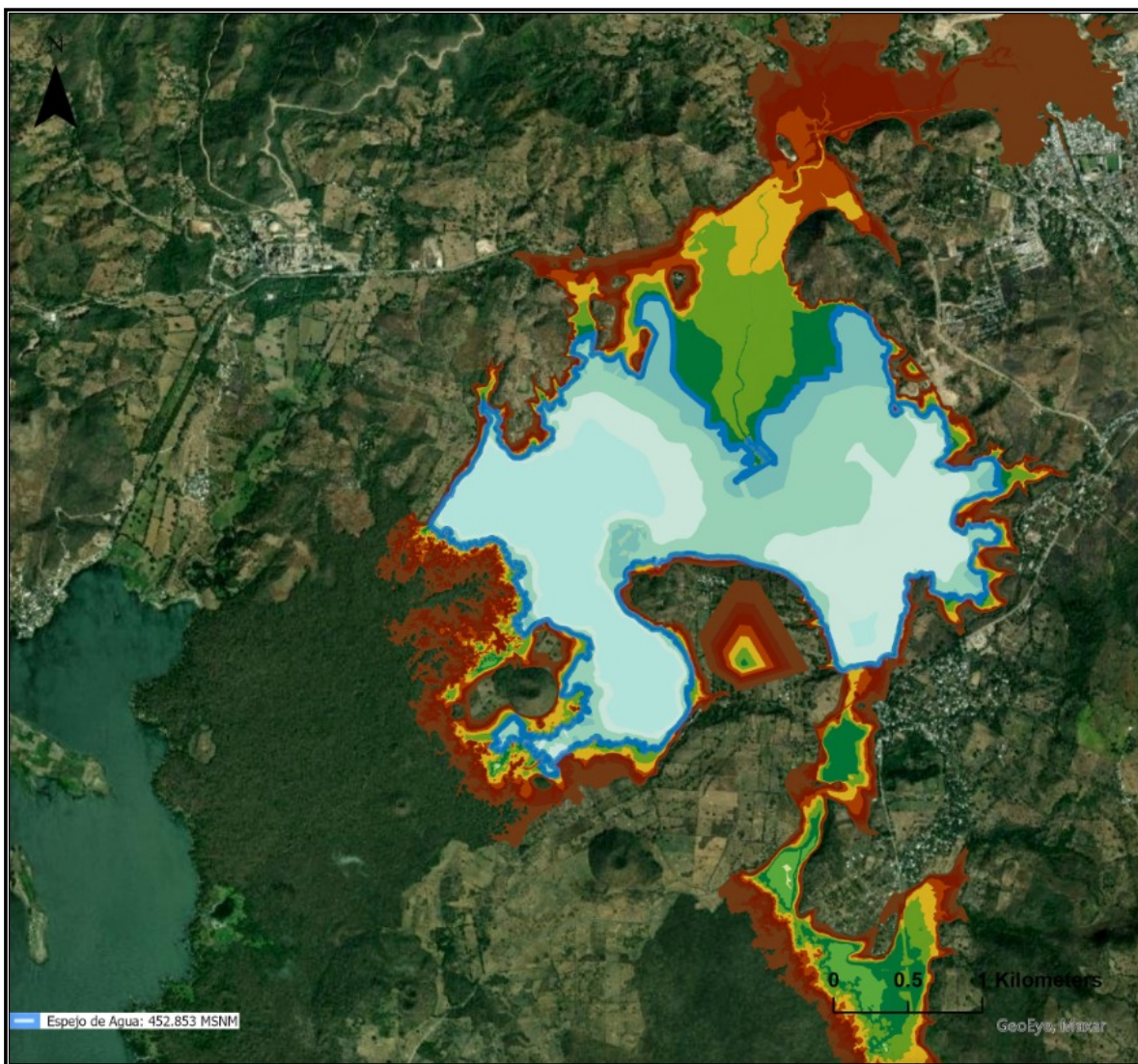


Imagen 19. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.

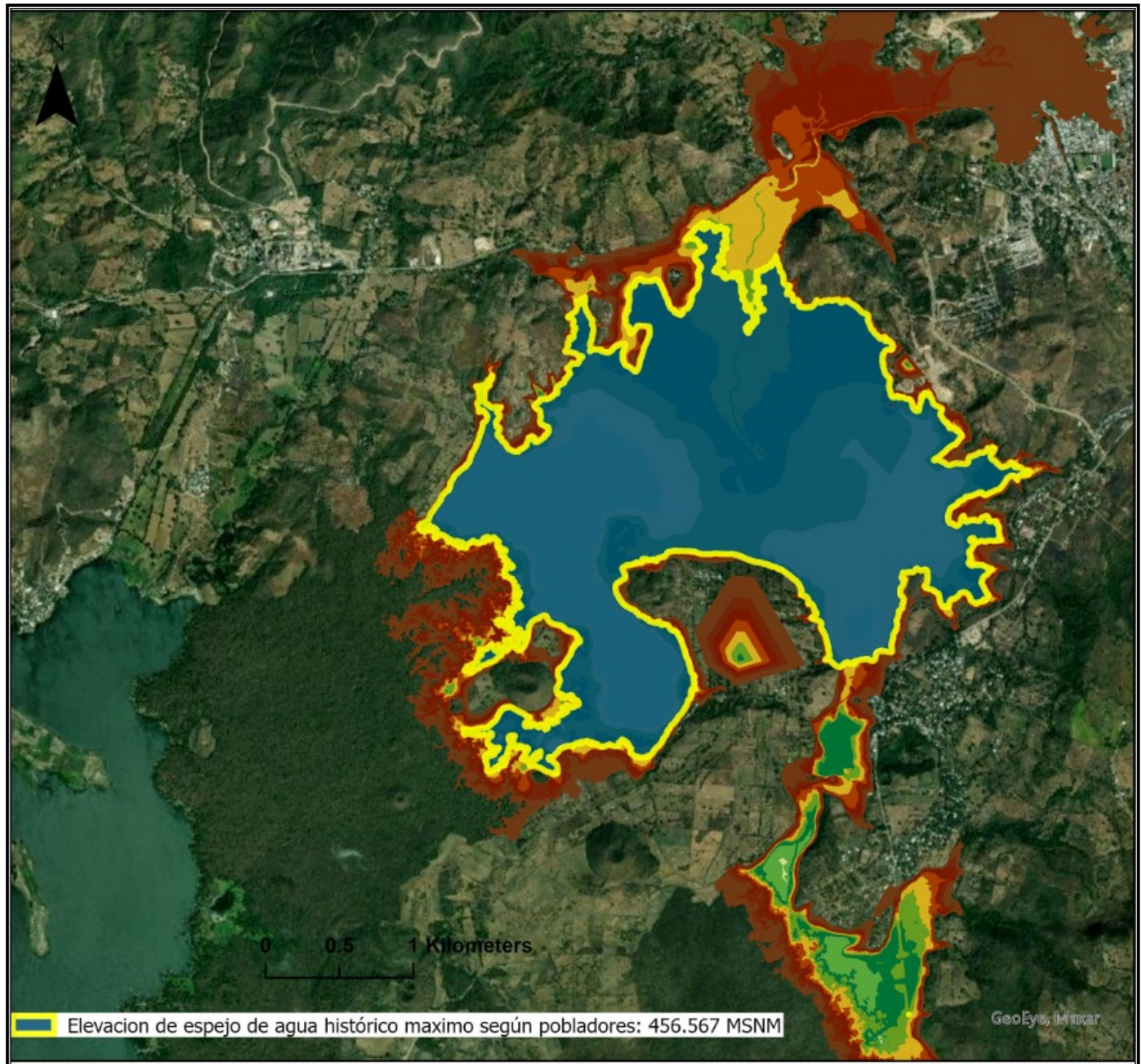


Imagen 20. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.

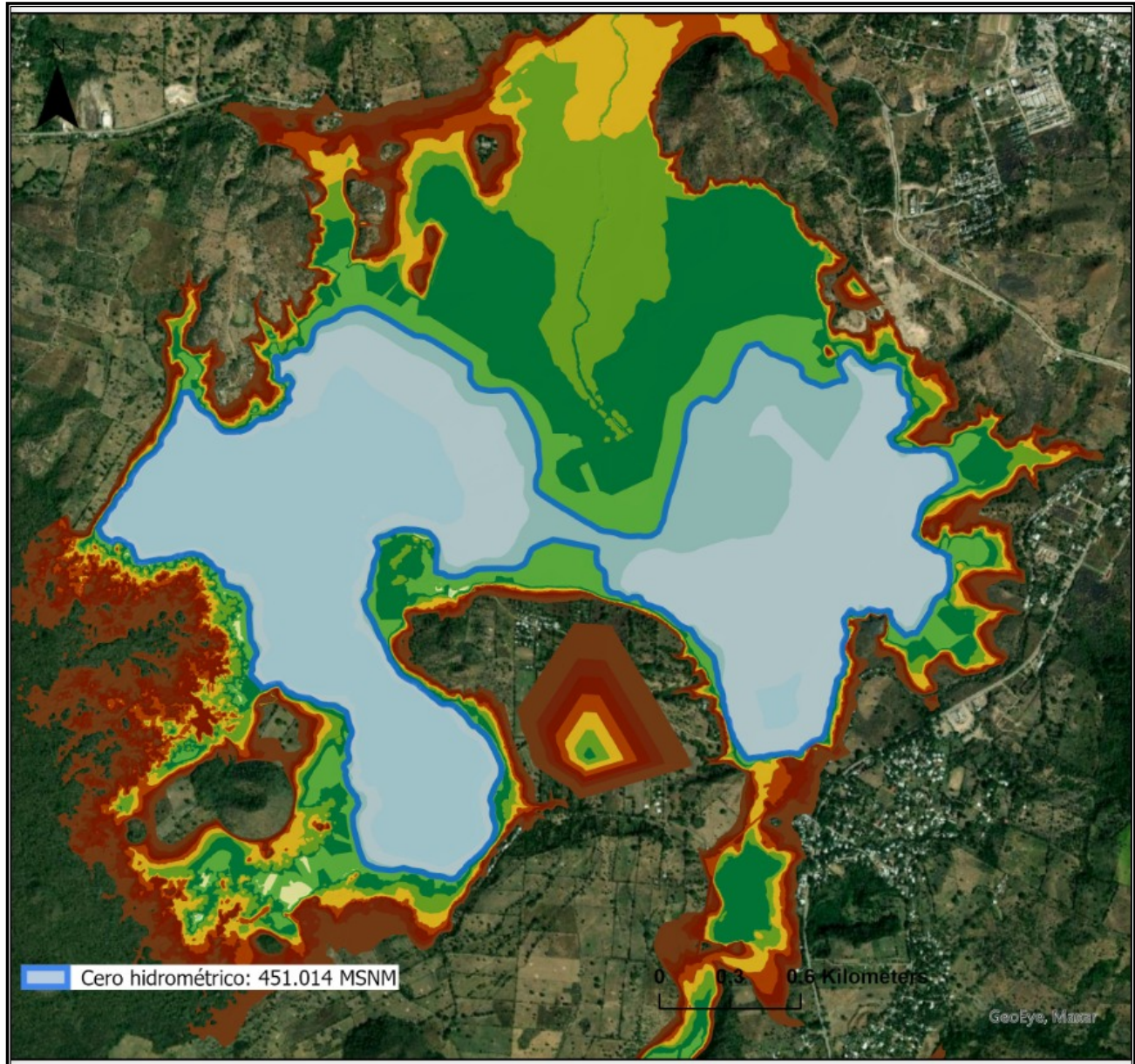


Imagen 21. Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.

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 (msnmm)	Área (km2)
Nivel de espejo de agua según "0" hidrométrico medido en 2020.	451.014	4.4697
Nivel de espejo de agua máximo según medición actual 2020.	452.853	4.8568
Nivel de espejo de agua máximo según dato histórico de pobladores.	456.567	6.0730

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. Mapa en color degradado del levantamiento batimétrico.

ANEXO 5. Mapa batimétrico general de Laguna de Metapán.

ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría de Laguna de Metapán.

ANEXO 7. Memoria de cálculo.

A continuación, se presenta la memoria de cálculo para el almacenamiento de agua de la laguna de Metapán:

ELEVACIÓN (msnmm)	ÁREA INCREMENTAL (según modelo digital de elevación C3D)	ÁREA (m ²)	ÁREA (km ²)	AREA PROMEDIO (m ²)	INTERVALO (m)	VOLUMEN INCREMENTAL (MMC)	VOLUMEN ACUMULADO (MMC)
459.000	32.4100	6073091.0900	6.0730911	6073074.8850	1.0000	6.0730749	53.7400681
458.000	53.2500	6073058.6800	6.0730587	6073032.0550	1.0000	6.0730321	47.6669932
457.000	82.5900	6073005.4300	6.0730054	6072964.1350	1.0000	6.0729641	41.5939612
456.567	115.0300	6073037.8700	6.0730379	6072980.3550	0.5670	3.4433799	38.9643769
456.000	149.1200	6072922.8400	6.0729228	6072848.2800	1.0000	6.0728483	35.5209970
455.000	7516.3600	6072773.7200	6.0727737	6069015.5400	1.0000	6.0690155	29.4481488
454.000	419496.4900	6065257.3600	6.0652574	5855509.1150	1.0000	5.8555091	23.3791332
453.000	788863.5700	5645760.8700	5.6457609	5251329.0850	0.1470	0.7719454	17.5236241
452.853	685960.8700	4856897.3000	4.8568973	4513916.8650	0.8530	3.8503711	16.7516787
452.000	542337.9900	4170936.4300	4.1709364	3899767.4350	1.0000	3.8997674	12.9013076
451.014	841130.2300	4469728.6700	4.4697287	4049163.5550	0.0140	0.0566883	9.0582285
451.000	847653.4200	3628598.4400	3.6285984	3204771.7300	1.0000	3.2047717	9.0015402
450.000	668826.6000	2780945.0200	2.7809450	2446531.7200	1.0000	2.4465317	5.7967685
449.000	753470.3800	2112118.4200	2.1121184	1735383.2300	1.0000	1.7353832	3.3502368
448.000	423118.5400	1358648.0400	1.3586480	1147088.7700	1.0000	1.1470888	1.6148535
447.000	935529.5000	935529.5000	0.9355295	467764.7500	1.0000	0.4677648	0.4677648
446.000	0.0000	0.0000	0.0000000	0.0000	0.0000	0.0000000	0.0000000

Tabla 9. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Metapán.

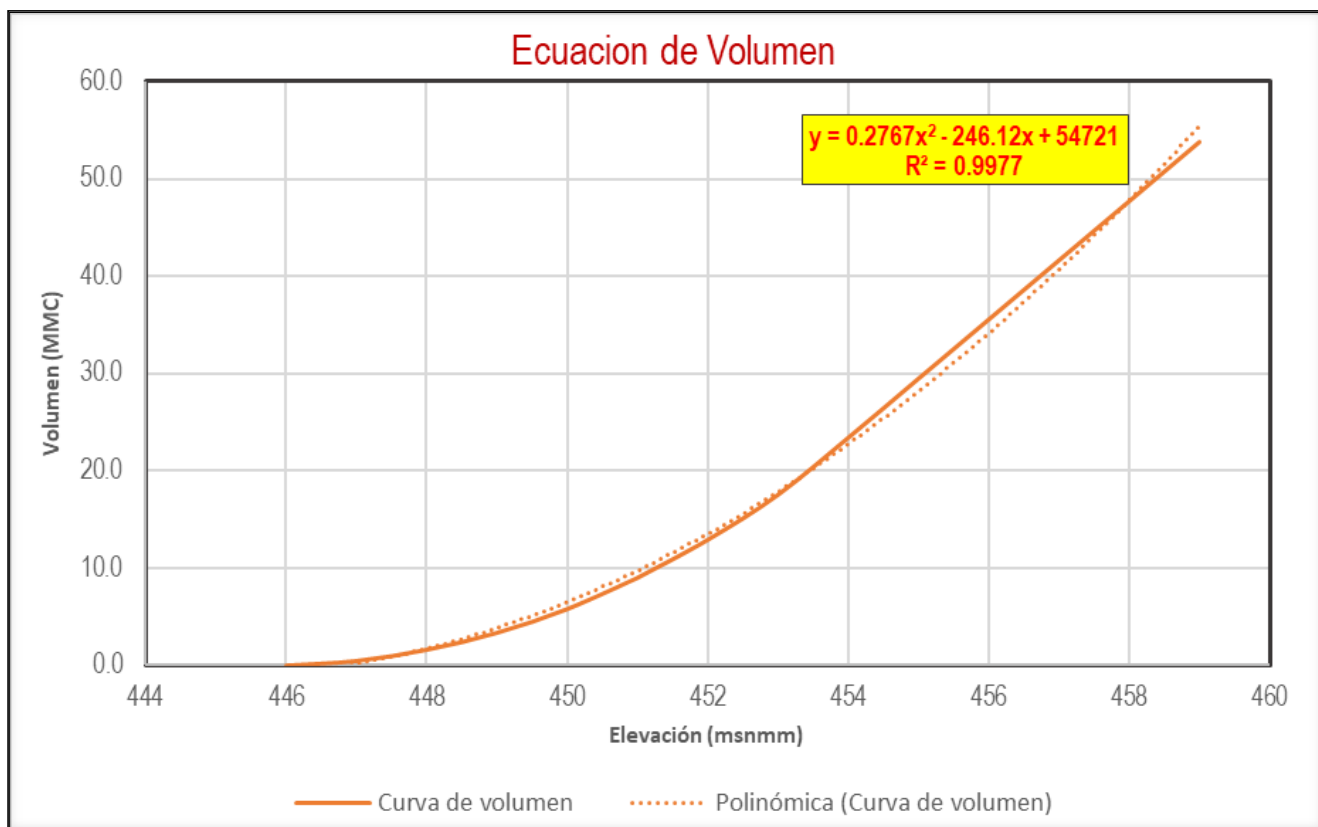


Imagen 22. Gráfica de ecuación para cálculo de volumen



DELEGACIÓN DE LA COMUNIDAD



1. Identificación del área o sitio de medición hidrográfica

1.1. Ubicación general

La Laguna Cuzcachapa es un cuerpo lacustre ubicado a 0.8 km. Al este de la ciudad de Chalchuapa. Es un cráter volcánico de tamaño pequeño cuyo cuerpo magmático colapsó. Su tamaño aproximado es de 360 m norte-sur y de 250 m este-oeste.

A tan solo 77 kilómetros de la capital salvadoreña la laguna de Cuzcachapa se sitúa en la entrada del municipio de Chalchuapa en el bello departamento de Santa Ana.

Mide 0.075 kilómetros cuadrados y es cuidada por las autoridades municipales aledañas ya que se le considera un patrimonio natural de la ciudad.

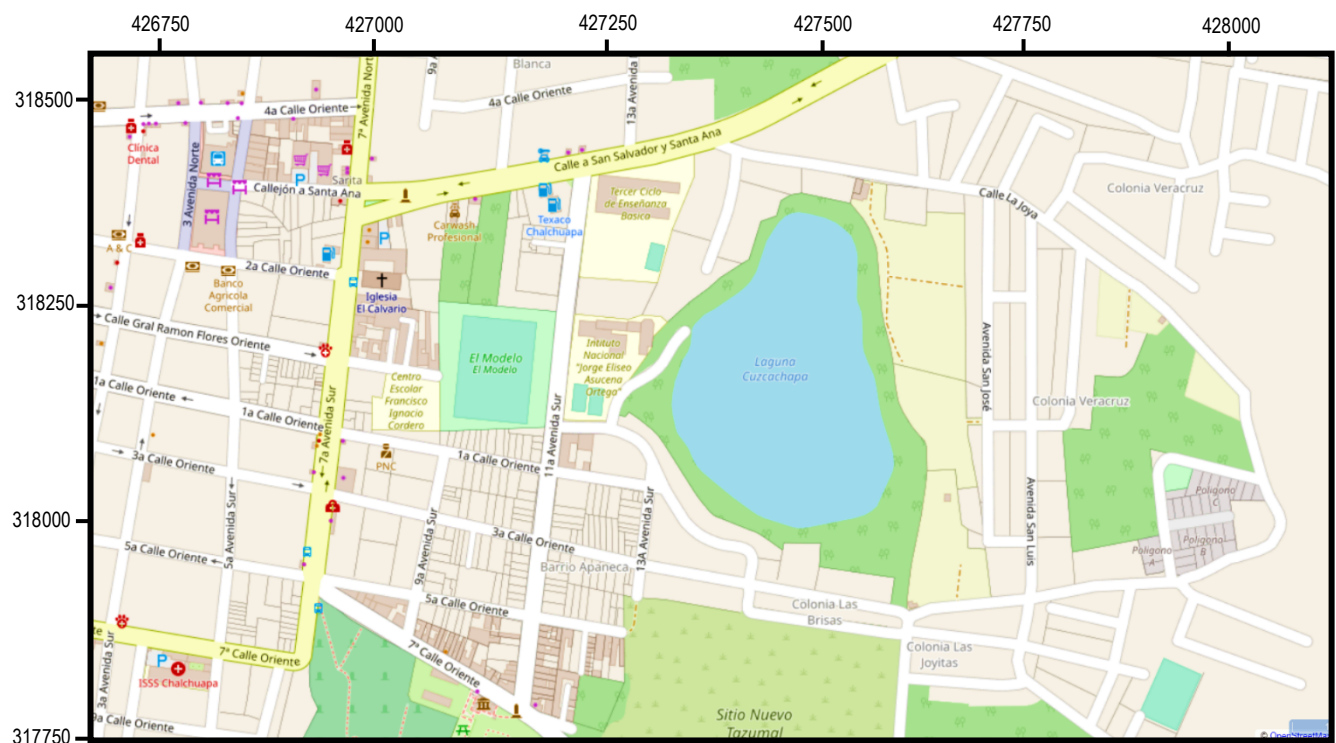


Imagen 23. Ubicación geográfica de laguna de Cuzcachapa

1.2. Descripción morfológica

La laguna es de origen volcánico, pertenece a la Zona de Vida Bosque Húmedo Sub-Tropical, la cual constituye el 85.6% de la superficie del territorio, que se extiende desde la cadena volcánica hasta las planicies costeras donde hay predominio de suelos aluviales; en cambio en la cadena volcánica, meseta central y valles interiores, se pueden encontrar suelos regosoles formados por cenizas volcánicas recientes.

Según la Geología de El Salvador, el lugar de estudio se clasifica dentro de la Formación SAN SALVADOR (s2), se describe como Volcánicas básicas-intermedias, piroclásticas subordinadas.

2. Referencias geodésicas oficiales

2.1. Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional

Se utilizó un punto geodésico comprado a CNR (ver Imagen 31), para la ubicación de puntos de control en el área de Estudio.

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (elipsoidal)
TRES CEIBAS	425753.185	318530.103	698.779
MKZ TRES CEIBAS	425710.629	318622.825	No definido

Tabla 10. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.

2.2. Amarre altimétrico

Se utilizó el Banco de Marca proporcionado por CNR.

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnmm)
S72	318432.377	425431.919	697.145

Tabla 11. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.

3. Metodología de levantamiento batimétrico

3.1. Descripción de los trabajos

El levantamiento batimétrico, se ha realizado con ecosonda monohaz 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 desarrollaron con el uso de equipo profesional para levantamientos 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 y referenciación de puntos de control auxiliares cercanos a la laguna.

Los mojones con coordenadas geodésicas en zonas cercanas a la laguna fueron necesarios para la calibración de los equipos de posicionamiento. Por lo que se requirió la identificación de mojones existentes con la información proporcionada por CNR y el Instituto de Catastro (ver sección 2.1 y 2.2), y posteriormente la ubicación de nuevos puntos de control de referencia.

3.1.2. Rutina y Trabajo de campo

Instalación de base GPS GNSS con RTK:

La instalación de la base GNSS, se realizó en un punto de control cercano al lugar donde se ingresó la lancha, y en un punto estratégico para una mayor cobertura de señal para el envío/recepción de los datos de corrección de posicionamiento horizontal y vertical.

Calibración de equipo:

Se trabaja con la misma calibración del equipo oficial, 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 4 cm, el sistema avisa de inmediato al operador para la toma de decisiones.

Preparación de un Levantamiento hidrográfico diario:

Se preparan 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 geodésicos, 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 fue establecida según los términos de referencia de la consultoría, separación no mayor a 10 metros. Estas líneas a su vez sirvieron de orientación para navegación.

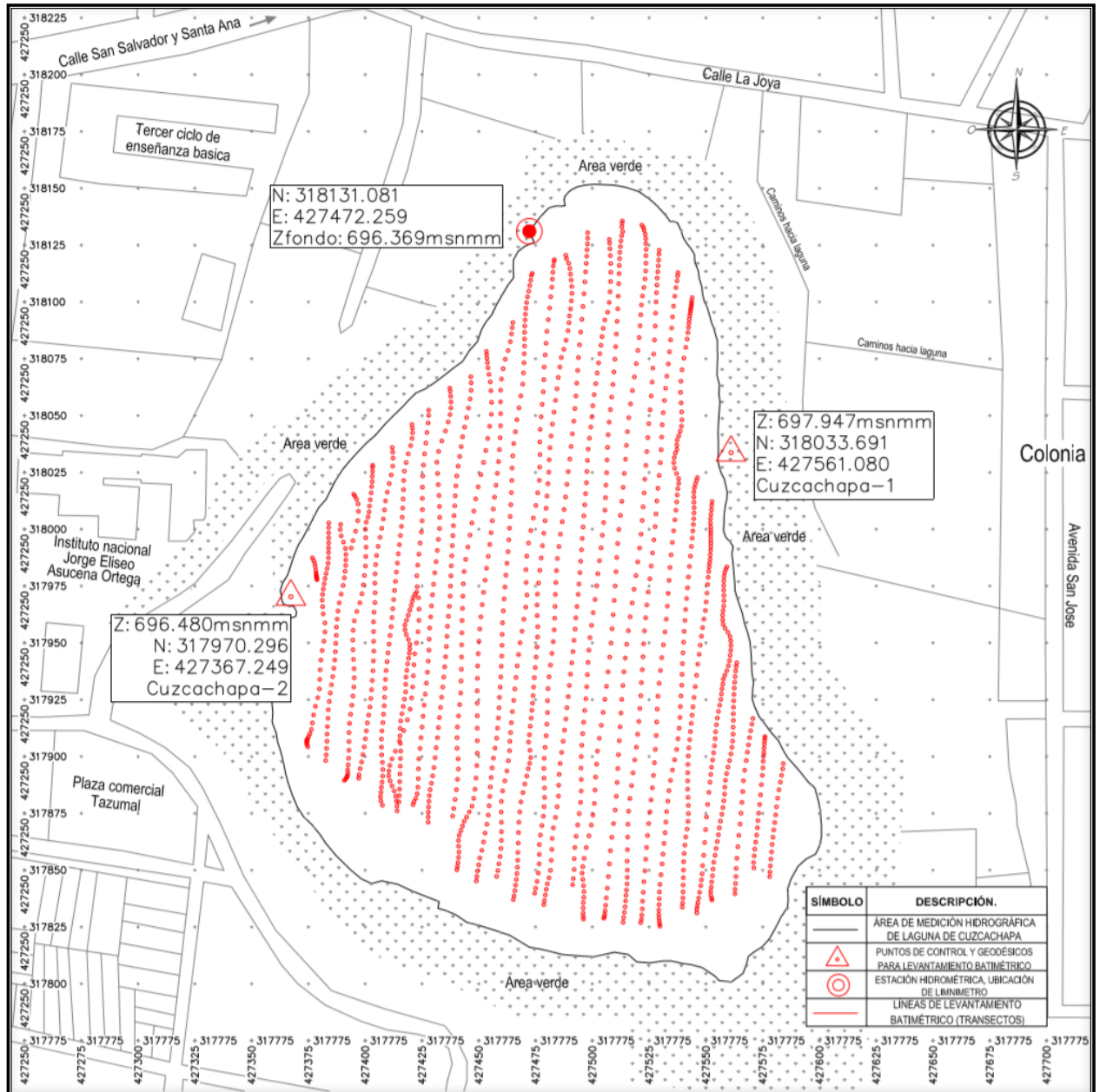


Imagen 24. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.

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, utilizando Qinsy online para los datos de la ecosonda y directamente del sensor de movimiento inercial para compensar el movimiento de la embarcación. Todo lo anterior para generar un modelo digital del terreno tal como se presenta a continuación en la siguiente imagen:

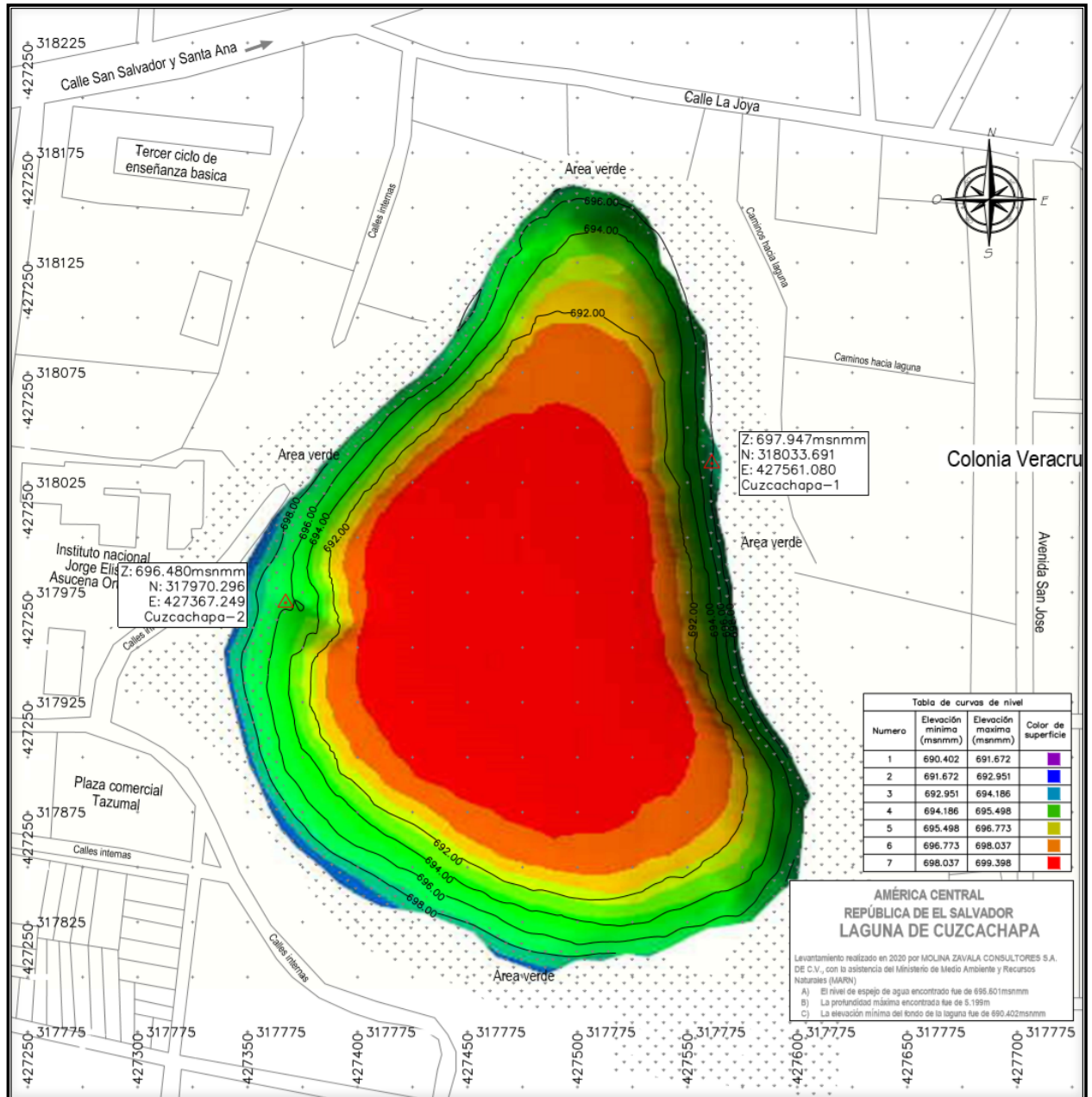


Imagen 25. Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna de Cuzcachapa.

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

Durante el levantamiento batimétrico realizado con ecosonda monoház, no se han podido cubrir zonas perimetrales de la laguna de Cuzcachapa principalmente debido a:

- Disminución brusca de la profundidad, debido a la morfología del sitio.
- Alto riesgo de colisión del transductor con obstáculos: arboles a poca profundidad (no son visibles)
- Alta presencia de roca de diverso tamaño, que pudiesen dañar el equipo por colisión.

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 de la laguna, 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 (msnmm)
Cuzcachapa 1	13°59'03.3621" N	89°40'13.713" W	318033.691	427561.080	697.947
Cuzcachapa 2	13°59'01.2817" N	89°40'20.166" W	317970.296	427367.249	696.480

Tabla 12. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.



Imagen 26. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo Monoház.

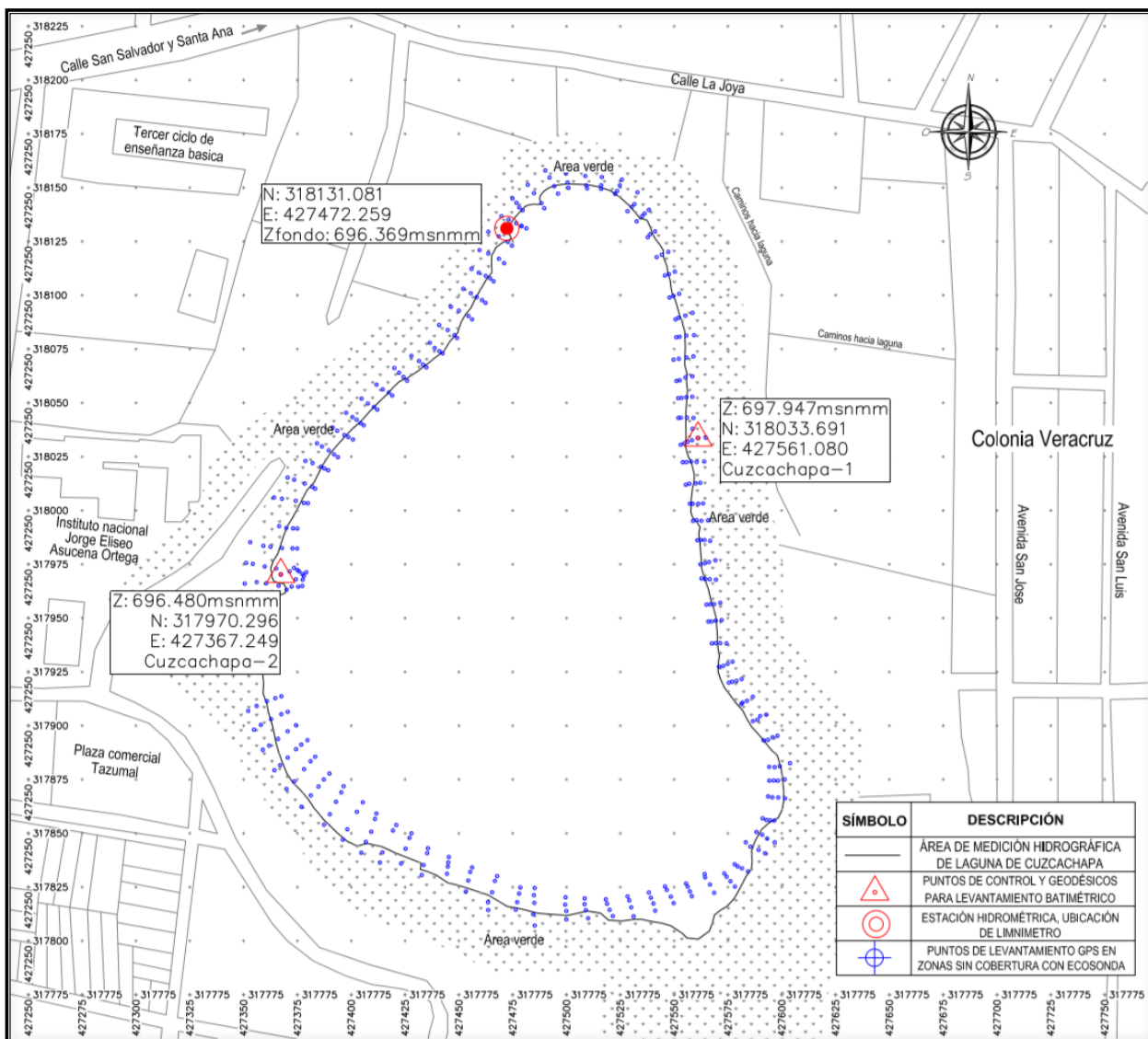


Imagen 27. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.

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

Referencias geodésicas: **mojón geodésico de C.N.R TRES CEIBAS 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 28. 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 29. 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: Geoconsult02, también se instalaron radios adicionales repetidoras para ampliar la cobertura y recepción del cálculo del error en Qinsy.



Imagen 30. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.

3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS

Partiendo del punto geodésico “TRES CEIBAS” 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)
Cuzcachapa 1	13°59'03.3621" N	89°40'13.713" W	318033.691	427561.080	697.947
Cuzcachapa 2	13°59'01.2817" N	89°40'20.166" W	317970.296	427367.249	696.480

Tabla 13. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.

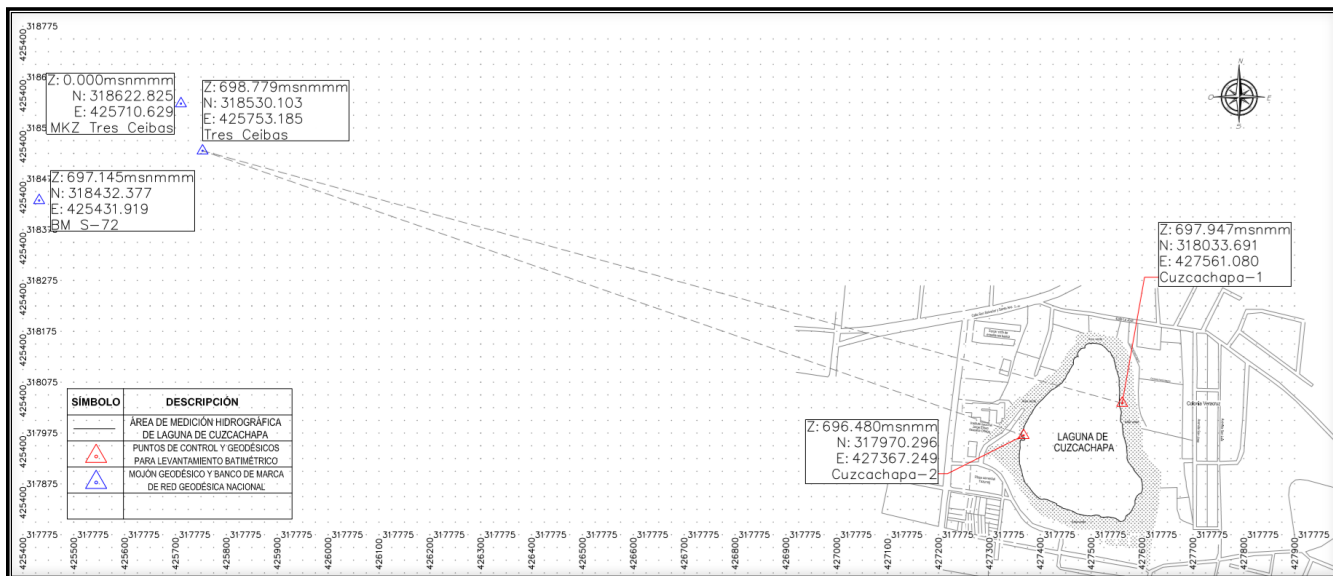


Imagen 31. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.

3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica

A continuación, se detallan las coordenadas resultantes de la estación hidrométrica de laguna de Cuzcachapa:

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)	Descripción
E_HIDRO_01	318131.081	427472.259	696.369	Elevación de fondo en estación hidrométrica
E_HIDRO_02	No definido	No definido	No definido	Elevación hasta el espejo de agua

El nivel de cota máxima indicada por los pobladores fue de 699.398 msnm
Con coordenadas N: 317944.377 E: 427336.984

Tabla 14. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.



Imagen 32. Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.

3.6.2. Control vertical de datos adquiridos

Ecosonda CEE ECHO: en el presente trabajo, se adquirieron los datos de profundidades por medio de una Ecosonda monohaz, de doble frecuencia CEE ECHO TM 33/200 kHz, ofrece una mayor penetración a través del agua y sedimentos sueltos, lodos y limo; para distinguir el fondo no perturbado del material resuspendido o redepositado, brinda la confianza adicional de que los resultados reportados son consistentes con la realidad. Los datos se muestran en tiempo real y se registra en el software hidrográfico, mostrando una vista compleja del fondo, con los datos de 200 kHz que identifican el fondo blando y de 33 kHz siguiendo la superficie inferior más densa que hay debajo.

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 Pantanera, de aluminio, con las siguientes descripciones físicas:

TIPO DE EQUIPO: Lancha Pantanera de aluminio, Nombre Geoconsult02	MANGA: 4.5 pies ESLORA: 14 pies CALADO VACÍO: 1 pie
MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 15 Hp	

Fotografías de realización de Batimetría en Laguna de Cuzcachapa.



Vista panorámica de laguna previo a medición.



Instalación de equipo hidrográfico en embarcación.



Embarcación instalada dentro de laguna para iniciar medición.



Levantamiento batimétrico en aguas someras.

TIPO DE EQUIPO:

Lancha Pantanera de aluminio, Nombre Geoconsult02

MOTOR FUERA DE BORDA:

1 motor de 15 Hp

MANGA: 4.5 pies

ESLORA: 14 pies

CALADO VACÍO: 1 pie

Fotografías de realización de Batimetría en Laguna de Cuzcachapa.



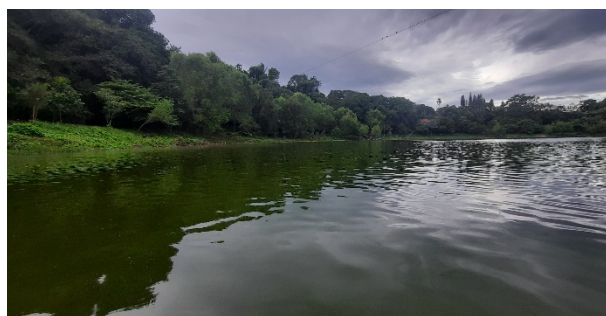
Árboles en las orillas de laguna.



Rocas y árboles superficiales a la orilla de la laguna.



Reconocimiento de la laguna Cuzcachapa.



Vista panorámica de la laguna desde el norte.



Vista aérea de laguna de Cuzcachapa.



Vista aérea de laguna de Cuzcachapa.

TIPO DE EQUIPO: Lancha Pantanera de aluminio, Nombre Geoconsult02	MANGA: 4.5 pies ESLORA: 14 pies CALADO VACÍO: 1 pie
MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 15 Hp	
Fotografías de realización de Batimetría en Laguna de Cuzcachapa.	
 Vista aérea de laguna de Cuzcachapa desde el sur.	 Vista aérea de laguna de Cuzcachapa, costado oriente.

Tabla 15. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.

Levantamiento en zonas complementarias, ubicación de mojones geodésicos y los puestos para el proyecto por parte del consultor:

Registro fotográfico de realización de Topo-Batimetría al contorno de Laguna Cuzcachapa.	
 Ubicación de mojón geodésico para georeferenciar puntos geodésicos auxiliares	 Ubicación de banco de marca de gran precisión.

Registro fotográfico de realización de Topo-Batimetría al contorno de Laguna Cuzcachapa.



Instalacion de base GPS RTK en mojón geodésico.



Establecimiento de puntos geodésicos auxiliares.



Levantamiento topo-batimétrico en profundidades de hasta 1.0m de columna de agua.



Levantamiento topo-batimétrico en espejo de agua.



Levantamiento topográfico con estación total.



Levantamiento topográfico con estación total.

Registro fotográfico de realización de Topo-Batimetría al contorno de Laguna Cuzcachapa.



Levantamiento de la laguna en puntos dentro de aguas someras (profundidades de hasta 1.0m de columna de agua).



Levantamiento de la laguna en puntos dentro de aguas someras (profundidades de hasta 1.0m de columna de agua).



Levantamiento de la laguna en puntos dentro de aguas someras (profundidades de hasta 1.0m de columna de agua).



Levantamiento de la laguna en puntos dentro de aguas someras (profundidades de hasta 1.0m de columna de agua).

Tabla 16. 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.

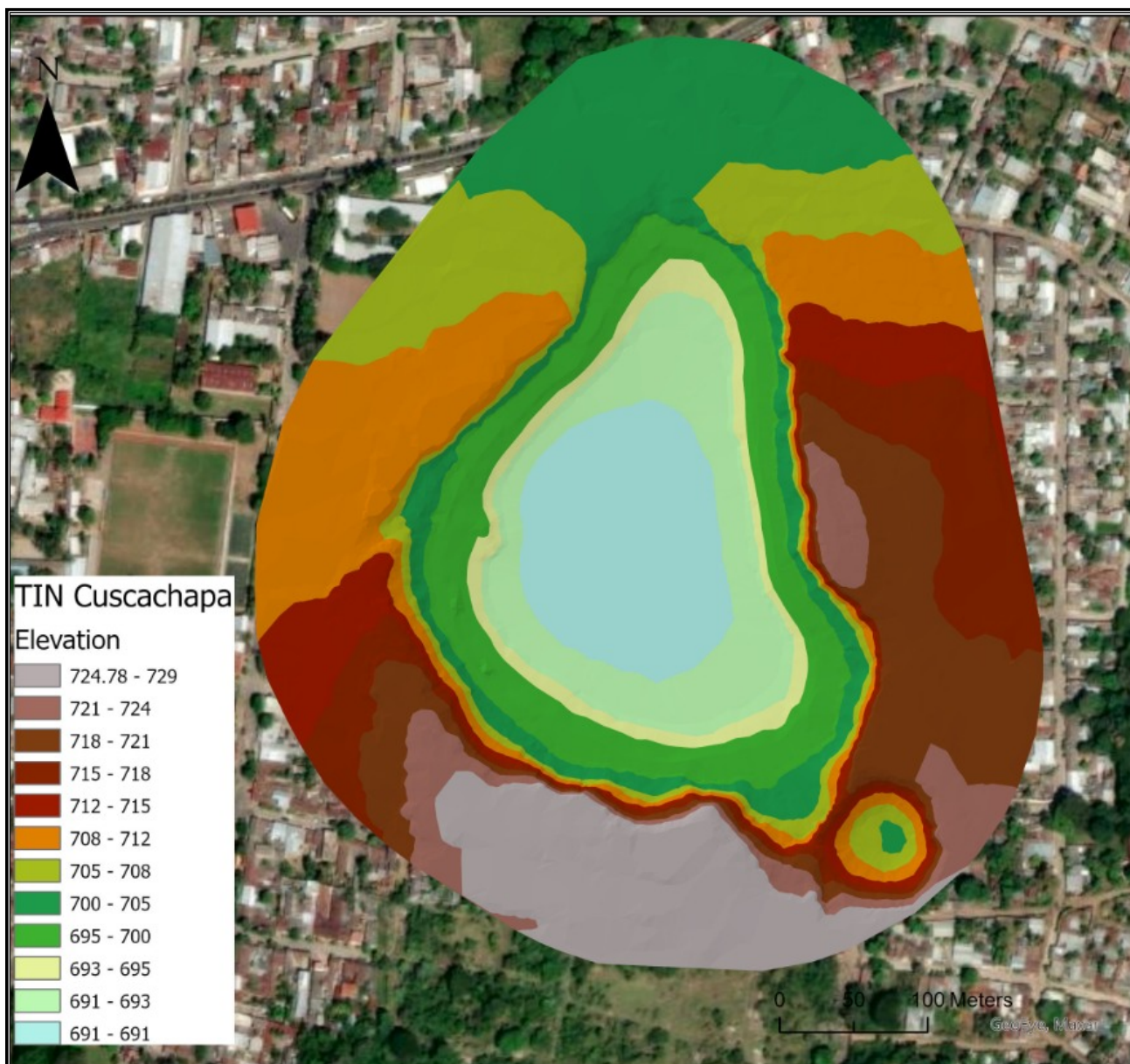


Imagen 33. Unión de Batimetría con Levantamiento LIDAR en SIG.

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) 55

A continuación, se presentan imágenes en 3D creadas en el programa “Terramodel” con los datos del levantamiento batimétrico realizado en toda la Laguna de Cuzcachapa:

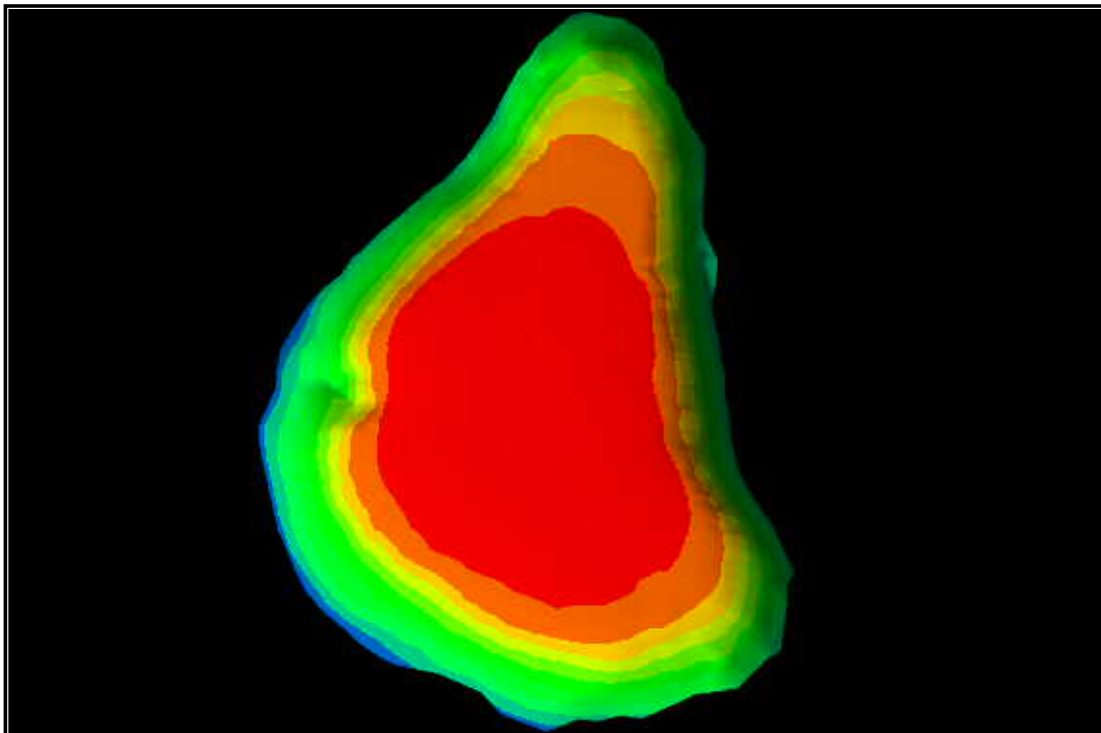


Imagen 34. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Cuzcachapa (Vista en planta de Laguna).

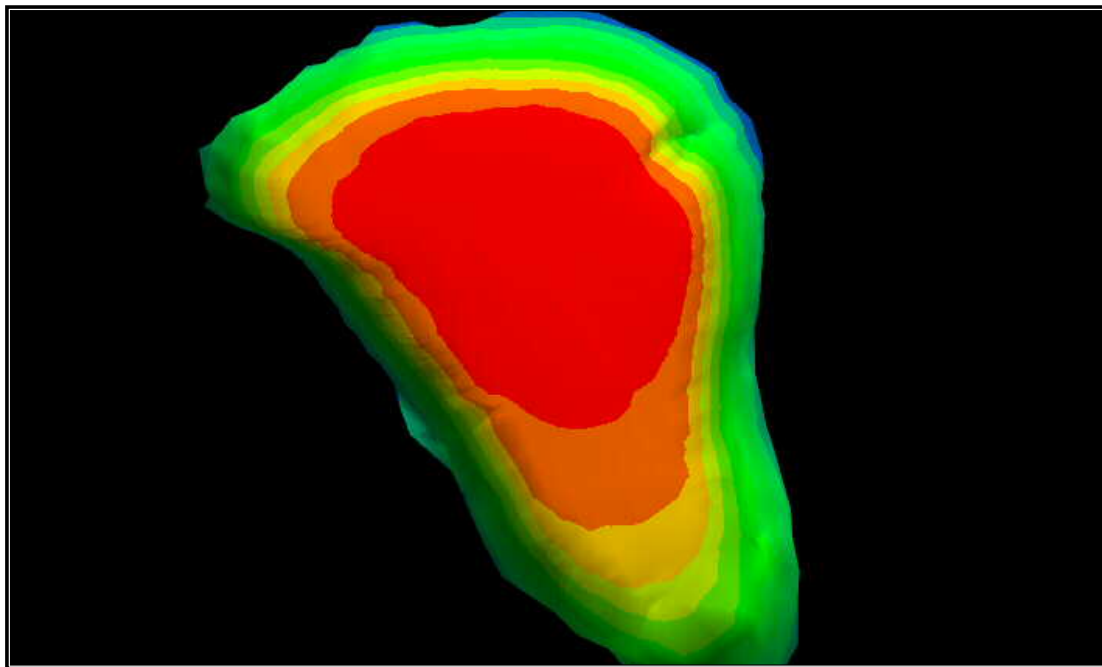


Imagen 35. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Cuzcachapa (Vista panorámica de laguna).

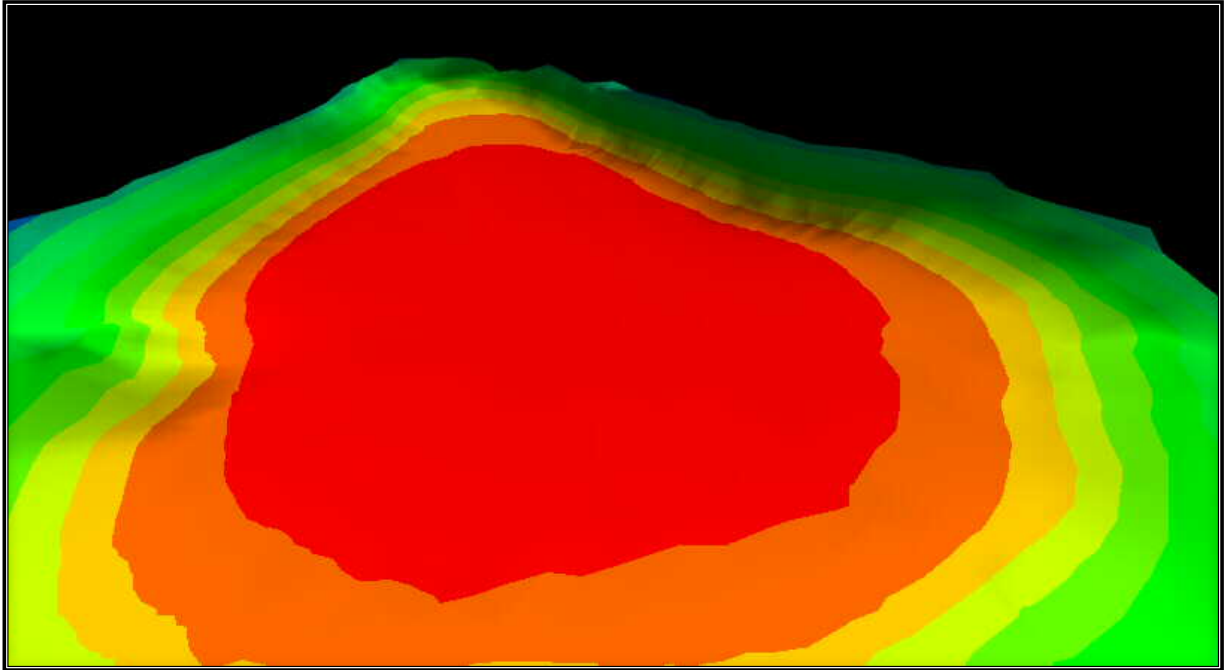


Imagen 36. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Cuzcachapa (Vista norte de laguna).

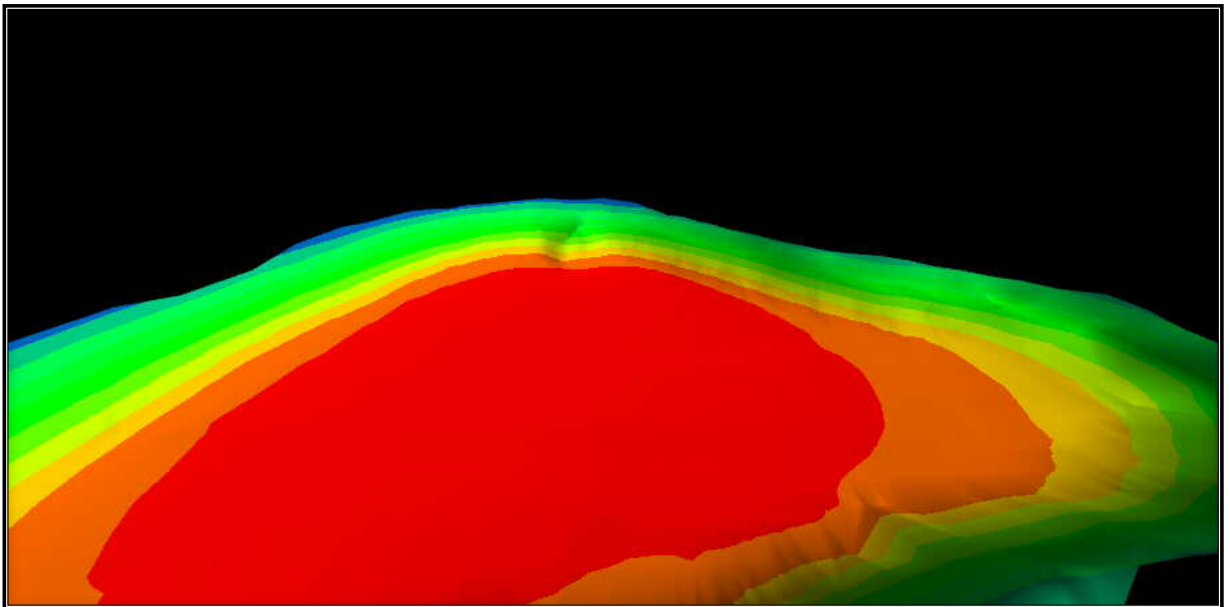


Imagen 37. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Cuzcachapa (Zona Sur del laguna).

5.3. Isobatas

Modelo de Isobatas de levantamiento batimétrico con un espaciamiento vertical de 1.0 metro.

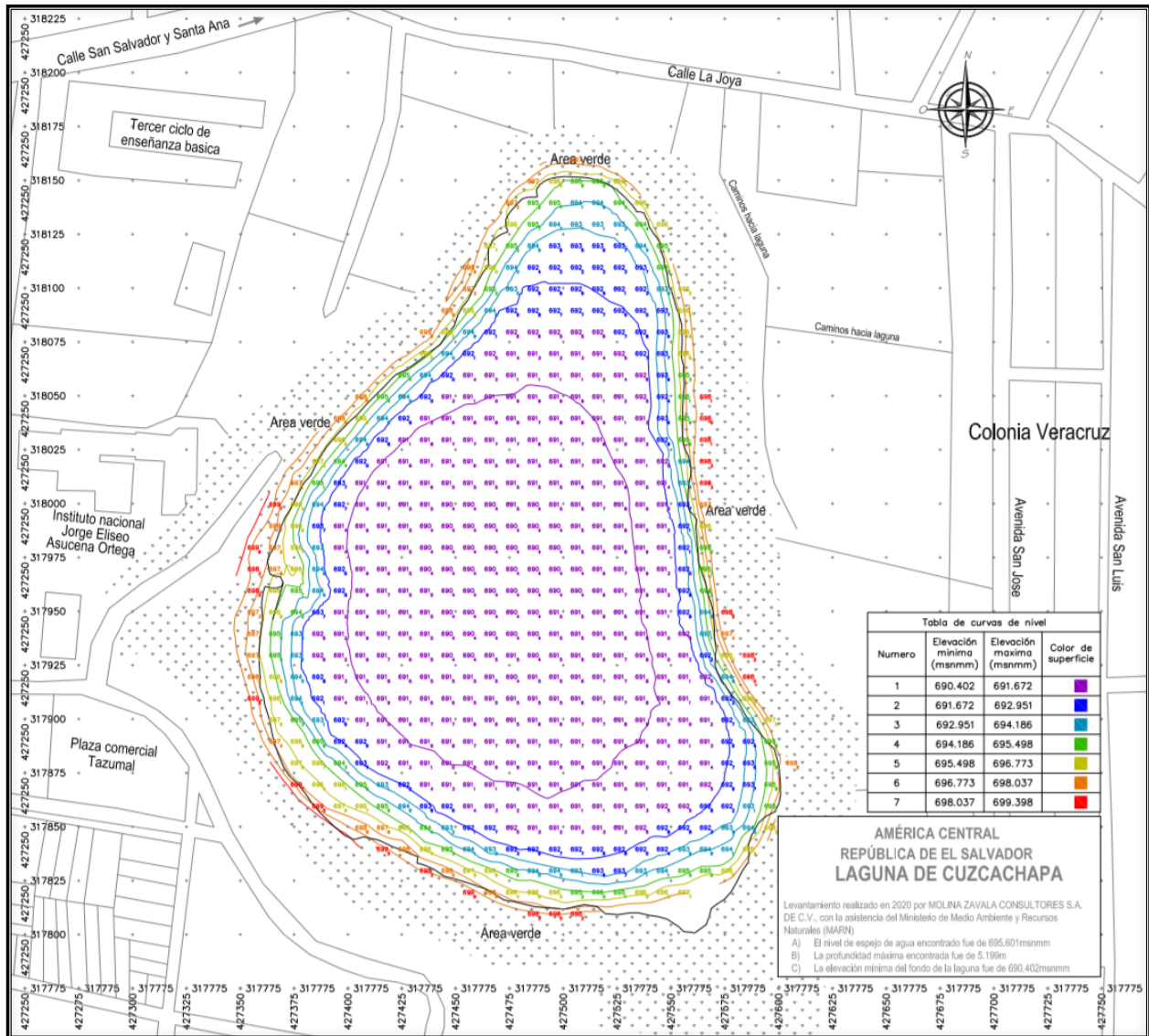


Imagen 38. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.

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

La elevación del nivel del espejo de agua promedio registrado fue de: 695.601 msnmm, no fue posible medir el nivel de espejo de agua con sensor hidrométrico debido a que el nivel se encontraba por debajo del cero hidrométrico.

5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen

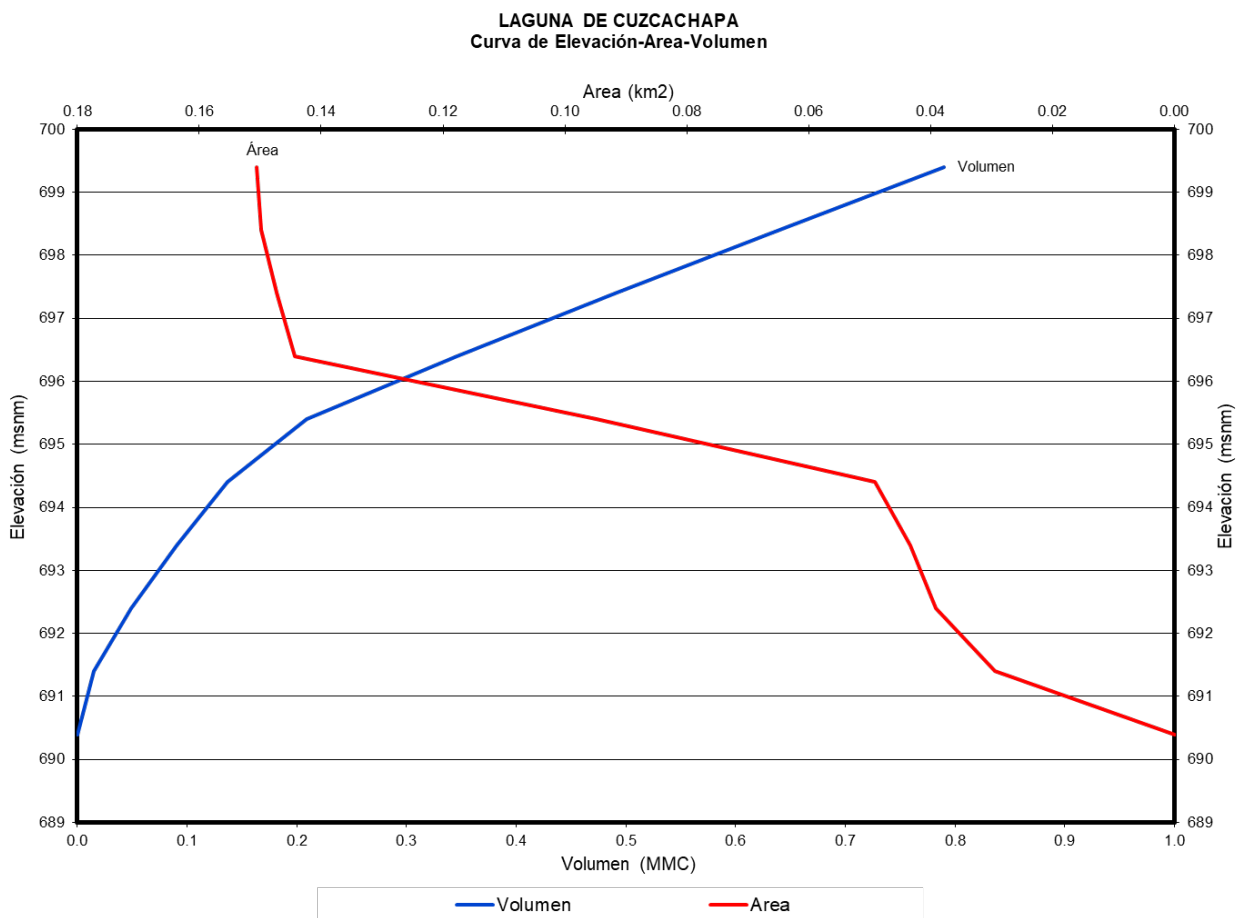


Imagen 39. Curva E-A-V de Laguna de Cuzcachapa.

Volumen de agua al nivel de espejo de agua

Durante la medición (695.601 msnm):

232,160.05 de m³

Volumen de agua al nivel máximo histórico de laguna

indicado por los pobladores (699.398 msnm):

790,076.29 de m³

(dato no validado/comprobado científicamente)

Datos topo-batimétricos resultantes de las mediciones.

Elevación mínima del fondo de la laguna:

690.402 m.s.n.m.m

Elevación del espejo de agua al momento de medición:

695.601 m.s.n.m.m

Elevación máxima histórica de la laguna indicada por pobladores:

699.398 m.s.n.m.m

Profundidad máxima de columna de agua encontrada:

5.199 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 monoház, 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.

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:

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

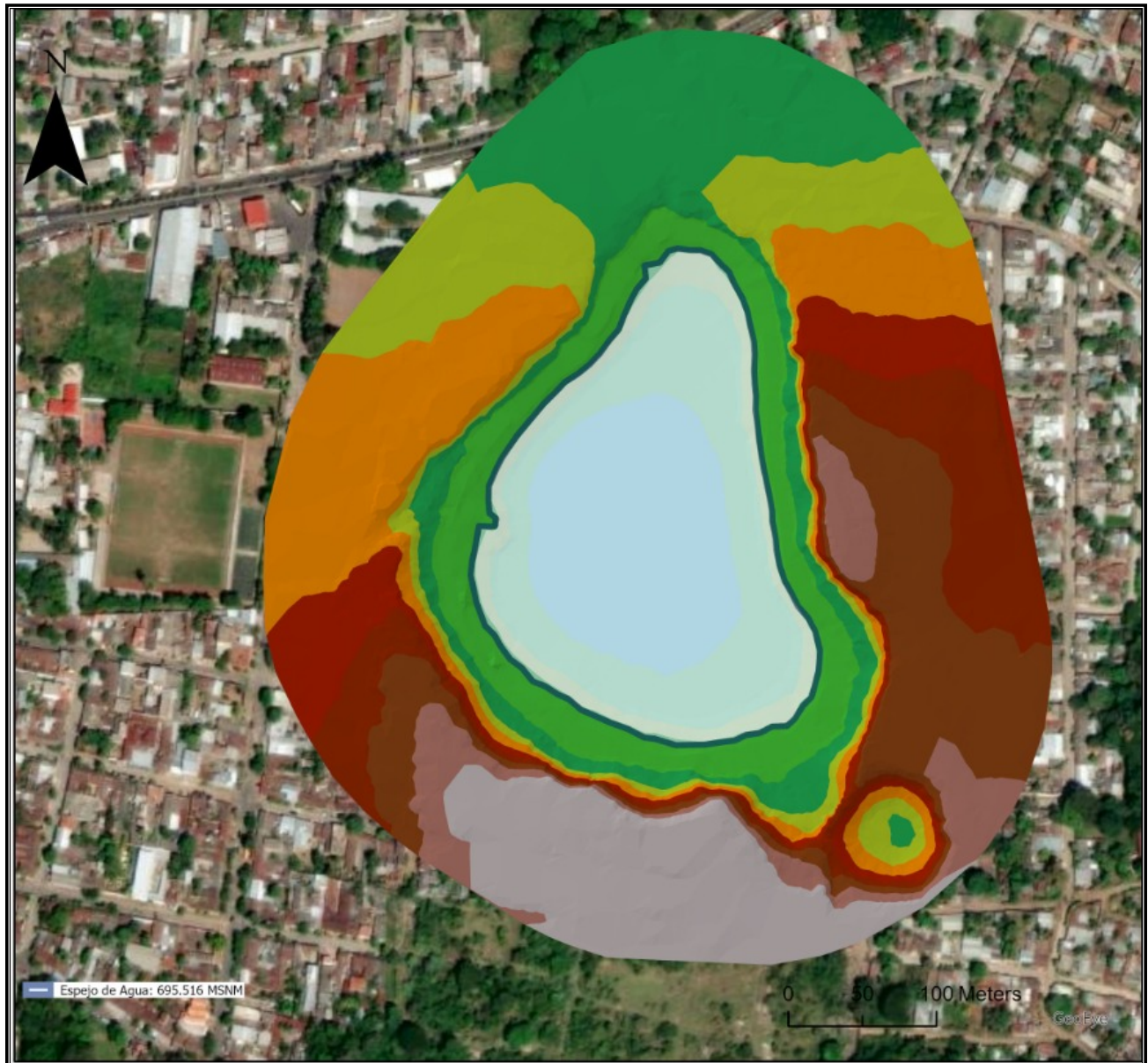


Imagen 40. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.

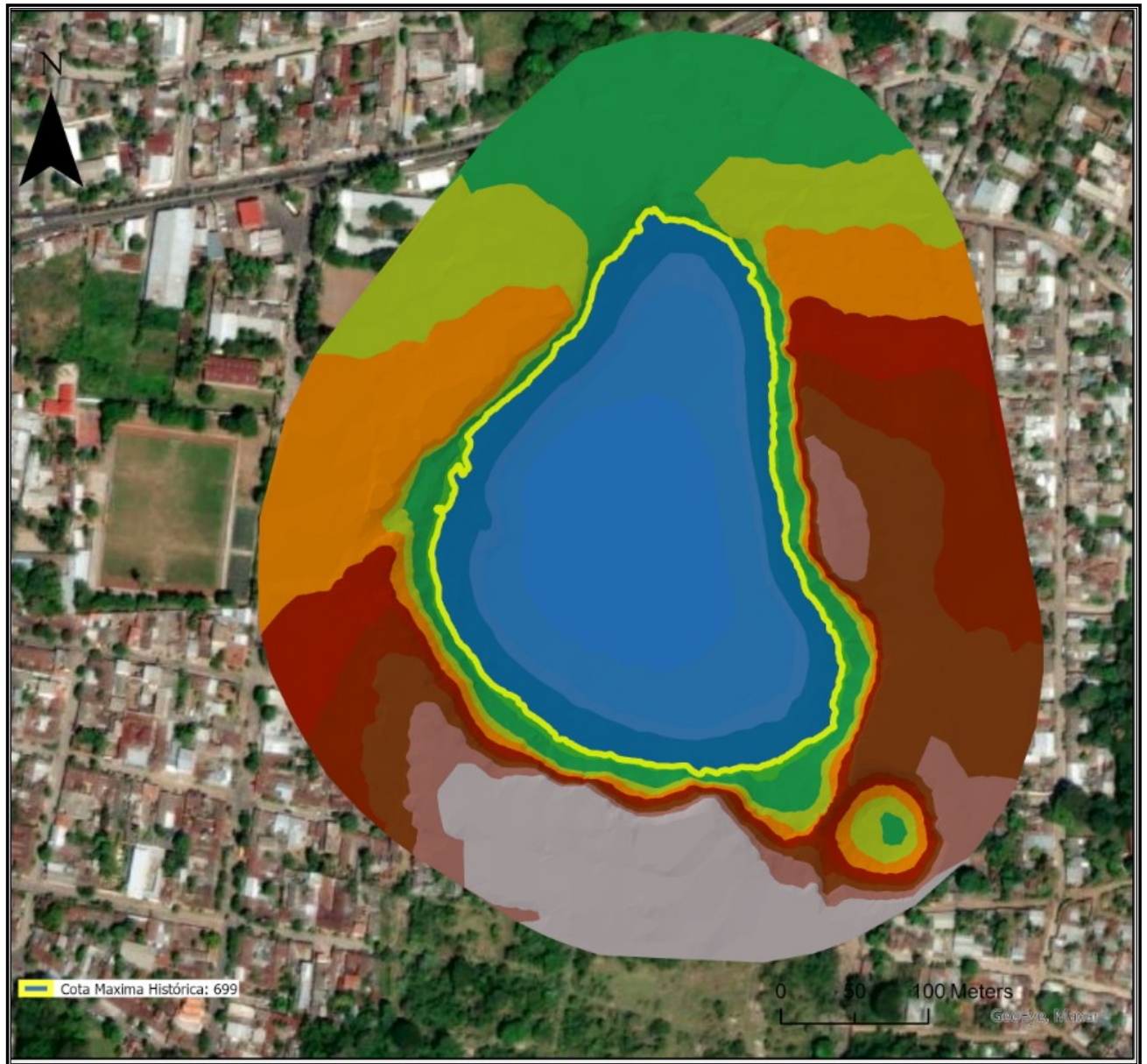


Imagen 41. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.

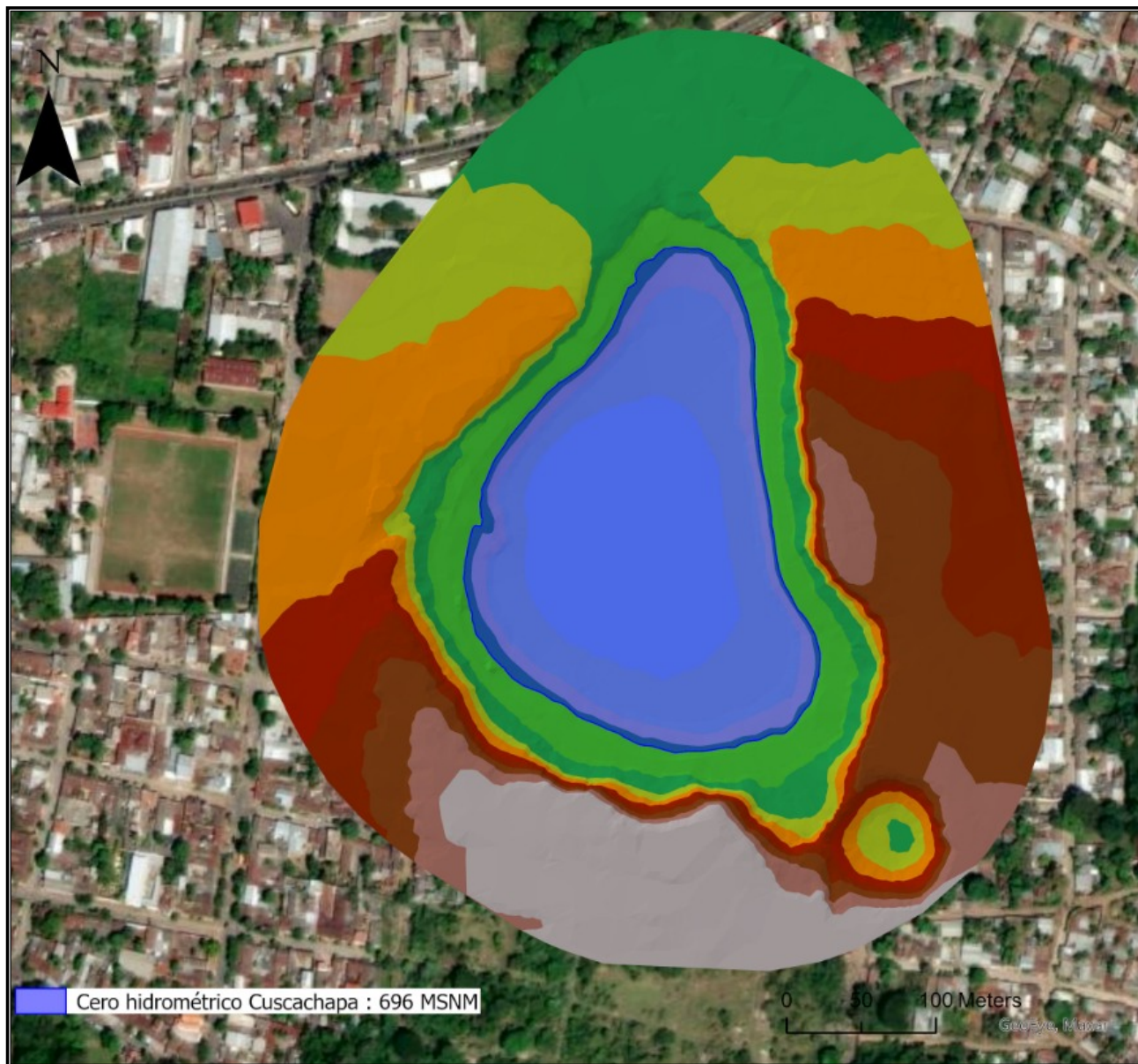


Imagen 42. Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnimetro.

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 (msnmm)	Área (km2)
Nivel de espejo de agua según "0" hidrométrico medido en 2020	696.369	0.14427
Nivel de espejo de agua máximo según medición actual 2020	695.601	0.13942
Nivel de espejo de agua según datos histórico.	699.398	0.15056

Tabla 17. 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. Mapa en color degradado del levantamiento batimétrico.

ANEXO 5. Mapa batimétrico general de Laguna de Cuzcachapa

ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría de Laguna de Cuzcachapa.

ANEXO 7. Memoria de cálculo.

A continuación, se presenta la memoria de cálculo para el almacenamiento de agua de la laguna de Cuzcachapa:

ELEVACIÓN (msnmm)	ÁREA INCREMENTAL (según modelo digital de elevación C3D)	ÁREA (m ²)	ÁREA (km ²)	AREA PROMEDIO (m ²)	INTERVALO (m)	VOLUMEN INCREMENTAL (m ³)	VOLUMEN ACUMULADO (m ³)
699.400	702.5900	150,566.0800	0.1506	150,214.7850	1.0000	150,214.7850	790,076.2857
698.400	2,569.8000	149,863.4900	0.1499	148,578.5900	1.0000	148,578.5900	639,861.5007
697.400	3,019.2400	147,293.6900	0.1473	145,784.0700	1.0000	145,784.0700	491,282.9107
696.400	4,847.2900	144,274.4500	0.1443	141,850.8050	0.7990	113,338.7932	345,498.8407
695.601	44,551.2100	139,427.1600	0.1394	117,151.5550	0.2010	23,547.4626	232,160.0476
695.400	45,683.8500	94,875.9500	0.0949	72,034.0250	1.0000	72,034.0250	208,612.5850
694.400	5,851.9500	49,192.1000	0.0492	46,266.1250	1.0000	46,266.1250	136,578.5600
693.400	4,189.0900	43,340.1500	0.0433	41,245.6050	1.0000	41,245.6050	90,312.4350
692.400	9,659.7600	39,151.0600	0.0392	34,321.1800	1.0000	34,321.1800	49,066.8300
691.400	29,491.3000	29,491.3000	0.0295	14,745.6500	1.0000	14,745.6500	14,745.6500
690.400	0.0000	0.0000	0.0000000	0.0000	0.0000	0.0000000	0.0000000

Tabla 18. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Cuzcachapa.

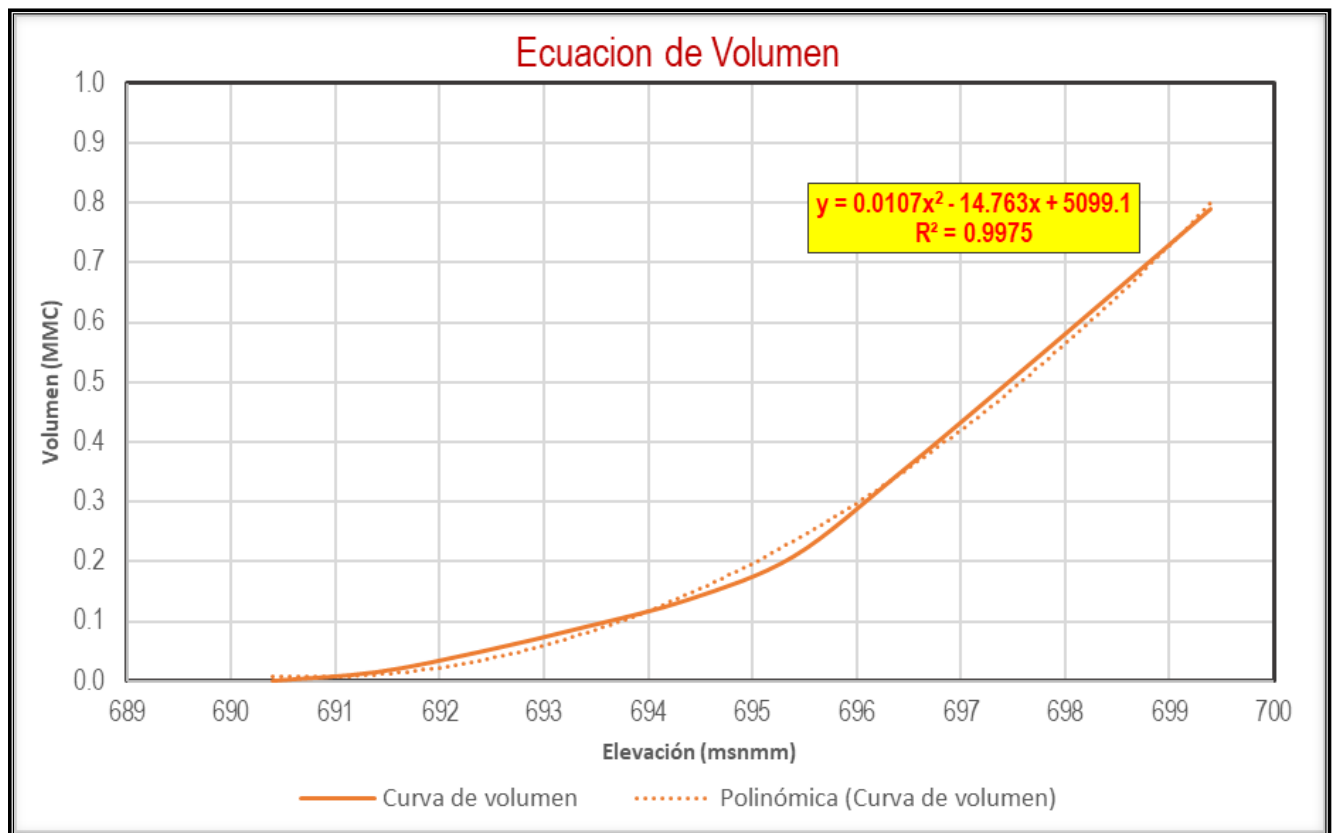
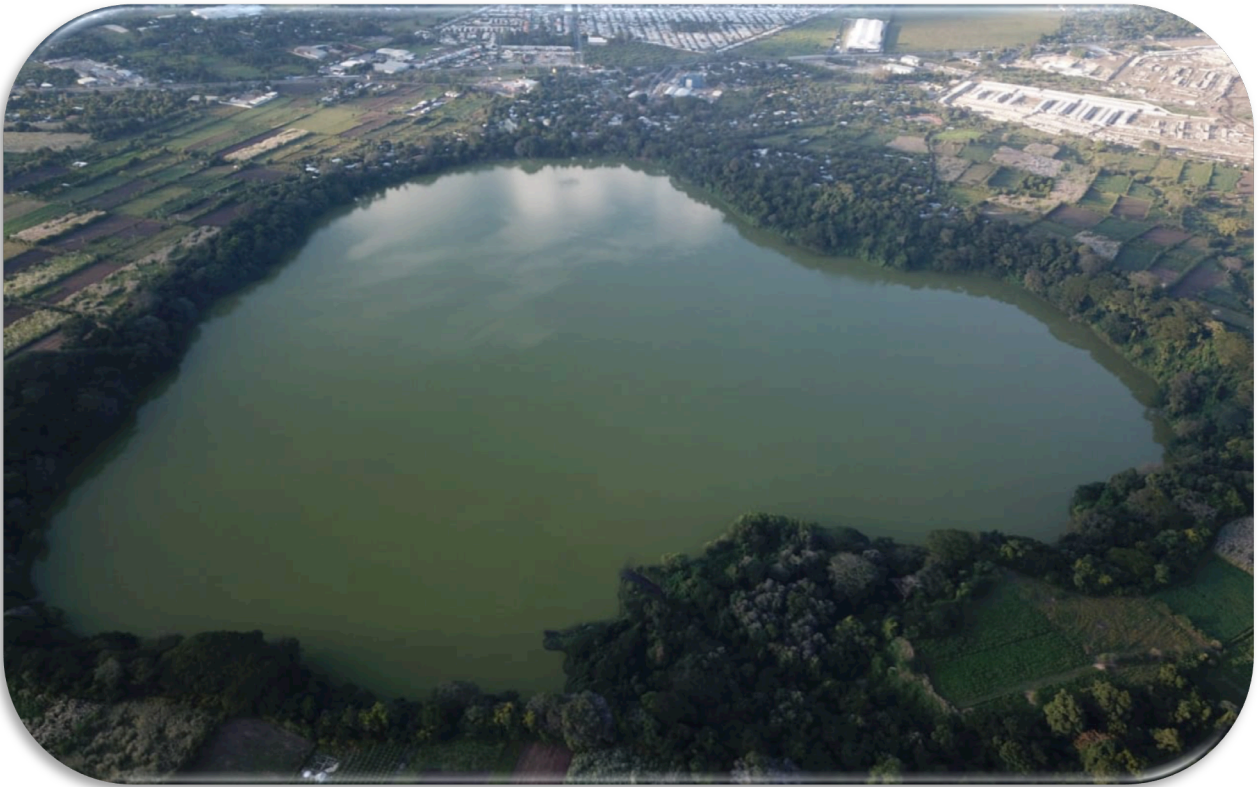


Imagen 43. Grafica de ecuación para cálculo de volumen.



El Lago Amador



1. Identificación de área o sitio de medición hidrográfica

1.1. Ubicación general

La Laguna de Channmico, forma parte del área natural protegida “Complejo El Playón”, que abarca parte del territorio de los municipios de San Juan Opico y Quezaltepeque. Este complejo está conformado por varias porciones de reserva: La Isla, La Argentina, Channmico, Colombia, 14 de marzo y los Abriles.

Por su ubicación geográfica la laguna se encuentra dentro de la Zona de Vida Bosque Húmedo Sub Tropical, la cual constituye el 85.6% de la superficie del territorio y se extiende desde la cadena volcánica hasta las planicies costeras.

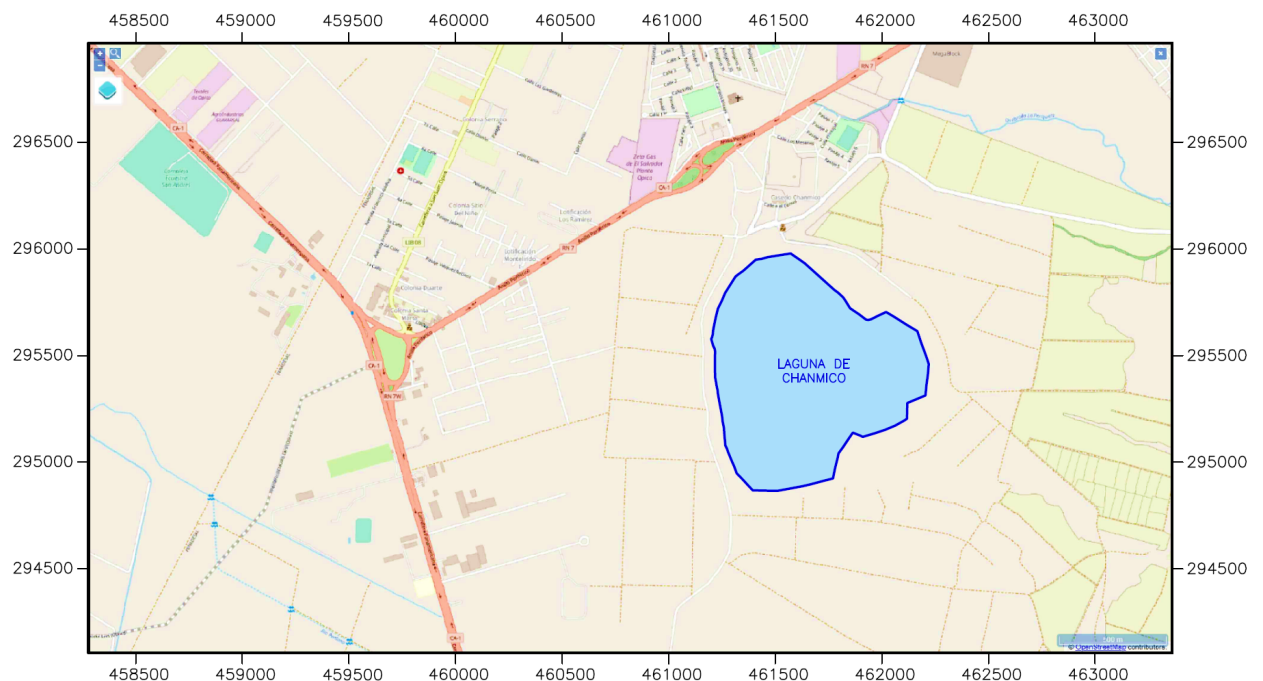


Imagen 44. Ubicación geográfica de laguna de Channmico.

1.2. Descripción morfológica

Laguna de origen volcánica situada en un cráter de explosión, posee agua sulfurosa y está rodeado de bosque secundario y cafetal arbolado en las paredes internas al cráter.

La superficie del humedal es de 79 Ha, pertenece a la región hidrográfica A “Río Lempa”, el espejo de agua se extiende aproximadamente por 0.78 km²; la profundidad máxima es de 47.28 m. La topografía del terreno es de geomorfología sinuosa con ligeras ondulaciones.

Según la Geología de El Salvador, el lugar de estudio se clasifica dentro de la Formación SAN SALVADOR (s4), se describe como una secuencia de piroclásticas ácidas y epiclastitas volcánicas subordinadas, localmente efusivas ácidas, nombrado informalmente como tierra blanca.

2. Referencias geodésicas oficiales

2.1. Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional

Se utilizó un punto geodésico comprado a CNR (ver Imagen 52) para la ubicación de puntos de control en el área de Estudio.

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnmm)
VILLA TSUCHI			297447.293	463271.797	No definido
MKZ VILLA TSUCHI	13°47'50.947" N	89°20'29.267" W	297294.222	463077.667	477.609

Tabla 19. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.

2.2. Amarre altimétrico

Se utilizó el Banco de Marca proporcionado por CNR.

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnmm)
N42	13°47'50.947" N	89°20'29.267" W	297294.222	463077.667	477.609

Tabla 20. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.

3. Metodología de levantamiento batimétrico

3.1. Descripción de los trabajos

El levantamiento batimétrico, se ha realizado con ecosonda monohaz 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 levantamientos 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 y referenciación de puntos de control auxiliares cercanos a la laguna.

Los mojones con coordenadas geodésicas en zonas cercanas a la laguna fueron necesarios para la calibración de los equipos de posicionamiento. Por lo que se requirió la identificación de mojones existentes con la información proporcionada por CNR y el Instituto de Catastro (ver sección 2.1 y 2.2), y posteriormente la ubicación de nuevos puntos de control de referencia.

3.1.2. Rutina y Trabajo de campo

Instalación de base GPS GNSS con RTK:

La instalación de la base GNSS, se realizó en un punto de control cercano al lugar donde se ingresó la lancha, y en un punto estratégico para una mayor cobertura de señal para el envío/recepción de los datos de corrección de posicionamiento horizontal y vertical.

Calibración de equipo: Se trabaja con la misma calibración del equipo oficial, 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 preparan 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 geodésicos, DXF, creación de transectos en campo, creación de archivos grid, configuración de la embarcación, visualización de los datos 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 fue establecida según los términos de referencia de la consultoría, separación no mayor a 25 metros. Estas líneas a su vez sirvieron de orientación para navegación.

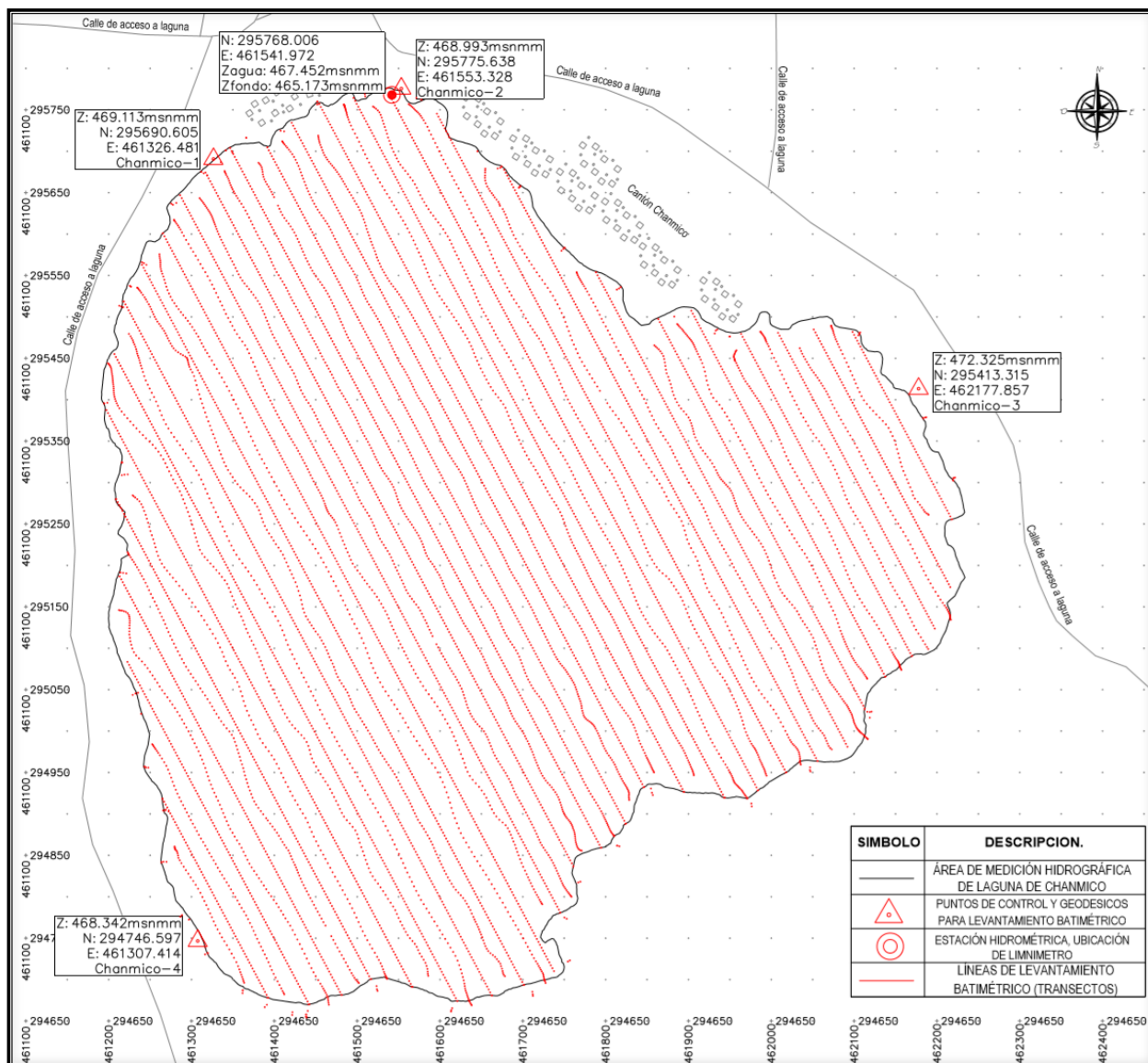


Imagen 45. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.

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, utilizando Qinsy online para los datos de la ecosonda y directamente del sensor de movimiento inercial para compensar el movimiento de la embarcación. Todo lo anterior para generar un modelo digital del terreno tal como se presenta a continuación en la siguiente imagen:

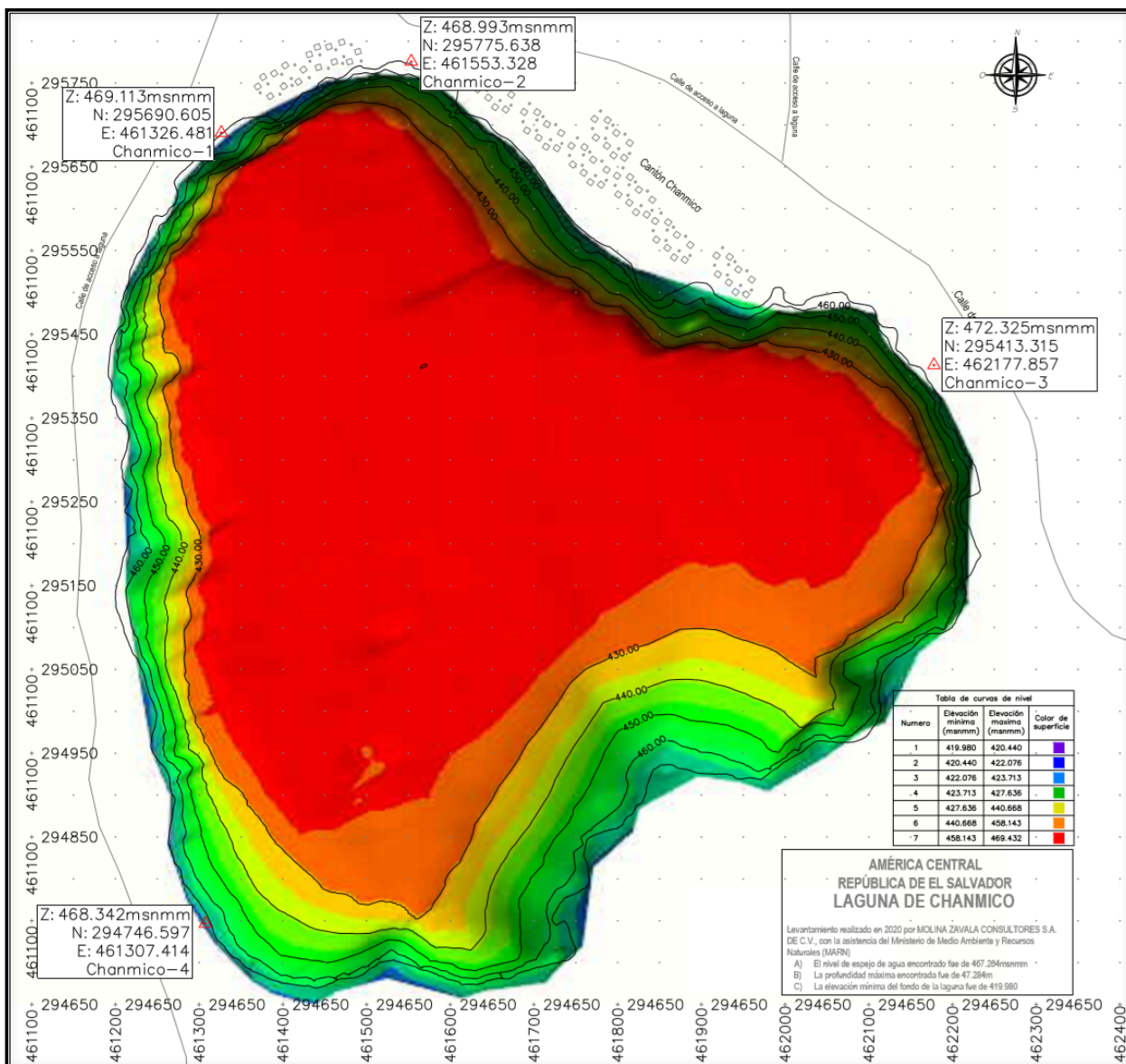


Imagen 46. Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna de Channico.

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

Durante el levantamiento batimétrico realizado con ecosonda monoház, no se ha podido cubrir zonas perimetrales de la laguna de Channico principalmente debido a:

- Disminución brusca de la profundidad, debido a la morfología del sitio.
- Alto riesgo de colisión del transductor con obstáculos: arboles a poca profundidad (no son visibles)
- Alta presencia de roca de diverso tamaño, que pudiesen dañar el equipo por colisión.

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 de la laguna, espejo de agua y hasta con 1 m 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)
Chanmico 1	13°46'58.683" N	89°21'27.494" W	295690.605	461326.481	469.113
Chanmico 2	13°47'01.461" N	89°21'19.945" W	295775.638	461553.328	468.993
Chanmico 3	13°46'49.701" N	89°20'59.135" W	295413.315	462177.857	472.325
Chanmico 4	13°46'27.964" N	89°21'28.082" W	294746.597	461307.414	468.342

Tabla 21. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.



Imagen 47. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo Monoház.

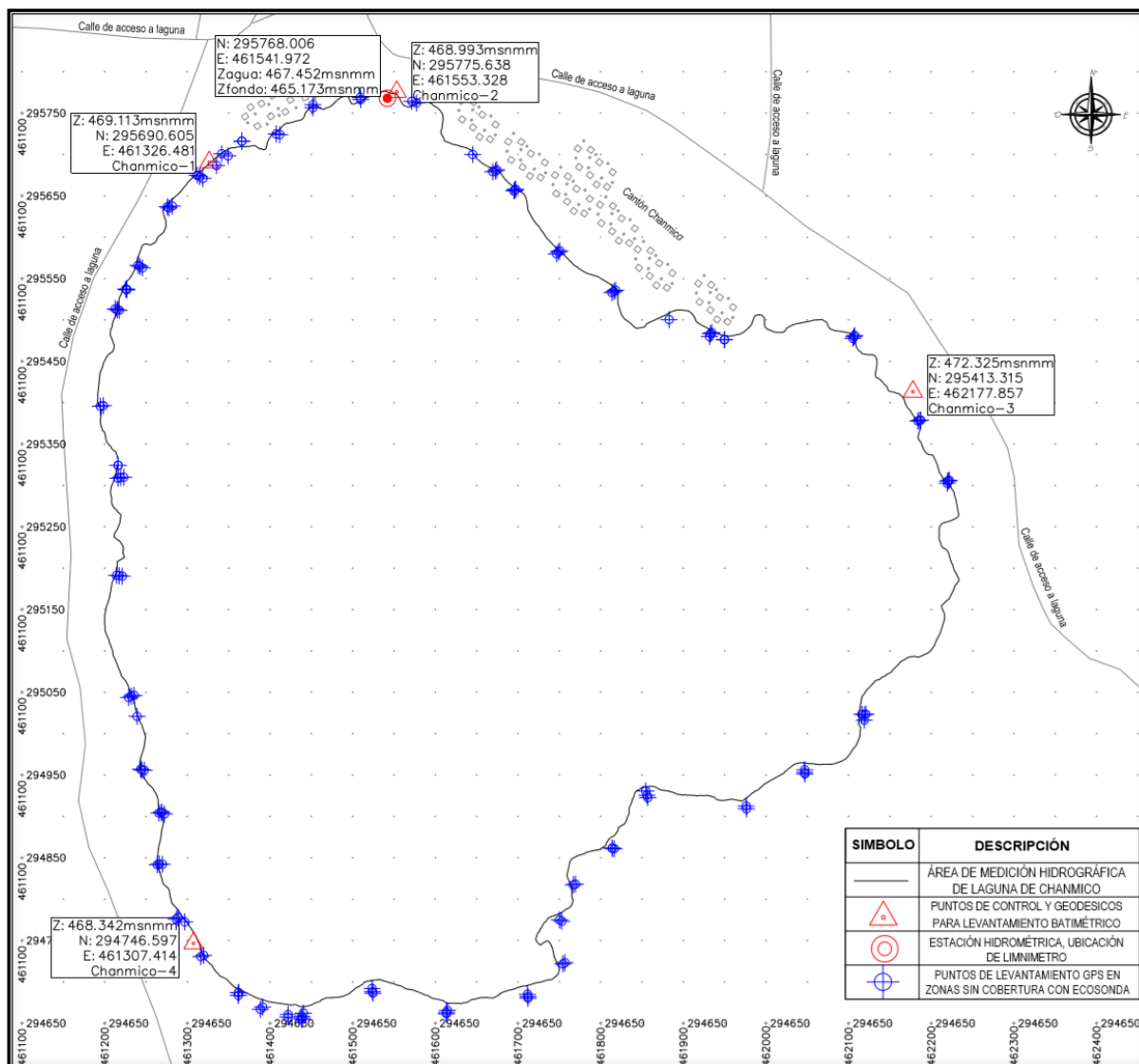


Imagen 48. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.

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 MKZ VILLA TZUCHI 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 49. 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 50. 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: Geoconsult02, también se instalaron radios adicionales repetidoras para ampliar la cobertura y recepción del cálculo del error en Qinsy.



Imagen 51. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.

3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS

Partiendo del punto geodésico “MKZ VILLA TZUCHI”; este mojón resultó ser al mismo tiempo el Banco de Marca, por lo tanto, las elevaciones del mojón geodésico están en “metros sobre el nivel medio del mar”. 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)
Chanmico 1	13°46'58.683" N	89°21'27.494" W	295690.605	461326.481	469.113
Chanmico 2	13°47'01.461" N	89°21'19.945" W	295775.638	461553.328	468.993
Chanmico 3	13°46'49.701" N	89°20'59.135" W	295413.315	462177.857	472.325
Chanmico 4	13°46'27.964" N	89°21'28.082" W	294746.597	461307.414	468.342

Tabla 22. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.

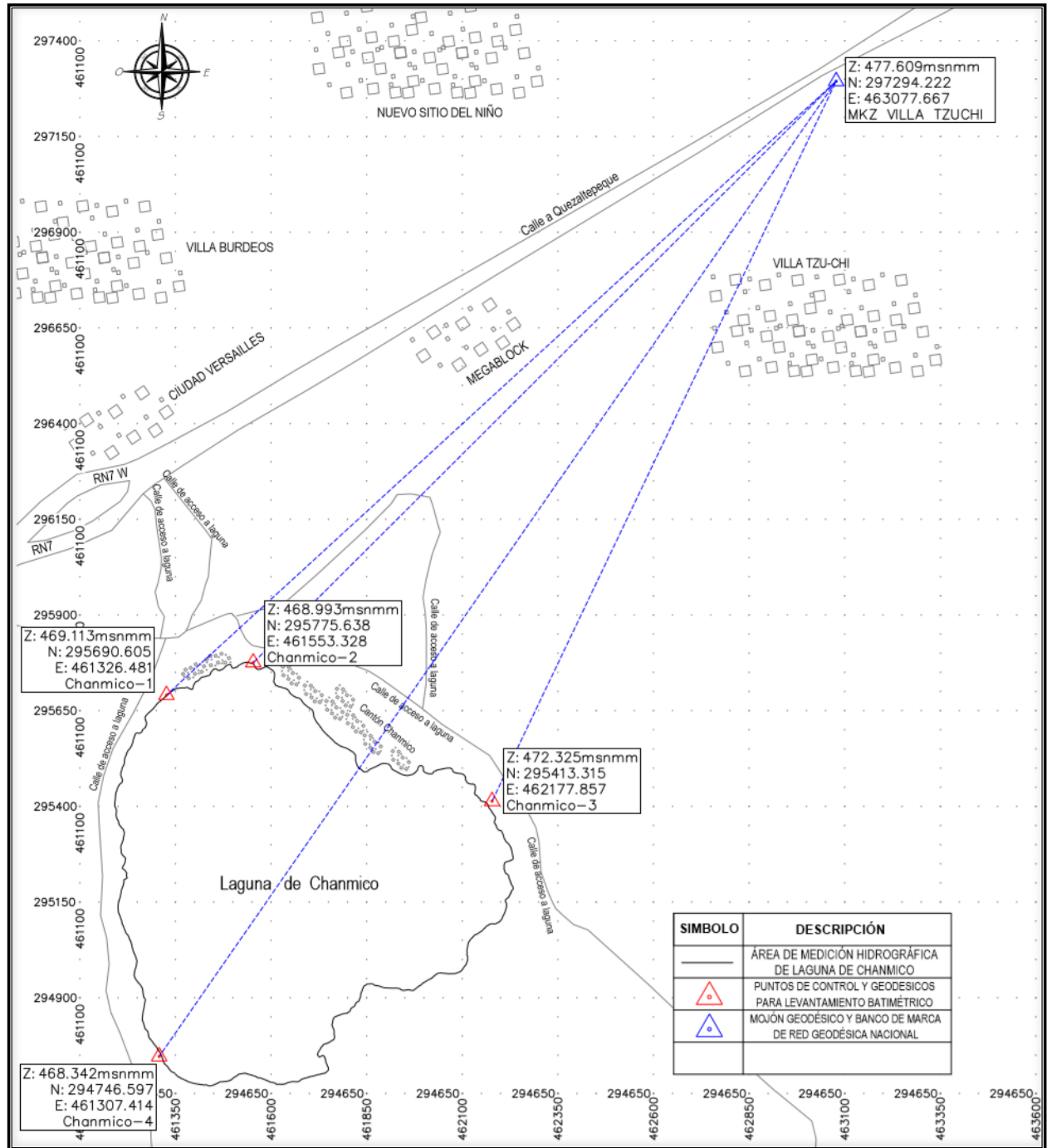


Imagen 52. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.

3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica

A continuación, se detallan las coordenadas resultantes de la estación hidrométrica de laguna de Chanmico:

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)	Descripción
E_HIDRO_01	461541.972	295768.006	465.173	Elevación de fondo en estación hidrométrica
E_HIDRO_02	461541.972	295768.006	467.452	Elevación hasta el espejo de agua
El nivel de cota máxima indicada por los pobladores fue de 469.432 msnm Con coordenadas N: 295699.295 E: 461328.075				

Tabla 23. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.



Imagen 53. Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.

3.6.2. Control vertical de datos adquiridos

Ecosonda CEE ECHO: en el presente trabajo, se adquirieron los datos de profundidades por medio de una Ecosonda monohaz, de doble frecuencia CEE ECHO™ 33/200 kHz, ofrece una mayor penetración a través del agua y sedimentos sueltos, lodos y limo; para distinguir el fondo no perturbado del material resuspendido o redepositado, brinda la confianza adicional de que los resultados reportados son consistentes con la realidad. Los datos se muestran en tiempo real y se registra en el software hidrográfico, mostrando una vista compleja del fondo, con los datos de 200 kHz que identifican el fondo blando y de 33 kHz siguiendo la superficie inferior más densa que hay debajo.

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 Pantanera, de aluminio, con las siguientes descripciones físicas:

TIPO DE EQUIPO: Lancha Pantanera de aluminio, Nombre Geoconsult02	MANGA: 4.5 pies ESLORA: 14 pies
MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 15 Hp	CALADO VACÍO: 1 pie

Fotografías de realización de batimetría en Laguna De Chanmico

	
Levantamiento batimétrico de laguna	Árboles o troncos a la orilla de la laguna
	
Vista panorámica de laguna (zona sur)	Vista panorámica de laguna (zona norte)
	
Rocas superficiales a la orilla de la laguna	Rocas superficiales a la orilla de la laguna

Tabla 24. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.

Levantamiento en zonas complementarias, ubicación de mojones geodésicos y los puestos para el proyecto por parte del consultor:

Registro fotográfico de realización de Topo-Batimetría al contorno de Laguna Chanicco	
 Ubicación de mojón geodésico (este mojón geodésico resultó ser banco de marca).	 Instalación de base RTK en mojón geodésico para georeferenciar puntos de control geodésicos auxiliares.
 Ubicación de puntos de control geodésicos para red auxiliar.	 Levantamiento topo-batimétrico en zonas fuera de espejo de agua.
 Levantamiento topo-batimétrico en zonas fuera de espejo de agua.	 Levantamiento topo-batimétrico sobre espejo de agua.

Tabla 25. 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.

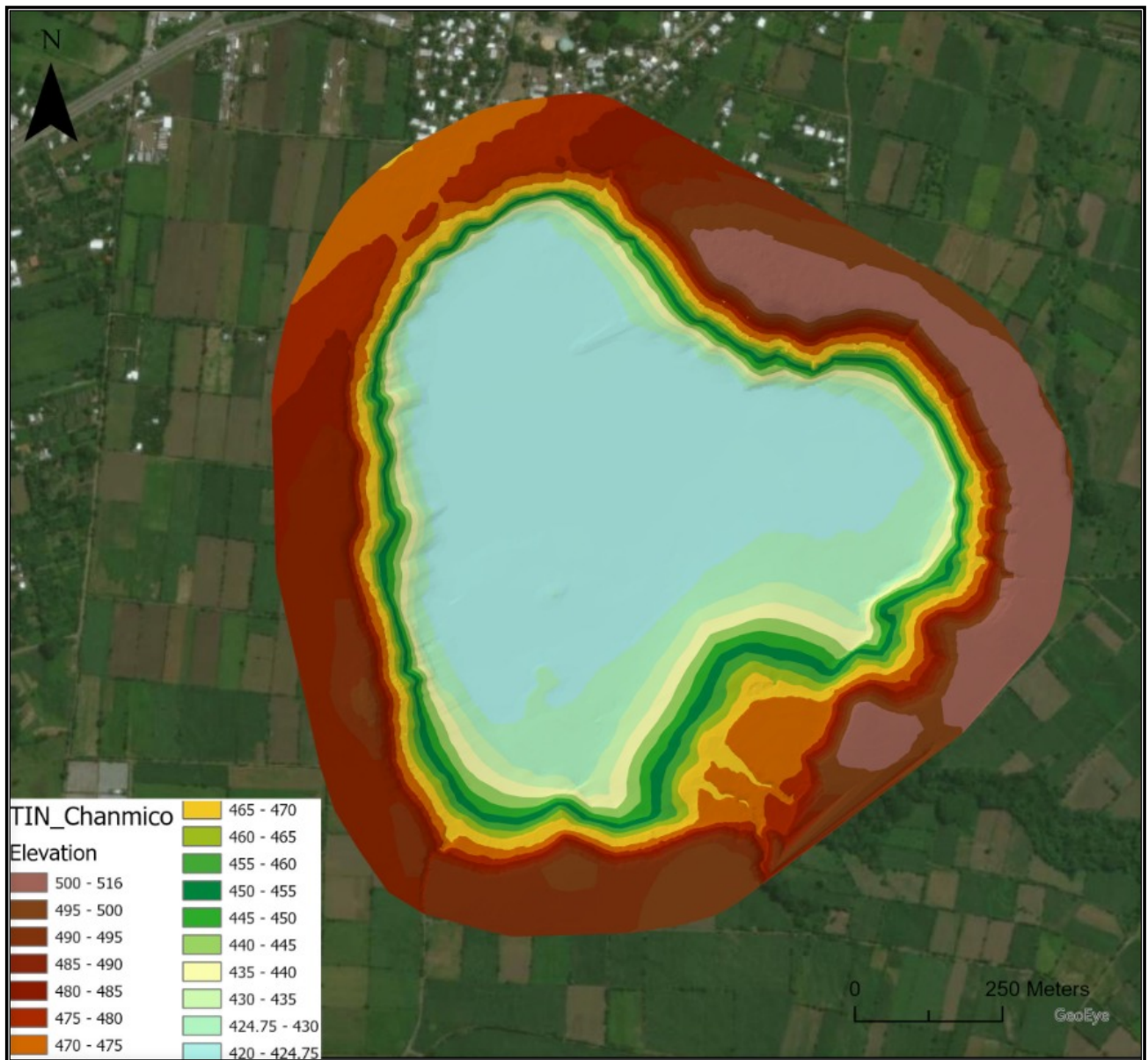


Imagen 54. Unión de Batimetría con Levantamiento LIDAR en SIG.

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 toda la Laguna de Channmico.

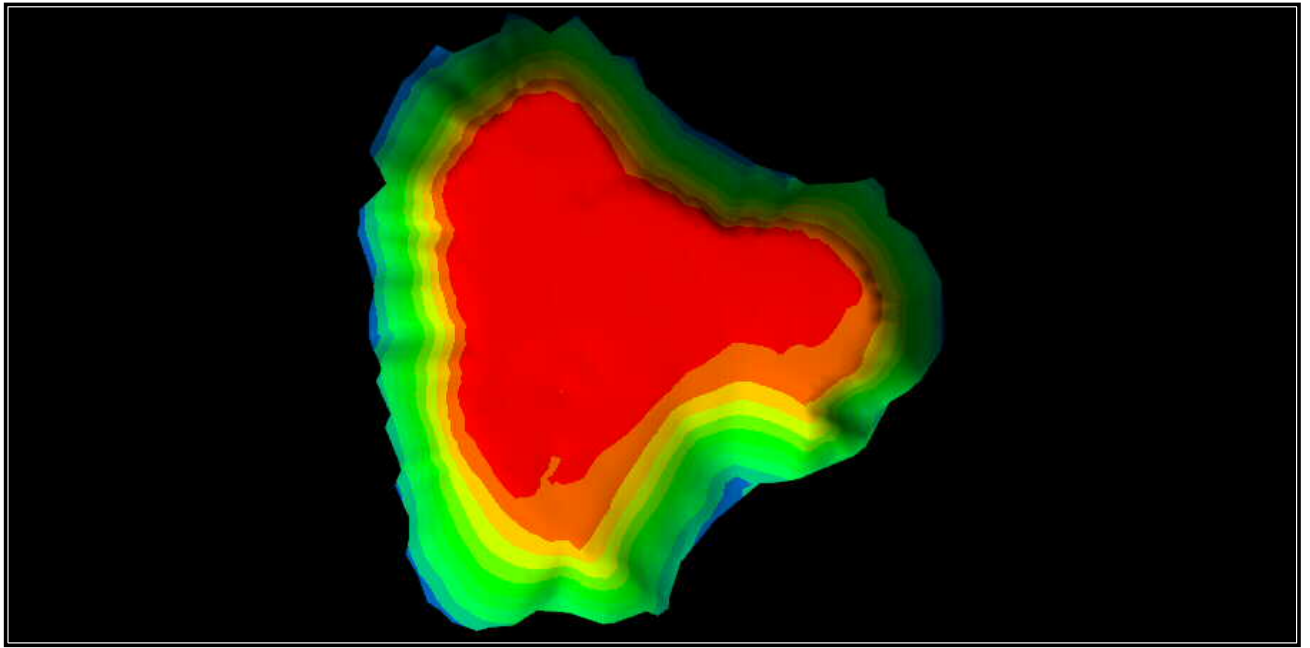


Imagen 55. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Channmico (Vista en planta de Laguna).

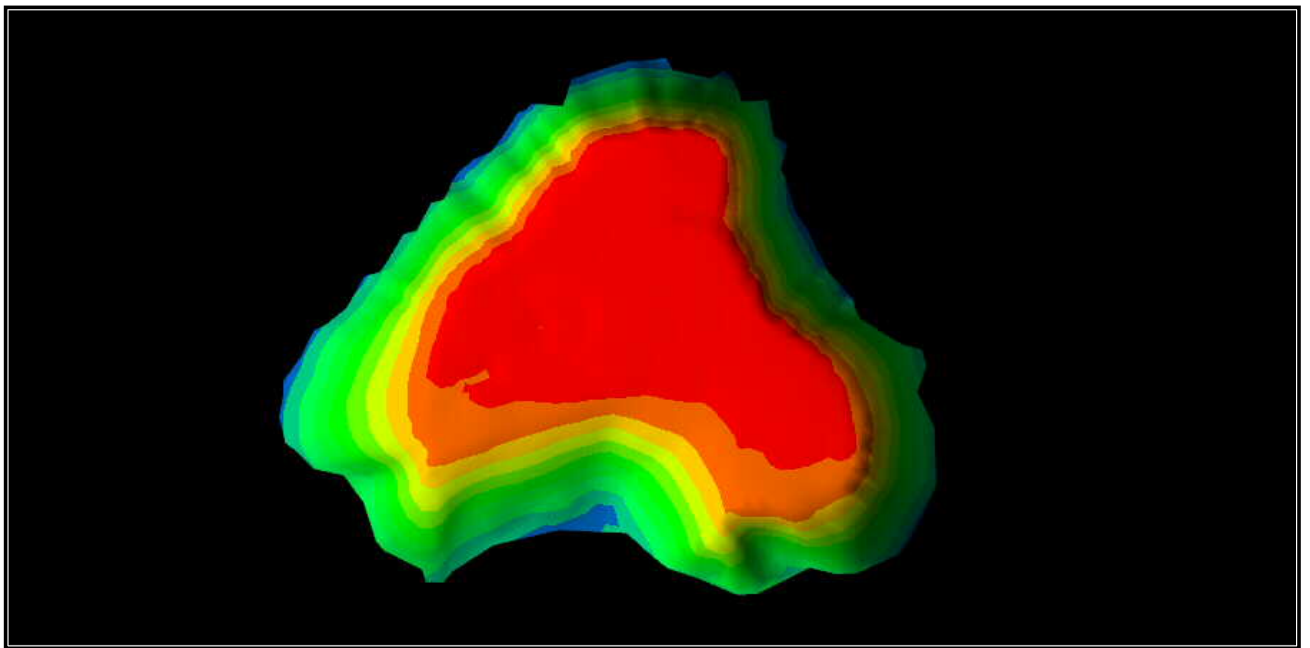


Imagen 56. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Channmico (Vista panorámica de laguna).

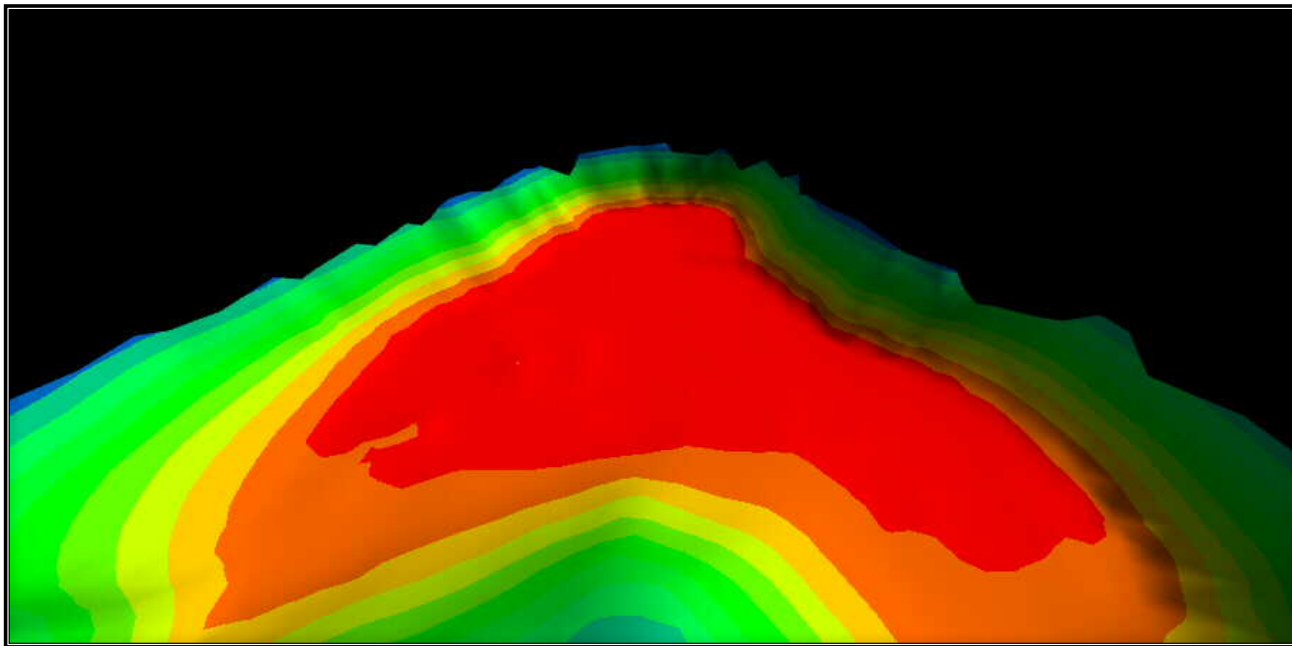


Imagen 57. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Channico (Vista norte de laguna).

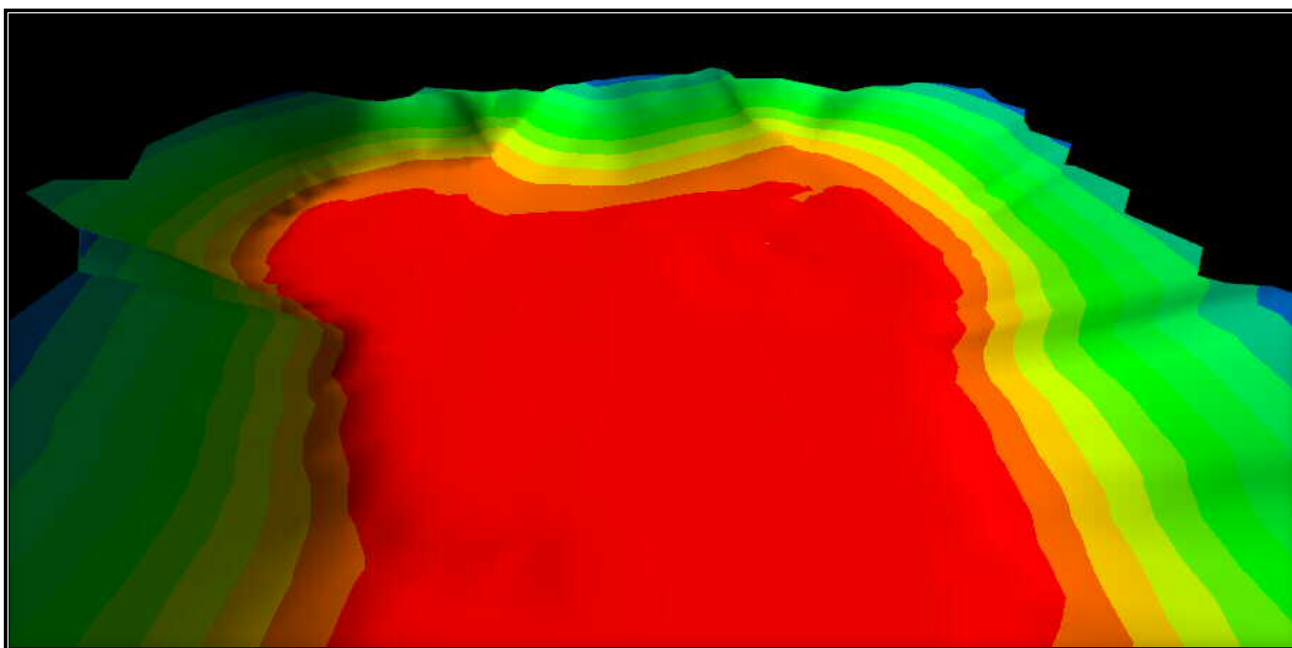


Imagen 58. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna Channico (Zona Sur del laguna).

5.3. Isobatas

Modelo de Isobatas de levantamiento batimétrico con un espaciamiento vertical de 1.0 m.

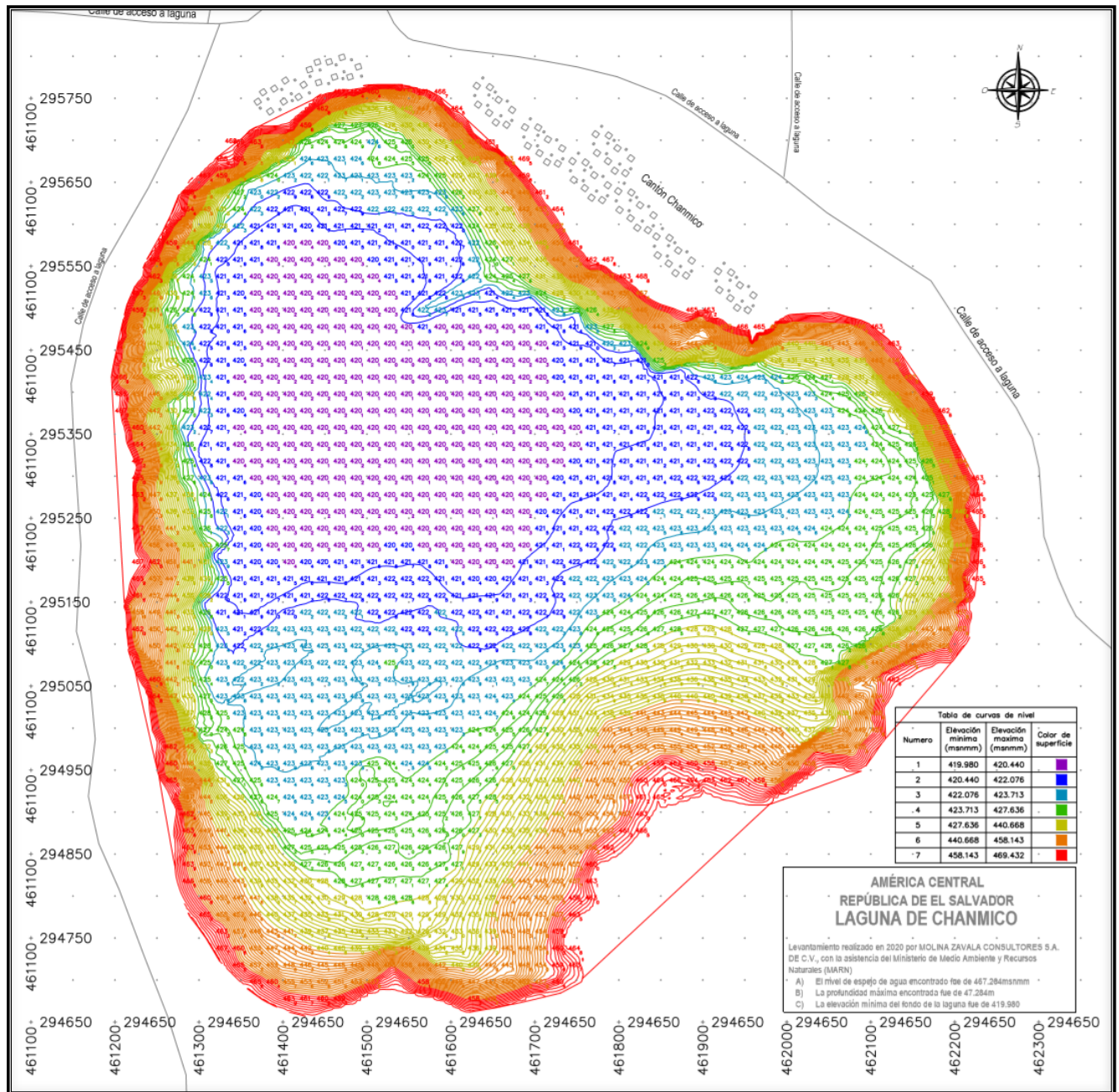


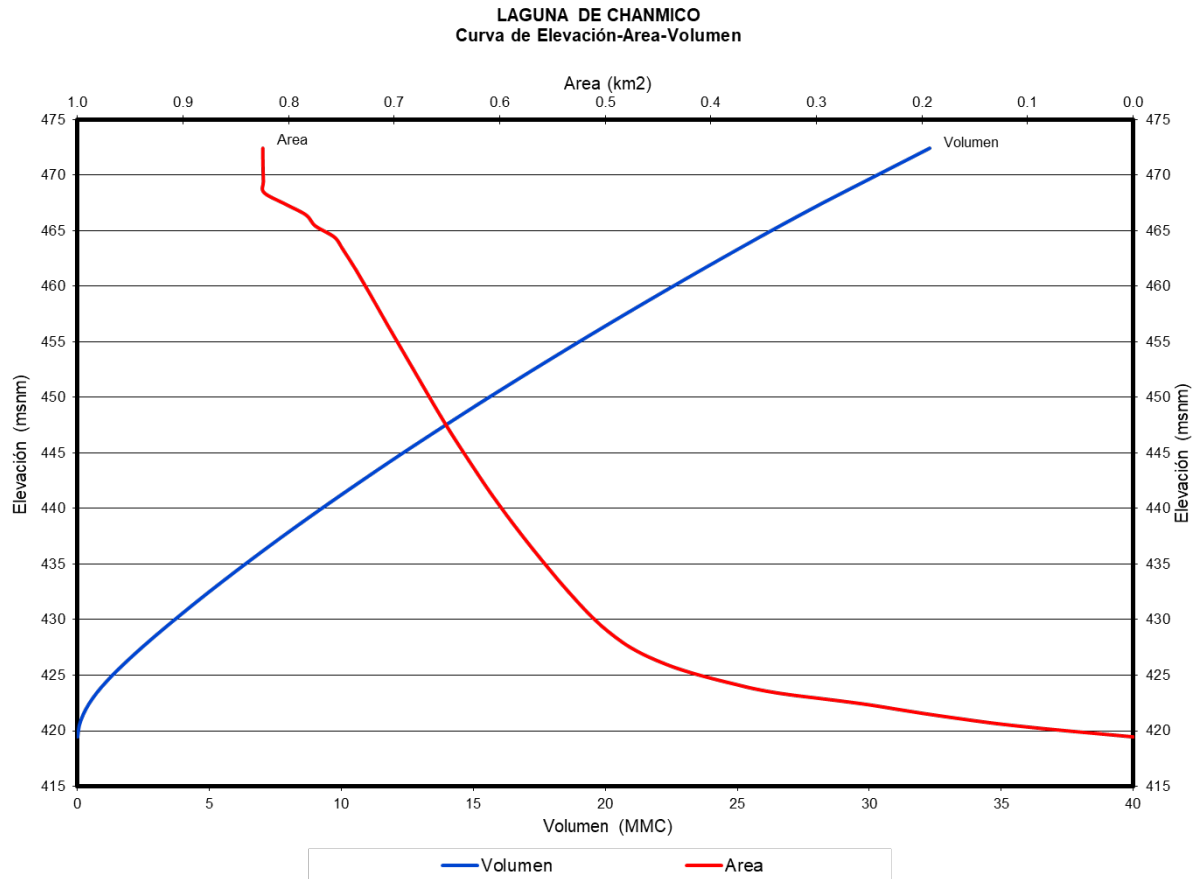
Imagen 59. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.

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

La elevación del nivel del espejo de agua promedio registrado al momento de medición fue de: 467.264 msnmm, en días preliminares a la medición batimétrica el nivel en el sensor hidrométrico fue de 467.452 msnmm, este nivel es variable según las precipitaciones actuantes en la cuenca de la laguna,

y en una sola tormenta puede incrementar hasta 20 cm (elevaciones en metros sobre nivel medio del mar).

5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen



Volumen de agua al nivel de espejo de agua

Durante la medición (467.264 m.s.n.m.m):

28.98677 Millones de m³

Volumen de agua al nivel máximo histórico de la laguna

indicado por los pobladores (469.432 m.s.n.m.m):

29.81054 Millones de m³

(dato no validado/comprobado científicamente)

Datos topo-batimétricos resultantes de las mediciones.

Elevación mínima del fondo de la laguna:

419.980 m.s.n.m.m

Elevación del espejo de agua al momento de medición:

467.264 m.s.n.m.m

Elevación máxima histórica de la laguna indicada por pobladores:

469.432 m.s.n.m.m

Profundidad máxima de columna de agua encontrada:

47.284 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 monoház, 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.

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:

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

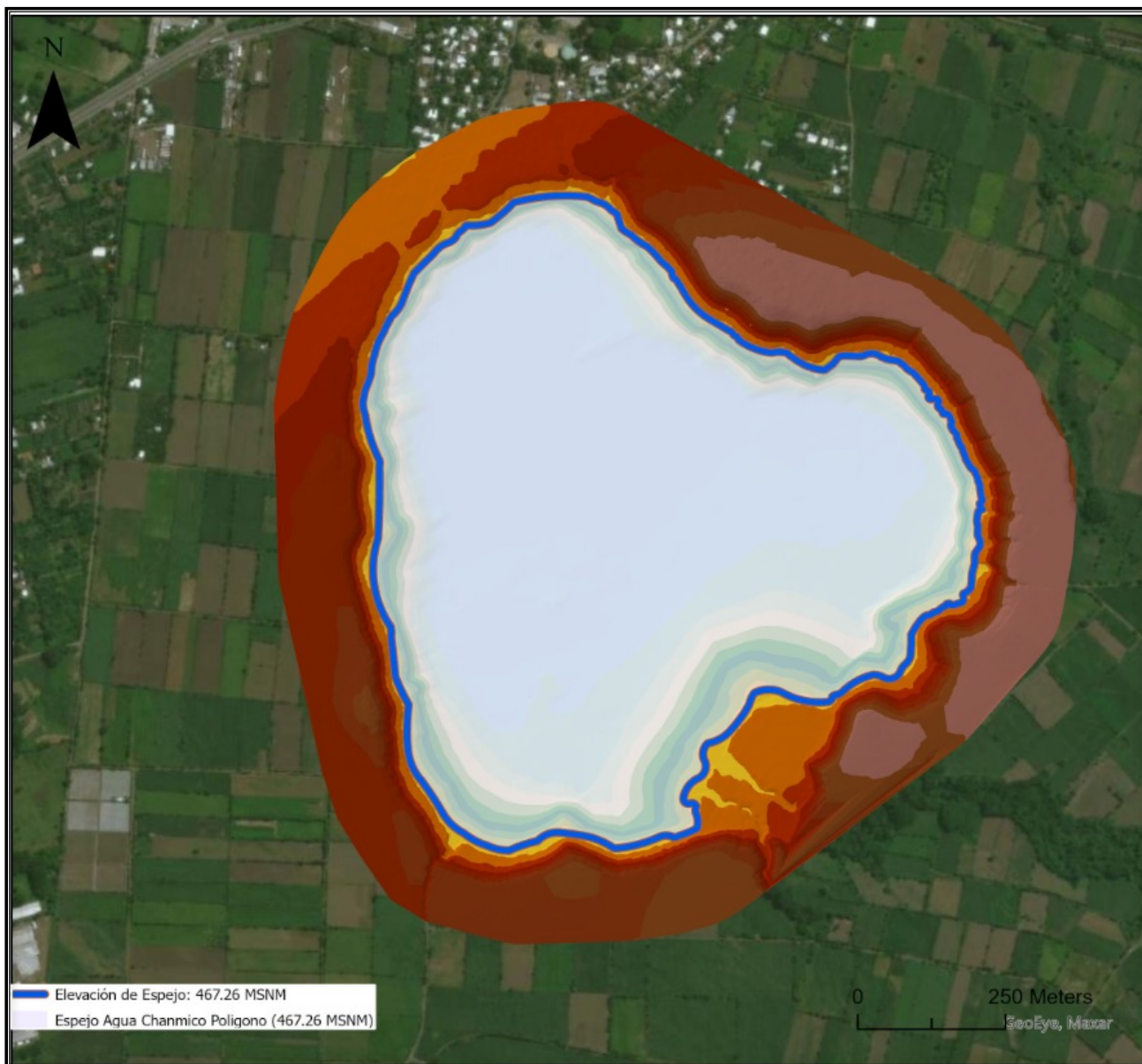


Imagen 61. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.

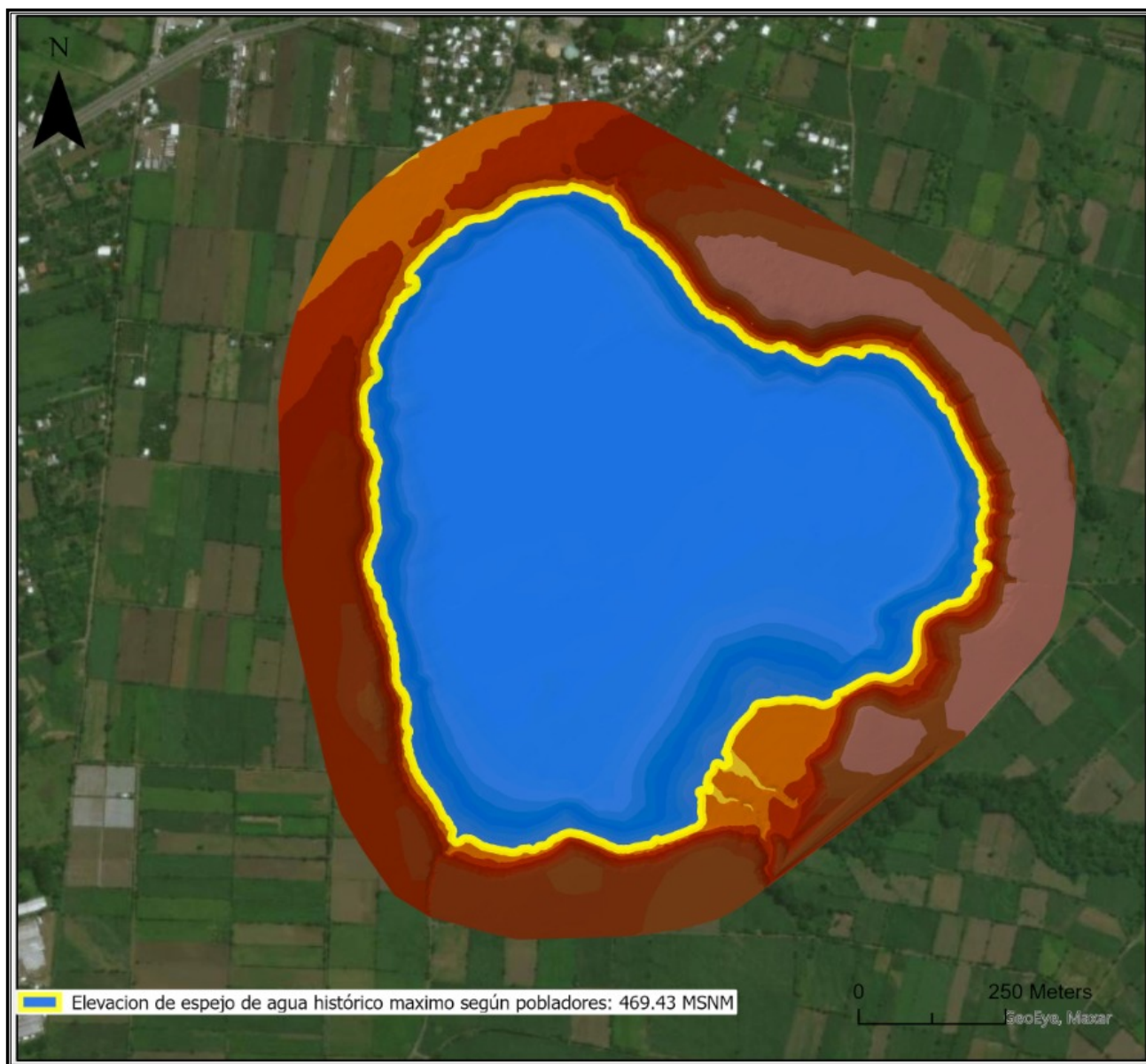


Imagen 62. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.

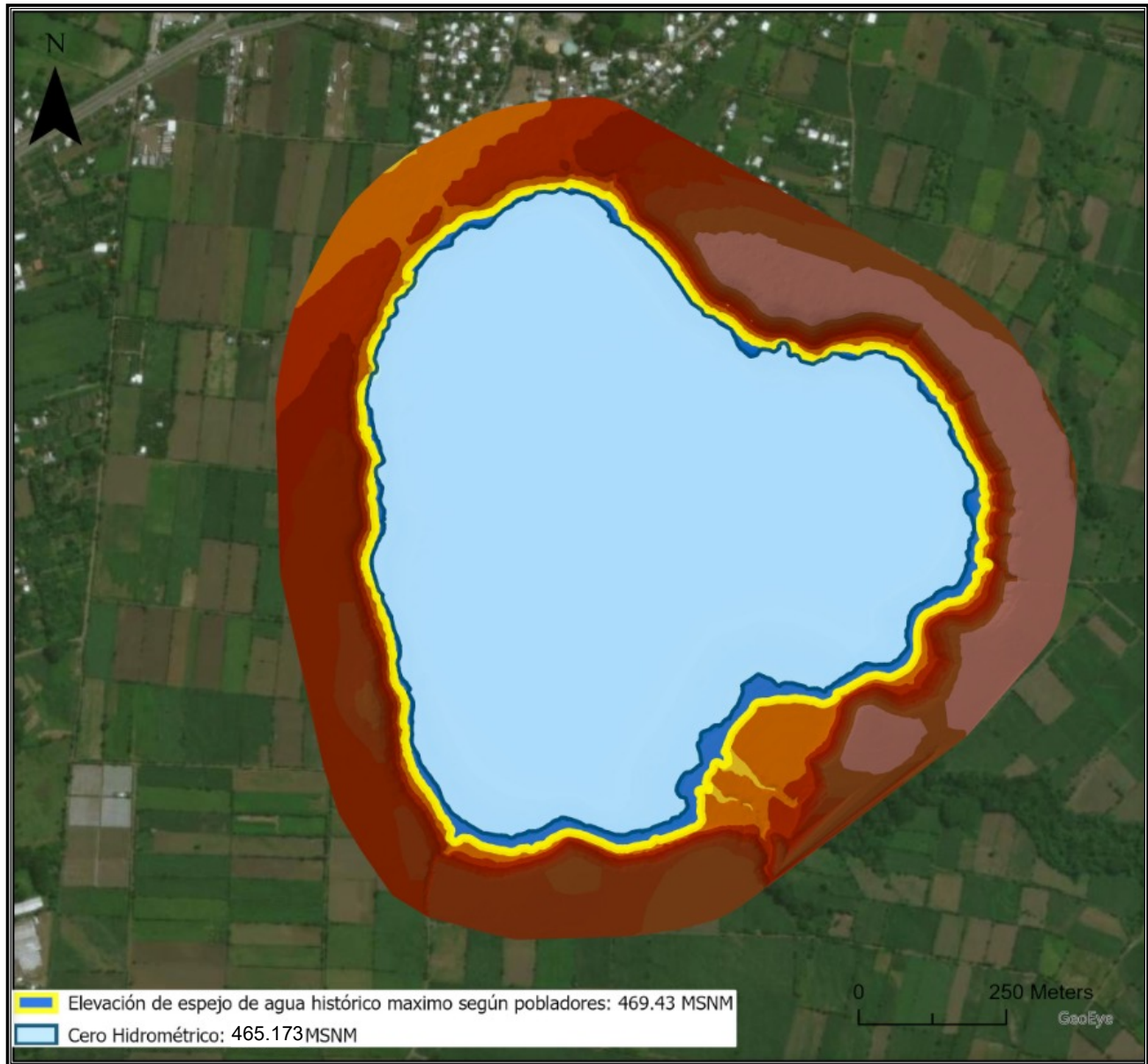


Imagen 63. Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.

Según el siguiente esquema, 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 (msnmm)	Área (km2)
Nivel de espejo de agua según "0" hidrométrico medido en 2020	465.173	0.76589
Nivel de espejo de agua máximo según medición actual 2020	467.264	0.79365
Nivel de espejo de agua según datos histórico.	469.432	0.82408

Tabla 26. 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 2ación de sensor hidrométrico, puntos de amarre para control geodésico y vertical

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

ANEXO 4. Mapa en color degradado del levantamiento batimétrico.

ANEXO 5. Mapa batimétrico general de Laguna de Chanmico.

ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría de Laguna de Chanmico

ANEXO 7. Memoria de cálculo

A continuación, se presenta la memoria de cálculo para el almacenamiento de agua de la laguna de Channmico:

ELEVACIÓN (msnm)	ÁREA INCREMENTAL (según modelo digital de elevación C3D)	ÁREA (m ²)	ÁREA (km ²)	AREA PROMEDIO (m ²)	INTERVALO (m)	VOLUMEN INCREMENTAL (MMC)	VOLUMEN ACUMULADO (MMC)
472.430	38.090	824,602.600	0.8246026	824,583.5550	1.0000	824,583.555	32,283,846.287
471.430	173.810	824,564.510	0.8245645	824,477.6050	1.0000	824,477.605	31,459,262.732
470.430	306.630	824,390.700	0.8243907	824,237.3850	1.0000	824,237.385	30,634,785.127
469.430	622.390	824,084.070	0.8240841	823,772.8750	1.0000	823,772.875	29,810,547.742
468.430	19,456.270	823,461.680	0.8234617	813,733.5450	1.0000	813,733.545	28,986,774.867
467.430	10,345.970	804,005.410	0.8040054	798,832.4250	0.1700	135,801.512	28,173,041.322
467.260	9,737.260	793,659.440	0.7936594	788,790.8100	0.8300	654,696.372	28,037,239.809
466.430	9,073.120	783,922.180	0.7839222	779,385.6200	1.0000	779,385.620	27,382,543.437
465.430	8,954.210	774,849.060	0.7748491	770,371.9550	0.2570	197,985.592	26,603,157.817
465.173	8,954.210	765,894.850	0.7658949	761,417.7450	0.7430	565,733.385	26,405,172.225
464.430	7,400.760	756,940.640	0.7569406	753,240.2600	1.0000	753,240.260	25,839,438.840
463.430	6,810.560	749,539.880	0.7495399	746,134.6000	1.0000	746,134.600	25,086,198.580
462.430	6,544.230	742,729.320	0.7427293	739,457.2050	1.0000	739,457.205	24,340,063.980
461.430	6,197.060	736,185.090	0.7361851	733,086.5600	1.0000	733,086.560	23,600,606.775
460.430	6,025.950	729,988.030	0.7299880	726,975.0550	1.0000	726,975.055	22,867,520.215
459.430	6,025.220	723,962.080	0.7239621	720,949.4700	1.0000	720,949.470	22,140,545.160
458.430	5,965.200	717,936.860	0.7179369	714,954.2600	1.0000	714,954.260	21,419,595.690
457.430	5,961.360	711,971.660	0.7119717	708,990.9800	1.0000	708,990.980	20,704,641.430
456.430	6,108.470	706,010.300	0.7060103	702,956.0650	1.0000	702,956.065	19,995,650.450
455.430	6,137.660	699,901.830	0.6999018	696,833.0000	1.0000	696,833.000	19,292,694.385
454.430	6,108.600	693,764.170	0.6937642	690,709.8700	1.0000	690,709.870	18,595,861.385
453.430	6,105.810	687,655.570	0.6876556	684,602.6650	1.0000	684,602.665	17,905,151.515
452.430	6,071.180	681,549.760	0.6815498	678,514.1700	1.0000	678,514.170	17,220,548.850
451.430	6,091.830	675,478.580	0.6754786	672,432.6650	1.0000	672,432.665	16,542,034.680
450.430	6,143.470	669,386.750	0.6693868	666,315.0150	1.0000	666,315.015	15,869,602.015
449.430	6,242.350	663,243.280	0.6632433	660,122.1050	1.0000	660,122.105	15,203,287.000
448.430	6,377.320	657,000.930	0.6570009	653,812.2700	1.0000	653,812.270	14,543,164.895
447.430	6,585.760	650,623.610	0.6506236	647,330.7300	1.0000	647,330.730	13,889,352.625
446.430	6,752.700	644,037.850	0.6440379	640,661.5000	1.0000	640,661.500	13,242,021.895
445.430	6,928.350	637,285.150	0.6372852	633,820.9750	1.0000	633,820.975	12,601,360.395
444.430	6,918.850	630,356.800	0.6303568	626,897.3750	1.0000	626,897.375	11,967,539.420
443.430	7,002.510	623,437.950	0.6234380	619,936.6950	1.0000	619,936.695	11,340,642.045
442.430	7,199.430	616,435.440	0.6164354	612,835.7250	1.0000	612,835.725	10,720,705.350
441.430	7,516.970	609,236.010	0.6092360	605,477.5250	1.0000	605,477.525	10,107,869.625
440.430	7,701.490	601,719.040	0.6017190	597,868.2950	1.0000	597,868.295	9,502,392.100
439.430	7,889.650	594,017.550	0.5940176	590,072.7250	1.0000	590,072.725	8,904,523.805
438.430	8,104.750	586,127.900	0.5861279	582,075.5250	1.0000	582,075.525	8,314,451.080
437.430	8,325.330	578,023.150	0.5780232	573,860.4850	1.0000	573,860.485	7,732,375.555
436.430	8,505.610	569,697.820	0.5696978	565,445.0150	1.0000	565,445.015	7,158,515.070
435.430	8,620.200	561,192.210	0.5611922	556,882.1100	1.0000	556,882.110	6,593,070.055
434.430	8,787.150	552,572.010	0.5525720	548,178.4350	1.0000	548,178.435	6,036,187.945
433.430	9,203.150	543,784.860	0.5437849	539,183.2850	1.0000	539,183.285	5,488,009.510
432.430	9,458.230	534,581.710	0.5345817	529,852.5950	1.0000	529,852.595	4,948,826.225
431.430	10,042.490	525,123.480	0.5251235	520,102.2350	1.0000	520,102.235	4,418,973.630
430.430	11,101.910	515,080.990	0.5150810	509,530.0350	1.0000	509,530.035	3,898,871.395
429.430	12,993.220	503,979.080	0.5039791	497,482.4700	1.0000	497,482.470	3,389,341.360
428.430	15,425.770	490,985.860	0.4909859	483,272.9750	1.0000	483,272.975	2,891,858.890
427.430	21,039.900	475,560.090	0.4755601	465,040.1400	1.0000	465,040.140	2,408,585.915
426.430	27,722.630	454,520.190	0.4545202	440,658.8750	1.0000	440,658.875	1,943,545.775
425.430	38,364.850	426,797.560	0.4267976	407,615.1350	1.0000	407,615.135	1,502,886.900
424.430	48,331.830	388,432.710	0.3884327	364,266.7950	1.0000	364,266.795	1,095,271.765
423.430	81,599.820	340,100.880	0.3401009	299,300.9700	1.0000	299,300.970	731,004.970
422.430	67,472.860	258,501.060	0.2585011	224,764.6300	1.0000	224,764.630	431,704.000
421.430	79,602.930	191,028.200	0.1910282	151,226.7350	1.0000	151,226.735	206,939.370
420.430	111,425.270	111,425.270	0.1114253	55,712.6350	1.0000	55,712.635	55,712.635
419.430	0.0000	0.0000	0.0000000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 27. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Channmico.

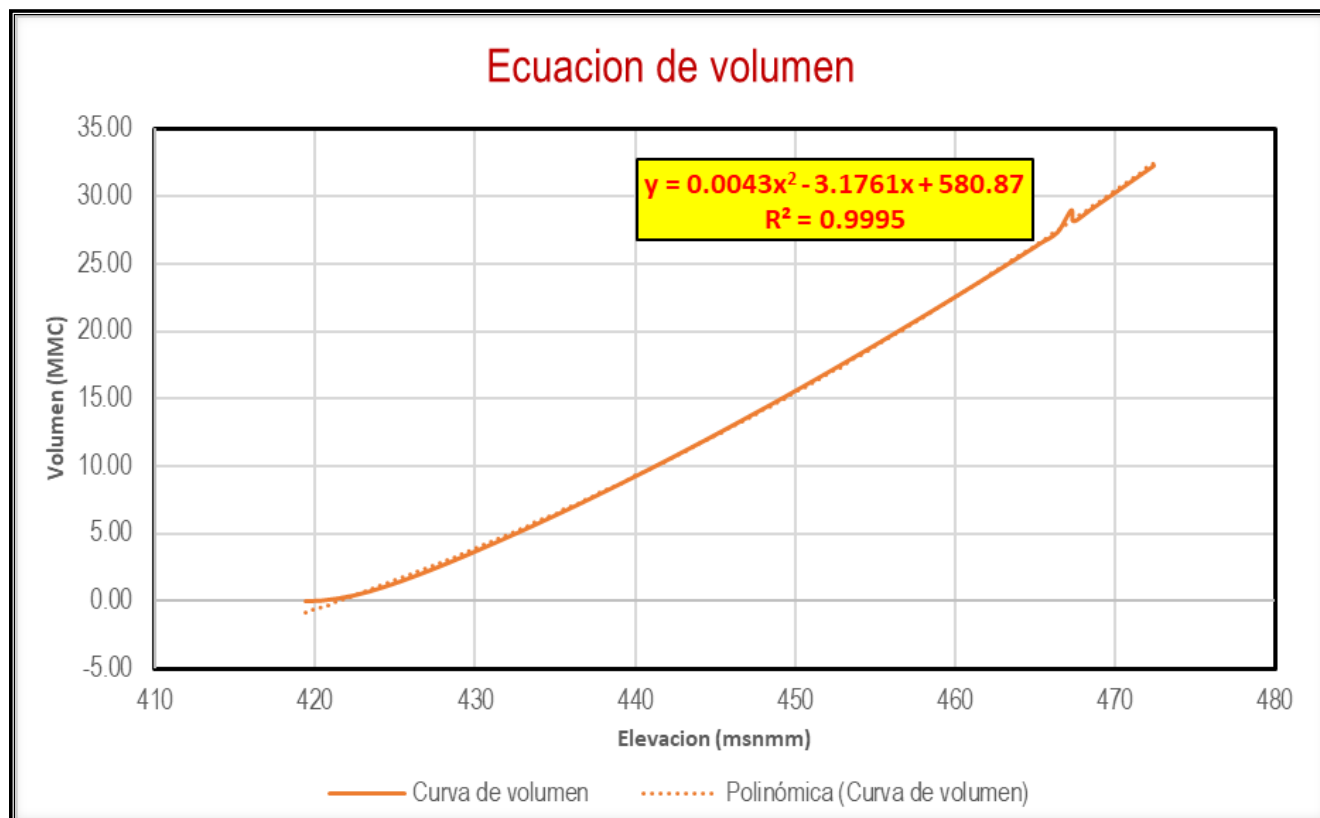


Imagen 64. Grafica de ecuación para cálculo de volumen.



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE