

Producto 5:
Informe de batimetría de las lagunas de
Apastepeque, El Jocotal, Olomega”.
Apéndice:
“Laguna de Aramuaca”.

Proyecto:
Estudios Batimétricos en lagos y lagunas de El Salvador

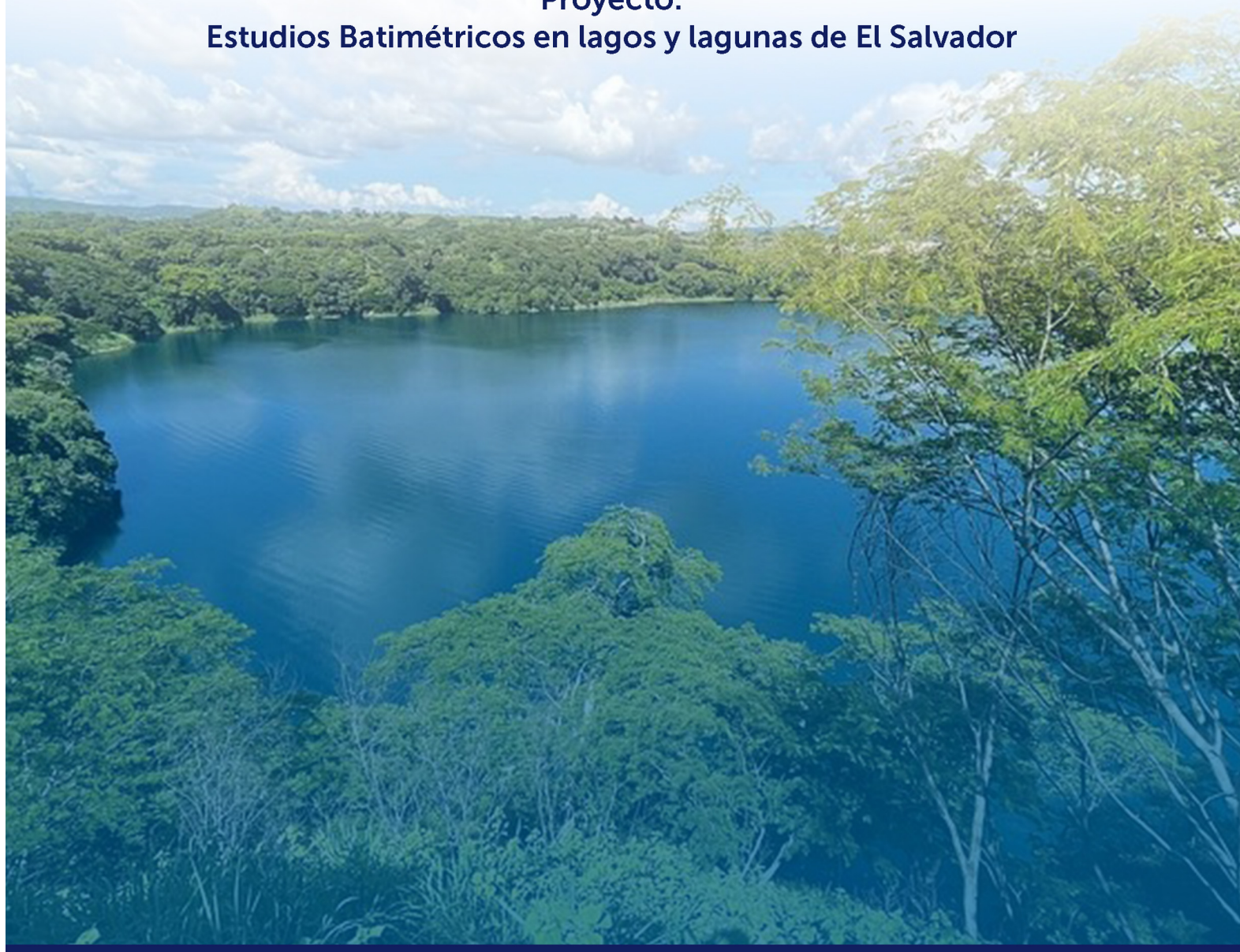


TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	1
ANTECEDENTE	3
OBJETIVOS	3
A. LAGUNA DE APASTEPEQUE	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.....	6
2.1. AMARRE DEL LEVANTAMIENTO A LA RED GEODÉSICA NACIONAL	6
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	7
3.2. MAPA DE TRANSECTOS LEVANTADOS	8
3.3. REPRESENTACIÓN DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	9
3.4. LEVANTAMIENTO PERIMETRAL CON GPS GNSS (ROVER), ZONAS SIN COBERTURA CON ECOSONDA MULTIHAZ	9
3.5. SISTEMA GEODÉSICO UTILIZADO	11
3.6. POSICIONAMIENTO, CORRECCIÓN DE ERROR Y CONTROL VERTICAL	12
3.6.1. CONTROL DE POSICIONAMIENTO HORIZONTAL	12
3.6.1.1. Base GPS GNSS	12
3.6.1.2. Envío de señal de corrección en tiempo real.....	13
3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS	13
3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica	15
3.6.2. CONTROL VERTICAL DE DATOS ADQUIRIDOS	15
4. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.	16
5. RESULTADOS.....	18
5.1. ACOPLE DE MDT CON LEVANTAMIENTO LIDAR.....	18
5.2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE).....	19
5.3. ISOBATAS	21
5.4. MEDICIÓN TOPOGRÁFICA Y DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE ESPEJO DE AGUA	22
5.5. CURVAS ELEVACIÓN – ÁREA - VOLUMEN.....	22
5.6. MODELO DIGITAL EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	23
5.7. REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN ARCGIS DEL ESPEJO DE AGUA	23
ANEXOS.....	27
ANEXO 1. FICHA DE MOJÓN GEODÉSICO Y BANCO DE MARCA A GRAN PRECISIÓN.	28
ANEXO 2. UBICACIÓN DE SENSOR HIDROMÉTRICO, PUNTOS DE AMARRE PARA CONTROL GEODÉSICO Y VERTICAL.....	29

ANEXO 3. MAPA CON UBICACIÓN DE TRANSECTOS RESULTANTE DE LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.....	30
ANEXO 4. MAPA EN COLOR DEGRADADO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.	31
ANEXO 5. MAPA BATIMÉTRICO GENERAL DE LAGUNA DE APASTEPEQUE.....	32
ANEXO 6. PERFILES RESULTANTES DE BATIMETRÍA DE LAGUNA DE APASTEPEQUE.....	33
ANEXO 7. MEMORIA DE CÁLCULO.....	34
B. LAGUNA EL JOCOTAL.....	37
1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA O SITIO DE MEDICIÓN HIDROGRÁFICA	38
1.1. UBICACIÓN GENERAL	38
1.2. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA	38
2. REFERENCIAS GEODÉSICAS OFICIALES.....	39
2.1. AMARRE DEL LEVANTAMIENTO A LA RED GEODÉSICA NACIONAL	39
2.2. AMARRE ALTIMÉTRICO	39
3. METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	39
3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS.....	39
3.1.1. ACTIVIDADES PREVIAS AL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	39
3.1.2. RUTINA Y TRABAJO DE CAMPO	40
3.2. MAPA DE TRANSECTOS LEVANTADOS	40
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.....	45
3.6.1. CONTROL DE POSICIONAMIENTO HORIZONTAL	45
3.6.1.1. Base GPS GNSS	45
3.6.1.2. Envío de señal de corrección en tiempo real	46
3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS	47
3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica	49
3.6.2. CONTROL VERTICAL DE DATOS ADQUIRIDOS	49
4. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.	50
5. RESULTADOS.....	53
5.1. ACOPLE DE MDT DE BATIMETRÍA CON MDT DEL TERRENO CIRCUNDANTE.	53
5.2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE).....	54
5.3. ISOBATAS	56
5.4. MEDICIÓN TOPOGRÁFICA Y DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE ESPEJO DE AGUA	57
5.5. CURVAS ELEVACIÓN – ÁREA - VOLUMEN.....	58
5.6. MODELO DIGITAL EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	58
5.7. REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN ARCGIS DEL ESPEJO DE AGUA	59
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 4A. MAPA EN COLOR DEGRADADO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.....	68
ANEXO 4B. MAPA EN COLOR DEGRADADO CON LA PLANICIE DE INUNDACIÓN DE LA LAGUNA EL JOCOTAL.	69
ANEXO 5. MAPA BATIMÉTRICO GENERAL DE LAGUNA EL JOCOTAL.....	70
ANEXO 6. PERFILES RESULTANTES DE BATIMETRÍA DE LAGUNA EL JOCOTAL.....	71
ANEXO 7. MEMORIA DE CÁLCULO.....	72
C. LAGUNA DE OMEGA.....	74
1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA O SITIO DE MEDICIÓN HIDROGRÁFICA	75
1.1. UBICACIÓN GENERAL	75
1.2. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA	76
2. REFERENCIAS GEODÉSICAS OFICIALES.....	76
2.1. AMARRE DEL LEVANTAMIENTO A LA RED GEODÉSICA NACIONAL	76
2.2. AMARRE ALTIMÉTRICO	77
3. METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	77
3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS.....	77
3.1.1. ACTIVIDADES PREVIAS AL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	77
3.1.2. RUTINA Y TRABAJO DE CAMPO	77
3.2. MAPA DE TRANSECTOS LEVANTADOS	78
3.3. REPRESENTACIÓN DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	79
3.4. LEVANTAMIENTO PERIMETRAL CON GPS GNSS (ROVER), ZONAS SIN COBERTURA CON ECOSONDA MONOHAZ.....	80
3.5. SISTEMA GEODÉSICO UTILIZADO	82
3.6. POSICIONAMIENTO, CORRECCIÓN DE ERROR Y CONTROL VERTICAL	83
3.6.1. CONTROL DE POSICIONAMIENTO HORIZONTAL	83
3.6.1.1. Base GPS GNSS	83
3.6.1.2. Envío de señal de corrección en tiempo real.....	84
3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS	84
3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica	86
3.6.2. CONTROL VERTICAL DE DATOS ADQUIRIDOS	86
4. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.	87
5. RESULTADOS.....	89
5.1. ACOPLE DE MDT DE BATIMETRÍA CON MDT DEL TERRENO CIRCUNDANTE.	89
5.2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE).....	90
5.3. ISOBATAS	92
5.4. MEDICIÓN TOPOGRÁFICA Y DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE ESPEJO DE AGUA	92
5.5. CURVAS ELEVACIÓN – ÁREA - VOLUMEN.....	92

5.6.	MODELO DIGITAL EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	93
5.7.	REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN ARCGIS DEL ESPEJO DE AGUA	94
ANEXOS		98
ANEXO 1. FICHA DE MOJÓN GEODÉSICO Y BANCO DE MARCA A GRAN PRECISIÓN.		99
ANEXO 2. UBICACIÓN DE SENSOR HIDROMÉTRICO, PUNTOS DE AMARRE PARA CONTROL GEODÉSICO Y VERTICAL		100
ANEXO 3. MAPA CON UBICACIÓN DE TRANSECTOS RESULTANTE DE LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO		101
ANEXO 4A. MAPA EN COLOR DEGRADADO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO		102
ANEXO 4B. MAPA EN COLOR DEGRADADO CON LA PLANICIE DE INUNDACIÓN DE LA LAGUNA DE OLOMEGA.		103
ANEXO 5. MAPA BATIMÉTRICO GENERAL DE LAGUNA DE OLOMEGA.		104
ANEXO 6. PERFILES RESULTANTES DE BATIMETRÍA DE LAGUNA DE OLOMEGA.		105
ANEXO 7. MEMORIA DE CÁLCULO		106
APÉNDICE: LAGUNA DE ARAMUACA		108
1.	IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA O SITIO DE MEDICIÓN HIDROGRÁFICA	109
1.1.	UBICACIÓN GENERAL	109
1.2.	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA	110
2.	REFERENCIAS GEODÉSICAS OFICIALES	110
2.1.	AMARRE PLANIMÉTRICO Y ALTIMÉTRICO DEL LEVANTAMIENTO A LA RED GEODÉSICA NACIONAL	110
3.	METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	110
3.1.	DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS	110
3.1.1.	ACTIVIDADES PREVIAS AL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	111
3.1.2.	RUTINA Y TRABAJO DE CAMPO	111
3.2.	MAPA DE TRANSECTOS LEVANTADOS	112
3.3.	REPRESENTACIÓN DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO	112
3.4.	LEVANTAMIENTO PERIMETRAL CON GPS GNSS (ROVER), ZONAS SIN COBERTURA CON ECOSONDA MULTIHAZ	113
3.5.	SISTEMA GEODÉSICO UTILIZADO	115
3.6.	POSICIONAMIENTO, CORRECCIÓN DE ERROR Y CONTROL VERTICAL	116
3.6.1.	Control de Posicionamiento horizontal	116
3.6.1.1.	Base GPS GNSS	116
3.6.1.2.	Envío de señal de corrección en tiempo real	117
3.6.1.3.	Red de Puntos de control para base GPS GNSS	117
3.6.1.4.	Medición de coordenada de posible estación hidrométrica	117
3.6.2.	Control vertical de datos adquiridos	118
4.	REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.	119
5.	RESULTADOS	120
5.1.	ACOPLE DE MDT CON LEVANTAMIENTO LIDAR	120

5.2.	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE).....	121
5.3.	ISOBATAS	123
5.4.	MEDICIÓN TOPOGRÁFICA Y DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE ESPEJO DE AGUA	123
5.5.	CURVAS ELEVACIÓN – ÁREA - VOLUMEN.....	123
5.6.	MODELO DIGITAL EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	124
5.7.	REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN ARCGIS DEL ESPEJO DE AGUA	125
	ANEXOS.....	127
	ANEXO 1. FICHA DE MOJÓN GEODÉSICO PARA ESTABLECIMIENTO DE RED AUXILIAR.....	128
	ANEXO 2. UBICACIÓN DE PUNTOS DE AMARRE PARA CONTROL GEODÉSICO Y VERTICAL.....	129
	ANEXO 3. MAPA CON UBICACIÓN DE TRANSECTOS RESULTANTE DE LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.....	130
	ANEXO 4. MAPA EN COLOR DEGRADADO DEL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.....	131
	ANEXO 5. MAPA BATIMÉTRICO GENERAL DE LAGUNA DE ARAMUACA.....	132
	ANEXO 6. PERFILES RESULTANTES DE BATIMETRÍA DE LAGUNA DE ARAMUACA.	133
	ANEXO 7. MEMORIA DE CÁLCULO	134

Índice de imágenes

Imagen 1.	Ubicación geográfica de laguna de Apastepeque.	5
Imagen 2.	Mapa topográfico de la laguna de Apastepeque.	6
Imagen 3.	Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.	8
Imagen 4.	Levantamiento batimétrico multihaz de la Laguna de Apastepeque.	9
Imagen 5.	Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna sin cobertura con equipo multihaz.	10
Imagen 6.	Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de la laguna, sin cobertura con equipo multihaz.....	11
Imagen 7.	Instalación de Base Trimble SPS855.....	12
Imagen 8.	Antena Trimble Zephyr 3.....	12
Imagen 9.	Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.	13
Imagen 10.	Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.	14
Imagen 11.	Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.	15
Imagen 12.	Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de Apastepeque con datos LIDAR del Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.....	19
Imagen 13.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Apastepeque (Vista en planta de Laguna).....	20
Imagen 14.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Apastepeque (zona norte).	20
Imagen 15.	Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Apastepeque (zona oriente).	21

Imagen 16. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Apastepeque (zona Sur).	21
Imagen 17. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.	22
Imagen 18. Curva E-A-V de Laguna de Apastepeque.	23
Imagen 19. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.	24
Imagen 20. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.	25
Imagen 21. Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.	26
Imagen 22. Grafica de ecuación para cálculo de volumen.	37
Imagen 23. Ubicación geográfica de laguna El Jocotal.	38
Imagen 24. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.	41
Imagen 25. Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna El Jocotal.	42
Imagen 26. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna sin cobertura con equipo Monohaz.	43
Imagen 27. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales e islas de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.	44
Imagen 28. Instalación de Base Trimble SPS855.	45
Imagen 29. Antena Trimble Zephyr 3.	46
Imagen 30. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.	46
Imagen 31. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.	48
Imagen 32. Ubicación y toma de elevaciones de estación hidrométrica.	49
Imagen 33. Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de El Jocotal con datos DTM del terreno circundante a la laguna con resolución espacial de 10x10m.	53
Imagen 34. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna El Jocotal (Vista en planta de Laguna).	54
Imagen 35. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna El Jocotal (zona norte).	55
Imagen 36. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna EL Jocotal (zona oriente).	55
Imagen 37. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna El Jocotal (zona sur).	56
Imagen 38. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.	57
Imagen 39. Curva E-A-V de Laguna El Jocotal.	58
Imagen 40. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.	60
Imagen 41. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.	61
Imagen 42. Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.	62
Imagen 43. Grafica de ecuación para cálculo de volumen	73
Imagen 44. Ubicación geográfica de laguna de Olomega.	75
Imagen 45. Mapa topográfico de la laguna de Olomega.	76
Imagen 46. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.	79
Imagen 47. Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna de Olomega.	80
Imagen 48. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna sin cobertura con equipo Monohaz.	81

Imagen 49. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.	82
Imagen 50. Instalación de Base Trimble SPS855.	83
Imagen 51. Antena Trimble Zephyr 3.	83
Imagen 52. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.	84
Imagen 53. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.	85
Imagen 54. Ubicación y toma de elevación de estación hidrométrica y cota máxima de espejo de agua según pobladores.	86
Imagen 55. Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de Olomega con datos DTM del terreno circundante a la laguna con resolución espacial de 10x10m.	89
Imagen 56. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Olomega (Vista en planta de Laguna).	90
Imagen 57. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Olomega (zona sur). ...	90
Imagen 58. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Olomega (zona norte). ...	91
Imagen 59. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Olomega (zona poniente).	91
Imagen 60. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.	92
Imagen 61. Curva E-A-V de Laguna de Olomega.	93
Imagen 62. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.	94
Imagen 63. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.	95
Imagen 64. Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.	96
Imagen 65. Grafica de ecuación para cálculo de volumen	107
Imagen 66. Ubicación geográfica de laguna de Aramuaca.	109
Imagen 67. Mapa topográfico de la laguna de Aramuaca.	110
Imagen 68. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.	112
Imagen 69. Levantamiento batimétrico multihaz de la Laguna de Aramuaca.	113
Imagen 70. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna sin cobertura con equipo multihaz.	114
Imagen 71. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo multihaz.	115
Imagen 72. Instalación de Base Trimble SPS855.	116
Imagen 73. Antena Trimble Zephyr 3.	116
Imagen 74. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.	117
Imagen 75. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.	118
Imagen 76. Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de Aramuaca con datos LIDAR del Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.	120
Imagen 77. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Aramuaca (Vista en planta de Laguna).	121

Imagen 78. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Aramuaca (zona norte).	121
Imagen 79. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Aramuaca (zona poniente).	122
Imagen 80. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Aramuaca (zona Sur).	122
Imagen 81. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.	123
Imagen 82. Curva E-A-V de Laguna de Aramuaca.	124
Imagen 83. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.	125
Imagen 84. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.	126
Imagen 85. Grafica de ecuación para cálculo de volumen.	138

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.	6
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.	10
Tabla 4. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.	13
Tabla 5. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.	15
Tabla 6. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.	16
Tabla 7. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.	18
Tabla 8. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.	26
Tabla 9. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Apastepeque.	36
Tabla 10. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.	39
Tabla 11. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.	39
Tabla 12. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.	43
Tabla 13. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.	47
Tabla 14. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.	49
Tabla 15. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.	50
Tabla 16. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.	51
Tabla 17. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.	52
Tabla 18. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.	62
Tabla 19. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna El Jocotal.	73
Tabla 20. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.	77
Tabla 21. Coordenadas de banco de marca de gran precisión de CNR.	77
Tabla 22. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.	81

Tabla 23. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.	84
Tabla 24. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.	86
Tabla 25. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.	87
Tabla 26. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.	88
Tabla 27. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.	96
Tabla 28. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Olomega.	107
Tabla 29. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.	110
Tabla 30. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.	114
Tabla 31. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.	117
Tabla 32. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.	119
Tabla 33. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.	126
Tabla 34. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Aramuaca.	137

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.5, correspondiente a las lagunas de Apastepeque, El Jocotal, Olomega y Aramuaca, esta última como un añadido presentado en la oferta del trabajo y que se presenta como un apéndice del producto.

Durante el mes de Diciembre 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 realizó 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 fueron posicionados con el equipo GPS.

Al tener la red geodésica auxiliar en los 4 cuerpos de agua en estudio y la prórroga para el producto 5, se coordinaron y programaron las actividades para iniciar en la laguna Apastepeque y Aramuaca en el mes de enero y El Jocotal en febrero del presente año, habiéndose ya trabajado Olomega durante diciembre del 2020. Cuando se estableció el programa de las actividades y el orden de los lugares a medir se realizó un reconocimiento por medio del software Google earth de la ubicación de los puntos de control, se establecieron 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; se verifico el estado integral de la embarcación (motores y estructura de montaje de ecosonda), posteriormente se instaló el equipo hidrográfico y se ingresó la embarcación en el acceso más adecuado, al tener la embarcación dentro de las aguas someras se realizó 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, presencia de árboles, plantas subacuáticas y jacinto de agua (ninfa).

La Laguna de Olomega fue la de mayor extensión de agua, en la zona norte existe una alta presencia de planta subacuática conocida localmente como “barbona”; haciendo difícil la medición con ecosonda monohaz; esta planta se entrecruzaba con la proela del motor y con la estructura del transductor; por lo cual se optó por realizar la medición con GPS GNSS Rover, formando una cuadrícula de puntos a detalle. Dentro de la laguna existe un alto desplazamiento de “jacinto de agua”, esta planta se encuentra al sur durante la mañana y al norte en las tardes; por lo tanto, fue necesario ajustar los horarios de trabajo a dicho desplazamiento de la ninfa para obtener una completa adquisición de datos. Para definir el contorno de espejo de agua de la laguna nos

auxiliamos de una persona guía con alto conocimiento de la laguna; en la zona norte y sur-poniente se caracteriza por ser zonas pantanosas o con material de azolvamiento estático; por lo tanto, fue imposible llegar a la orilla de la laguna desde lancha, únicamente se logró transitar sobre calles existentes en el perímetro de la laguna y cruzando linderos de terrenos a las orillas para llegar al nivel de espejo de agua original. La embarcación se ingresó sobre el muelle de Olomega y el punto de control geodésico y vertical que se empleó por su fácil acceso y adecuada señal de corrección de posicionamiento fue el ubicado en la Isla Los Chivos nombrado como “Cerritos”, para la medición del espejo de agua se logró acceder con lancha desde la zona Nor-Oriente (a partir de Río San Antonio) hasta el sur de la laguna (La Estrechura y Puerto Viejo); para la zona norte existe calle para ganado en San Joaquín, Chirilagua y para la zona nor-poniente hasta sur-poniente se ingresó por calle desde Miraflores, San Miguel hasta el Caserío La Pelota. El desagüe de la laguna se ubicó al poniente de la laguna y desemboca al Río Grande de San Miguel.

La laguna de Apastepeque por ser de una extensión de agua pequeña fue posible realizar la medición en 1 día de trabajo; la medición batimétrica fue con ecosonda multihaz. Para ingresar la lancha se utilizó un acceso al sur de la laguna, y el punto de control geodésico para la base GPS GNSS RTK fue en el Turicentro de Apastepeque. No se presentó ningún obstáculo para la medición con ecosonda y GPS GNSS Rover, en las orillas se tuvo precaución debido a que se dan cambios bruscos de profundidad. La forma de la laguna es tipo cráter, con taludes inclinados con pendientes fuertes y se observa un azolvamiento leve.

Posteriormente se continuo con la Laguna de Aramuaca, existe una rampa para ingreso de lanchas y el punto de control para la base GPS GNSS está en las cercanías de la laguna. Al igual que Apastepeque, no se tuvo ningún obstáculo de plantas acuáticas, rocas y arboles superficiales; sin embargo, se dan cambios de profundidad bruscos en las orillas, siendo zonas peligrosas debido que de 8m cambia a 30-70m, condición normal, pues la forma es tipo cráter con abismos de gran altura, en el fondo de la laguna se observan depósitos de arena, roca o montañas con altura mayor a 30m, se observa un azolvamiento en el sector poniente debido a la erosión de un talud.

Por último, se realizó la medición de la Laguna El Jocotal esta presento dificultad para la configuración del contorno del espejo de agua, toda la zona es pantanosa y planicies de cultivo y solo es posible ingresar desde unas propiedades privadas a la orilla de la laguna y después caminar para llegar a la orilla, cruzando ramales o quebradas. Por ser una laguna de poca profundidad, la medición fue con ecosonda monohaz, dentro de la laguna existe una alta presencia de jacinto de agua y carrizo, la comunidad hace uso constante de la laguna para pesca siendo un obstáculo por las redes de pesca que ellos colocan. No fue posible la medición completa de la “Poza azul”, debido a que se encuentra una gran cantidad de carrizo anidado sobre la poza. El desagüe se ubicó en la zona sur-poniente que desemboca al Río Grande de San Miguel. Esta laguna presento una alta tasa de azolvamiento por el transporte de sedimento cuando existen fenómenos climatológicos o crecidas de la laguna. Para los trabajos de medición se contó con el apoyo del personal de Áreas Naturales Protegidas de la laguna Jocotal, como guías y para solicitar permisos al ingreso de terrenos privados.

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.

Objetivos

Realizar un trabajo de medición hidrográfica con técnicas actualizadas y sistemas de posicionamiento con medición de profundidades, adquiriendo datos fiables y precisos para la conformación del Modelo Digital del Terreno. Lo anterior para cuantificar el volumen de almacenamiento de agua de las lagunas de Apastepeque, El Jocotal, Olomega y Aramuaca, 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 de 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 las Lagunas Apastepeque, Jocotal, Olomega y Aramuaca.



A. LAGUNA DE APASTEPEQUE.



1. Identificación del área o sitio de medición hidrográfica

1.1. Ubicación general

Esta laguna descansa sobre un cráter de explosión volcánica en la parte nor-central del Departamento de San Vicente, en el Municipio de Santa Clara, Cantón Agua Helada, a 4.5 Km de esta ciudad.

El espejo de agua es de 0.39 Km²; no hay corrientes principales o ríos que desemboken en la laguna o que sirvan de drenaje, aunque en la imagen 2 se aprecia un río de desagüe, es posible que en el pasado si existió; la principal fuente de agua es la lluvia, aunque también es alimentada por agua subterránea; así mismo el aporte es al río Istamaco. La profundidad máxima al centro de la laguna es de 46.25 metros

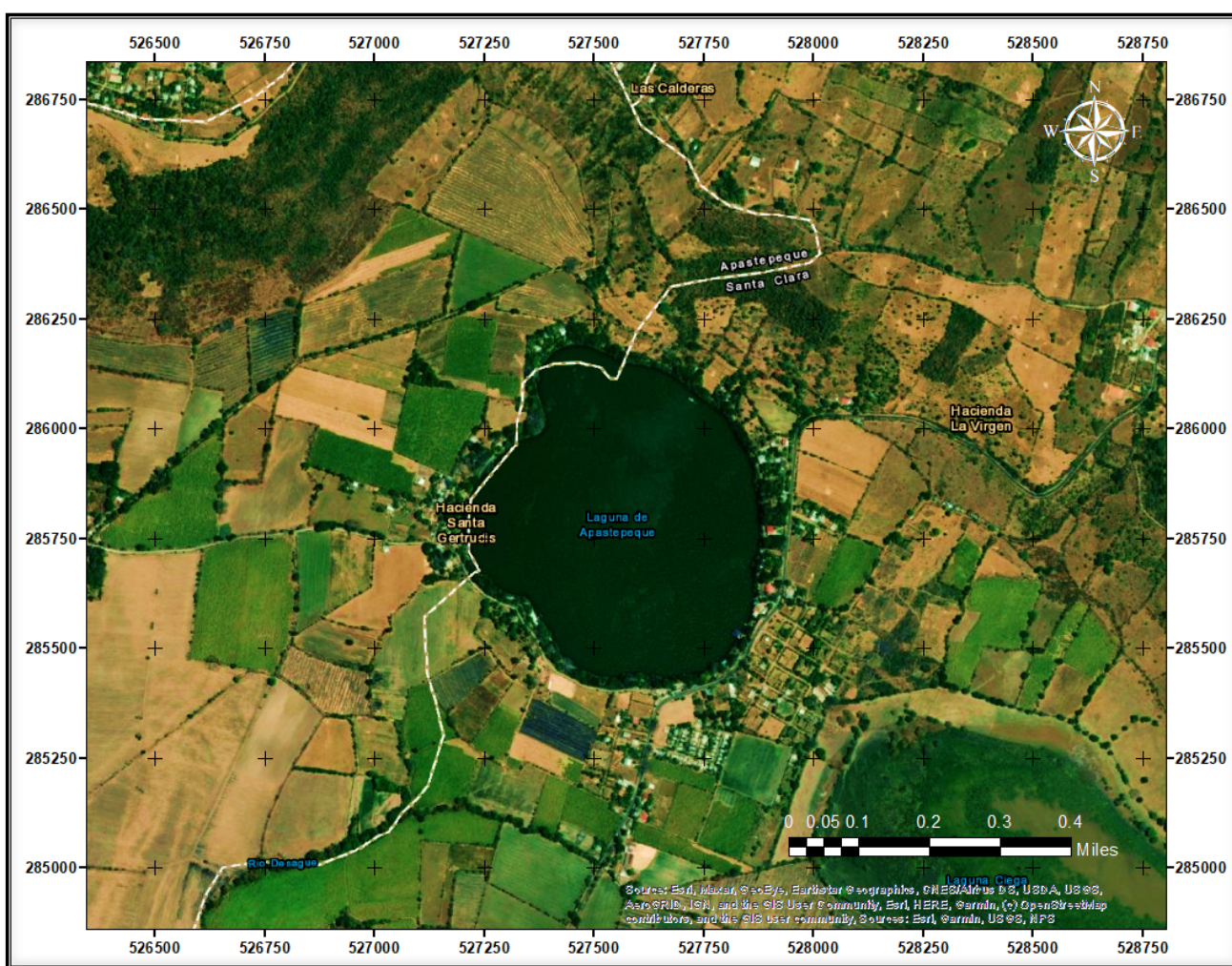


Imagen 1. Ubicación geográfica de laguna de Apastepeque.

1.2. Descripción morfológica

Según la Geología de El Salvador, el lugar de estudio se clasifica dentro de la Formación SAN SALVADOR (s5'b) del periodo Cuaternario, conocidas como Materiales piroclásticos básicos: brechas, bombas, lapilli y cenizas

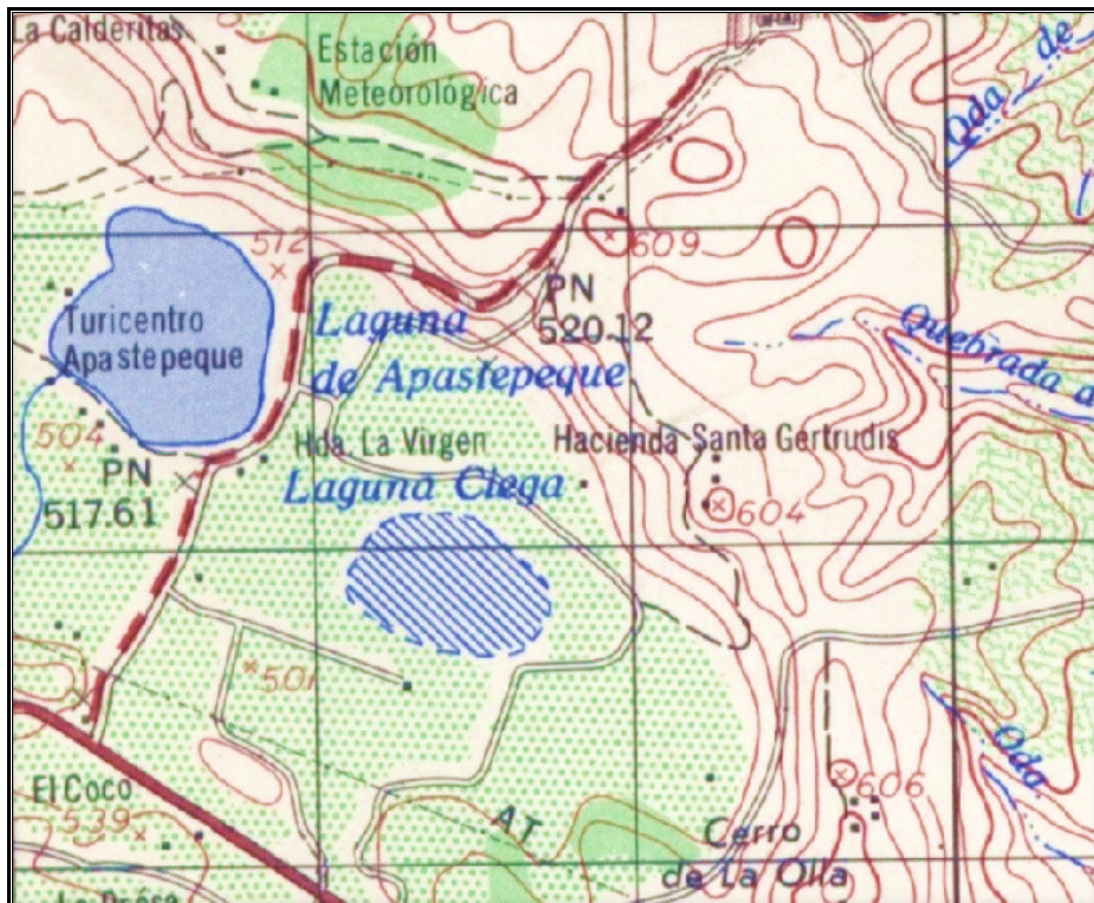


Imagen 2. Mapa topográfico de la laguna de Apastepeque.

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	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (elipsoidal)
CALDERITAS	13°42'09.40" N	88°44'48.42" W	286786.488	527388.107	623.170
MKZ CALDERITAS	13°42'08.69" N	88°44'46.36" W	286764.650	527449.758	625.209

Tabla 1. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.

2.2. Amarre alimétrico

Se utilizó el Banco de Marca proporcionado por CNR.

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)
AZ-59	13°41'40.66" N	88°44'20.14" W	285904.199	528238.774	531.354

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 Multihaz 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 como el uso de equipos con precisiones no menores del 5% de la profundidad medida (OHI S-44). En tal sentido, en el presente trabajo, las actividades se desollaron con el uso de equipo profesional para levantamiento batimétricos de alta precisión, tanto en horizontal de ubicación geodésica como en control vertical con la adquisición de datos con el programa informático de mayor calidad y reconocimiento a nivel mundial.

3.1.1. Actividades previas al levantamiento batimétrico

Primeramente, se realizó el reconocimiento de la zona para el acceso y salida de lancha, búsqueda de mojones con coordenadas geodésicas 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 25 metros. Estas líneas a su vez sirvieron de orientación para la navegación.

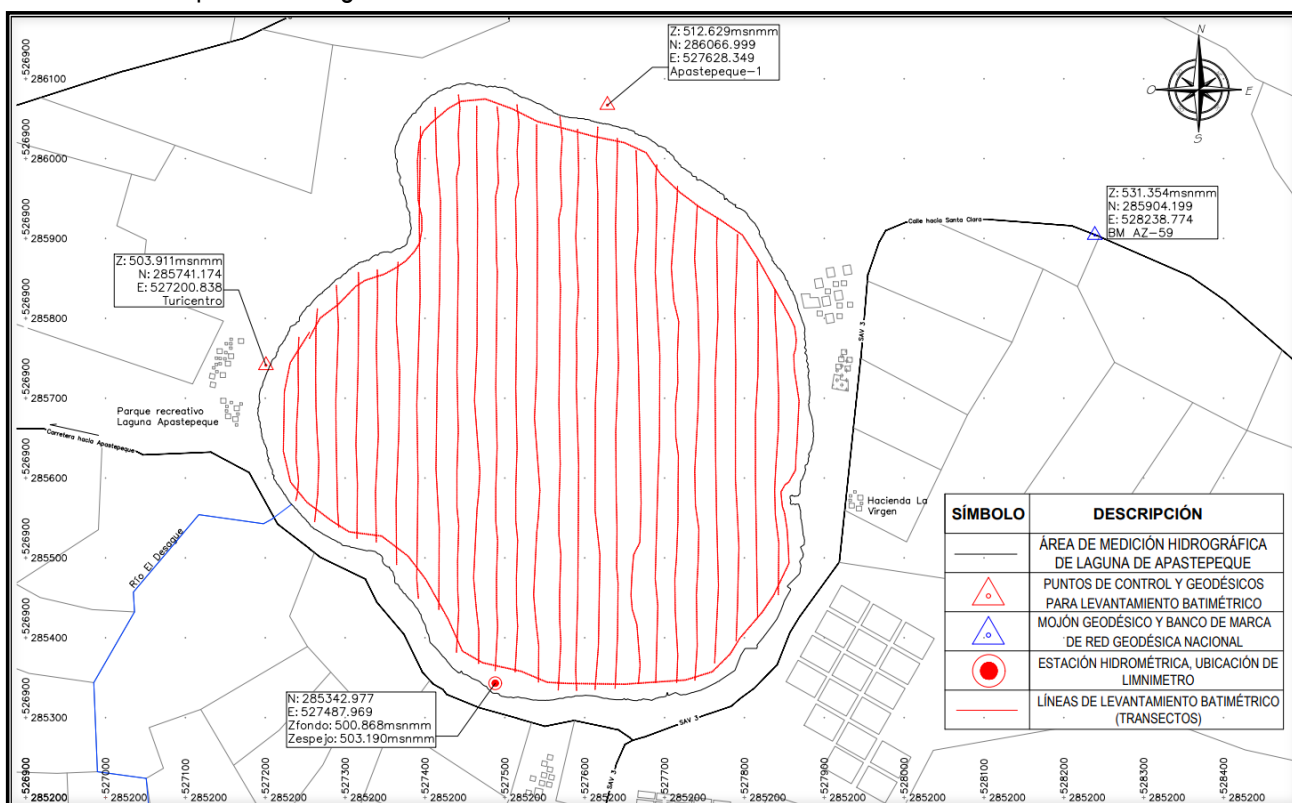


Imagen 3. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.

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.

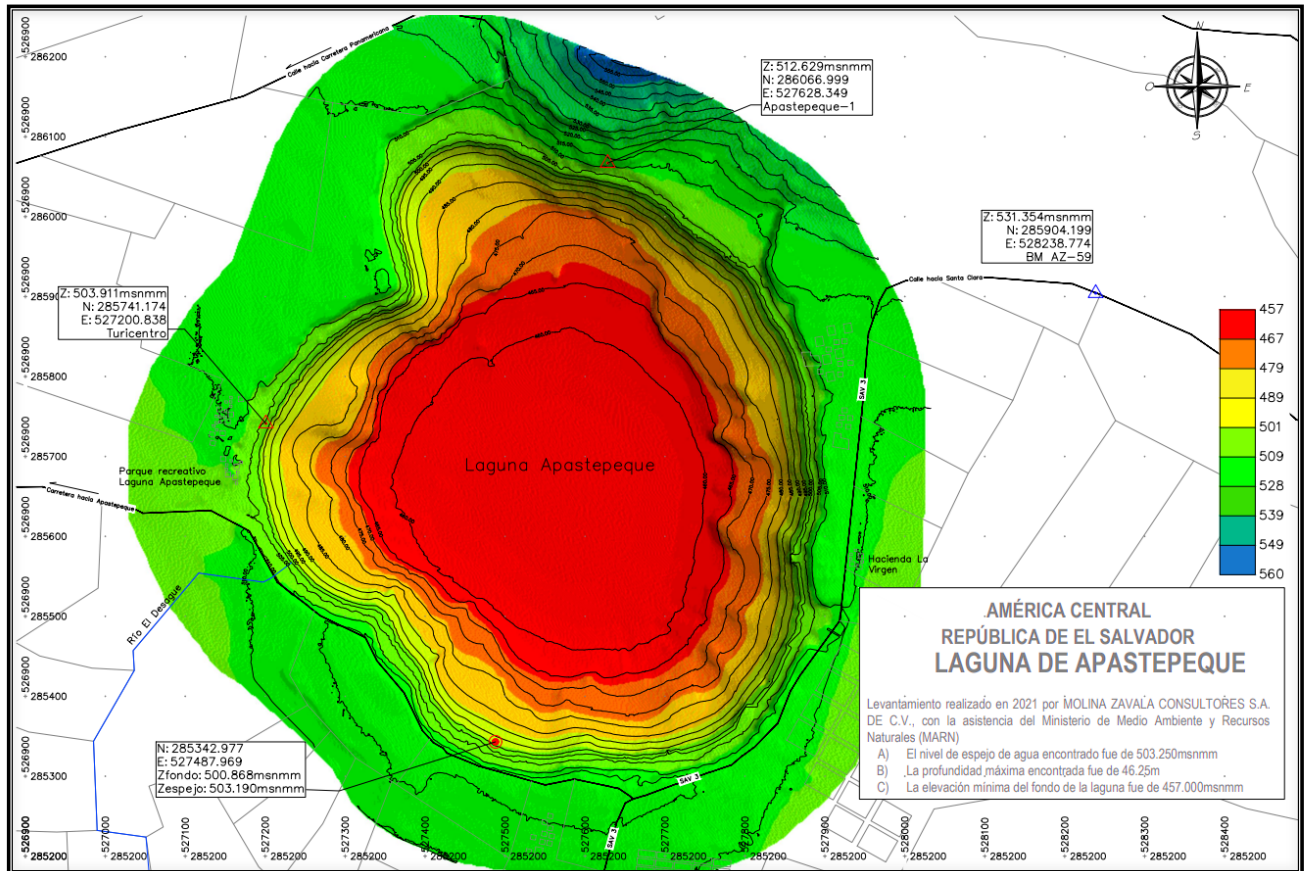


Imagen 4. Levantamiento batimétrico multihaz de la Laguna de Apastepeque.

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

Durante el levantamiento batimétrico realizado con ecosonda multihaz, no se han podido cubrir zonas perimetrales de la laguna de Apastepeque 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.

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 1-3 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)
Apastepeque-1	13°41'45.98" N	88°44'40.44" W	286066.999	527628.349	512.629
Turicentro	13°41'35.39" N	88°44'54.68" W	285741.174	527200.838	503.911

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

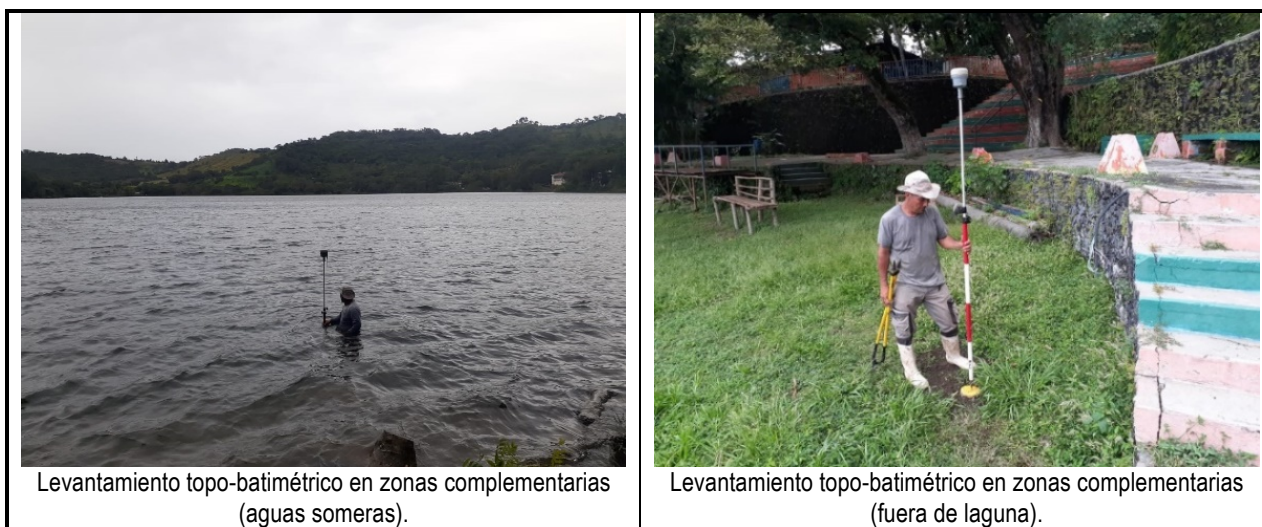


Imagen 5. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna sin cobertura con equipo multihaz.

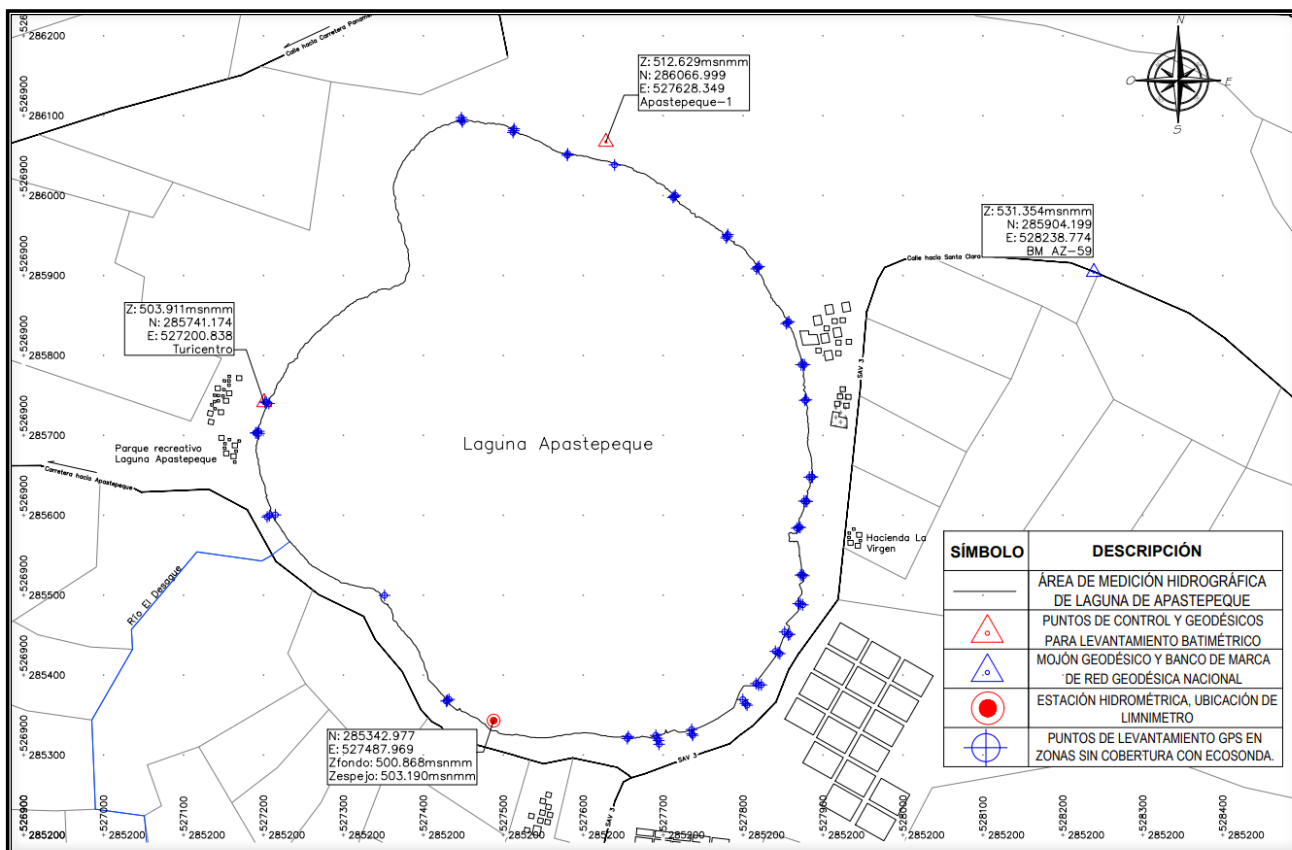


Imagen 6. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de la laguna, sin cobertura con equipo multihaz.

3.5. Sistema geodésico utilizado

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

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

Referencias geodésicas: **mojón geodésico de C.N.R CALDERITAS 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: Geoconsult01, 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 “CALDERITAS” 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 (msnm)
Apastepeque-1	13°41'45.98" N	88°44'40.44" W	286066.999	527628.349	512.629
Turicentro	13°41'35.39" N	88°44'54.68" W	285741.174	527200.838	503.911

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

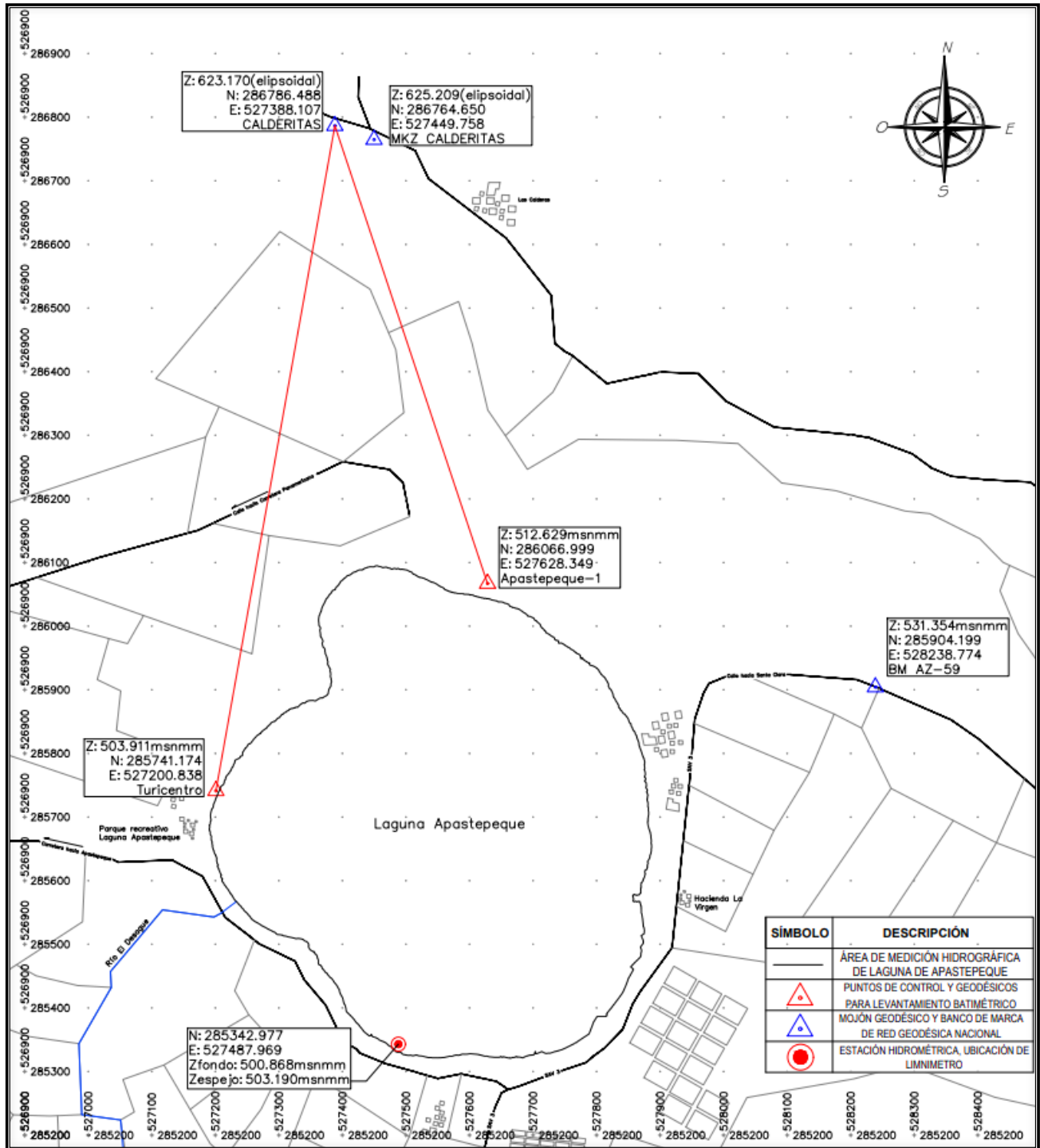


Imagen 10. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.

3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica

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

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)	Descripción
E_HIDRO_01	285342.883	527488.031	500.868	Elevación de fondo en estación hidrométrica.
E_HIDRO_02	285342.977	527487.969	503.190	Elevación hasta el espejo de agua.
El nivel de cota máxima indicada por los pobladores fue de 506.672msnm Con coordenadas N: 285376.412 E: 527411.237				

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

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

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

4. Registro fotográfico del levantamiento batimétrico.

Se ha utilizado una embarcación tipo Lancha Bermuda, con las siguientes descripciones físicas:

TIPO DE EQUIPO: Lancha Tipo Bermuda de Fibra de Vidrio, Nombre Geoconsulting 01 MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 75 Hp, Marca YAMAHA	MANGA: 25 pies ESLORA: 27 pies CALADO VACÍO: 2.5 pies
Fotografías de realización de Batimetría en Laguna de Apastepeque	
 Ingreso de embarcacion en laguna de Apastepeque.	 Instalacion de base GPS GNSS sobre punto de control "Turicentro".
 Vista panoramica de la laguna, presencia de oleaje por vientos provenientes del sur.	 Instalacion de equipo hidrografico y Adquisicion de datos en la embarcacion.
 Vista panoramica al sector sur-orient de la laguna.	 Vista panoramica al sector nor-orient de la laguna.

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 Apastepeque



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 "Apastepeque 1".



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



Levantamiento topo-batimétrico en profundidades de hasta



Levantamiento topo-batimétrico en profundidades de hasta

Registro fotográfico de realización de Topo-Batimetría al contorno de Laguna de Apastepeque	
1.0 m de columna de agua.	2.0 m de columna de agua.

Tabla 7. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.

5. Resultados

5.1. Acople de MDT con Levantamiento LIDAR

A continuación, se muestra la unión del MDT resultante de la batimetría y el MDT del levantamiento LIDAR del MARN:

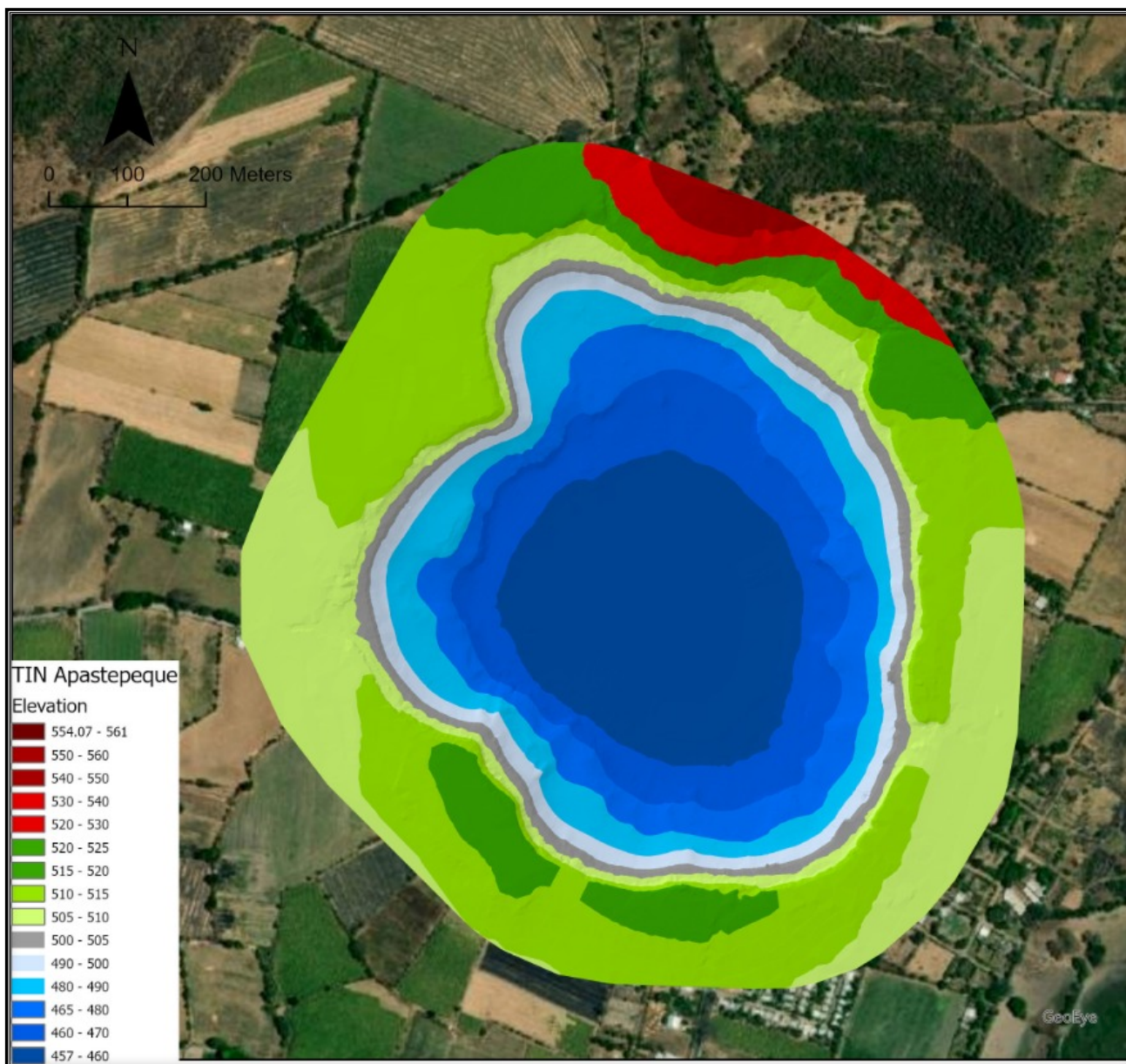


Imagen 12. Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de Apastepeque con datos LIDAR del Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.

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 Apastepeque:

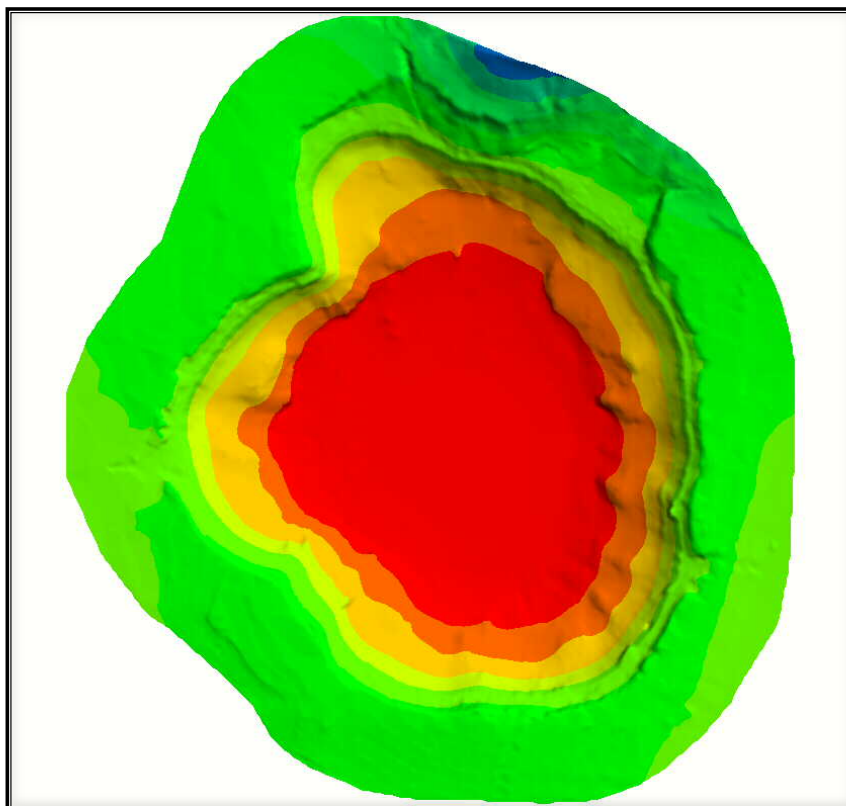


Imagen 13. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Apastepeque (Vista en planta de Laguna).

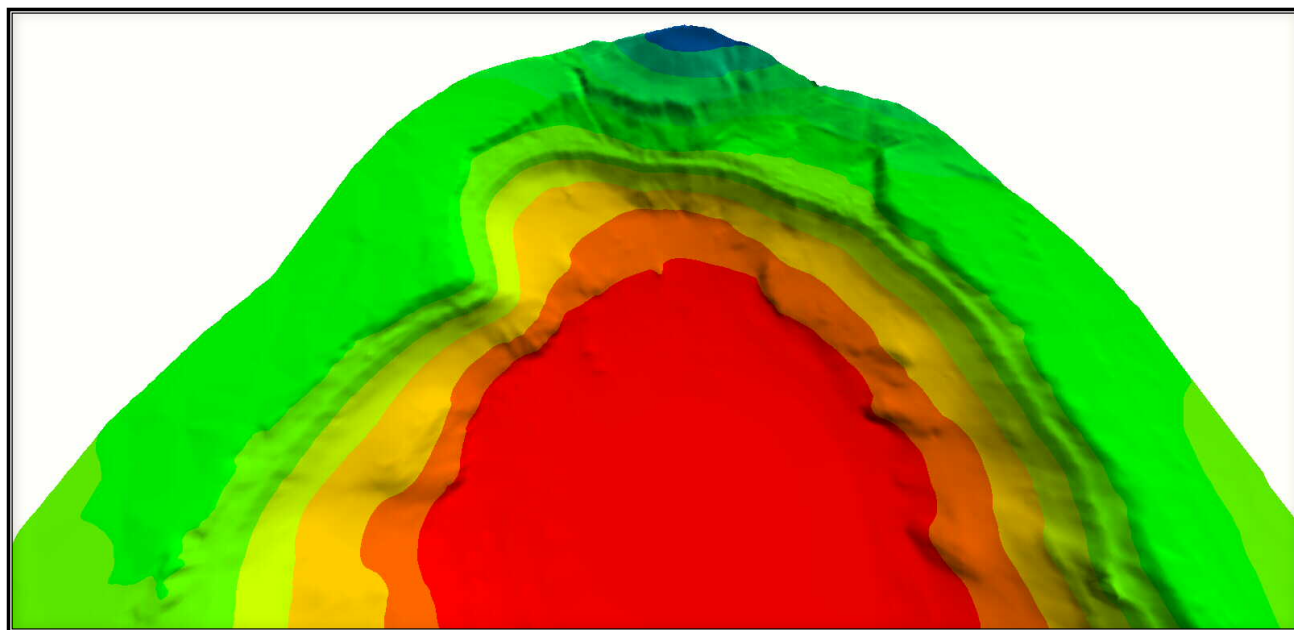


Imagen 14. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Apastepeque (zona norte).

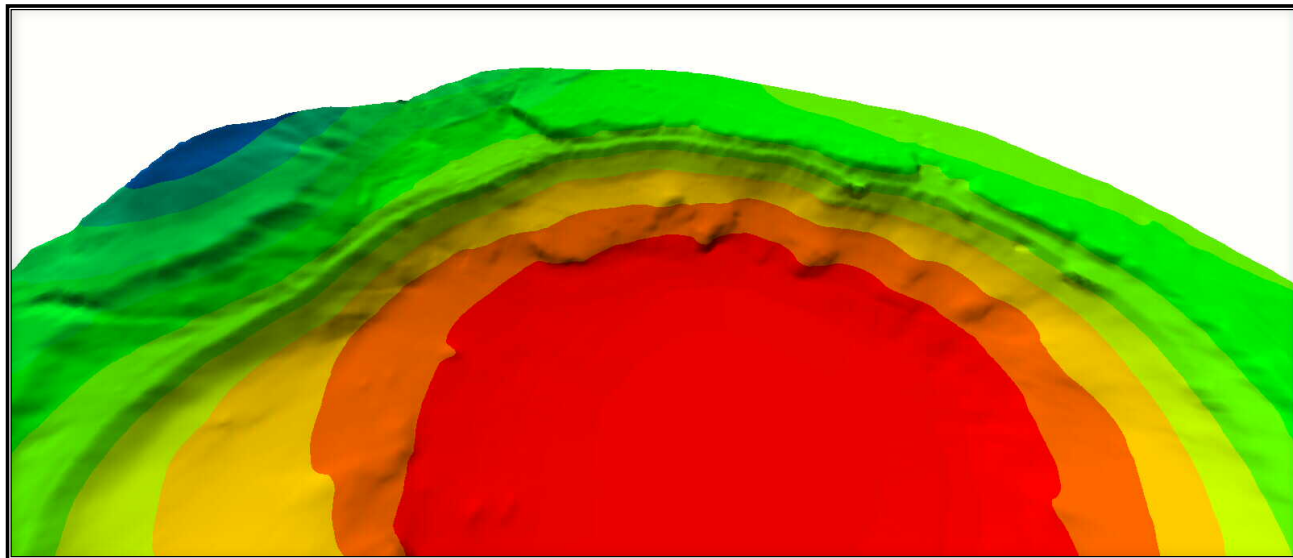


Imagen 15. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Apastepeque (zona oriente).

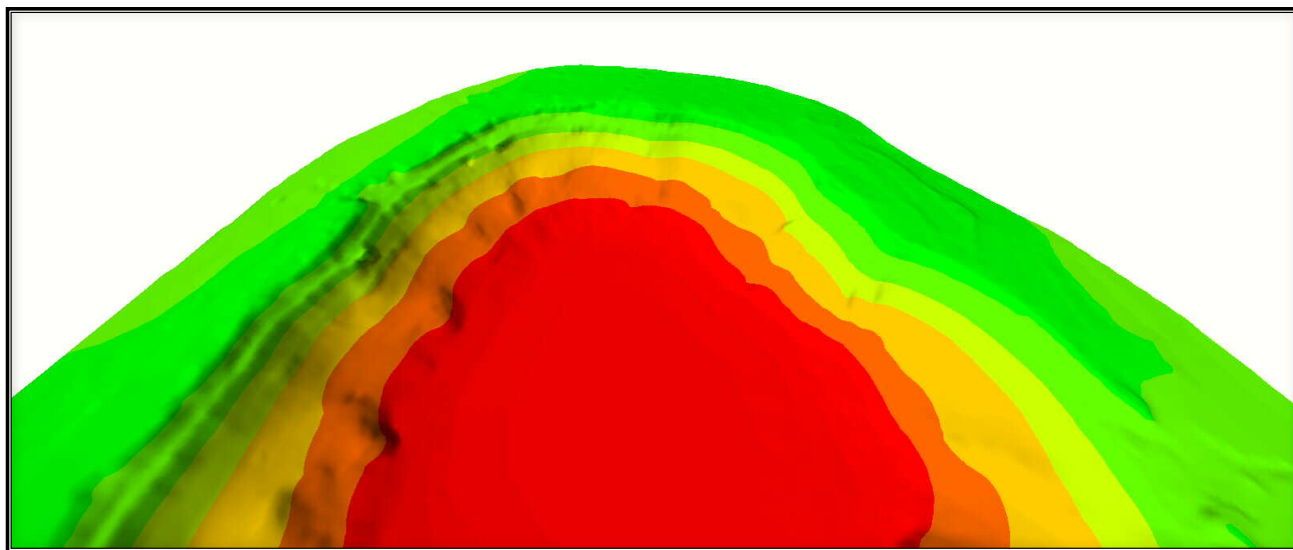


Imagen 16. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Apastepeque (zona Sur).

5.3. Isobatas

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

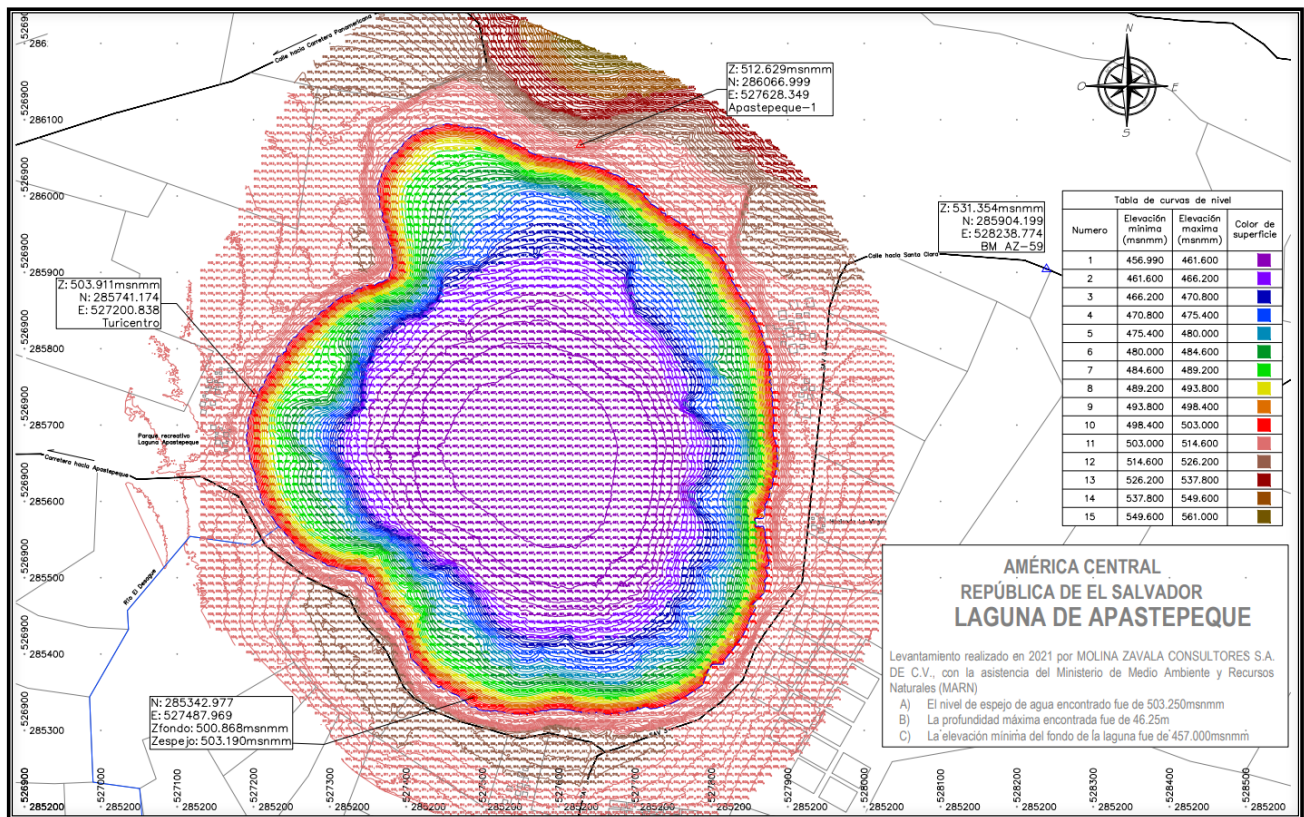


Imagen 17. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.

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: 503.25msnm, en días preliminares a la medición batimétrica el nivel en el sensor hidrométrico fue de 503.190msnm, este nivel es variable según las precipitaciones actuantes en la cuenca de la laguna.

5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen

Volumen de agua al nivel de espejo de agua:

Durante la medición (503.25 m.s.n.m.):

11.9485 Millones de m³

Volumen de agua al nivel máximo histórico de laguna:

indicado por los pobladores (506.672 m.s.n.m.):

13.3536 Millones de m³

(dato no validado/comprobado científicamente)

Datos topo-batimétricos resultantes de las mediciones.

Elevación mínima del fondo de la laguna:

457.000 m.s.n.m.m

Elevación del espejo de agua al momento de medición:

503.25 m.s.n.m.m

Elevación máxima histórica de la laguna indicada por pobladores:

506.672 m.s.n.m.m

Profundidad máxima de columna de agua encontrada:

46.25 m

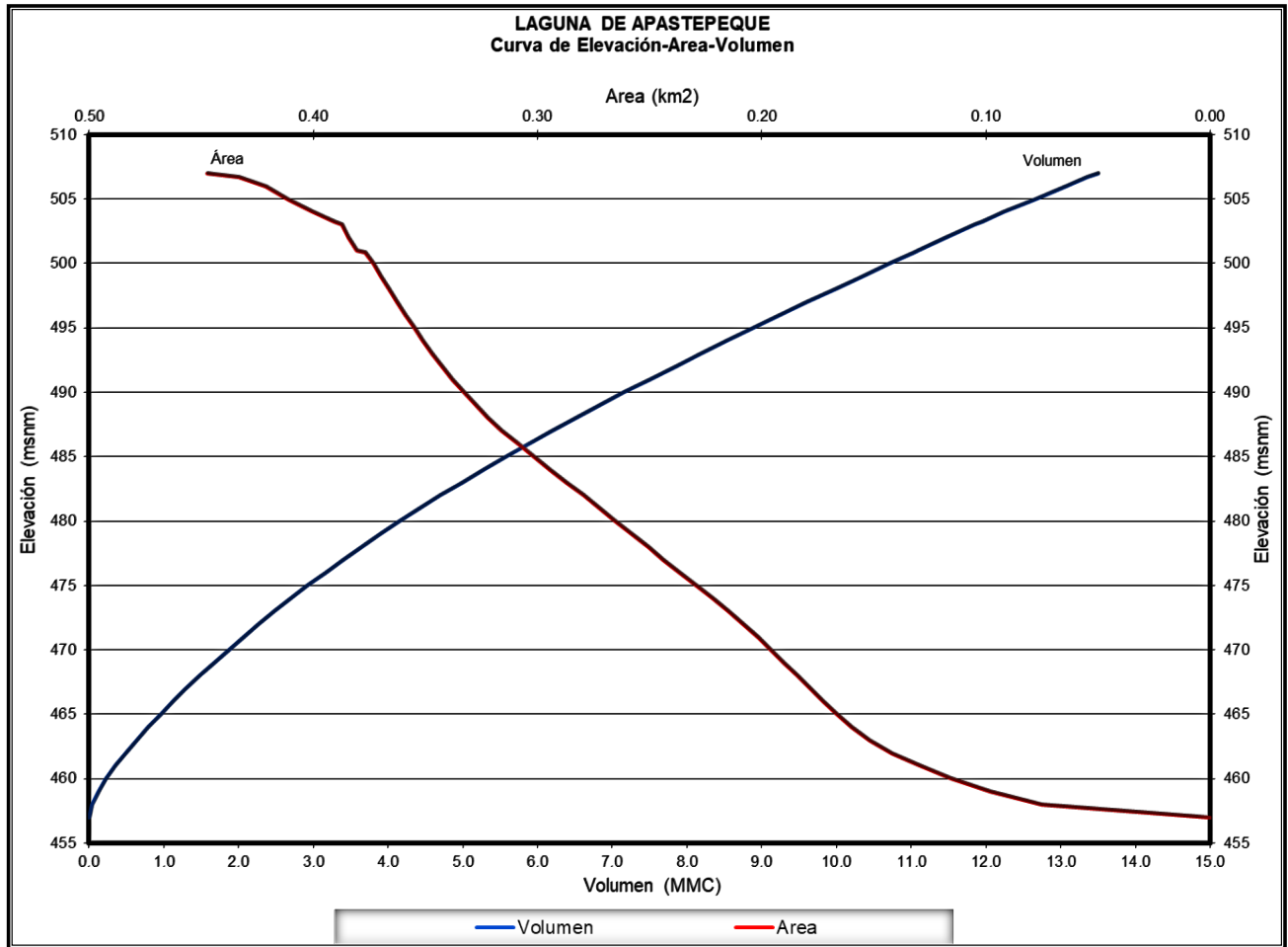


Imagen 18. Curva E-A-V de Laguna de Apastepeque.

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

El modelo se generó a partir de la interpolación de la nube de puntos levantada con el equipo multiház, 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 igual al encontrado según la medición en determinado momento del espejo de agua (ver imagen 19).

- b) Con la elevación de un nivel máximo histórico, según recuerdo de los pobladores (ver imagen 20).
- c) Con un nivel de espejo de agua igual al “cero” hidrométrico según las condiciones actuales de instalación del sensor (ver imagen 21).
- d)

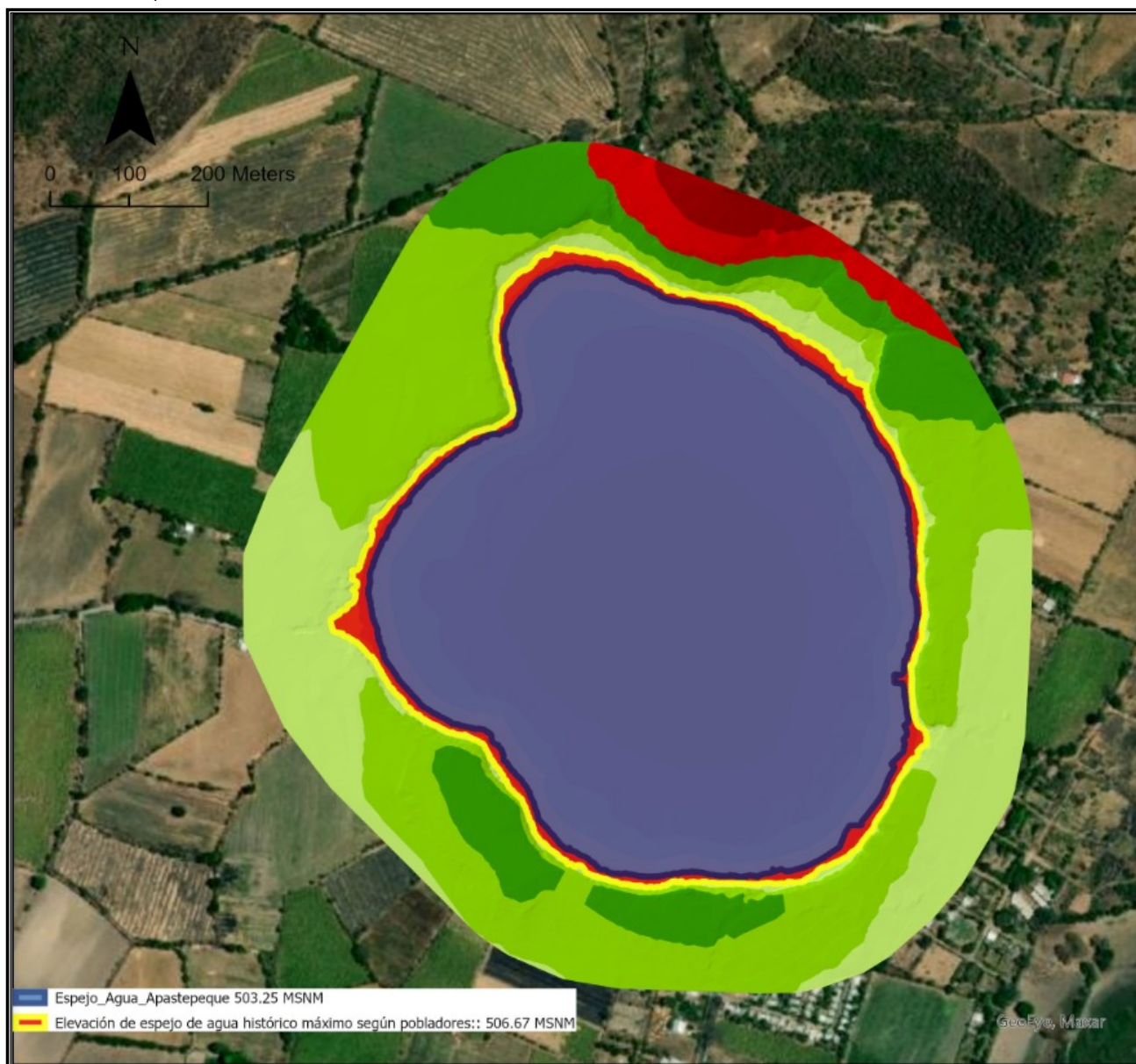


Imagen 19. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.



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

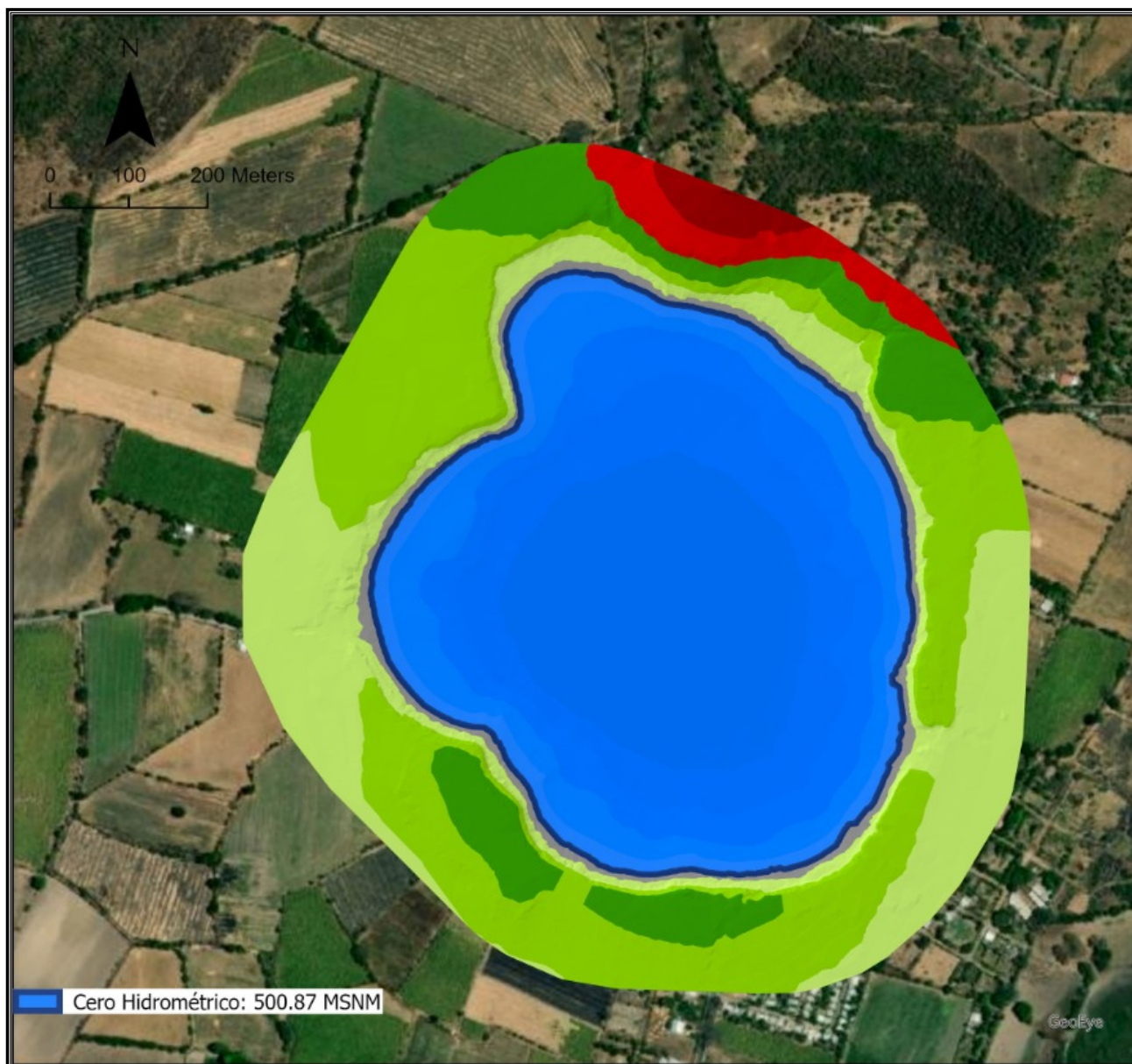


Imagen 21. Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.

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 2021.	500.87	0.3769
Nivel de espejo de agua máximo según medición actual 2021.	503.25	0.3906
Nivel de espejo de agua máximo según dato histórico de pobladores.	506.67	0.4332

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 Apastepeque.

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

ANEXO 7. Memoria de cálculo

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

ELEVACIÓN	ÁREA ENTRE ELEVACIÓN (m ²)	ÁREA ACUMULADA	AREA PROMEDIO	INTERVALO	VOLUMEN INCREMENTAL	VOLUMEN ACUMULADO
(msnmm)	(según modelo digital de elevacion C3D)	(km ²)	(m ²)	(m)	(MMC)	(MMC)
507.000	14,191.820	0.4474332	440,337.240	0.3300	0.1453113	13.4989118
506.670	12,098.850	0.4332413	427,191.905	0.6700	0.2862186	13.3536005
506.000	9,715.680	0.4211425	416,284.640	1.0000	0.4162846	13.0673819
505.000	10,974.420	0.4114268	405,939.590	1.0000	0.4059396	12.6510973
504.000	9,820.830	0.4004524	395,541.965	0.7500	0.2966565	12.2451577
503.250	3,255.040	0.3906316	389,004.030	0.2500	0.0972510	11.9485012
503.000	3,113.100	0.3873765	385,819.960	1.0000	0.3858200	11.8512502
502.000	3,673.380	0.3842634	382,426.720	1.0000	0.3824267	11.4654303
501.000	3,640.710	0.3805900	376,950.640	0.1300	0.0490036	11.0830035
500.870	3,638.070	0.3769493	373,329.445	0.8700	0.3247966	11.0340000
500.000	3,601.680	0.3733113	371,510.410	1.0000	0.3715104	10.7092033
499.000	3,571.920	0.3697096	367,923.610	1.0000	0.3679236	10.3376929
498.000	3,561.560	0.3661377	364,356.870	1.0000	0.3643569	9.9697693
497.000	3,556.340	0.3625761	360,797.920	1.0000	0.3607979	9.6054124
496.000	3,996.860	0.3590198	357,021.320	1.0000	0.3570213	9.2446145
495.000	3,982.500	0.3550229	353,031.640	1.0000	0.3530316	8.8875932
494.000	4,158.190	0.3510404	348,961.295	1.0000	0.3489613	8.5345616
493.000	4,345.760	0.3468822	344,709.320	1.0000	0.3447093	8.1856003
492.000	4,616.770	0.3425364	340,228.055	1.0000	0.3402281	7.8408910
491.000	4,973.080	0.3379197	335,433.130	1.0000	0.3354331	7.5006629
490.000	5,327.050	0.3329466	330,283.065	1.0000	0.3302831	7.1652298
489.000	5,601.980	0.3276195	324,818.550	1.0000	0.3248186	6.8349467
488.000	6,209.460	0.3220176	318,912.830	1.0000	0.3189128	6.5101282
487.000	7,228.830	0.3158081	312,193.685	1.0000	0.3121937	6.1912153
486.000	6,925.150	0.3085793	305,116.695	1.0000	0.3051167	5.8790216
485.000	7,311.530	0.3016541	297,998.355	1.0000	0.2979984	5.5739049
484.000	7,351.150	0.2943426	290,667.015	1.0000	0.2906670	5.2759066
483.000	7,328.020	0.2869914	283,327.430	1.0000	0.2833274	4.9852396
482.000	7,122.930	0.2796634	276,101.955	1.0000	0.2761020	4.7019121
481.000	7,250.980	0.2725405	268,915.000	1.0000	0.2689150	4.4258102
480.000	7,505.140	0.2652895	261,536.940	1.0000	0.2615369	4.1568952
479.000	7,152.860	0.2577844	254,207.940	1.0000	0.2542079	3.8953582
478.000	6,909.430	0.2506315	247,176.795	1.0000	0.2471768	3.6411503
477.000	7,099.260	0.2437221	240,172.450	1.0000	0.2401725	3.3939735
476.000	7,233.060	0.2366228	233,006.290	1.0000	0.2330063	3.1538011
475.000	7,269.860	0.2293898	225,754.830	1.0000	0.2257548	2.9207948
474.000	7,106.650	0.2221199	218,566.575	1.0000	0.2185666	2.6950399

ELEVACIÓN	ÁREA ENTRE ELEVACIÓN (m²)	ÁREA ACUMULADA	AREA PROMEDIO	INTERVALO	VOLUMEN INCREMENTAL	VOLUMEN ACUMULADO
(msnmm)	(según modelo digital de elevacion C3D)	(km²)	(m²)	(m)	(MMC)	(MMC)
473.000	6,973.210	0.2150133	211,526.645	1.0000	0.2115266	2.4764734
472.000	6,341.310	0.2080400	204,869.385	1.0000	0.2048694	2.2649467
471.000	5,971.160	0.2016987	198,713.150	1.0000	0.1987132	2.0600773
470.000	5,732.970	0.1957276	192,861.085	1.0000	0.1928611	1.8613642
469.000	5,733.770	0.1899946	187,127.715	1.0000	0.1871277	1.6685031
468.000	5,852.210	0.1842608	181,334.725	1.0000	0.1813347	1.4813754
467.000	5,835.370	0.1784086	175,490.935	1.0000	0.1754909	1.3000407
466.000	6,127.360	0.1725733	169,509.570	1.0000	0.1695096	1.1245497
465.000	6,700.800	0.1664459	163,095.490	1.0000	0.1630955	0.9550402
464.000	7,767.700	0.1597451	155,861.240	1.0000	0.1558612	0.7919447
463.000	9,944.070	0.1519774	147,005.355	1.0000	0.1470054	0.6360834
462.000	12,559.660	0.1420333	135,753.490	1.0000	0.1357535	0.4890781
461.000	14,080.470	0.1294737	122,433.425	1.0000	0.1224334	0.3533246
460.000	17,482.110	0.1153932	106,652.135	1.0000	0.1066521	0.2308912
459.000	22,627.600	0.0979111	86,597.280	1.0000	0.0865973	0.1242390
458.000	75,283.480	0.0752835	37,641.740	1.0000	0.0376417	0.0376417
457.000	0.000	0.0000000	0.000	0.0000	0.0000000	0.0000000

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

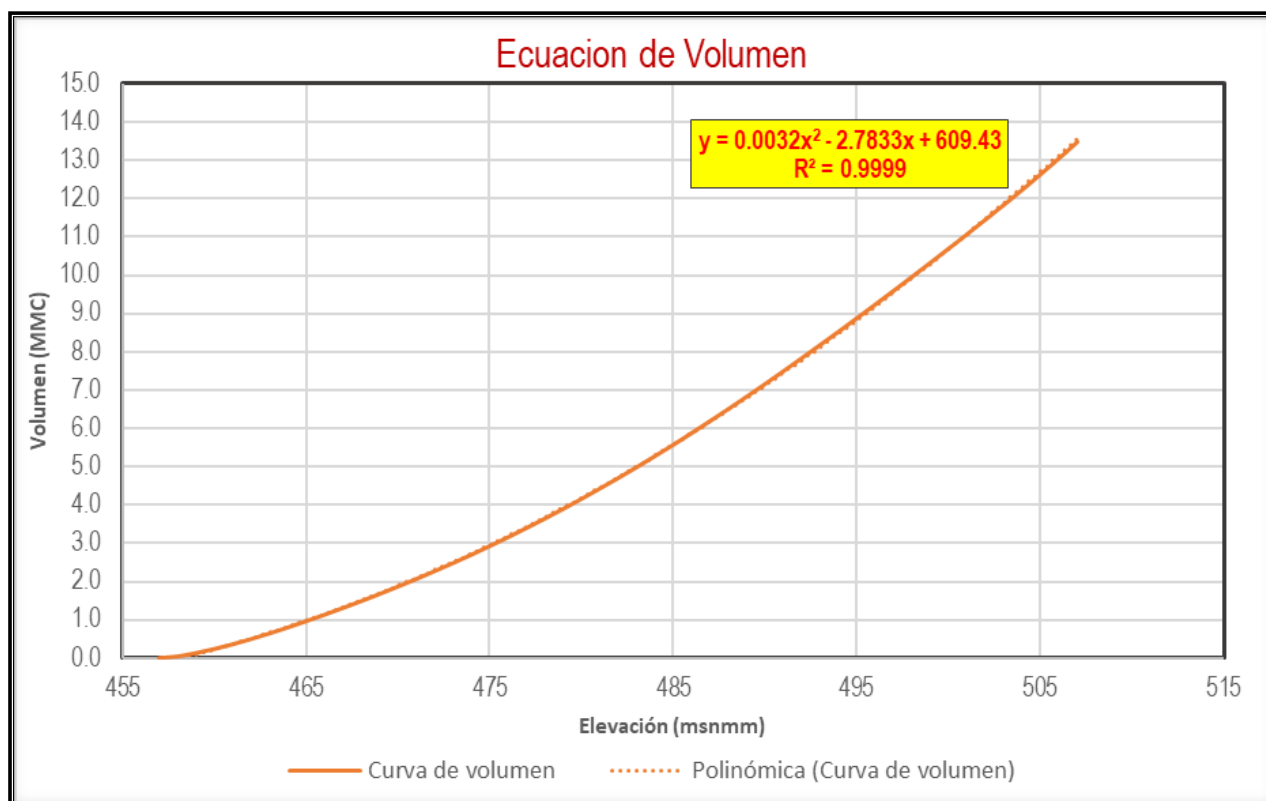


Imagen 22. Grafica de ecuación para cálculo de volumen.



B. LAGUNA EL JOCOTAL.



1. Identificación del área o sitio de medición hidrográfica

1.1. Ubicación general

Aproximadamente a 120 km de San Salvador, se ubica en el extremo nororiental de la Planicie Costera Central, dentro de los municipios: El Tránsito, San Miguel, Chirilagua y Jucuarán. La Cordillera de Jucuarán se ubica al sur del humedal, mientras que al norte se encuentra el volcán de San Miguel. Al Este y Oeste, se ubica la gran planicie costera. Al sur también se encuentra el río Grande de San Miguel que en numerosas precipitaciones intensas confluye con el agua por el Este. Al Oeste, existe un drenaje artificial que confluye con el río antes mencionado.

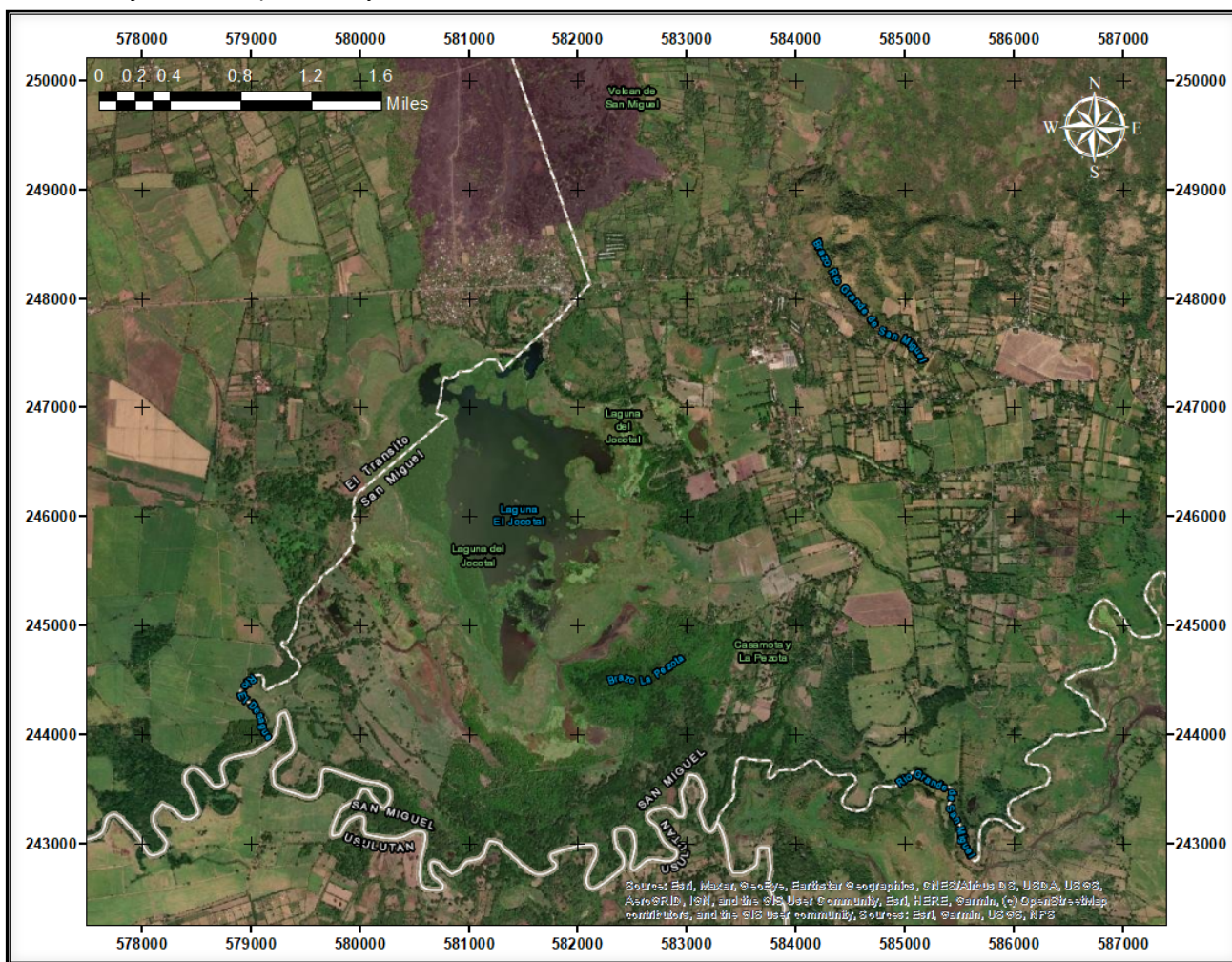


Imagen 23. Ubicación geográfica de laguna El Jocotal.

1.2. Descripción morfológica

Según la Geología de El Salvador, el lugar de estudio al sur se clasifica dentro de la Formación SAN SALVADOR (Q'f) del periodo Cuaternario, conocidas como Depósitos sedimentarios, suelo anmoor y al norte como Efusivas básicas-intermedias (s5'a) rocas andesítico basálticas, cuya parte principal de coladas de lava.

2. Referencias geodésicas oficiales

2.1. Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional

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

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (elipsoidal)
JOCOTAL	13°20'57.77" N	88°14'27.20" W	247822.889	582232.801	44.935
MKZ JOCOTAL	13°21'01.14" N	88°14'27.41" W	247926.282	582226.225	46.364

Tabla 10. 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 (msnm)
L-105	13°21'04.81" N	88°14'32.79" W	248038.595	582063.745	40.334

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 como el uso de equipos con precisiones no menores del 5% de la profundidad medida (OHI S-44). 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.

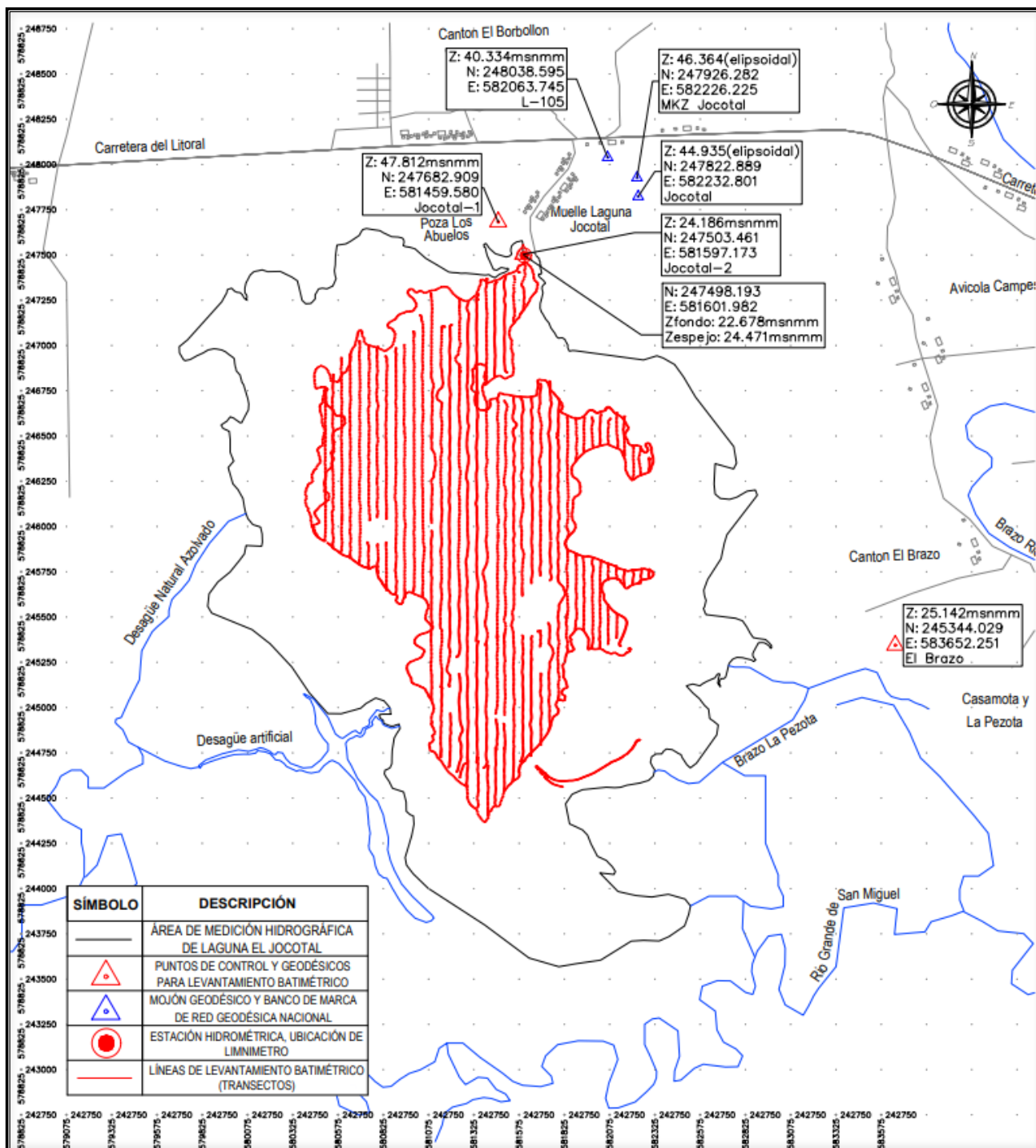


Imagen 24. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.

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 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.

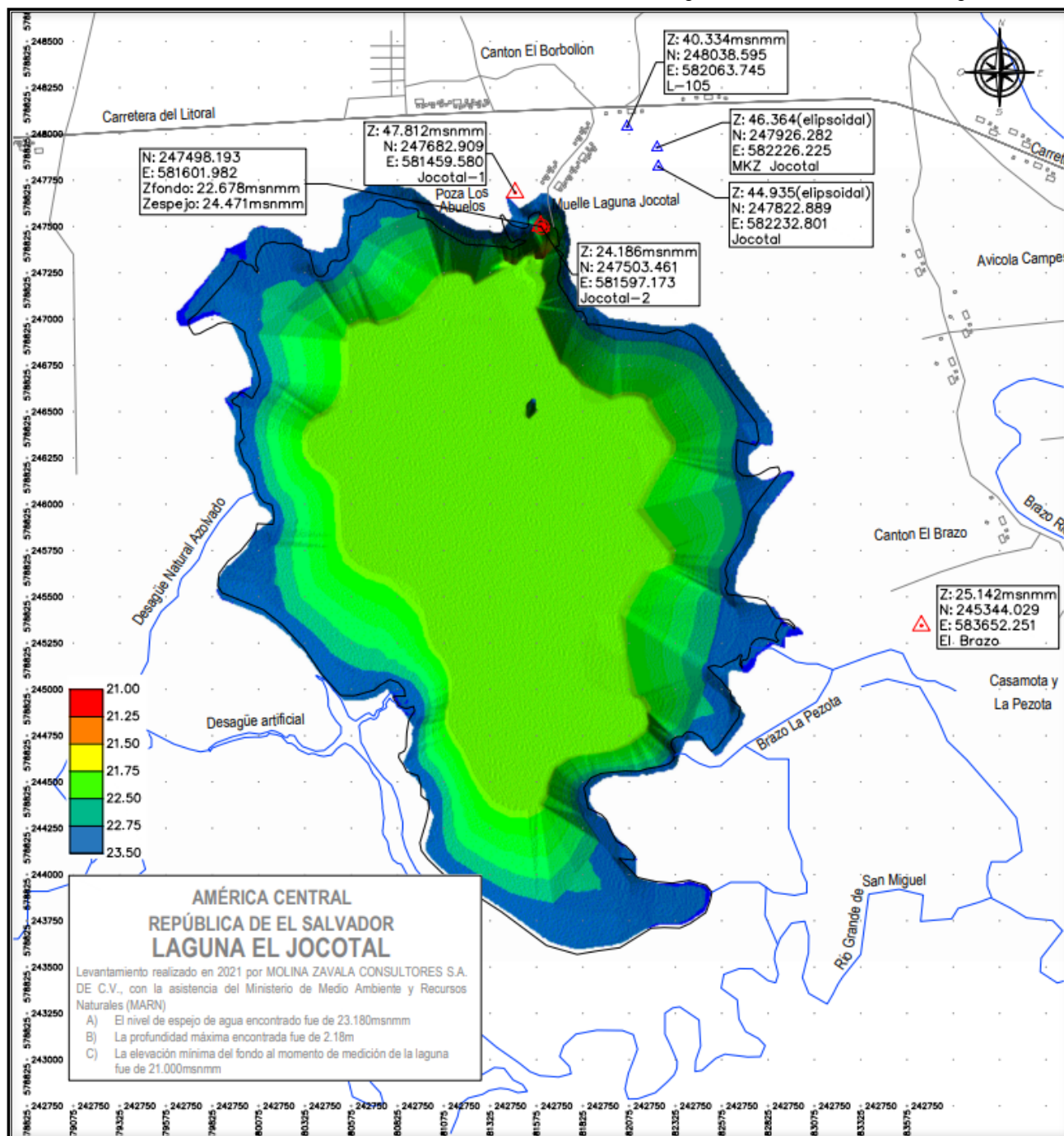


Imagen 25. Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna El Jocotal.

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

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

- Disminución brusca de la profundidad, debido a la morfología del sitio.
- Áreas de gran extensión cubiertas por Jacinto de agua y Carrizo, dificultando el acceso de la embarcación y la medición con ecosonda.
- Alta presencia de roca de diverso tamaño que pudiesen dañar el equipo por colisión.
- Zonas pantanosas o azolvamiento estático, de difícil acceso con la embarcación.

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 profundidad no mayor a 2.0m.

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)
Jocotal-1	13°20'53.30" N	88°14'52.91" W	247682.909	581459.580	47.812
Jocotal-2	13°20'47.44" N	88°14'48.36" W	247503.461	581597.173	24.186
El Brazo	13°19'36.96" N	88°13'40.29" W	245344.029	583652.251	25.142

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 Monohaz.

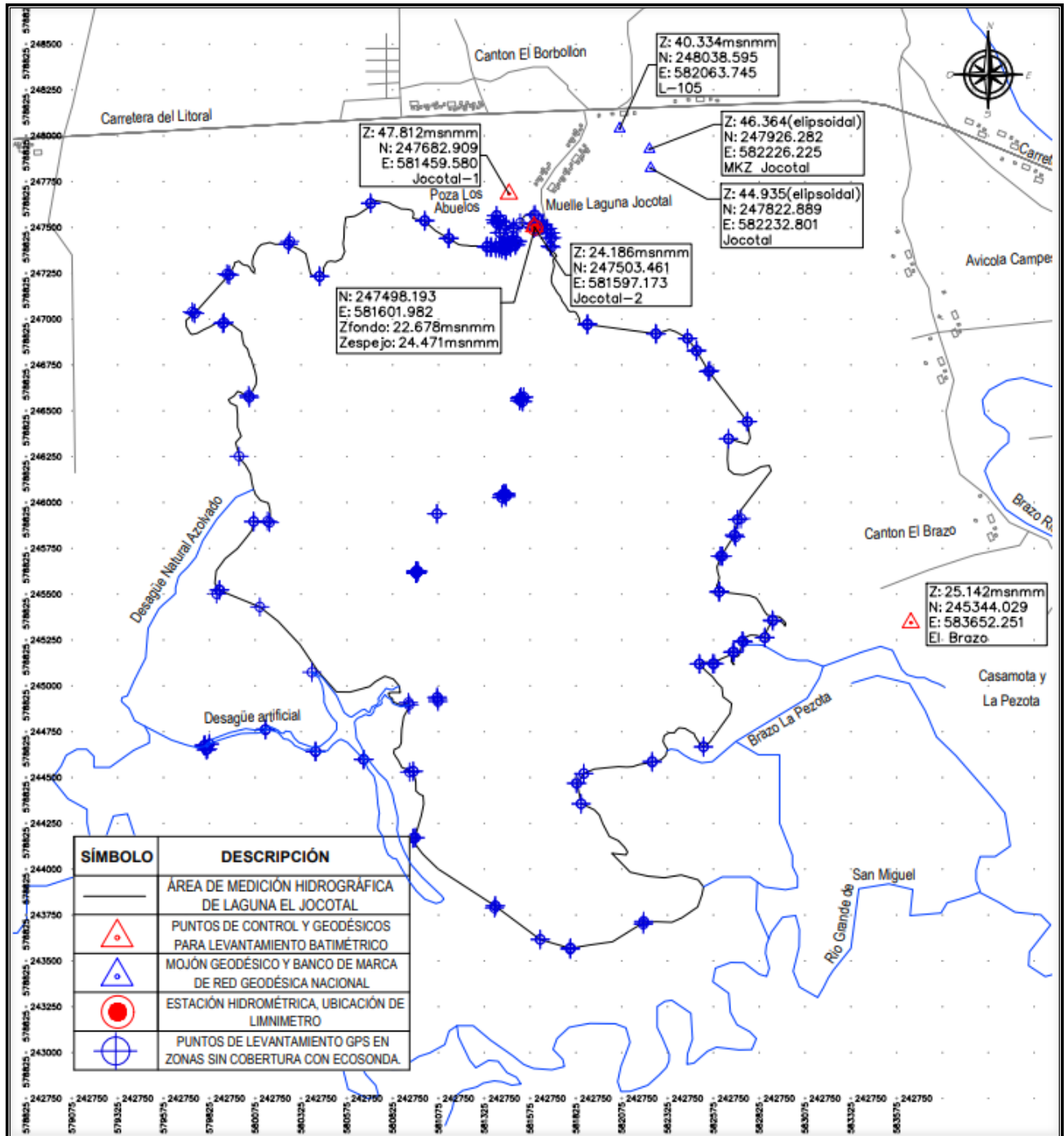


Imagen 27. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales e islas de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.

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 JOCOTAL 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 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 30. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.

3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS

Partiendo del punto geodésico “JOCOTAL” 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)
Jocotal-1	13°20'53.30" N	88°14'52.91" W	247682.909	581459.580	47.812
Jocotal-2	13°20'47.44" N	88°14'48.36" W	247503.461	581597.173	24.186
El Brazo	13°19'36.96" N	88°13'40.29" W	245344.029	583652.251	25.142

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

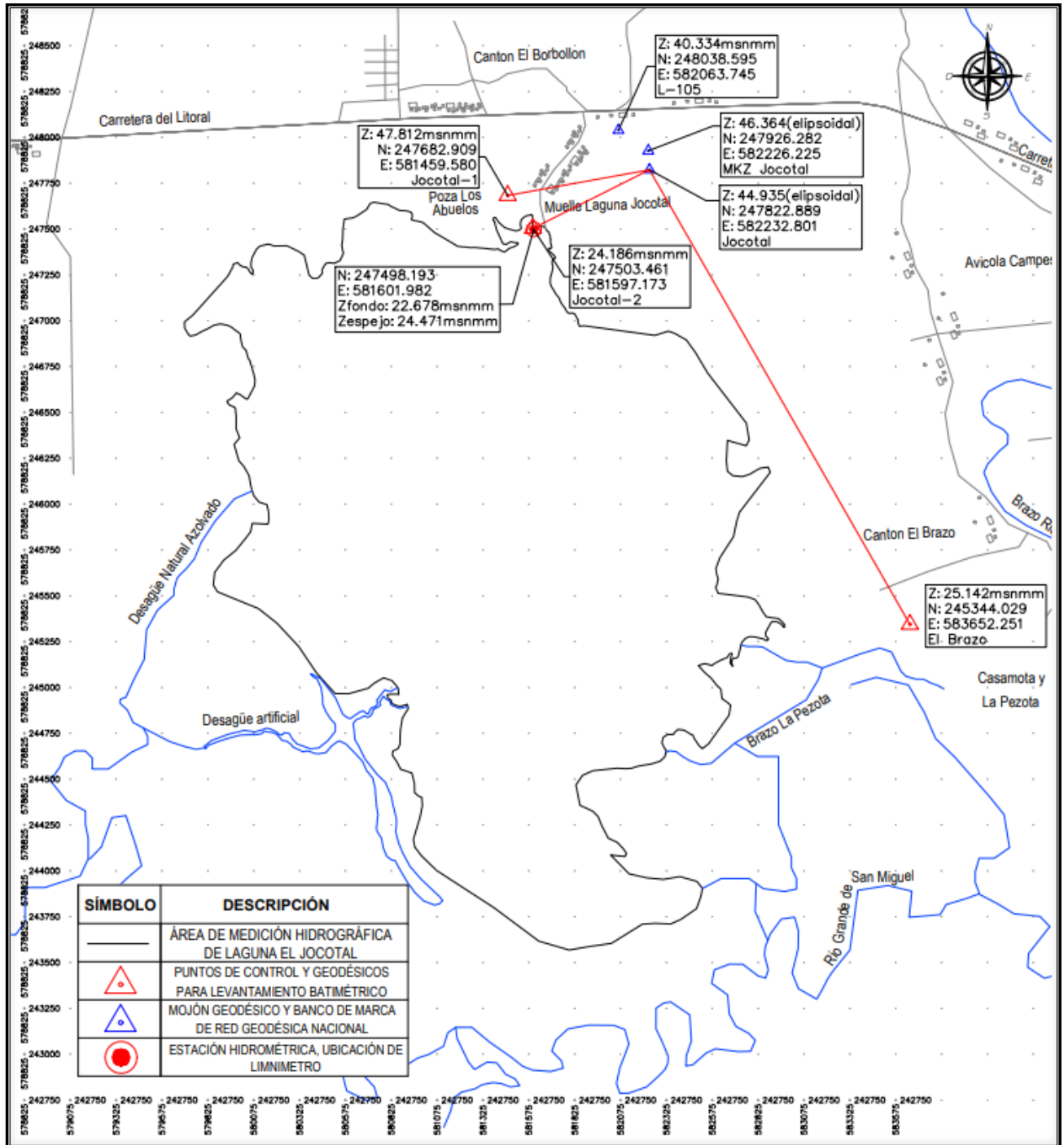


Imagen 31. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.

3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica

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

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)	Descripción
E_HIDRO_01	247498.193	581601.982	22.678	Elevación de fondo en estación hidrométrica.
E_HIDRO_02	247498.486	581602.098	24.471	Elevación hasta el espejo de agua.
El nivel de cota máxima indicada por los pobladores fue de 29.091msnm, provocado por Huracan Mitch Con coordenadas N: 247946.828 E: 581914.560 El nivel de cota máxima indicada por los pobladores fue de 27.920msnm, provocado por Tormenta Amanda Con coordenadas N: 247936.047 E: 581910.117				

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[™] 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, con las siguientes descripciones físicas:

TIPO DE EQUIPO: Lancha Pantanera de aluminio, Nombre Geoconsult01 MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 5 Hp	MANGA: 4.5 pies ESLORA: 14 pies CALADO VACÍO: 1 pie
Fotografías de realización de Batimetría en Laguna El Jocotal	
 Ingreso de embarcacion en laguna El Jocotal.	 Instalacion de base GPS GNSS sobre punto de control "Jocotal 2".
 Instalacion de equipo para control vertical y de posicionamiento horizontal en la embarcacion.	 Adquisición de datos durante levantamiento batimétrico con ecosonda monohaz,
 Vista panoramica al sector sur de la laguna, con una canal de desague hacia el Río Grande de San Miguel.	 Vista panoramica al poniente de la laguna, ubicación de canal de desague artificial.

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 El Jocotal	
 Ubicación de mojón geodésico para georeferenciar puntos geodésicos auxiliares.	 Establecimiento de puntos de control de red auxiliar, con nombre "Jocotal 1".
 Ubicación de la bocana del desagüe de la laguna, hacia el Río Grande de San Miguel (sector poniente)	 Canal de desagüe artificial que desemboca hacia el río Grande de San Miguel.
 Muro de concreto existente, sobre desagüe artificial, para retener y mantener el nivel de agua dentro de la laguna (construido por las personas del lugar)	 Cauce de agua sobre muro de desagüe artificial.

Tabla 16. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.

Registro fotográfico de realización de Topo-Batimetría al contorno de Laguna El Jocotal



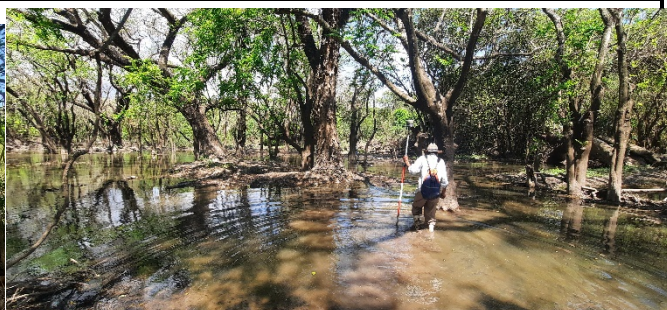
Levantamiento topografico del espejo de agua sobre canal de desague artificial.



Levantamiento topografico del espejo de agua, en zonas pantanosas y planicies en la zona poniente a la laguna



Levantamiento topográfico en bosque ubicado al sur de la laguna.



Levantamiento topográfico en zonas pantanosas, en la zona sur-oriente de la laguna.



Levantamiento topo-batimétrico en profundidades de hasta 2.0m de columna de agua.



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

Tabla 17. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.

5. Resultados

5.1. Acople de MDT de batimetría con MDT del terreno circundante.

A continuación, se muestra la unión del MDT resultante de la batimetría con el DTM del terreno circundante a la laguna con resolución espacial horizontal de 10x10m

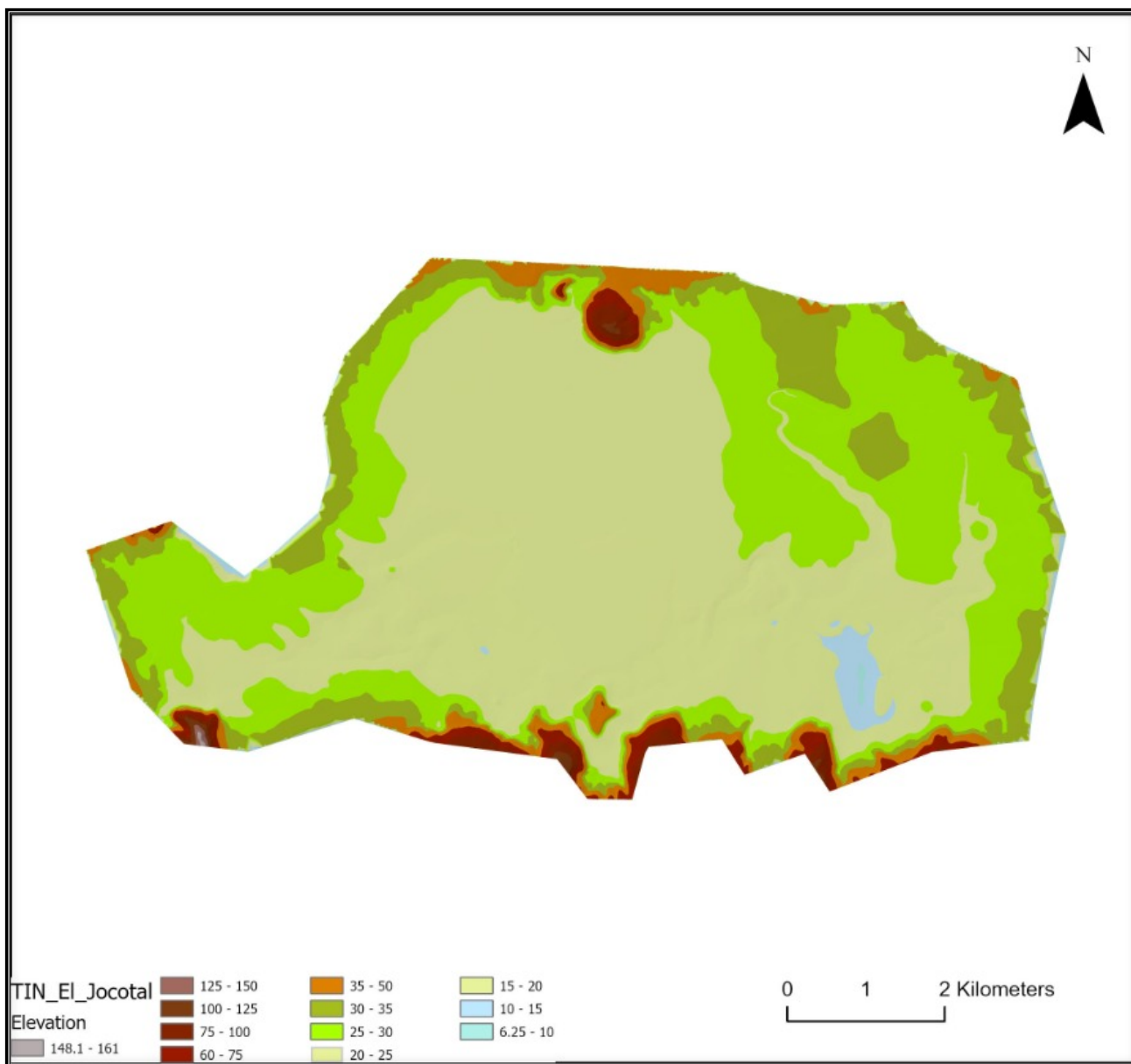


Imagen 33. Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de El Jocotal con datos DTM del terreno circundante a la laguna con resolución espacial de 10x10m.

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 El Jocotal:

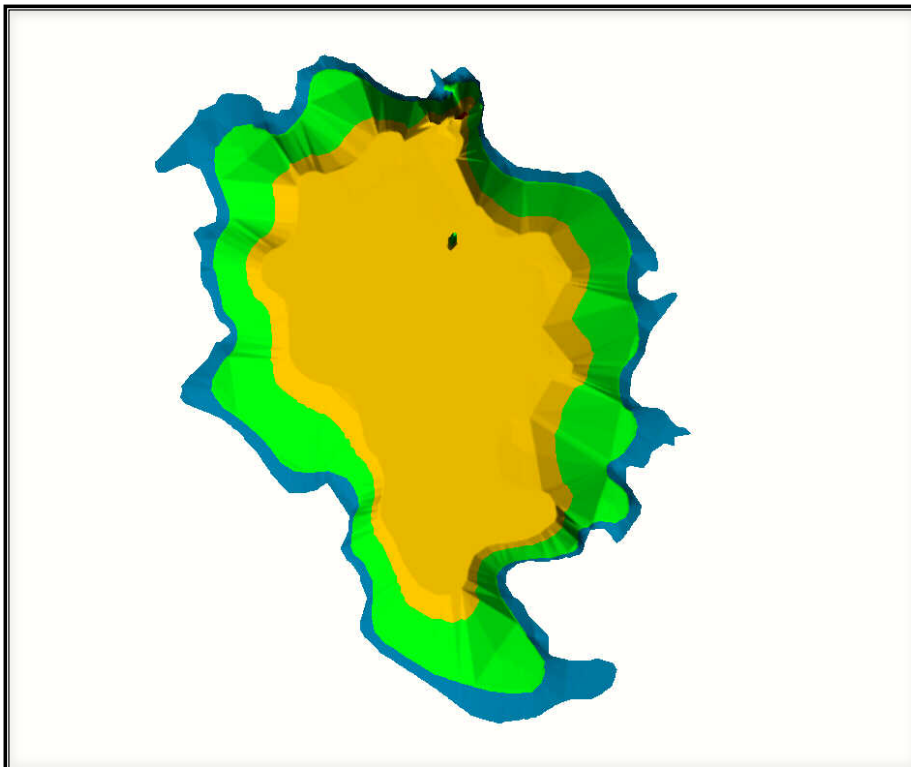


Imagen 34. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna El Jocotal (Vista en planta de Laguna).

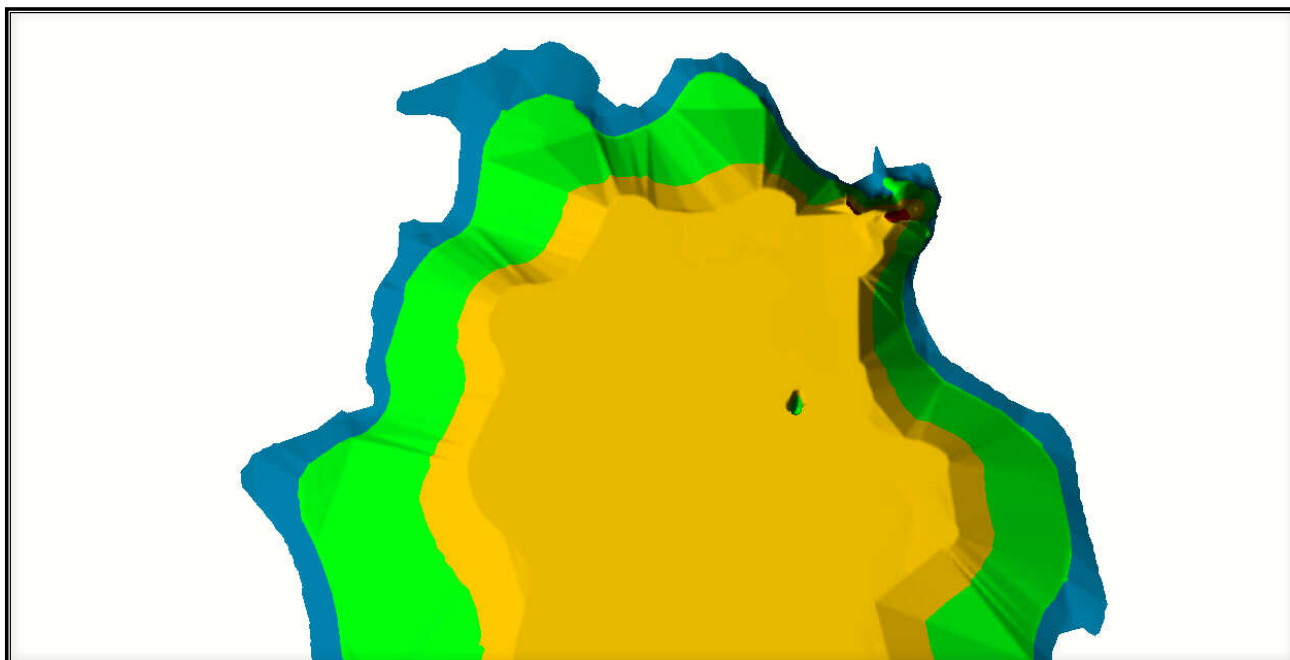


Imagen 35. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna El Jocotal (zona norte).

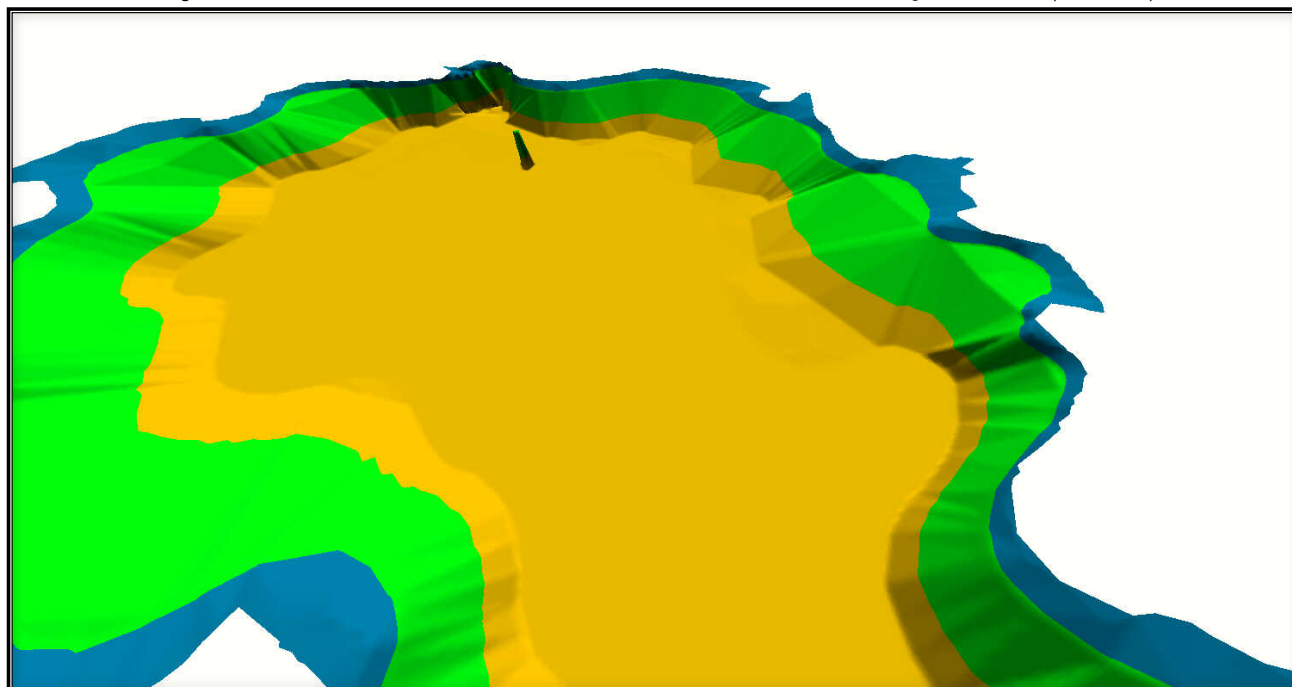


Imagen 36. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna EL Jocotal (zona oriente).

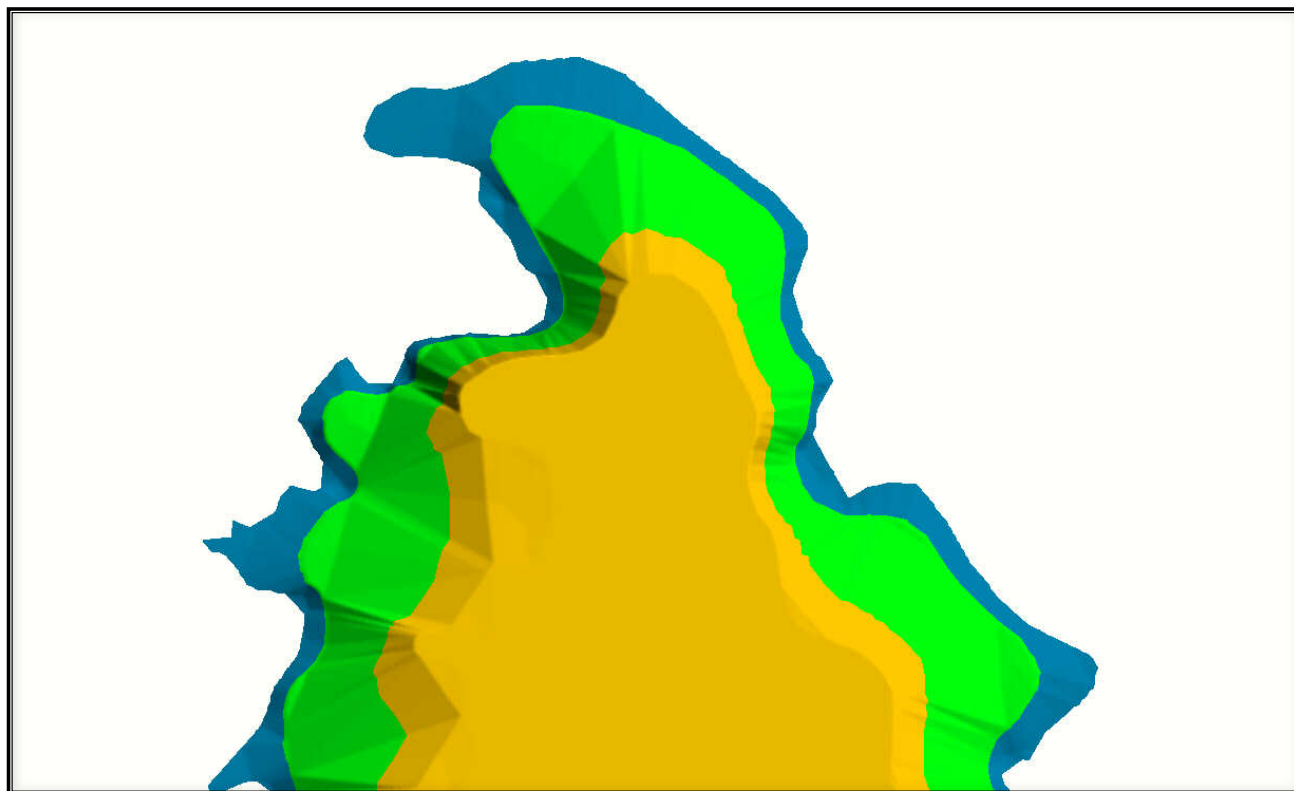


Imagen 37. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna El Jocotal (zona sur).

5.3. Isobatas

Modelo de Isobatas de levantamiento batimétrico con un espaciamiento vertical de 0.25 m.

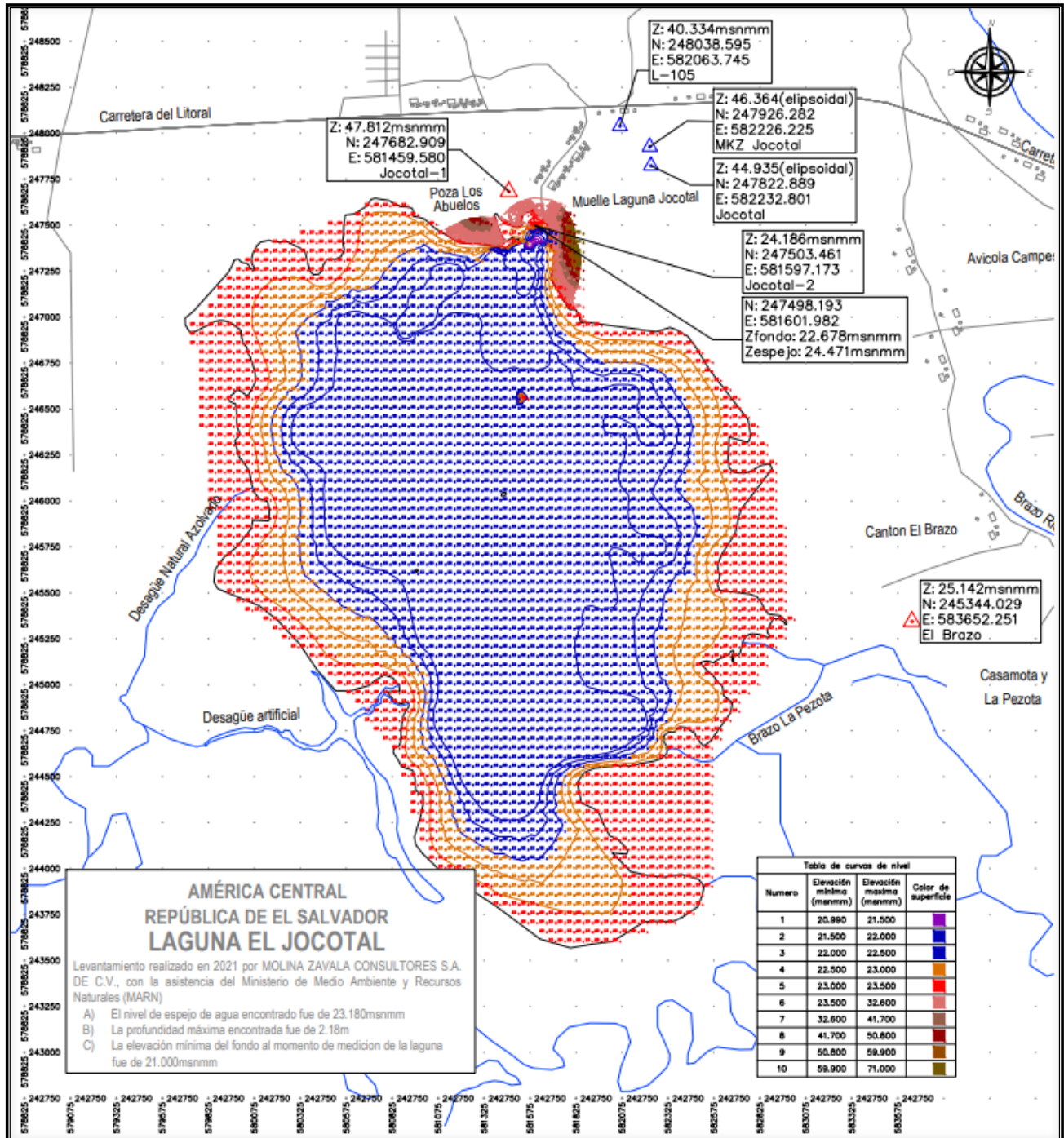


Imagen 38. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.

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

La elevación del nivel del espejo de agua promedio registrado al momento de medición fue de: 23.180msnm (febrero 2021), en días preliminares a la medición batimétrica el nivel en el sensor hidrométrico fue de 24.471msnm (diciembre 2020), este nivel es variable según las precipitaciones actuantes en la cuenca de la laguna.

5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen

Volumen de agua al nivel de espejo de agua:

Durante la medición (23.180 m.s.n.m.):

6.6157 Millones de m³

Volumen de agua al nivel máximo histórico de laguna:

indicado por los pobladores (29.091 m.s.n.m.):

162.9103 Millones de m³

(dato no validado/comprobado científicamente)

Datos topo-batimétricos resultantes de las mediciones.

Elevación mínima del fondo de la laguna al momento de medición: 21.000 m.s.n.m.m

Elevación del espejo de agua al momento de medición: 23.180 m.s.n.m.m

Elevación máxima histórica de la laguna indicada por pobladores: 29.091 m.s.n.m.m

Profundidad máxima de columna de agua encontrada: 2.180 m

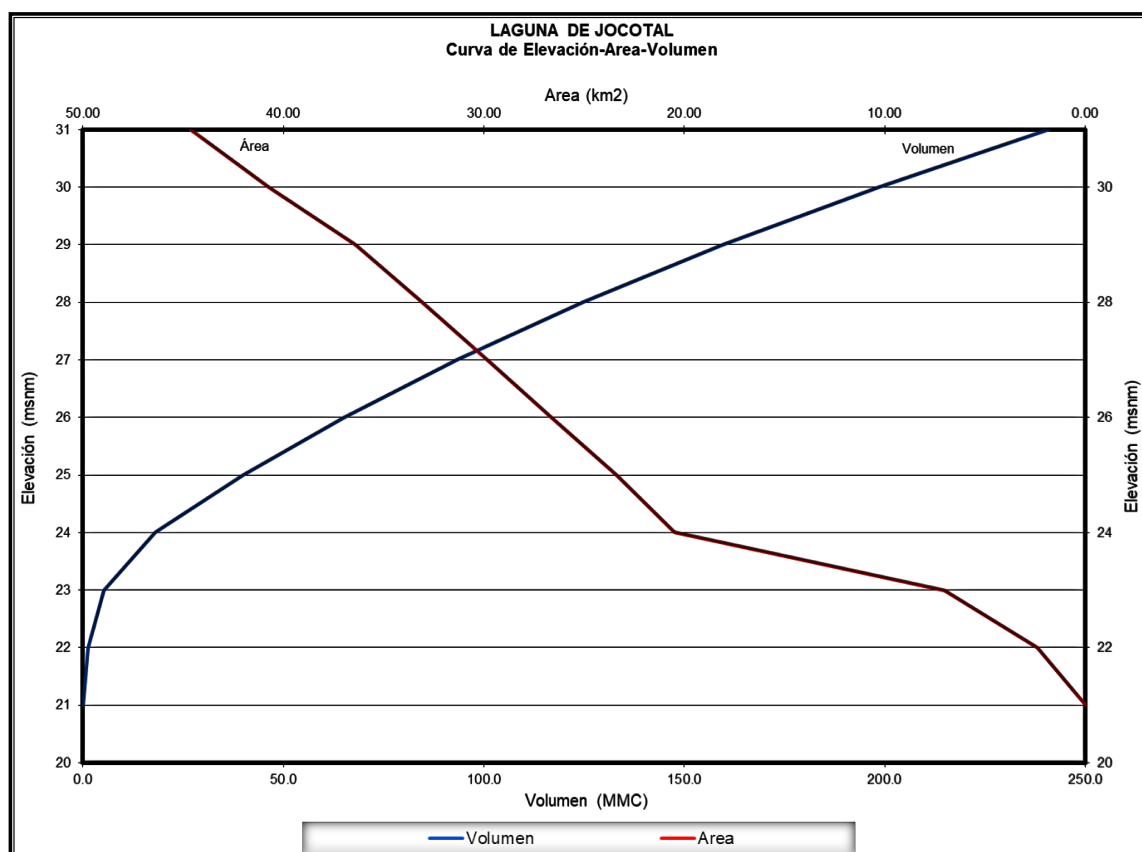


Imagen 39. Curva E-A-V de Laguna El Jocotal.

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 monohaz, 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 igual al encontrado según la medición en determinado momento del espejo de agua (ver imagen 40).
- b) Con la elevación de un nivel máximo histórico, según recuerdo de los pobladores (ver imagen 41).
- c) Con un nivel de espejo de agua igual al “cero” hidrométrico según las condiciones actuales de instalación del sensor (ver imagen 42).

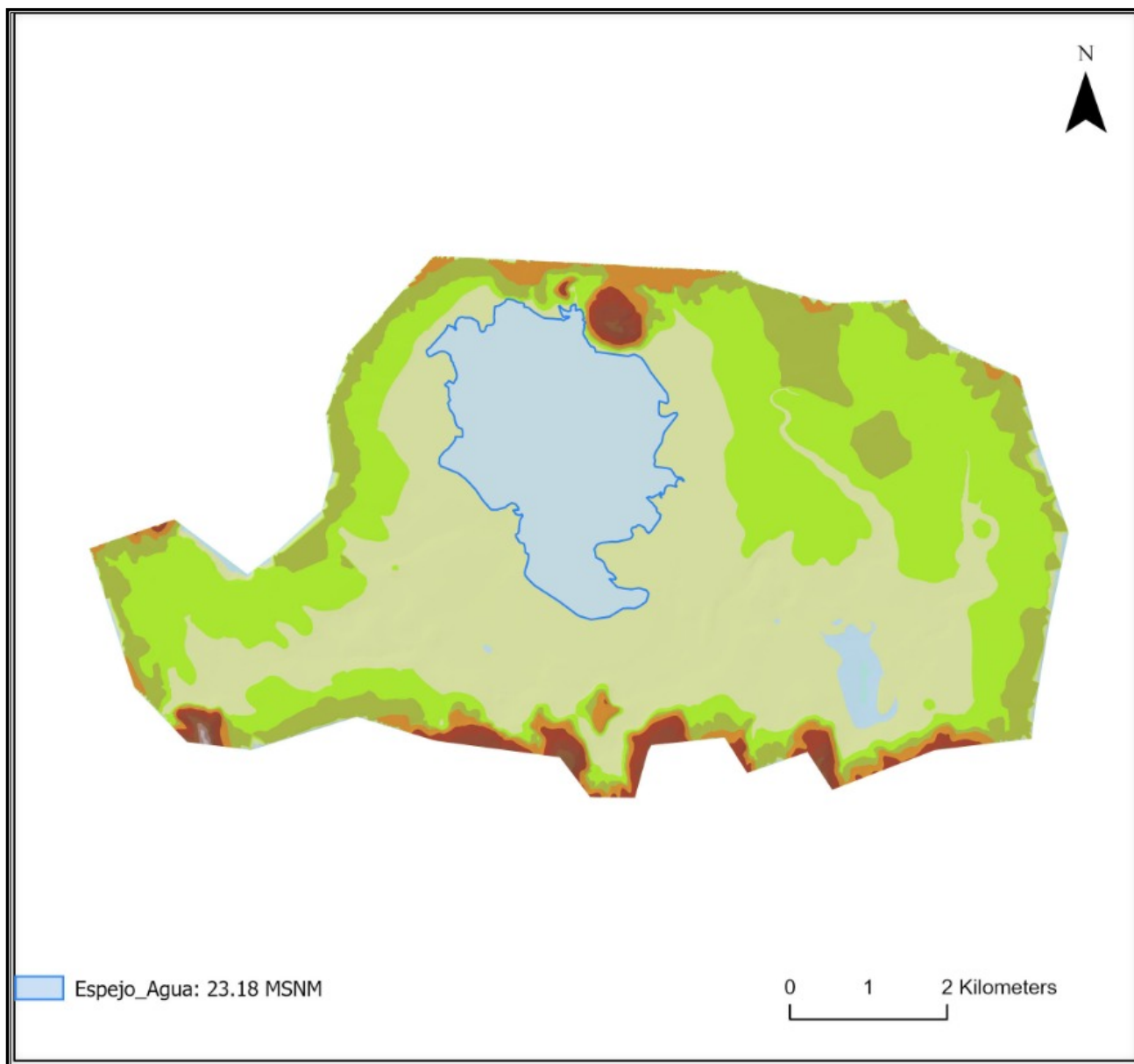


Imagen 40. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.

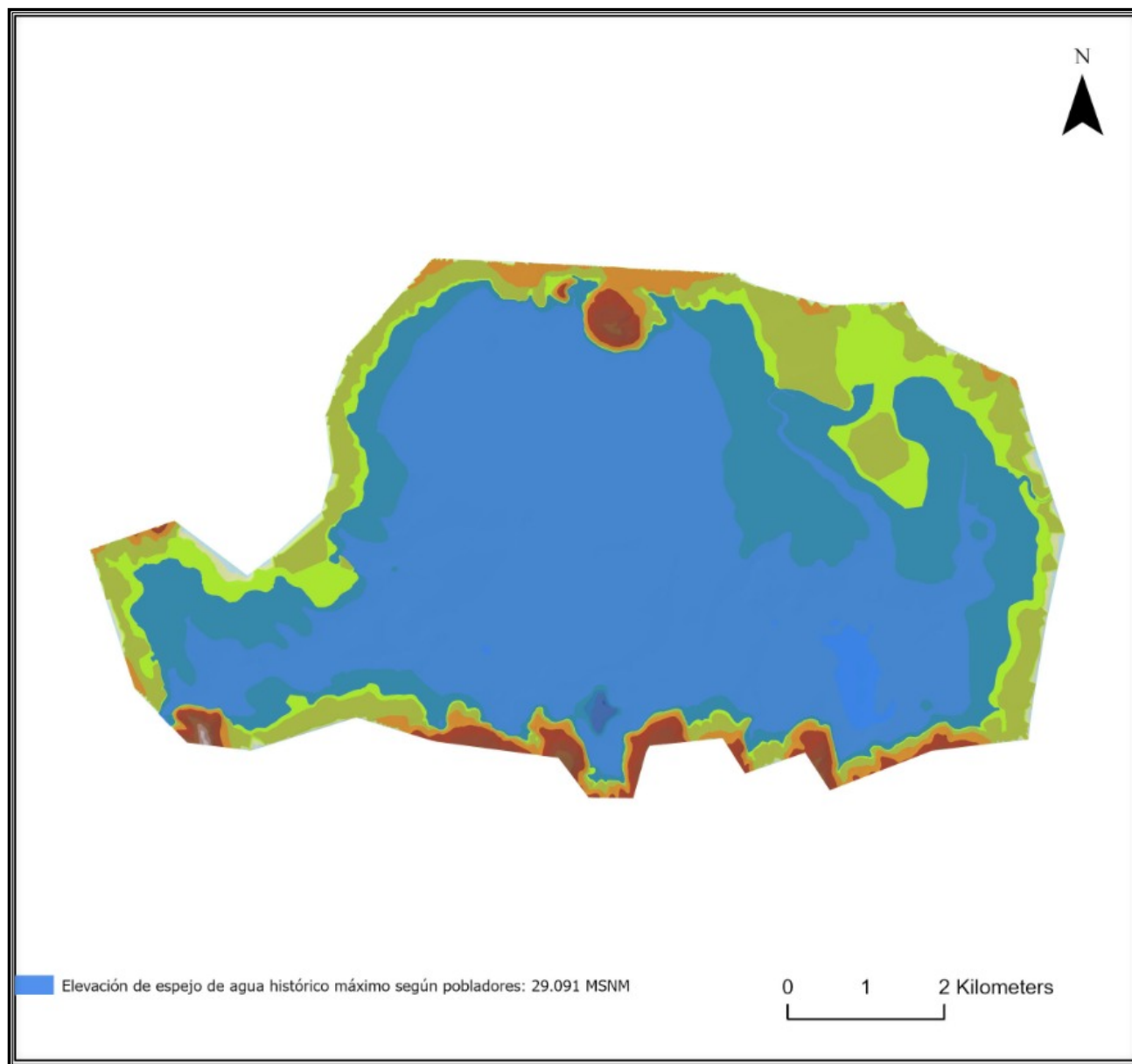


Imagen 41. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.

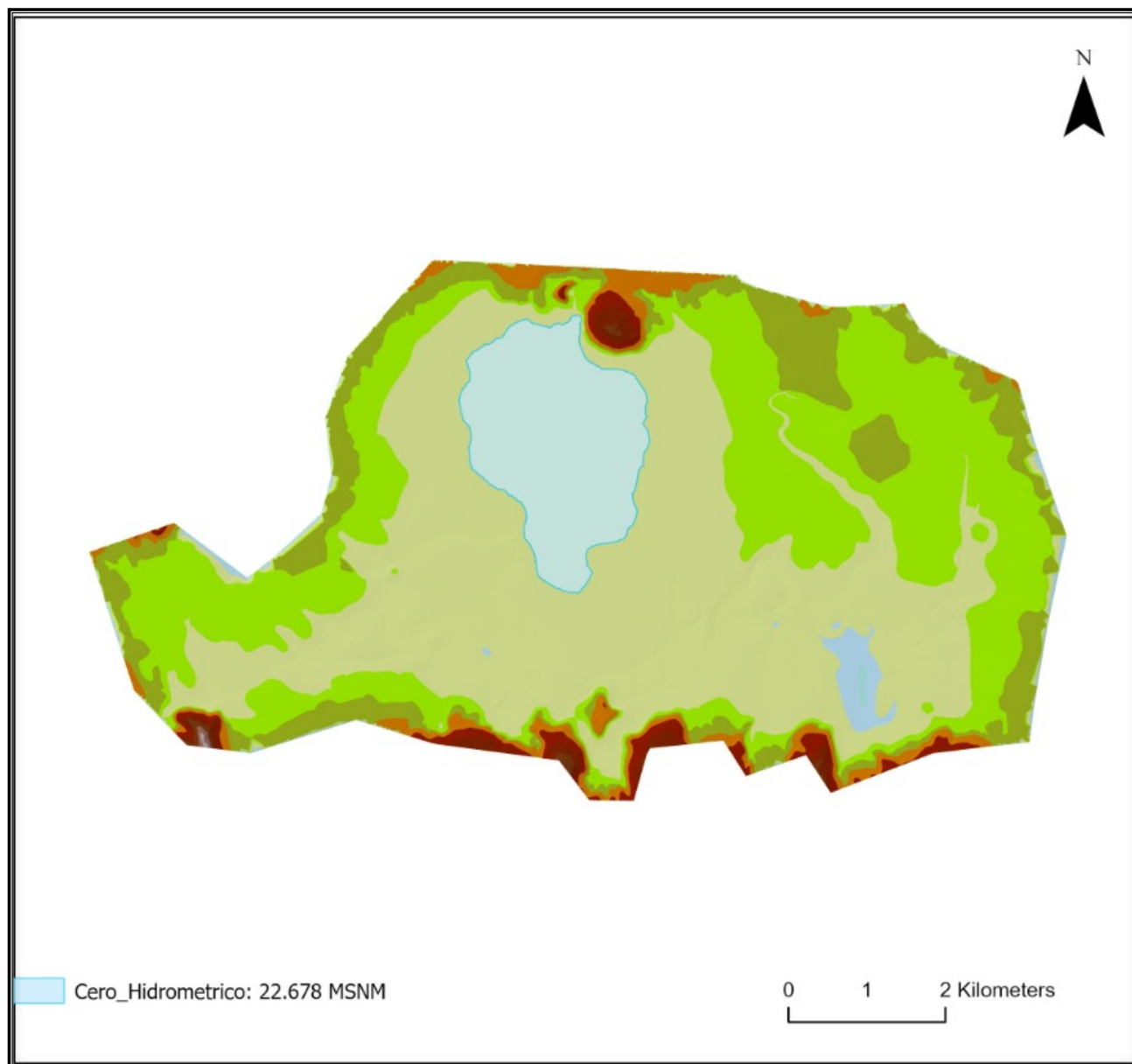


Imagen 42. Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnimetro.

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 2021.	22.678	4.2975
Nivel de espejo de agua máximo según medición actual 2021.	23.180	7.7052
Nivel de espejo de agua máximo según dato histórico de pobladores.	29.091	36.9043

Tabla 18. 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 4A. Mapa en color degradado del levantamiento batimétrico.

ANEXO 4B. Mapa en color degradado con la planicie de inundación de la Laguna El Jocotal.

ANEXO 5. Mapa batimétrico general de Laguna El Jocotal.

ANEXO 6. Perfiles resultantes de batimetría de Laguna El Jocotal.

ANEXO 7. Memoria de cálculo

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

ELEVACIÓN	ÁREA INCREMENTAL	ÁREA	AREA PROMEDIO	INTERVALO	VOLUMEN INCREMENTAL	VOLUMEN ACUMULADO
(msnmm)	(según modelo digital de elevación C3D)	(km ²)	(m ²)	(m)	(MMC)	(MMC)
31.000	3,919,088.850	44.6468133	42,687,268.845	1.0000	42.6872688	240.8814141
30.000	3,823,425.510	40.7277244	38,816,011.665	0.9090	35.2837546	198.1941452
29.000	3,336,780.570	36.4052767	34,736,886.385	1.0000	34.7368864	159.5748050
28.000	3,219,196.450	33.0684961	31,458,897.875	1.0000	31.4588979	124.8379186
27.000	3,211,494.150	29.8492997	28,243,552.575	1.0000	28.2435526	93.3790207
26.000	3,234,811.320	26.6378055	25,020,399.840	1.0000	25.0203998	65.1354681
25.000	2,920,966.480	23.4029942	21,942,510.940	1.0000	21.9425109	40.1150683
24.000	12,776,826.730	20.4820277	14,093,614.335	0.8200	11.5567638	18.1725573
23.000	2,749,960.430	7.0474954	5,672,515.215	0.3200	1.8152049	5.2880509
22.000	2,394,862.070	2.3948621	1,197,431.035	1.0000	1.1974310	1.1974310
21.000	0.000	0.0000000	0.000	0.0000	0.0000000	0.0000000

Tabla 19. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna El Jocotal.

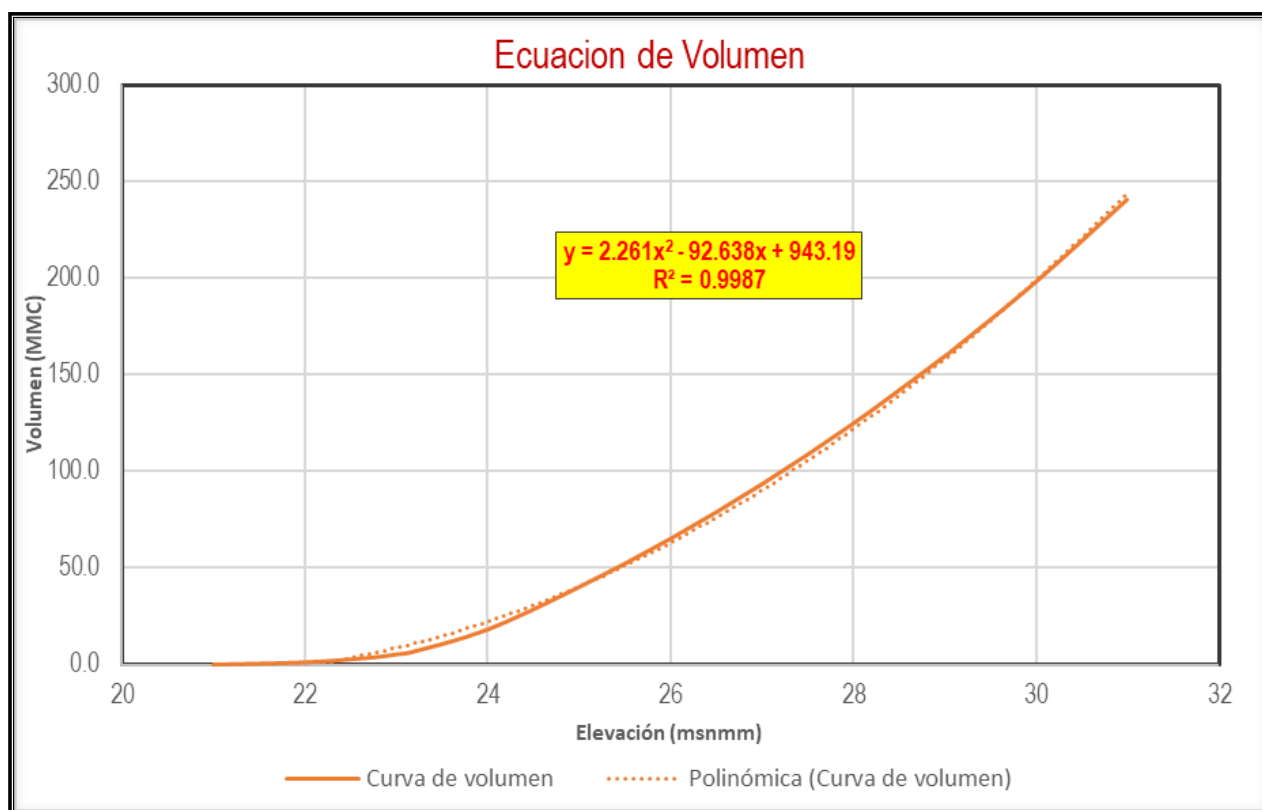


Imagen 43. Gráfica de ecuación para cálculo de volumen



C. LAGUNA DE OLOMEGA



1. Identificación del área o sitio de medición hidrográfica

1.1. Ubicación general

Está ubicada al oriente del país. Se adscribe política y administrativamente a los Municipios de San Miguel y Chirilagua del Departamento de San Miguel, y al Municipio de El Carmen del Departamento de La Unión. La laguna se georreferencia entre las coordenadas geográficas: 13°19' Latitud Norte y 89° 3' Longitud Oeste.

La laguna se encuentra en la cuenca del Río Grande de San Miguel, teniendo su drenaje en la parte Oeste hacia el mismo río. El espejo de agua de la laguna tiene una extensión aproximada de 29.17 Km² con una profundidad media de 2.50m. Entre los afluentes más importantes están los ríos San Antonio, El Mono, El Carmen, La Pelota, San Pedro, Chiquito y Las Pilas; Todos tienen una serie de quebradas que durante la época lluviosa incrementan enormemente su caudal, erosionando los suelos como consecuencia de la deforestación existente en las zonas más altas

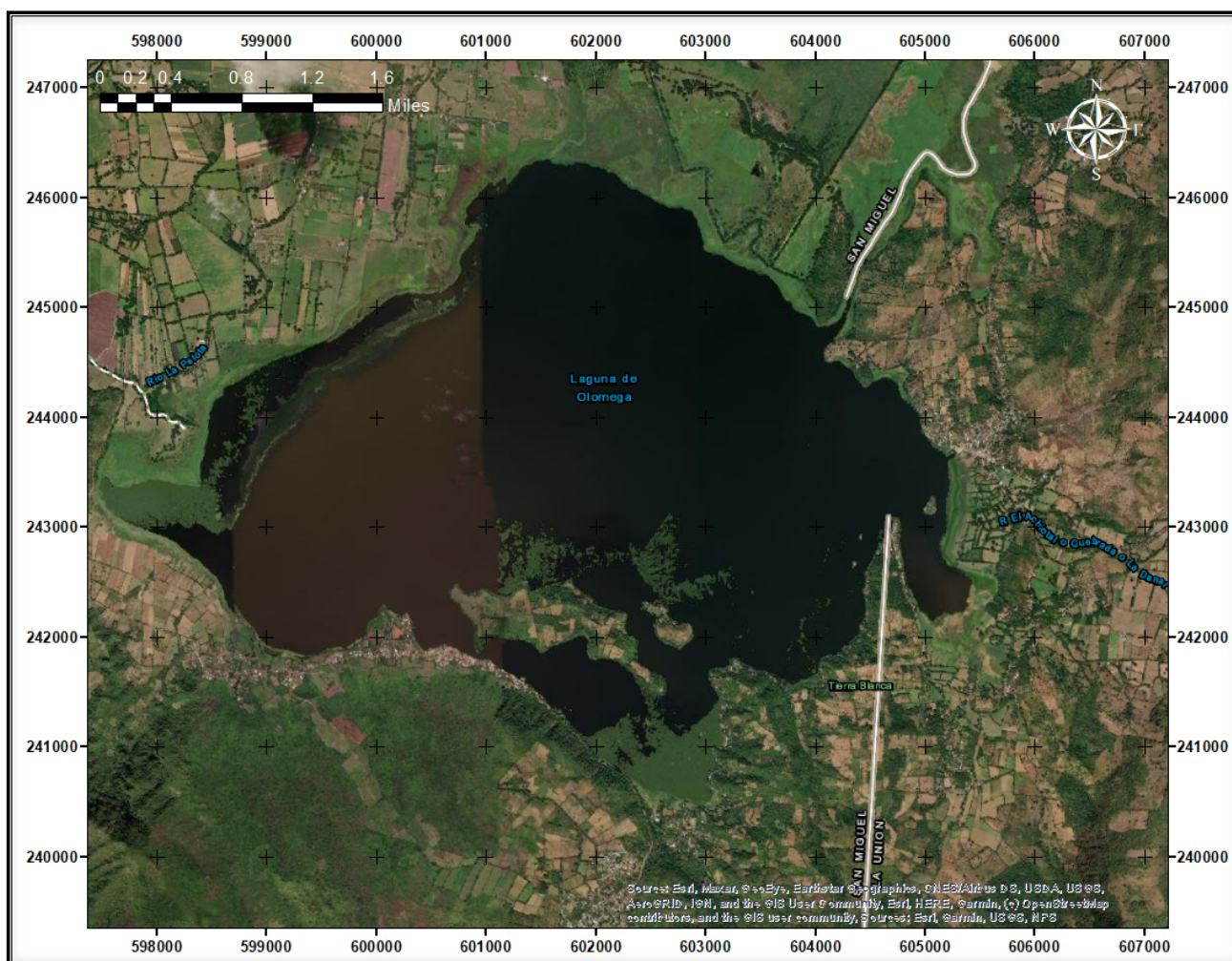


Imagen 44. Ubicación geográfica de laguna de Olomega.

1.2. Descripción morfológica

Según la Geología de El Salvador, el lugar de estudio se clasifica dentro de la Formación SAN SALVADOR (Q'f) del periodo Cuaternario, compuesto por Depósitos sedimentarios, este estrato predomina en la zona norte de la laguna y al sur se encuentra una formación BALSAMO del periodo Terciario, conformado por Efusivas básicas-intermedias, piroclastitas, epiclastitas volcánicas.



Imagen 45. Mapa topográfico de la laguna de Olomega.

2. Referencias geodésicas oficiales

2.1. Amarre del levantamiento a la Red Geodésica Nacional

Se utilizó un punto geodésico comprado a CNR (ver Imagen 53), para la ubicación de puntos de control en el área de Estudio.

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (elipsoidal)
LA CAÑADA	13°14'13.18" N	88°04'14.44" W	235453.9317	600719.8097	145.3698
MKZ CAÑADA	13°14'10.65" N	88°04'15.39" W	235376.0613	600691.3914	136.5012

Tabla 20. 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 (msnm)
LC-105	13°12'38.00" N	88°04'15.99" W	232528.743	600684.267	97.420

Tabla 21. 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 como el uso de equipos con precisiones no menores del 5% de la profundidad medida (OHI S-44). 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 150 metros. Estas líneas a su vez sirvieron de orientación para la navegación.

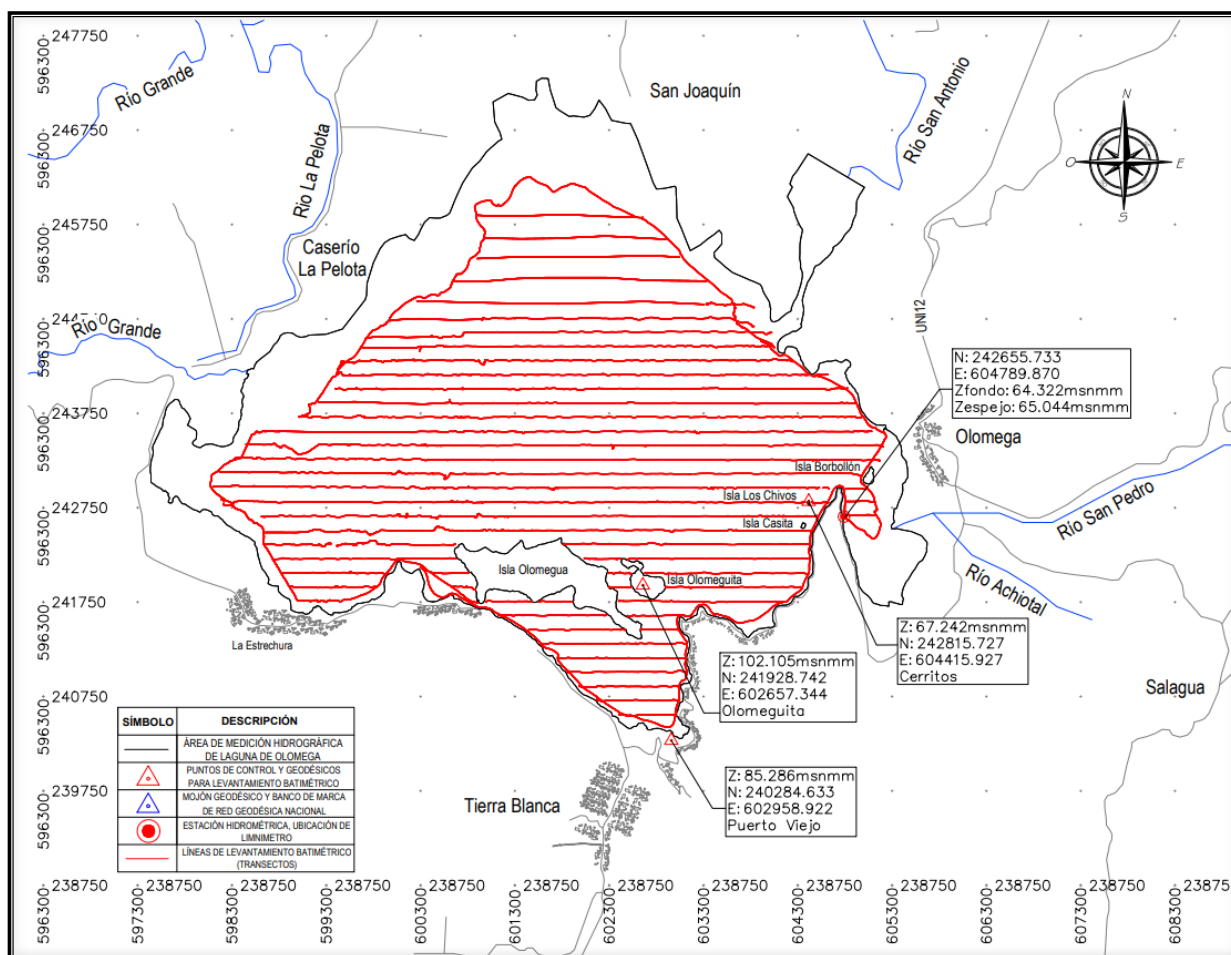


Imagen 46. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.

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.

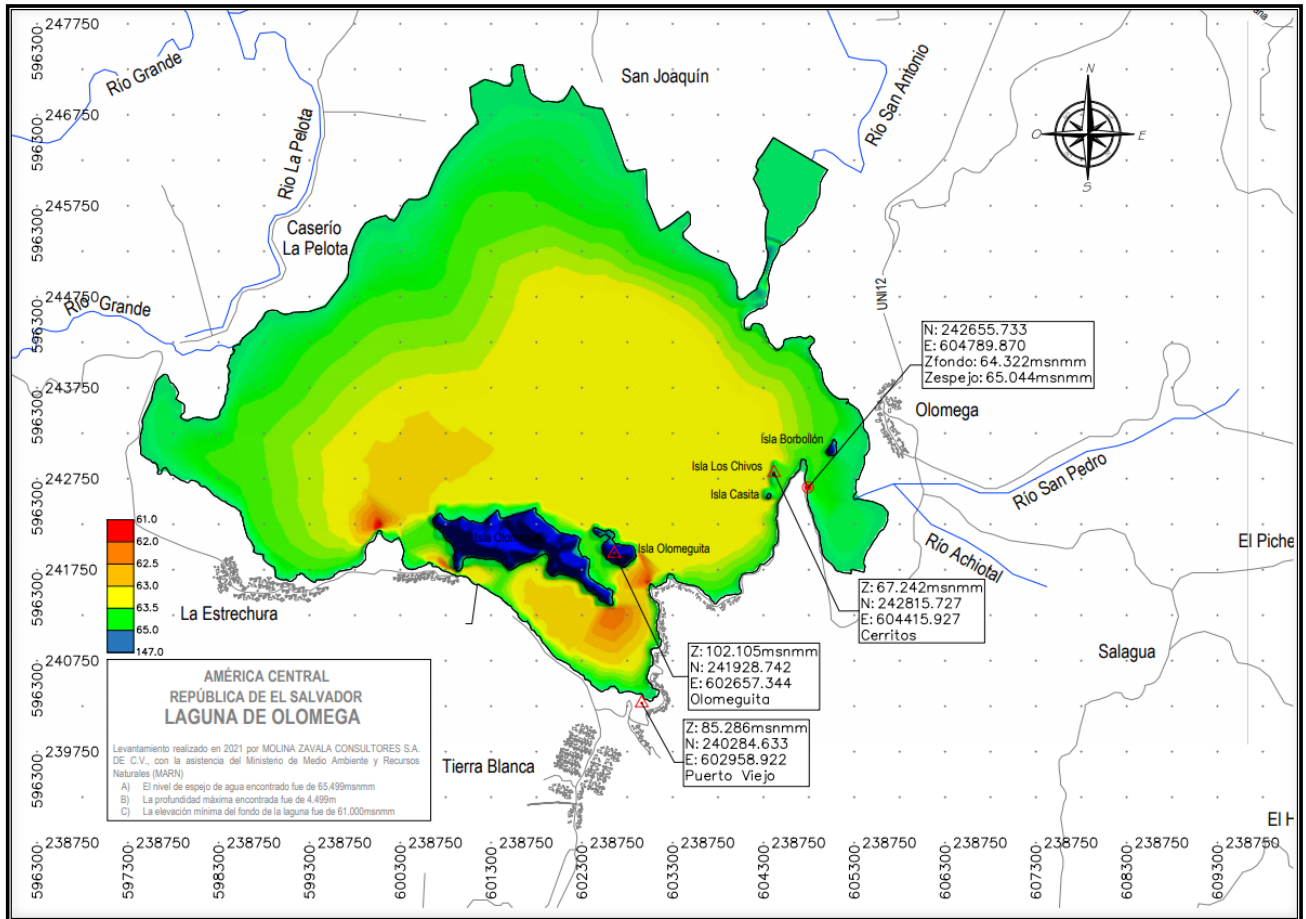


Imagen 47. Levantamiento batimétrico monohaz de la Laguna de Olomega.

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

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

- Disminución brusca de la profundidad, debido a la morfología del sitio.
- Áreas de gran extensión cubiertas por Jacinto de agua y Barbona, dificultando el acceso de la embarcación y la medición con ecosonda.
- Alta presencia de roca de diverso tamaño que pudiesen dañar el equipo por colisión.
- Zonas pantanosas o azolvamiento estático, de difícil acceso con la embarcación.

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 profundidad no mayor a 2.0m.

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)
Puerto Viejo	13°16'50.08" N	88°02'59.43" W	240284.633	602958.922	85.286
Cerritos	13°18'12.25" N	88°02'10.69" W	242815.727	604415.927	67.242
Olomeguita	13°17'43.62" N	88°03'09.24" W	241928.742	602657.344	102.105

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



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

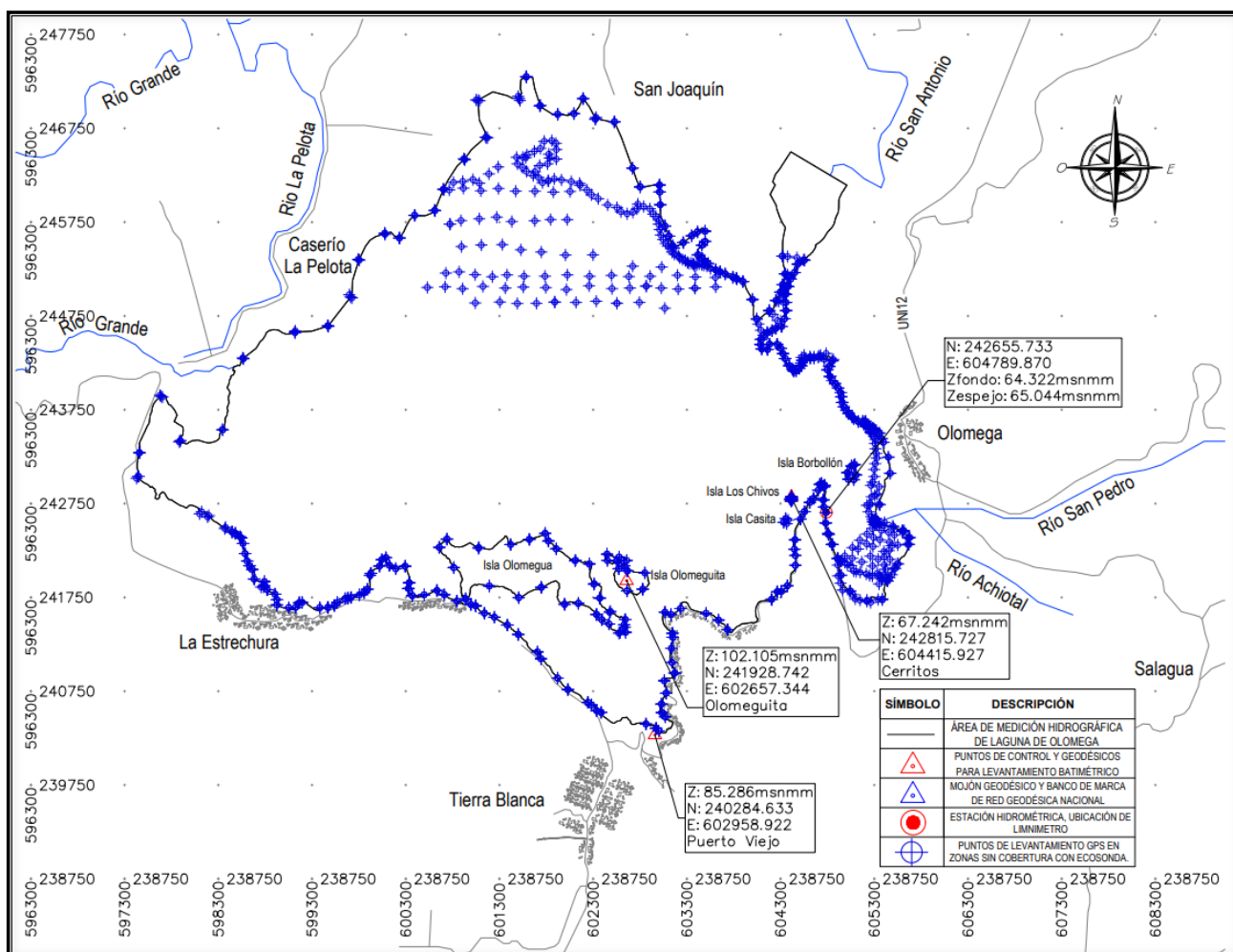


Imagen 49. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo monohaz.

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 LA CAÑADA 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 50. 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 51. 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 52. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.

3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS

Partiendo del punto geodésico “LA CAÑADA” 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)
Puerto Viejo	13°16'50.08" N	88°02'59.43" W	240284.633	602958.922	85.286
Cerritos	13°18'12.25" N	88°02'10.69" W	242815.727	604415.927	67.242
Olomeguita	13°17'43.62" N	88°03'09.24" W	241928.742	602657.344	102.105

Tabla 23. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.

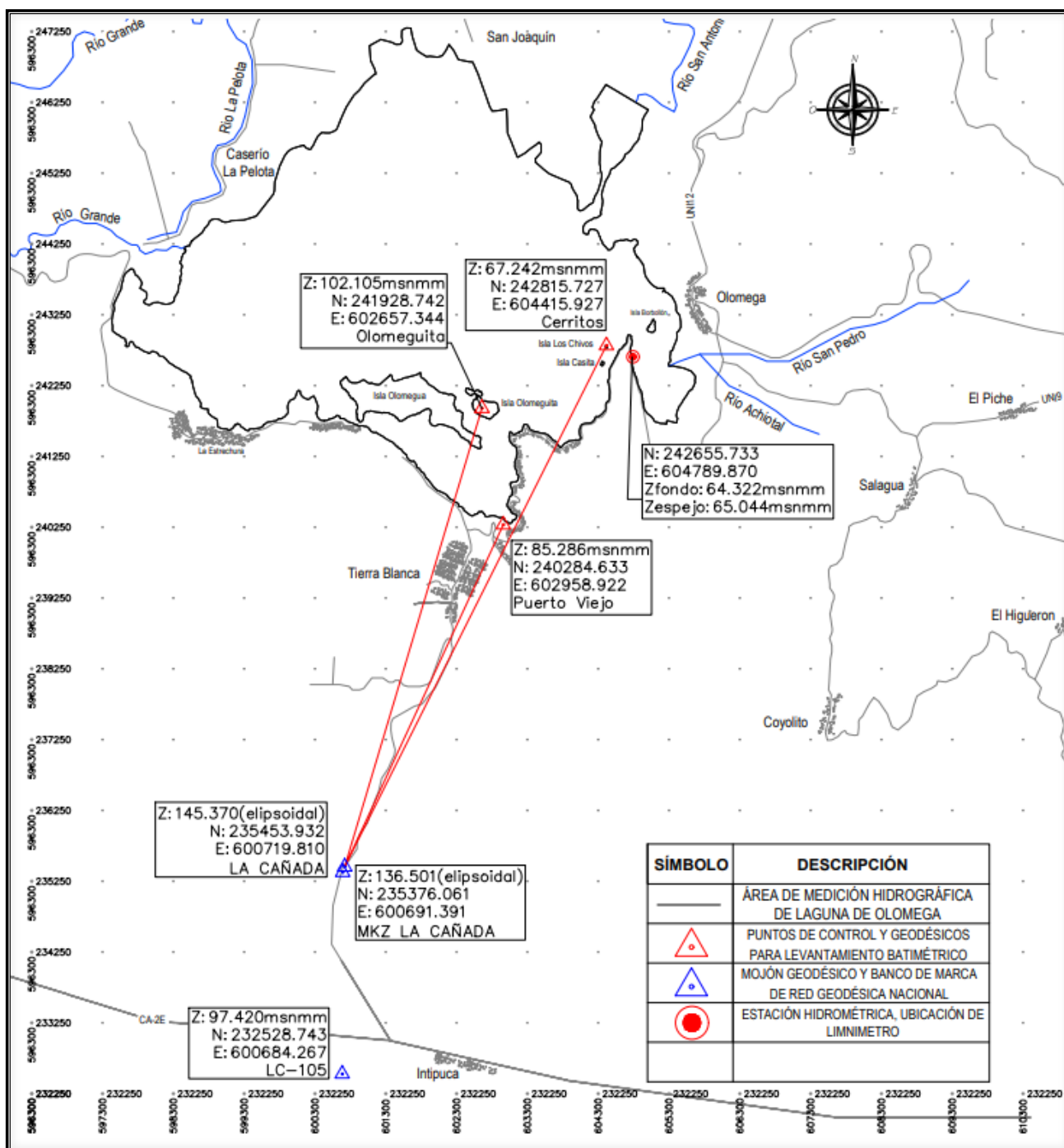


Imagen 53. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.

3.6.1.4. Medición de Coordenadas de estación hidrométrica

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

Código	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnm)	Descripción
E_HIDRO_01	242655.733	604789.870	64.322	Elevación de fondo en estación hidrométrica.
E_HIDRO_02	242655.733	604789.870	65.044	Elevación hasta el espejo de agua.
El nivel de cota máxima indicada por los pobladores fue de 66.700msnm Con coordenadas N: 241678.843 E: 600886.20				

Tabla 24. Ubicación geodésica y elevaciones de estación hidrométrica.



Imagen 54. Ubicación y toma de elevación de estación hidrométrica y cota máxima de espejo de agua según pobladores.

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, con las siguientes descripciones físicas:

TIPO DE EQUIPO: Lancha Pantanera de aluminio, Nombre Geoconsult01	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 Olomega	
 Ingreso de embarcacion en laguna de Olomega.	 Instalacion de base GPS GNSS sobre punto de control "Los Cerritos".
 Vista panoramica de la laguna, pequeño oleaje por vientos provenientes del norte.	 Instalacion de equipo hidrografico y Adquisicion de datos en la embarcacion.
 Vista panoramica al sector poniente de la laguna.	 Vista panoramica al sector nor-poniente de la laguna.

Tabla 25. 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 Olomega	
 Ubicación de mojón geodésico para georeferenciar puntos geodésicos auxiliares.	 Levantamiento topo-batimetrico en aguas someras de la laguna, profundidad maxima de 3m (zona norte de la laguna).
 Levantamiento topo-batimetrico en aguas someras de la laguna, profundidad maxima de 1m (zona norte de la laguna).	 Levantamiento topo-batimetrico en aguas someras de la laguna, profundidad maxima de 3m (zona poniente de la laguna).
 Levantamiento topo-batimétrico del espejo de agua en zonas pantanosas (zona sur-poniente de la laguna).	 Levantamiento topo-batimetrico del espejo de agua en zonas pantanosas (zona nor-poniente de la laguna).

Tabla 26. Registro fotográfico de levantamiento topográfico GPS.

5. Resultados

5.1. Acople de MDT de batimetría con MDT del terreno circundante.

A continuación, se muestra la unión del MDT resultante de la batimetría con el MDT del terreno circundante a la laguna con resolución espacial horizontal de 10x10m.

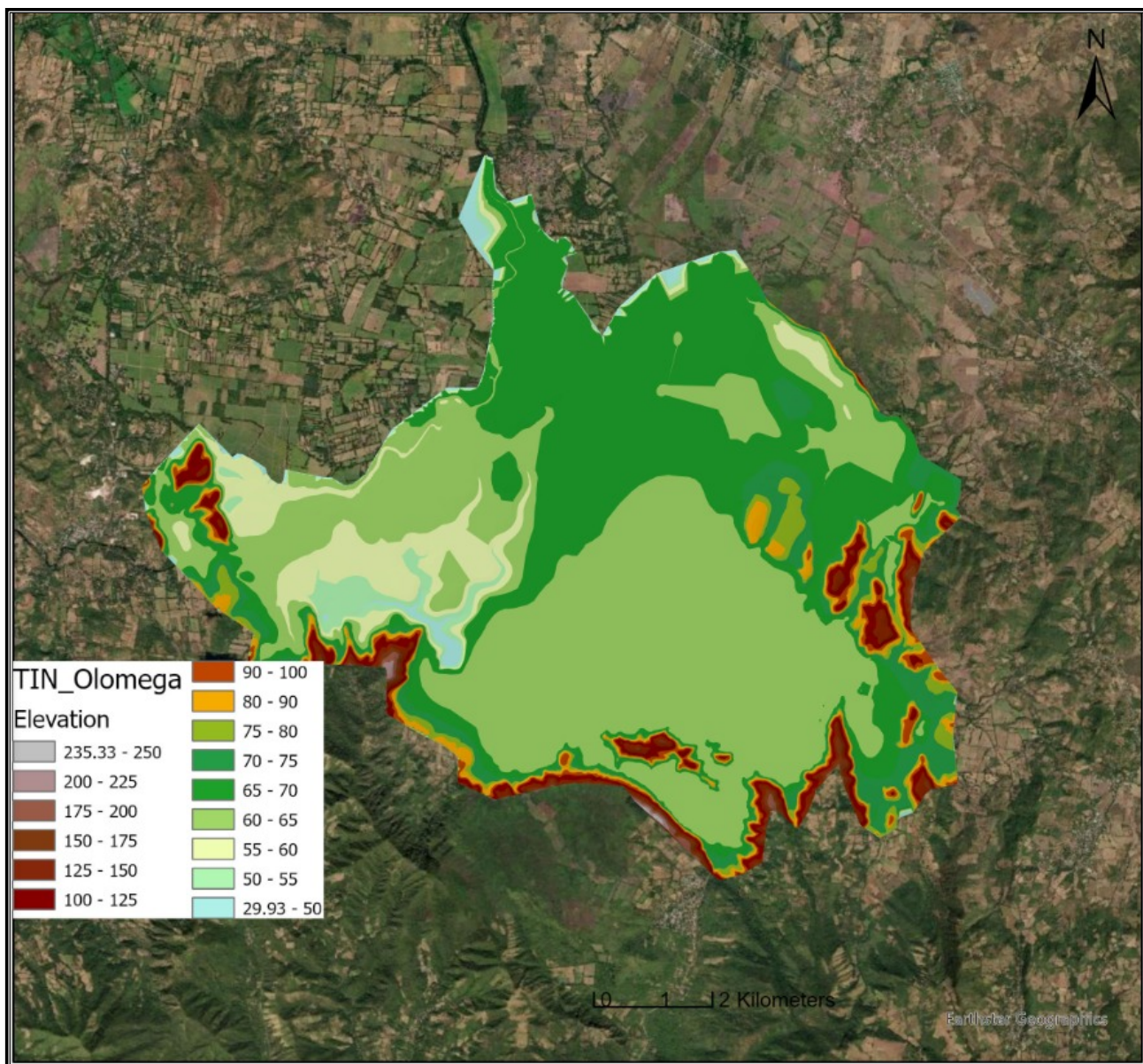


Imagen 55. Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de Olomega con datos DTM del terreno circundante a la laguna con resolución espacial de 10x10m.

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 Olomega:

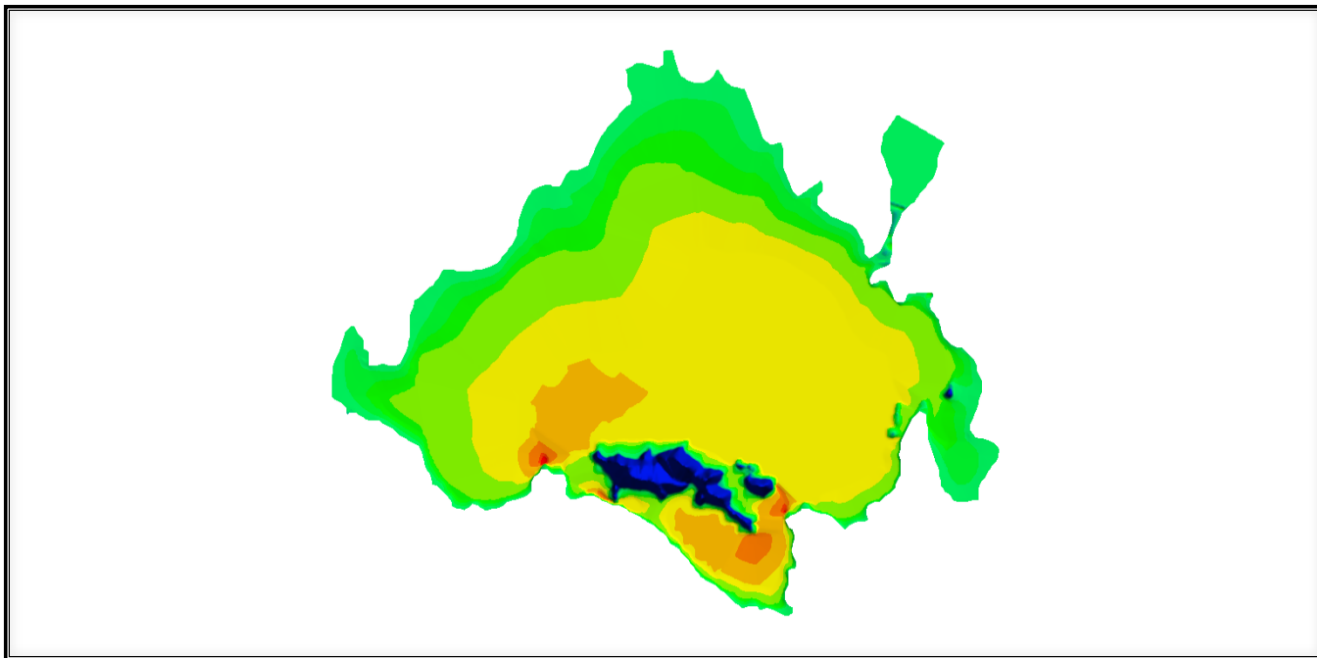


Imagen 56. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Olomega (Vista en planta de Laguna).

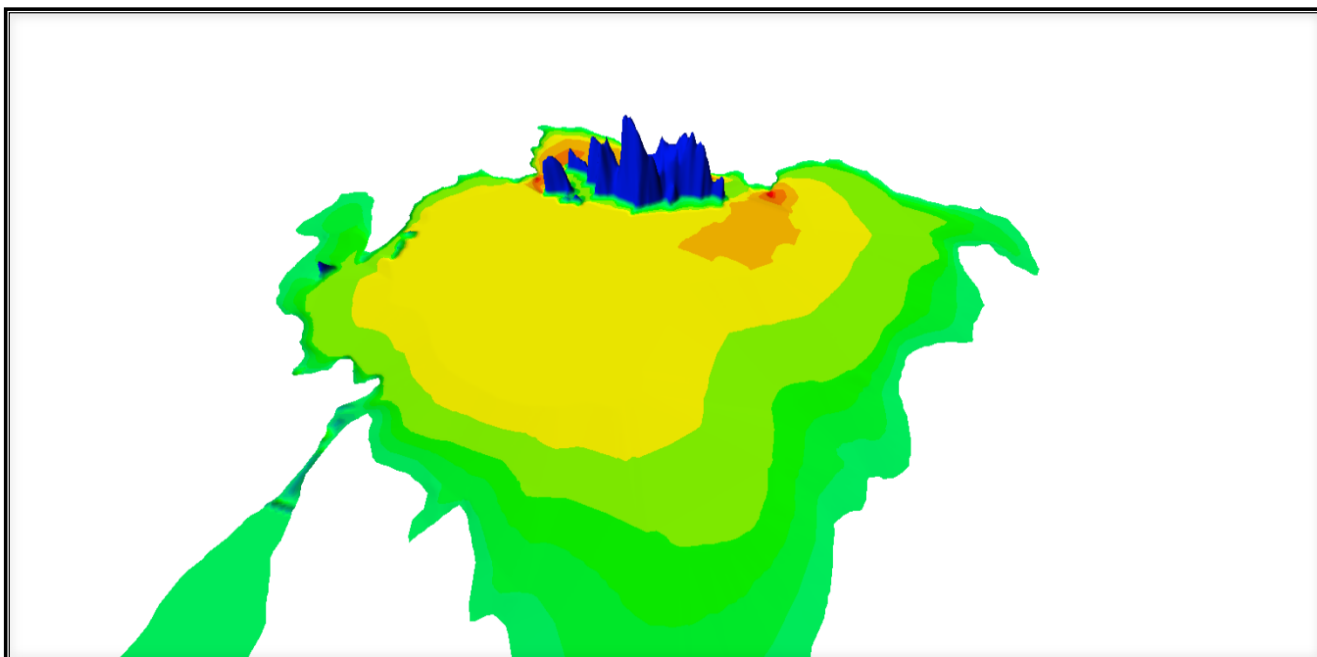


Imagen 57. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Olomega (zona sur).

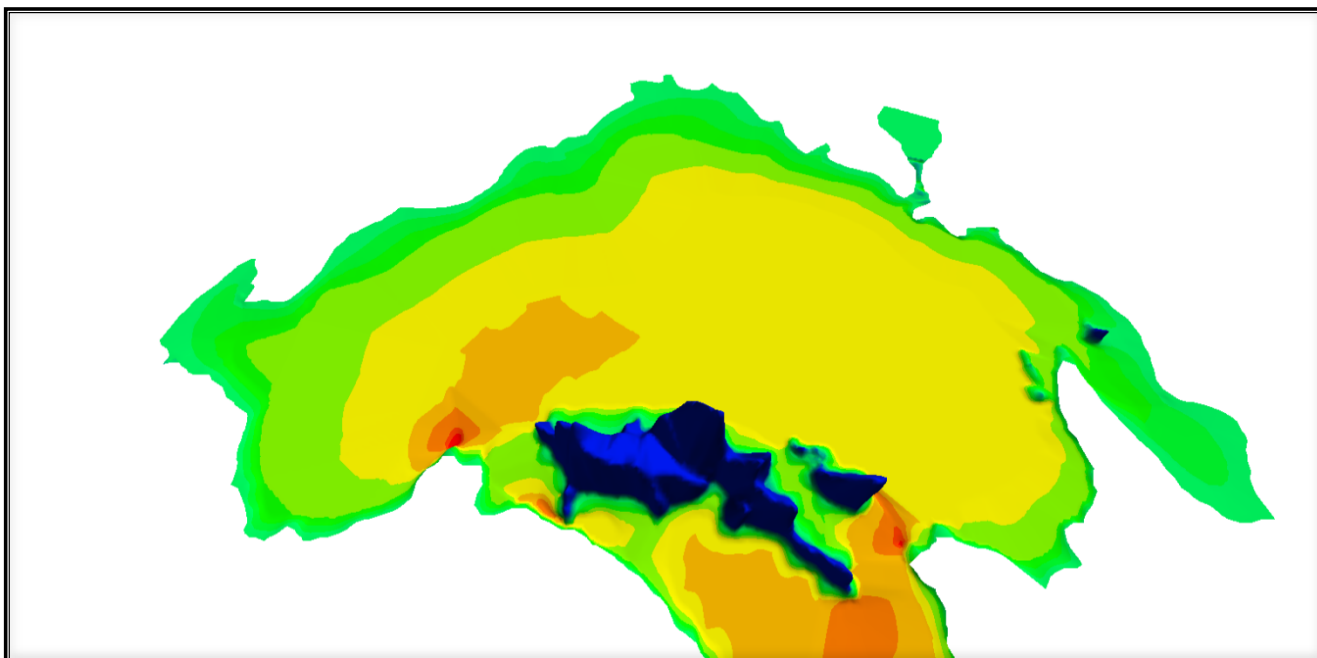


Imagen 58. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Olomega (zona norte).

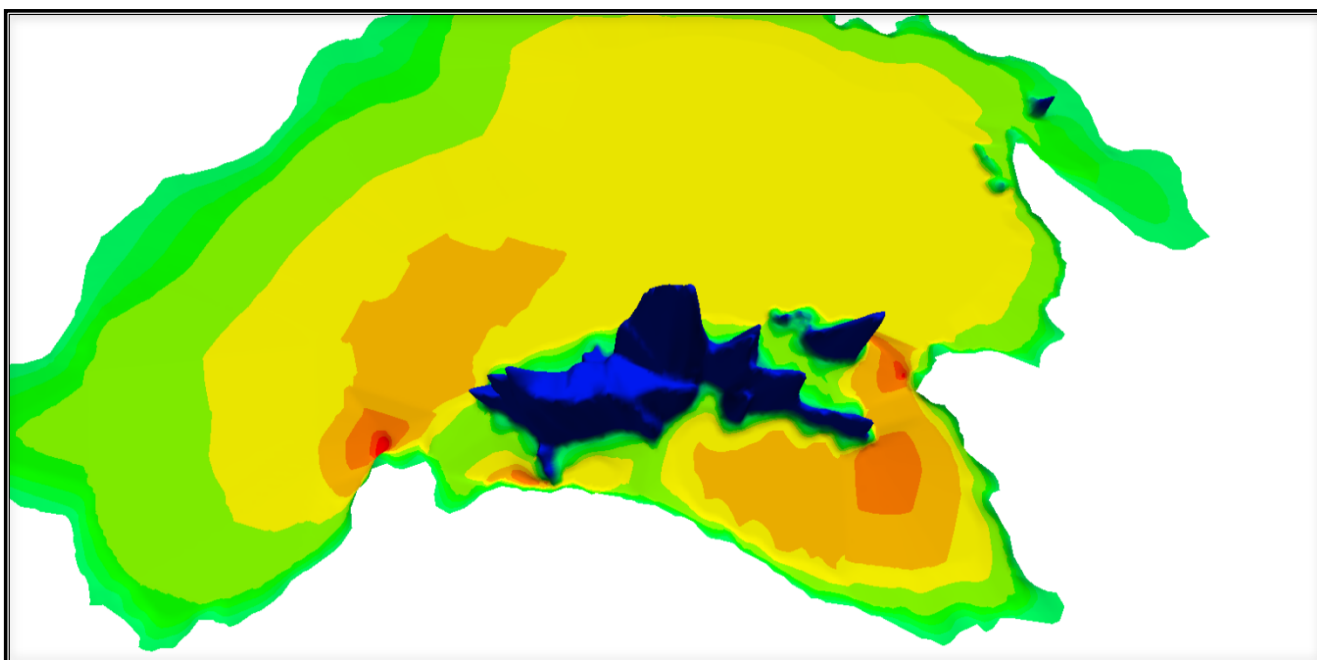


Imagen 59. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Olomega (zona poniente).



5.3. Isobatas

Modelo de Isobatas de levantamiento batimétrico con un espaciamiento vertical de 0.50 m.

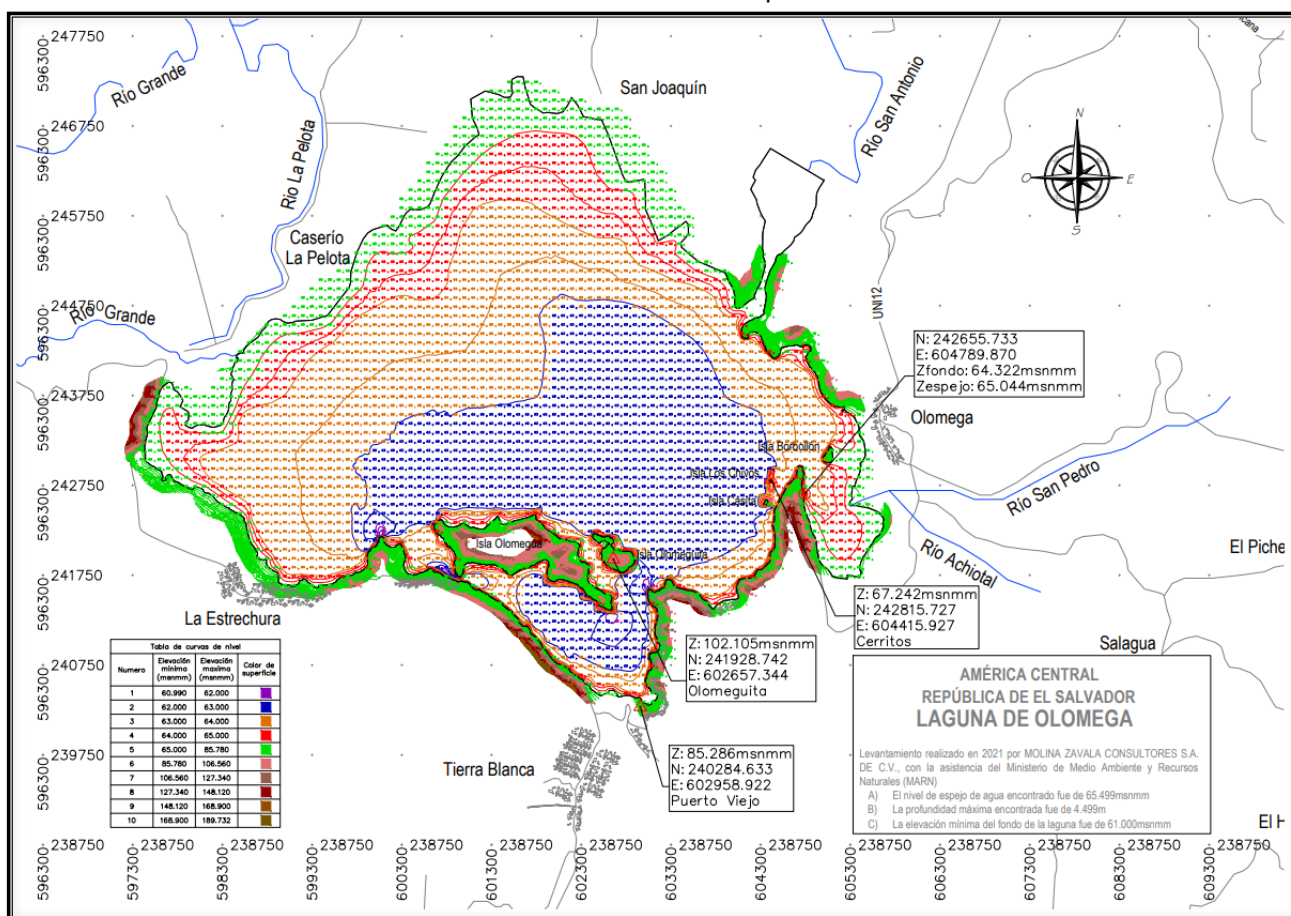


Imagen 60. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.

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: 65.499msnm, en días preliminares a la medición batimétrica el nivel en el sensor hidrométrico fue de 65.044msnm, este nivel es variable según las precipitaciones actuantes en la cuenca de la laguna.

5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen

Volumen de agua al nivel de espejo de agua:

Durante la medición (65.499 m.s.n.m.):

70.1356 Millones de m³

Volumen de agua al nivel máximo histórico de laguna:

indicado por los pobladores (66.700 m.s.n.m.):

137.1956 Millones de m³

(dato no validado/comprobado científicamente)

Datos topo-batimétricos resultantes de las mediciones.

Elevación mínima del fondo de la laguna:

61.000 m.s.n.m

Elevación del espejo de agua al momento de medición: 65.499 m.s.n.m.m
Elevación máxima histórica de la laguna indicada por pobladores: 66.700 m.s.n.m.m
Profundidad máxima de columna de agua encontrada: 4.499 m

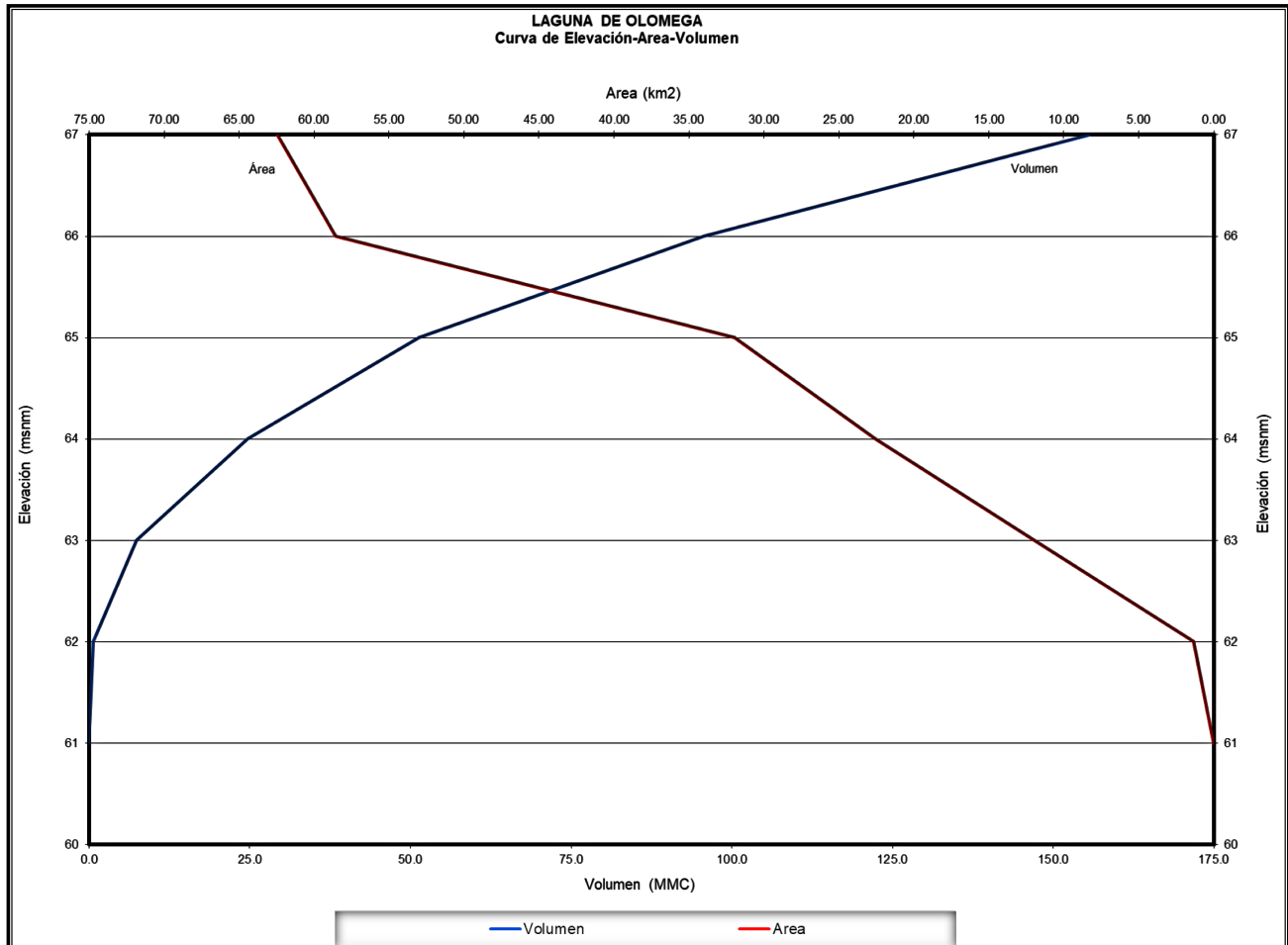


Imagen 61. Curva E-A-V de Laguna de Olomega.

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 monohaz, 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 igual al encontrado según la medición en determinado momento del espejo de agua (ver imagen 62).
- b) Con la elevación de un nivel máximo histórico, según recuerdo de los pobladores (ver imagen 63).
- c) Con un nivel de espejo de agua igual al “cero” hidrométrico según las condiciones actuales de instalación del sensor (ver imagen 64).

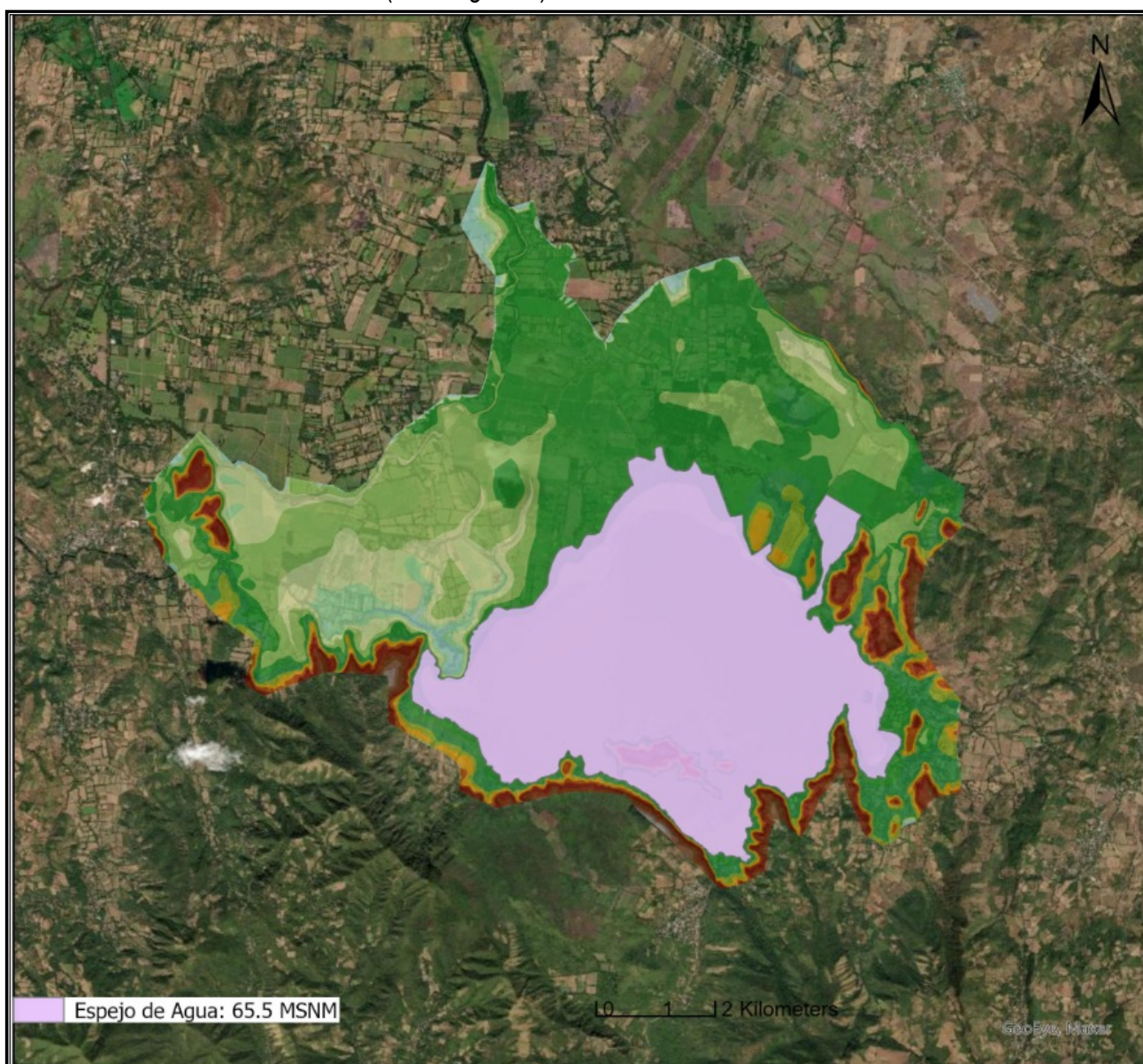


Imagen 62. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.

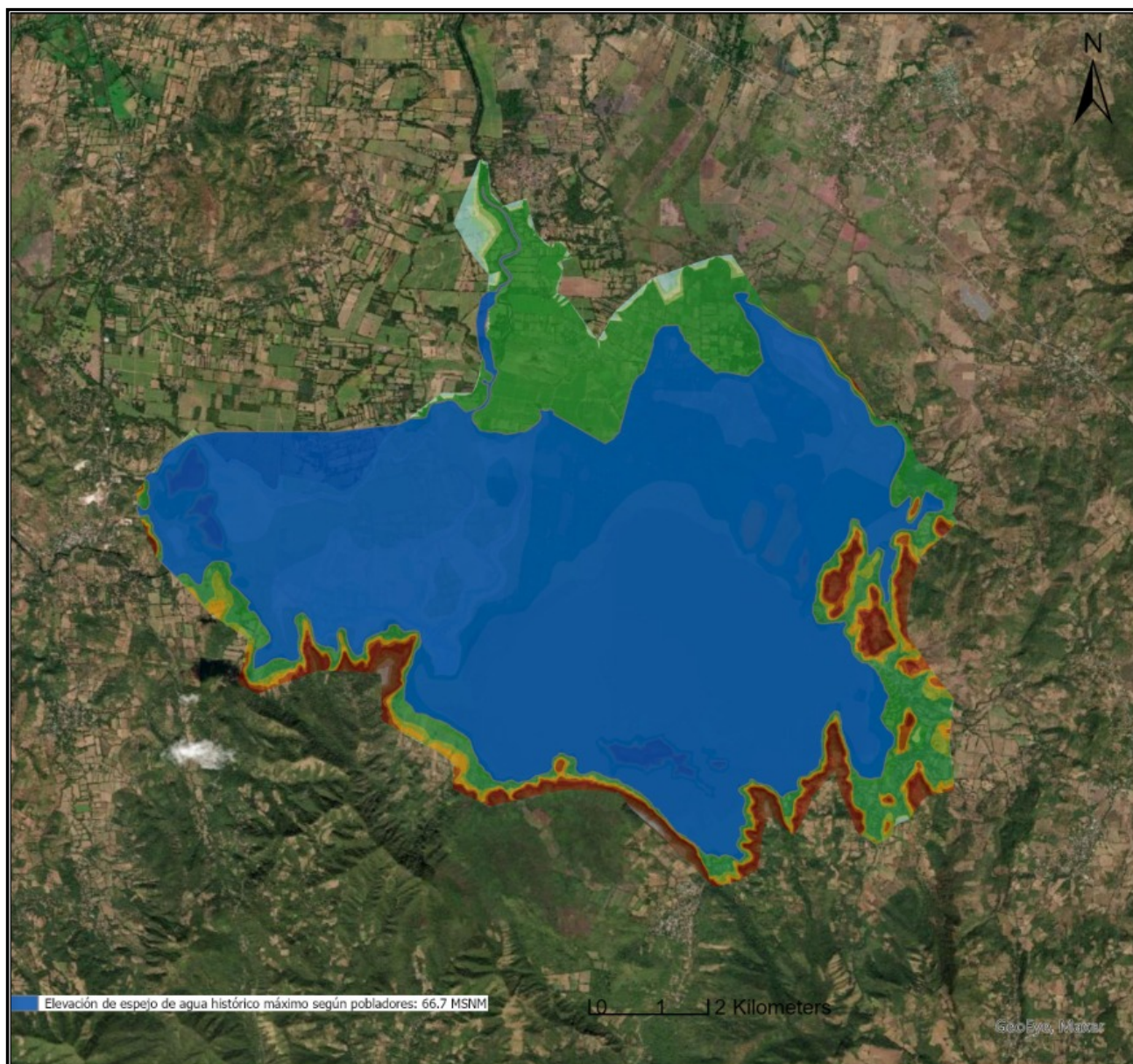


Imagen 63. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.

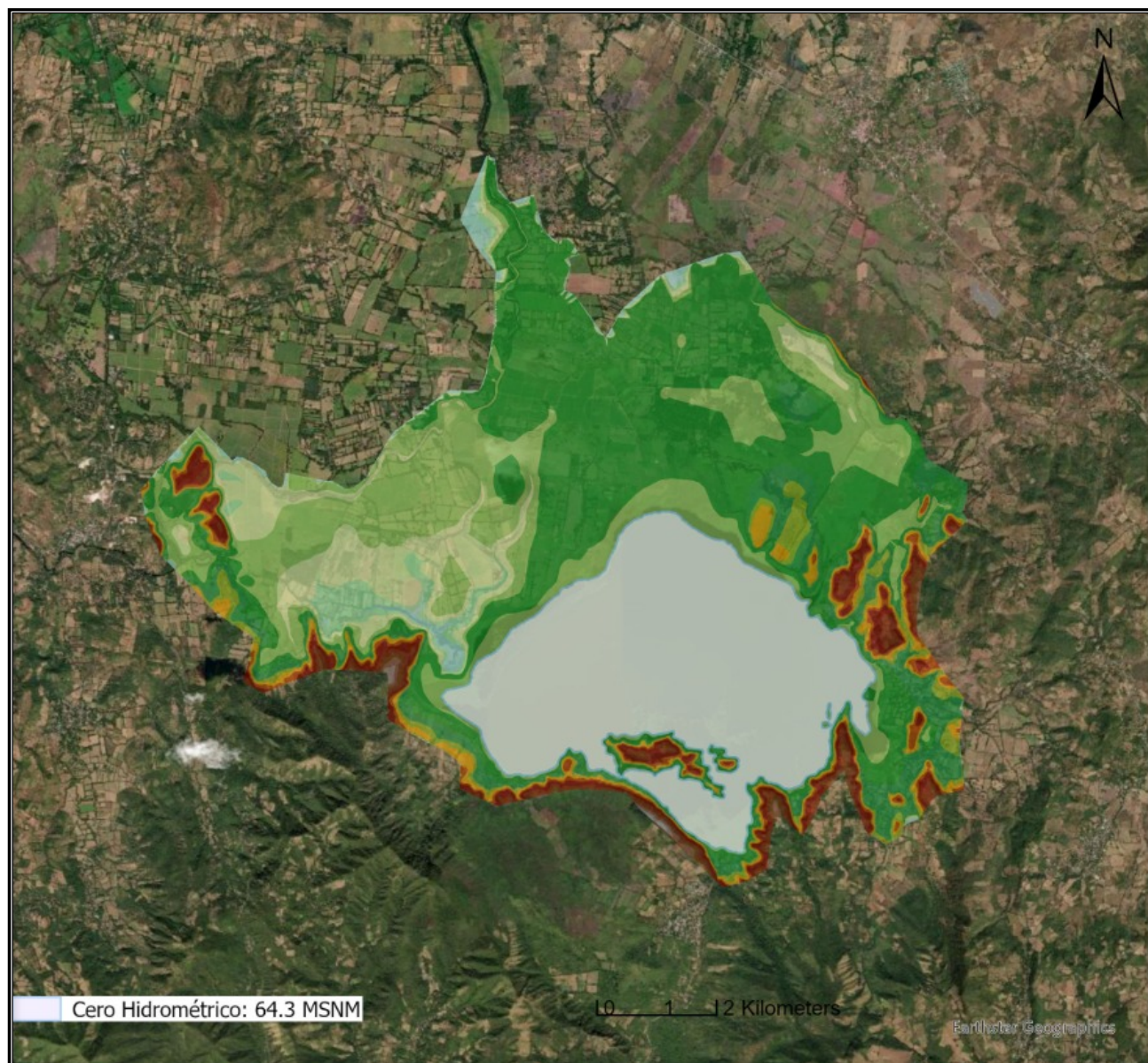


Imagen 64. Mapa de área hasta el nivel del cero hidrométrico del limnómetro.

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 2021.	64.322	22.5964
Nivel de espejo de agua máximo según medición actual 2021.	65.499	29.1733
Nivel de espejo de agua máximo según dato histórico de pobladores.	66.700	60.1521

Tabla 27. 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 4A. Mapa en color degradado del levantamiento batimétrico.

ANEXO 4B. Mapa en color degradado con la planicie de inundación de la Laguna de Olomega.

ANEXO 5. Mapa batimétrico general de Laguna de Olomega.

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

ANEXO 7. Memoria de cálculo

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

ELEVACIÓN	ÁREA ENTRE ELEVACIÓN (m ²)	ÁREA ACUMULADA	AREA PROMEDIO	INTERVALO	VOLUMEN INCREMENTAL	VOLUMEN ACUMULADO
(msnmm)	(según modelo digital de elevación C3D)	(km ²)	(m ²)	(m)	(MMC)	(MMC)
67.000	2,267,943.270	62.4200843	61,286,112.625	0.3000	18.3858338	155.5815104
66.000	15,281,377.180	58.5602195	50,919,530.950	0.5010	25.5106850	95.6463504
65.000	7,603,231.870	31.9897804	28,188,164.495	0.6800	19.1679519	51.3561440
64.000	10,592,427.250	22.5964693	17,300,255.645	1.0000	17.3002556	24.6709093
63.000	10,635,409.380	12.0040420	6,686,337.330	1.0000	6.6863373	7.3706537
62.000	1,368,632.640	1.3686326	684,316.320	1.0000	0.6843163	0.6843163
61.000	0.000	0.0000000	0.000	0.0000	0.0000000	0.0000000

Tabla 28. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Olomega.

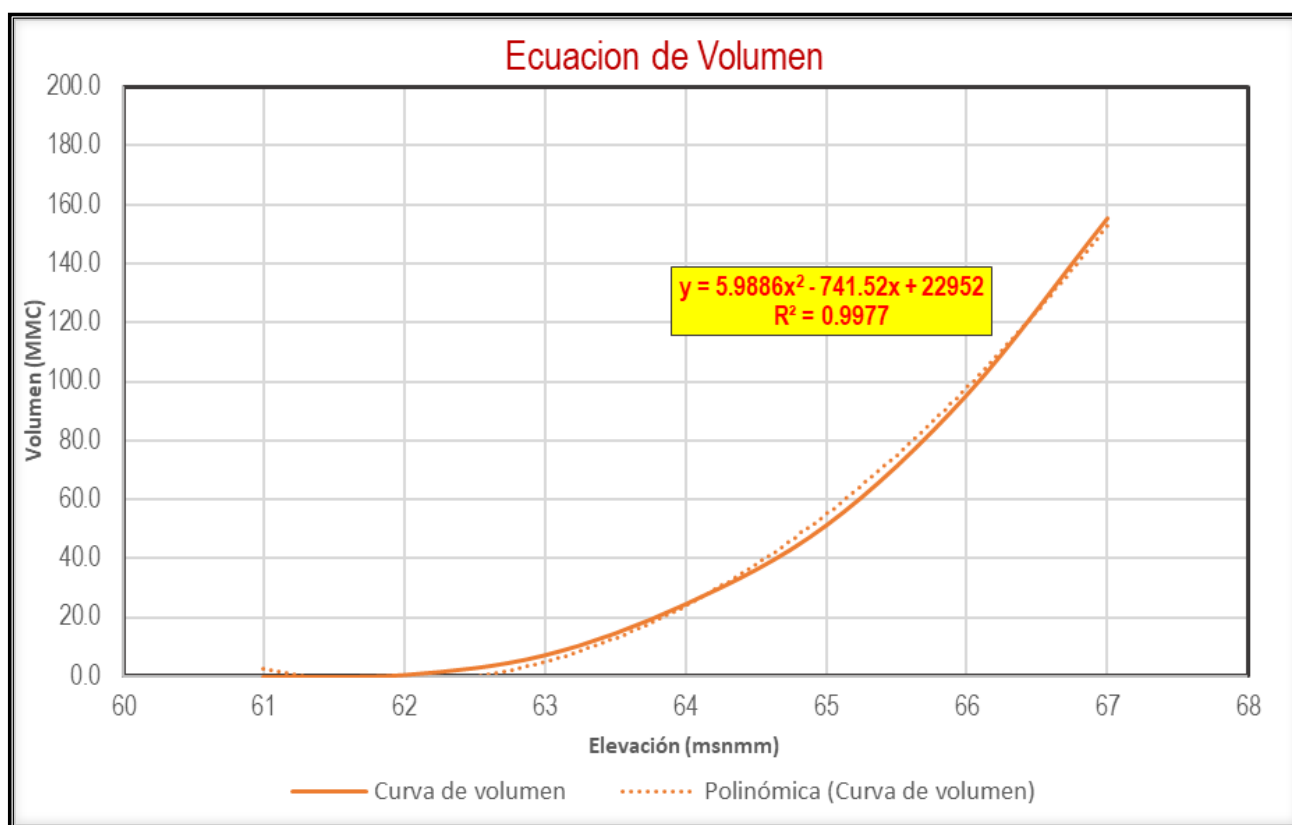


Imagen 65. Gráfica de ecuación para cálculo de volumen



1. Identificación del área o sitio de medición hidrográfica

1.1. Ubicación general

Está situada en los Cantones Miraflores y Cerro Bonito, a 9.7 Km. al sudeste de la ciudad de San Miguel, dentro del Departamento del mismo nombre, en la zona oriental de El Salvador. La laguna hidrográficamente se localiza en la cuenca del Río Grande de San Miguel, ocupando una superficie de 0.43 Km², con una profundidad máxima de 110m. Tres son los cauces fluviales de importancia que aparecen en el entorno de la laguna: el Río Grande de San Miguel al Sudoeste, el río Aramuaca al Oeste y el río Miraflores al Este; estos dos últimos afluentes del primero.

Orográficamente se destacan el Cerro El Rayado al Sur y el Cerro Bonito al Norte de la laguna. La zona se caracteriza por los relieves suaves y ondulados, con alturas comprendidas entre los 71 y 240 msnmm.

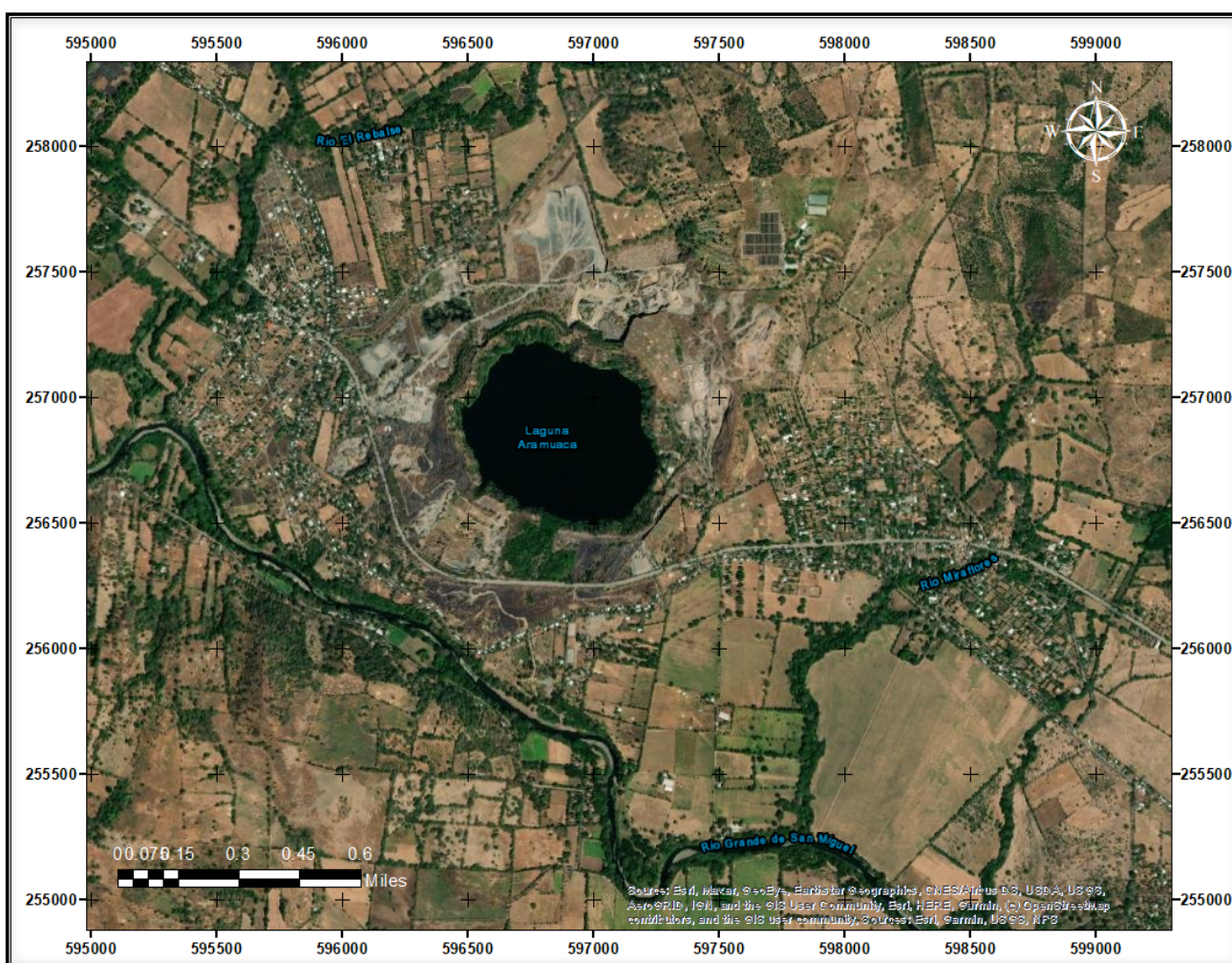


Imagen 66. Ubicación geográfica de laguna de Aramuaca.

1.2. Descripción morfológica

Según la Geología de El Salvador, el lugar de estudio se clasifica dentro de la Formación SAN SALVADOR (s5'b) del periodo Cuaternario, conocidas como Materiales piroclásticos básicos: brechas, bombas, lapilli y cenizas

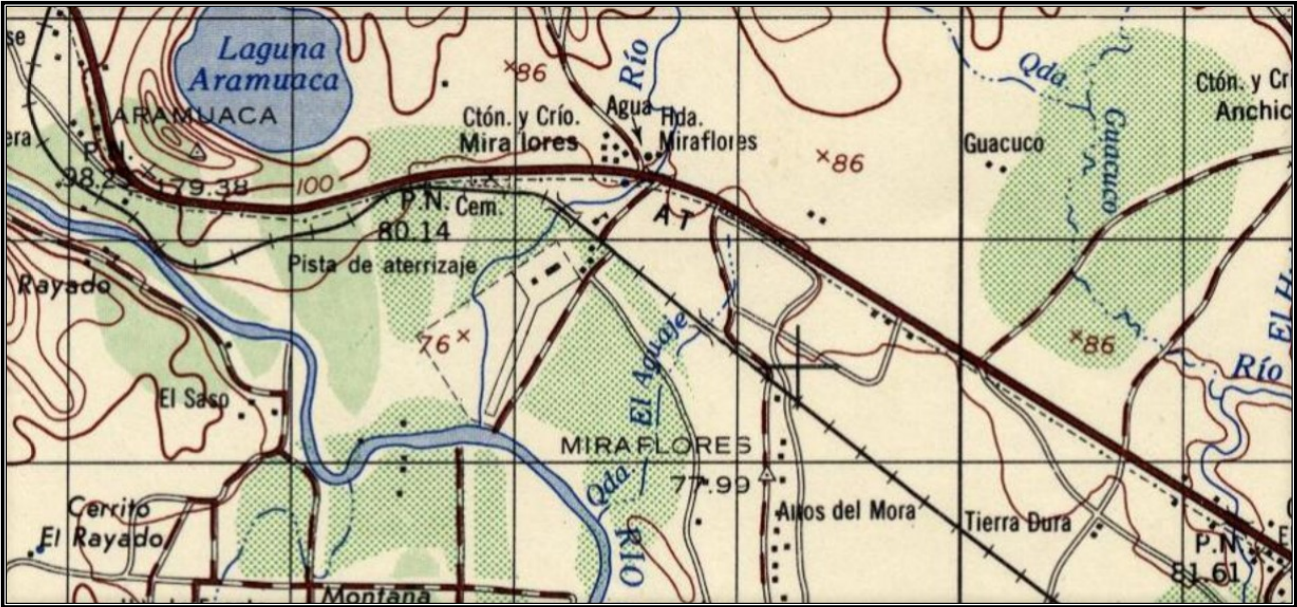


Imagen 67. Mapa topográfico de la laguna de Aramuaca.

2. Referencias geodésicas oficiales

2.1. Amarre Planimétrico y Altimétrico del levantamiento a la Red Geodésica Nacional

Se utilizó un punto geodésico comprado a CNR (ver Imagen 75), al poseer elevaciones referidas al nivel del mar, a partir de este punto se realizó el amarre del punto de control de la red auxiliar, para la ubicación de puntos de control en el área de Estudio.

Código	Latitud (WGS84)	Longitud (WGS84)	Norte (NAD27)	Este (NAD27)	Elevación (msnmm)
MIRAFLORES	13°24'47.69" N	88°05'04.62" W	254947.570	599134.780	77.990

Tabla 29. Coordenadas de mojón geodésico de CNR.

3. Metodología de levantamiento batimétrico

3.1. Descripción de los trabajos

El levantamiento batimétrico, se ha realizado con ecosonda Multihaz 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 como el uso de equipos con precisiones no menores del 5% de la profundidad medida (OHI S-44). En tal sentido, en el presente trabajo, las actividades se desollaron con el uso de equipo profesional para levantamiento batimétricos

de alta precisión, tanto en horizontal de ubicación geodésica como en control vertical con la adquisición de datos con el programa informático de mayor calidad y reconocimiento a nivel mundial.

3.1.1. Actividades previas al levantamiento batimétrico

Primeramente, se realizó el reconocimiento de la zona para el acceso y salida de lancha, búsqueda de mojones con coordenadas geodésicas 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 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. Se considero la equidistancia de 25 metros para las Lagunas de Apastepeque y Channicoque aparece en los TDR, debido a que ambas tienen una formación similar y un espejo de agua en el mismo orden de magnitud que Aramuaca. Estas líneas a su vez sirvieron de orientación para la navegación.

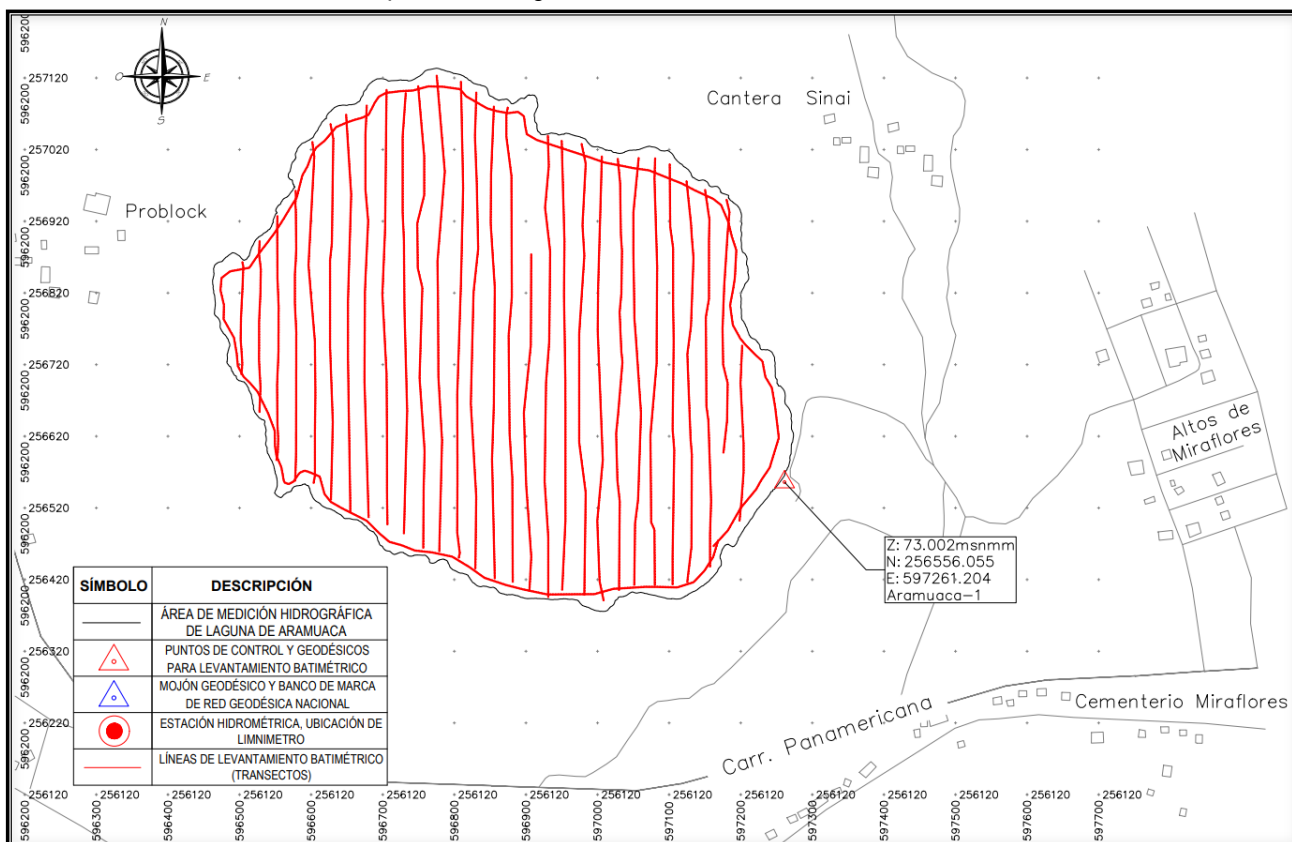


Imagen 68. Líneas resultantes de los transectos realizados en toda el área de medición.

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.

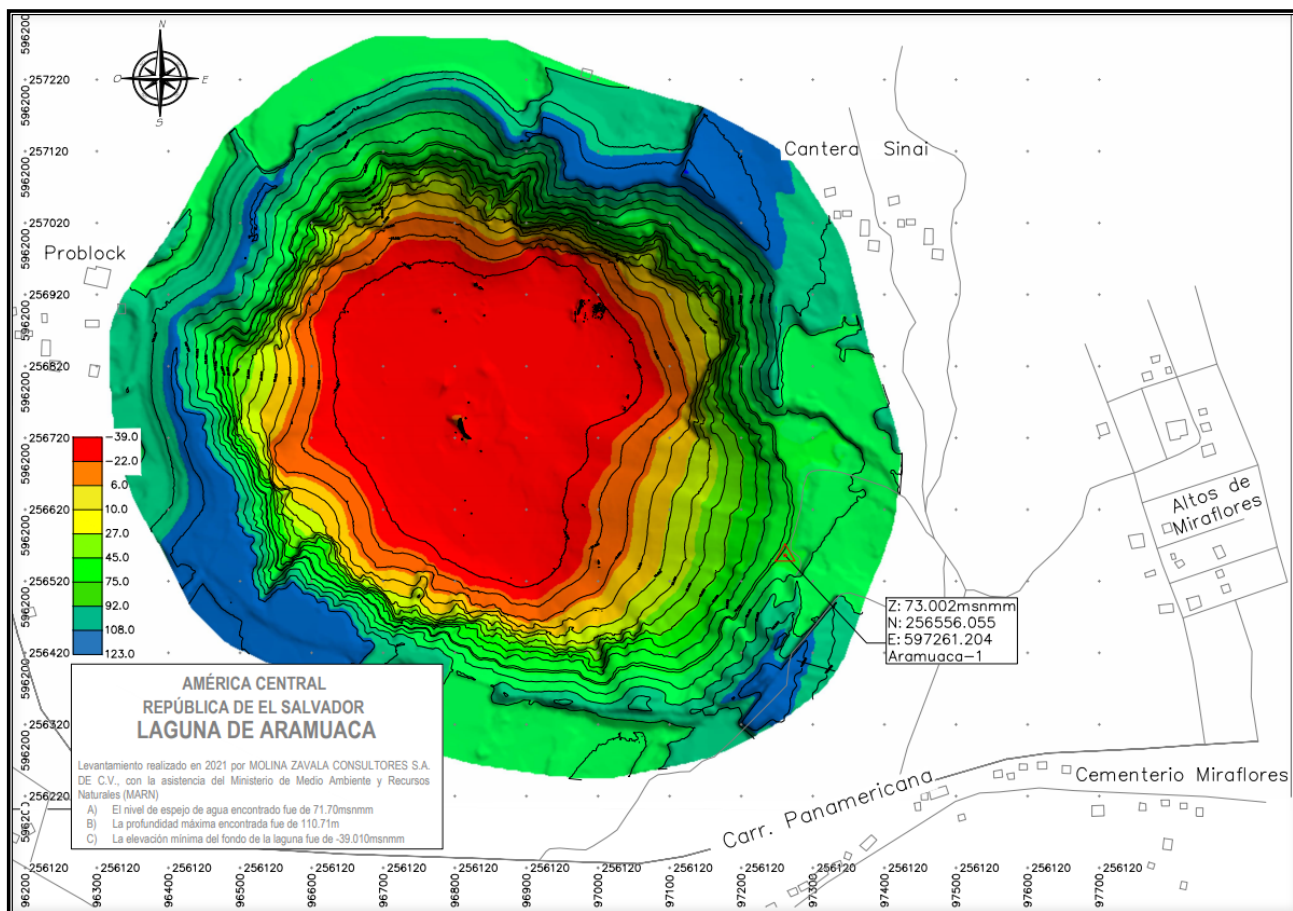


Imagen 69. Levantamiento batimétrico multihaz de la Laguna de Aramuaca.

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

Durante el levantamiento batimétrico realizado con ecosonda multihaz, no se han podido cubrir zonas perimetrales de la laguna de Aramuaca 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.

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; dentro de las aguas someras no fue posible por ser demasiado riesgoso el ingreso del personal, debido a que las profundidades descienden de 2 a 25m.

El punto de control utilizado para este trabajo de levantamiento perimetral, se ubicó en el mismo punto utilizado 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)
Aramuaca 1	13°25'40.26" N	88°06'06.70" W	256556.055	597261.204	73.002

Tabla 30. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición topo-batimétrica perimetral.



Imagen 70. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna sin cobertura con equipo multihaz.

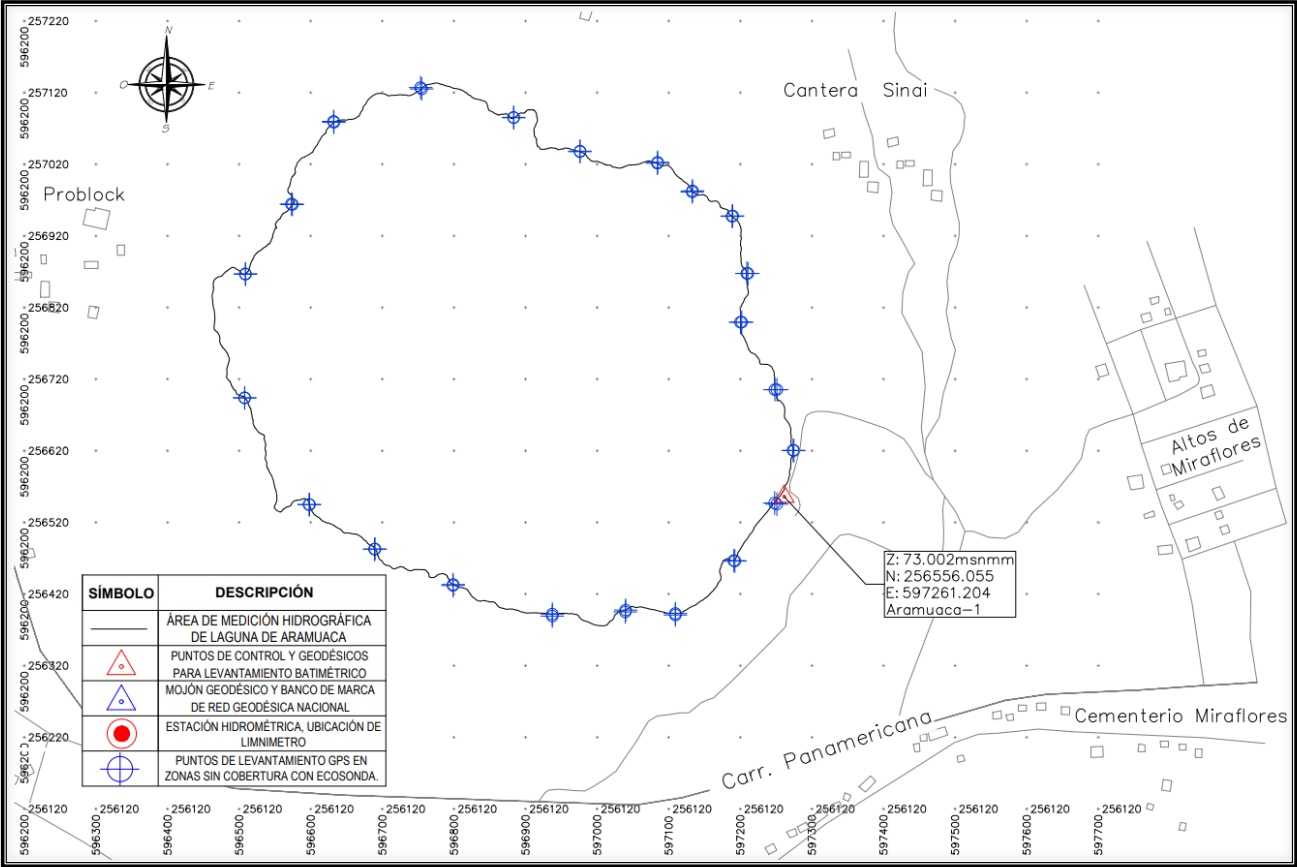


Imagen 71. Levantamiento topo-batimétrico en zonas perimetrales de laguna, sin cobertura con equipo multihaz.

3.5. Sistema geodésico utilizado

Esferoide:	CLARKE 1866	Proyección:	Lambert con 2 S.P.
Datum:	NAD 1927	Meridiano central:	89°W
Semieje mayor (a):	6,378,206.400 m	Latitud de referencia:	13°47'N
Aplanamiento inverso (1 / f):	294.9786982		
Primer paralelo estándar:	13°19' N (Valor de NAD27)		
Segundo paralelo estándar:	14°15' N (Valor de NAD27)		
dx: 0.00 m	rx: 0.000"	Falso Este:	500,000 m.
dy: 105.50 m	ry: 0.000"	Falso norte:	295,809.184 m
dz: 197.20 m	rz: 0.000"	Corrección de escala:	0.000 ppm

Referencias geodésicas: *mojón geodésico de C.N.R MIRAFLORES 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 72. 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 73. Antena Trimble Zephyr 3.

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

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

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

3.6.1.2. Envío de señal de corrección en tiempo real

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



Imagen 74. Radio Receptora/Transmisora marca Pacific Crest.

3.6.1.3. Red de Puntos de control para base GPS GNSS

Partiendo del punto geodésico “MIRAFLORES” 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)
Aramuaca 1	13°25'40.26" N	88°06'06.70" W	256556.055	597261.204	73.002

Tabla 31. Coordenadas de puntos de control de red auxiliar para medición batimétrica.

3.6.1.4. Medición de coordenada de posible estación hidrométrica.

En el sector sur-oriente de la laguna existe una rampa para ingresar lanchas (13°25'41.78"N, 88° 6'6.58"W) y no posee un muelle, el fondo subacuático tiene una pendiente y hace un cambio brusco de profundidad; por lo que se propone la construcción de un muelle de 7.0m de longitud y así alcanzar una columna de agua de 10-15m.

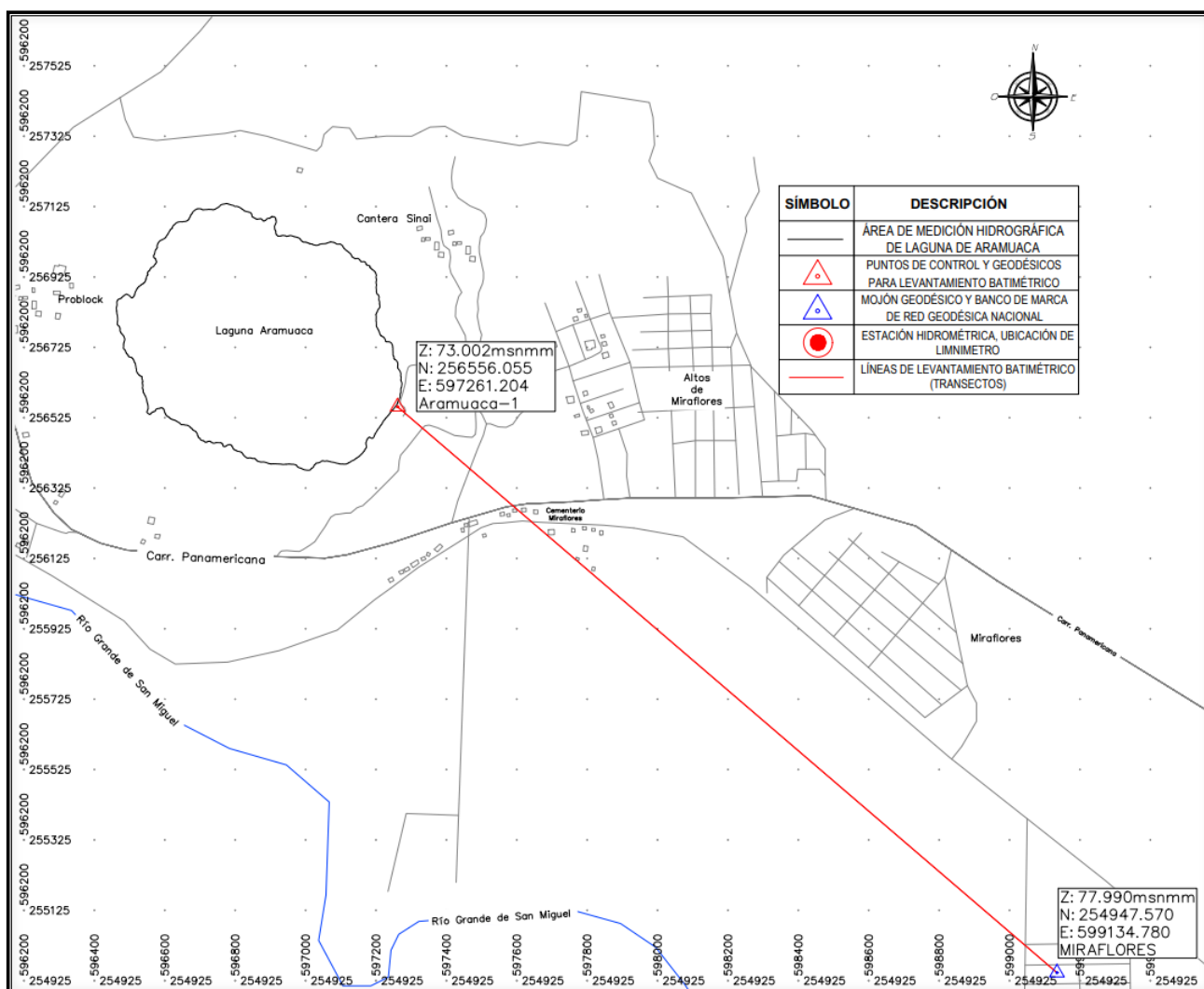


Imagen 75. Ubicación de Puntos de Control referenciados del punto de CNR.

3.6.2. Control vertical de datos adquiridos

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

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

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

4. **Registro fotográfico del levantamiento batimétrico.**

Se ha utilizado una embarcación tipo Lancha Bermuda, con las siguientes descripciones físicas:

TIPO DE EQUIPO: Lancha Tipo Bermuda de Fibra de Vidrio, Nombre Geoconsulting 01		MANGA: 25 pies ESLORA: 27 pies CALADO VACÍO: 2.5 pies	
MOTOR FUERA DE BORDA: 1 motor de 75 Hp, Marca YAMAHA			
Fotografías de realización de Batimetría en Laguna de Aramuaca			
			
Ubicación de mojon geodesico para amarre geodesico y altimetrico de la red auxiliar.		Levantamiento topo-batimetrico en profundidades de hasta 1.0 m de columna de agua.	
			
Instalacion de equipo hidrografico y Adquisicion de datos en la embarcacion.		Vista panoramica al sector poniente de la laguna	
			
Vista panoramica al sector poniente de la laguna.		Vista panoramica al sector nor-poniente de la laguna.	

Tabla 32. Registro fotográfico de trabajos de batimetría.

5. Resultados

5.1. Acople de MDT con Levantamiento LIDAR

A continuación, se muestra la unión del MDT resultante de la batimetría y el MDT del levantamiento LIDAR del MARN:

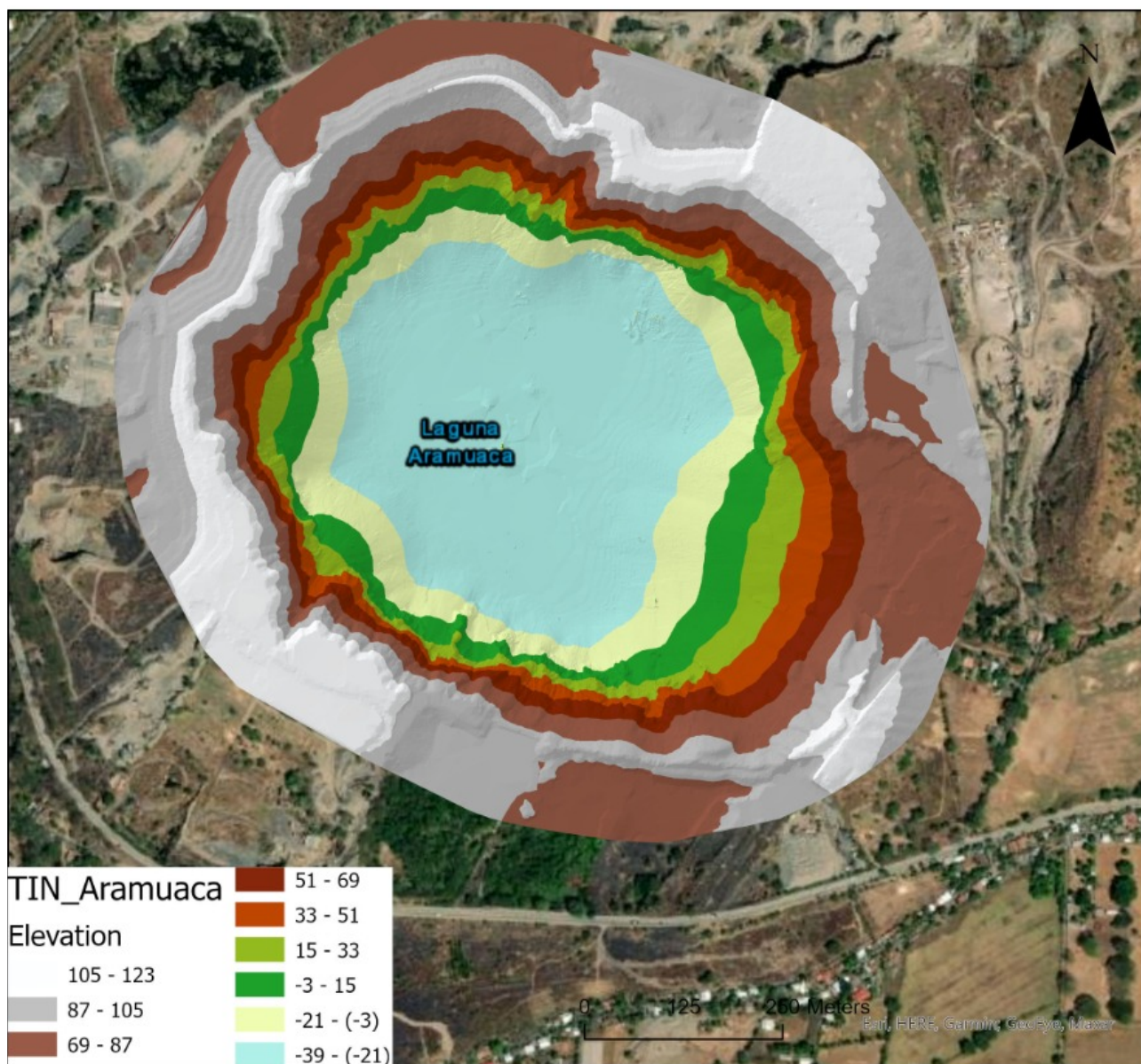


Imagen 76. Representación gráfica de acople de Batimetría de Laguna de Aramuaca con datos LIDAR del Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.

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 Aramuaca:

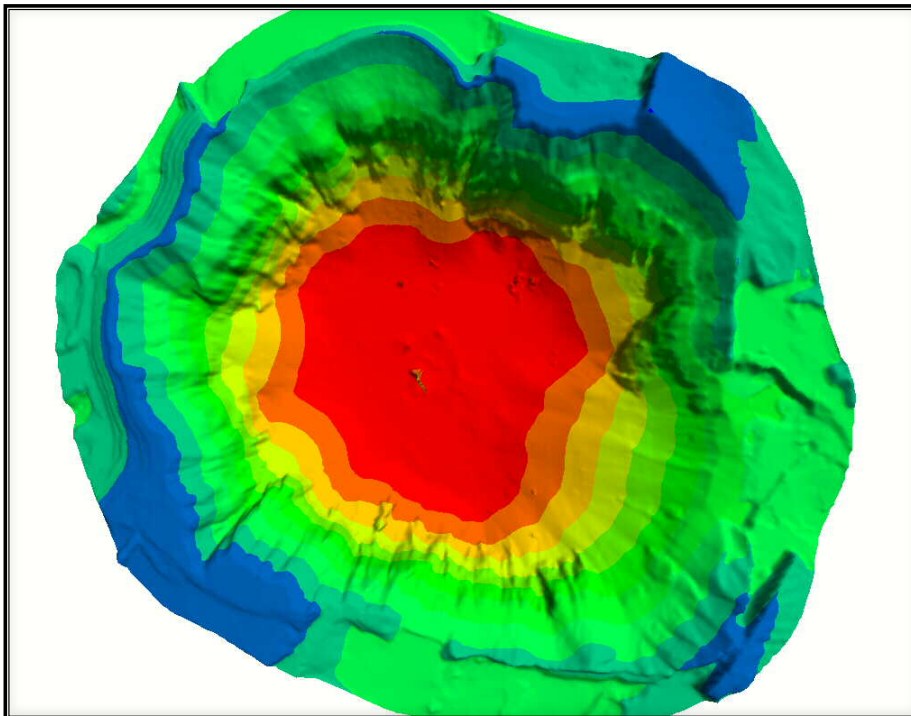


Imagen 77. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Aramuaca (Vista en planta de Laguna).

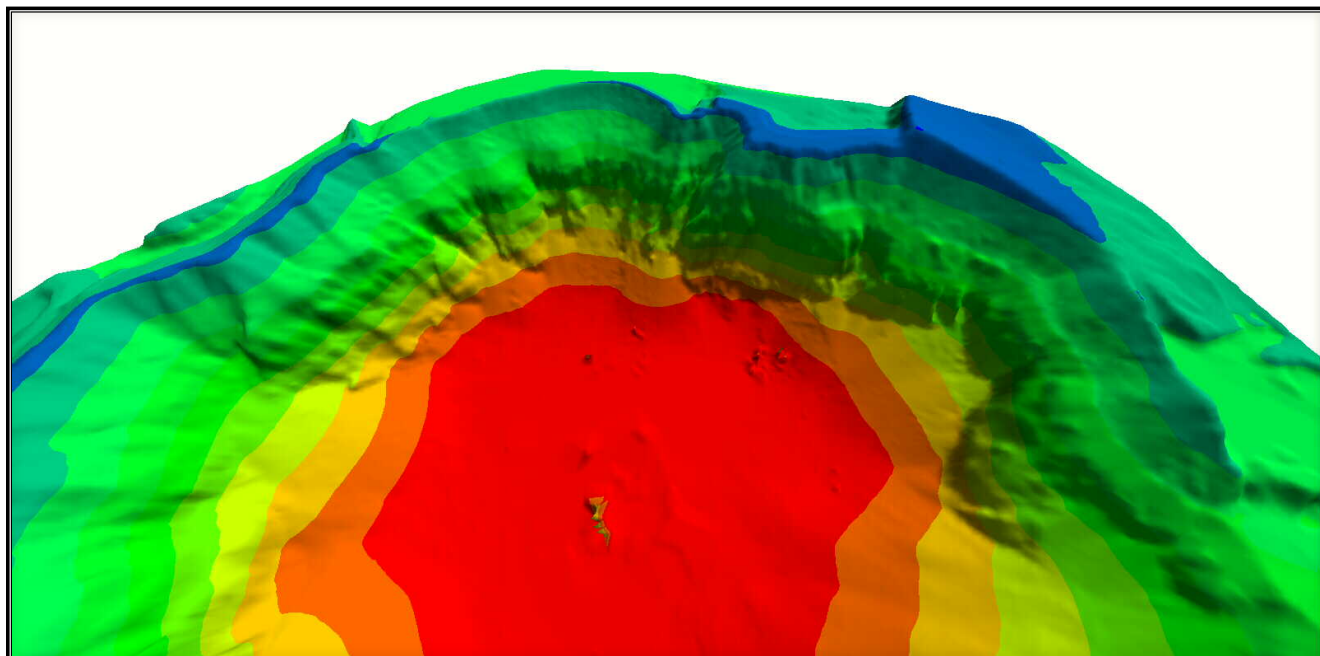


Imagen 78. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Aramuaca (zona norte).

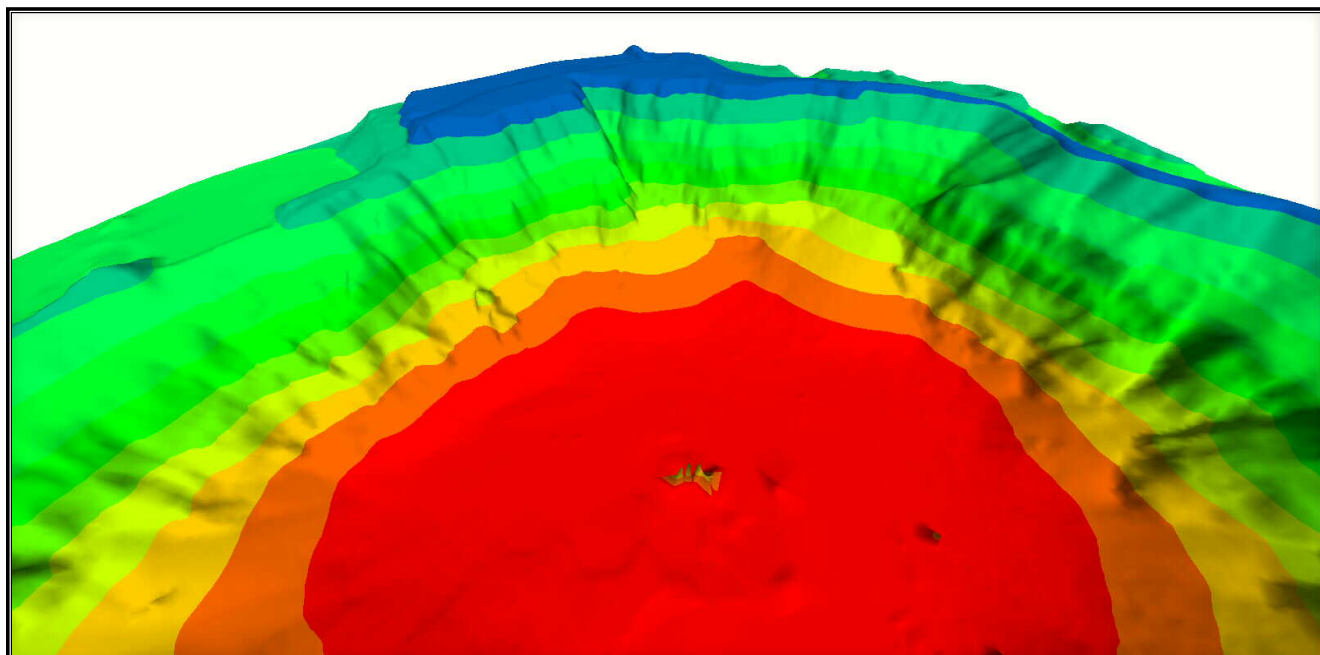


Imagen 79. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Aramuaca (zona poniente).

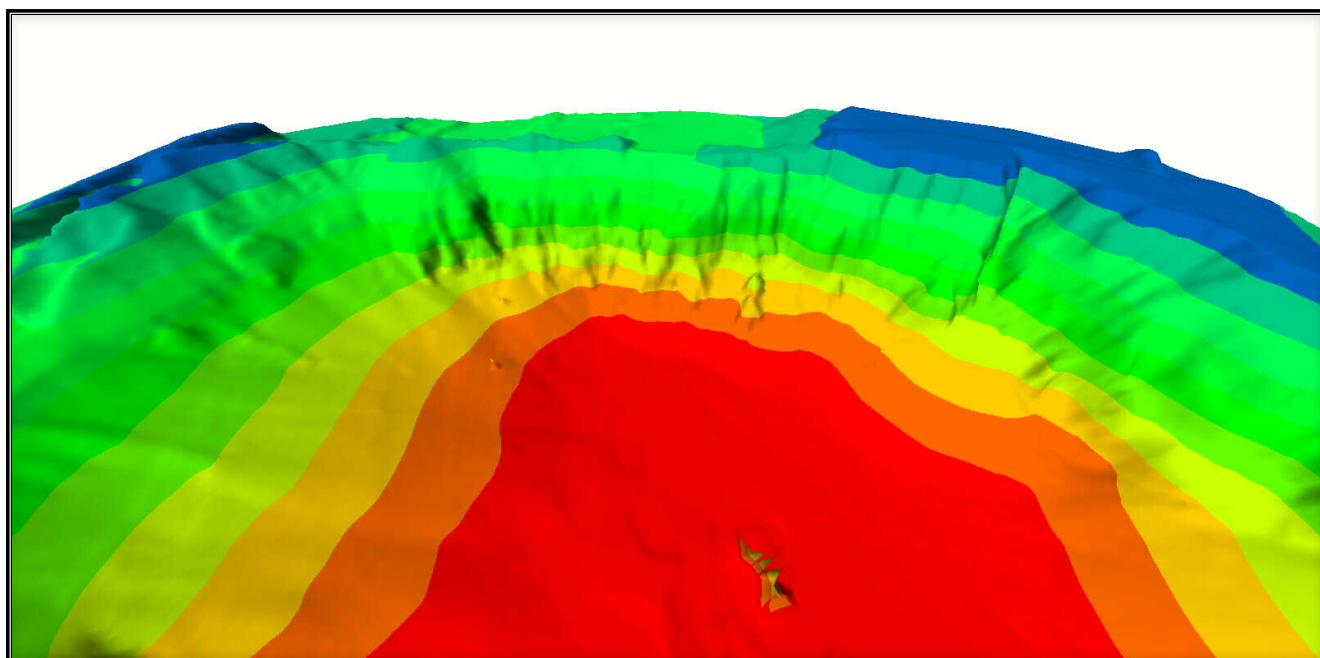


Imagen 80. Vista tridimensional de los Resultados del Levantamiento Batimétrico en Laguna de Aramuaca (zona Sur).

5.3. Isobatas

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

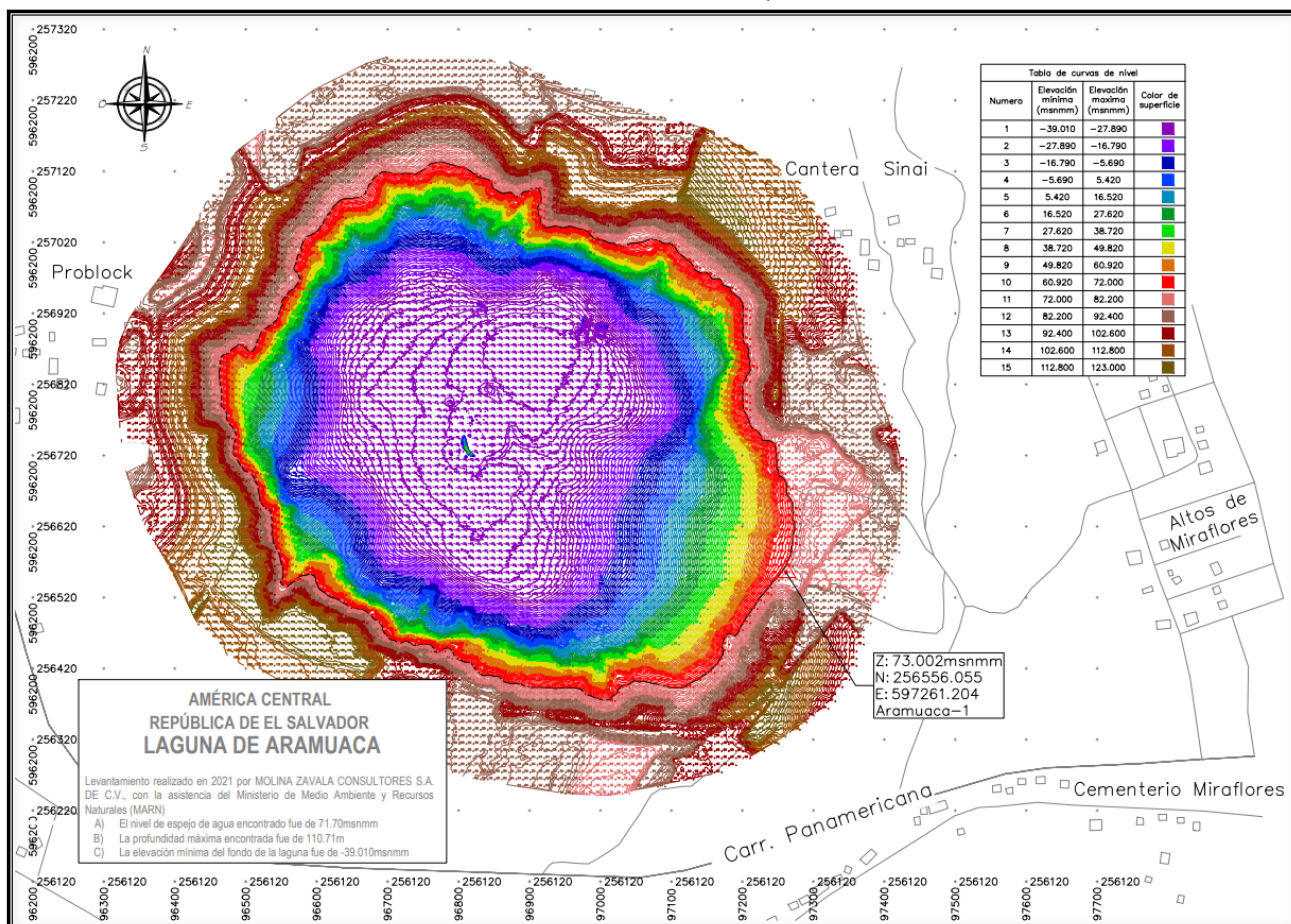


Imagen 81. Mapa de Isobatas del levantamiento batimétrico resultante.

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: 71.700msnm, este nivel puede ser variable según las precipitaciones actuantes en la cuenca de la laguna, debido a que presenta variaciones de elevación altas y taludes con pendientes fuertes.

5.5. Curvas Elevación – Área - Volumen

Volumen de agua al nivel de espejo de agua:

Durante la medición (71.700 m.s.n.m.):

30.6678 Millones de m³

Volumen de agua al nivel máximo histórico de laguna:

indicado por los pobladores (72.500 m.s.n.m.):

31.0111 Millones de m³

(dato no validado/comprobado científicamente)

Datos topo-batimétricos resultantes de las mediciones.

Elevación mínima del fondo de la laguna:	-39.010 m.s.n.m.m
Elevación del espejo de agua al momento de medición:	71.700 m.s.n.m.m
Elevación máxima histórica de la laguna indicada por pobladores:	72.500 m.s.n.m.m
Profundidad máxima de columna de agua encontrada:	110.710 m

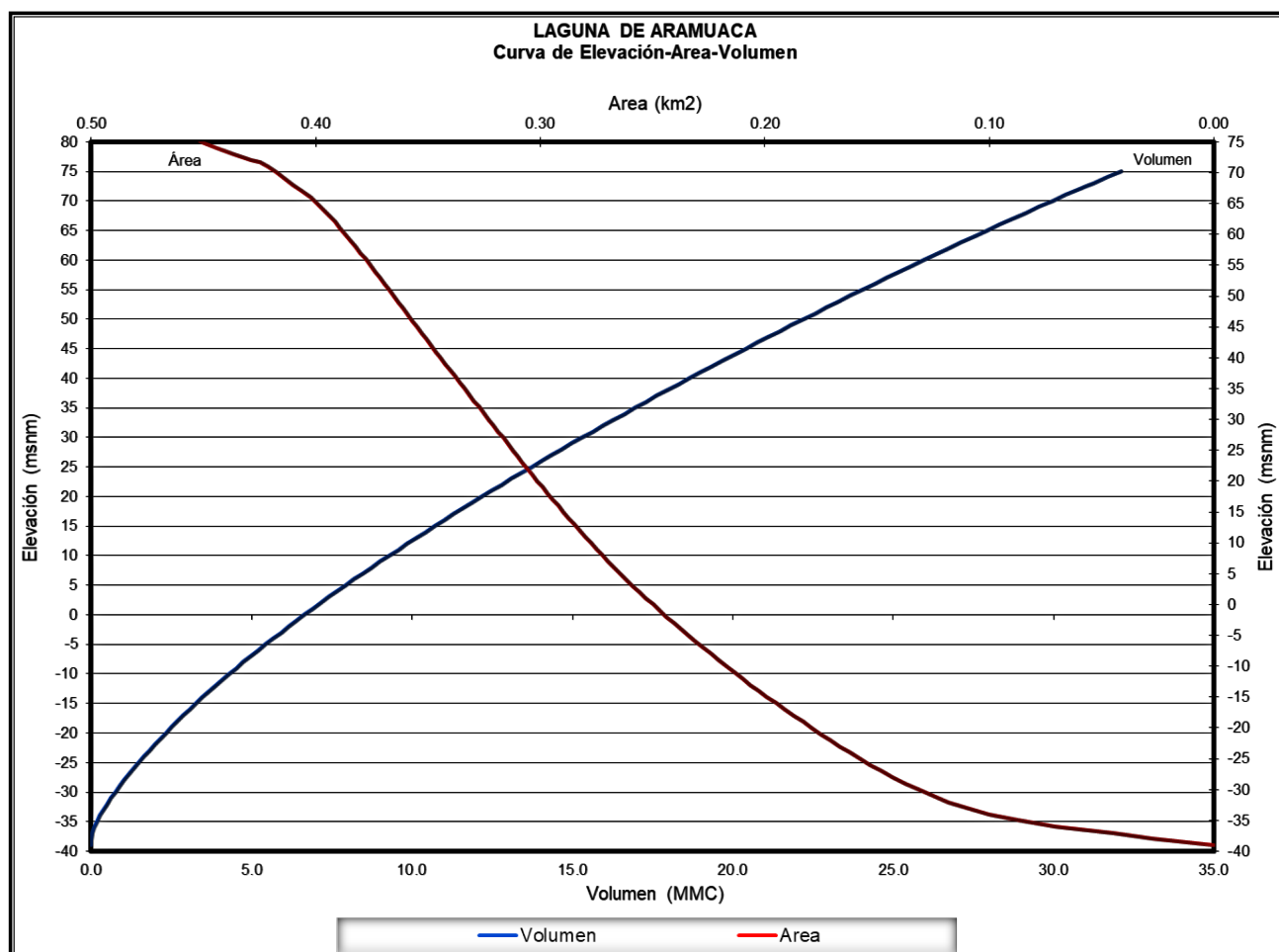


Imagen 82. Curva E-A-V de Laguna de Aramuaca.

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

El modelo se generó a partir de la interpolación de la nube de puntos levantada con el equipo multiház, 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 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 83. Mapa de área cubierta por el espejo de agua encontrado al momento de la medición.

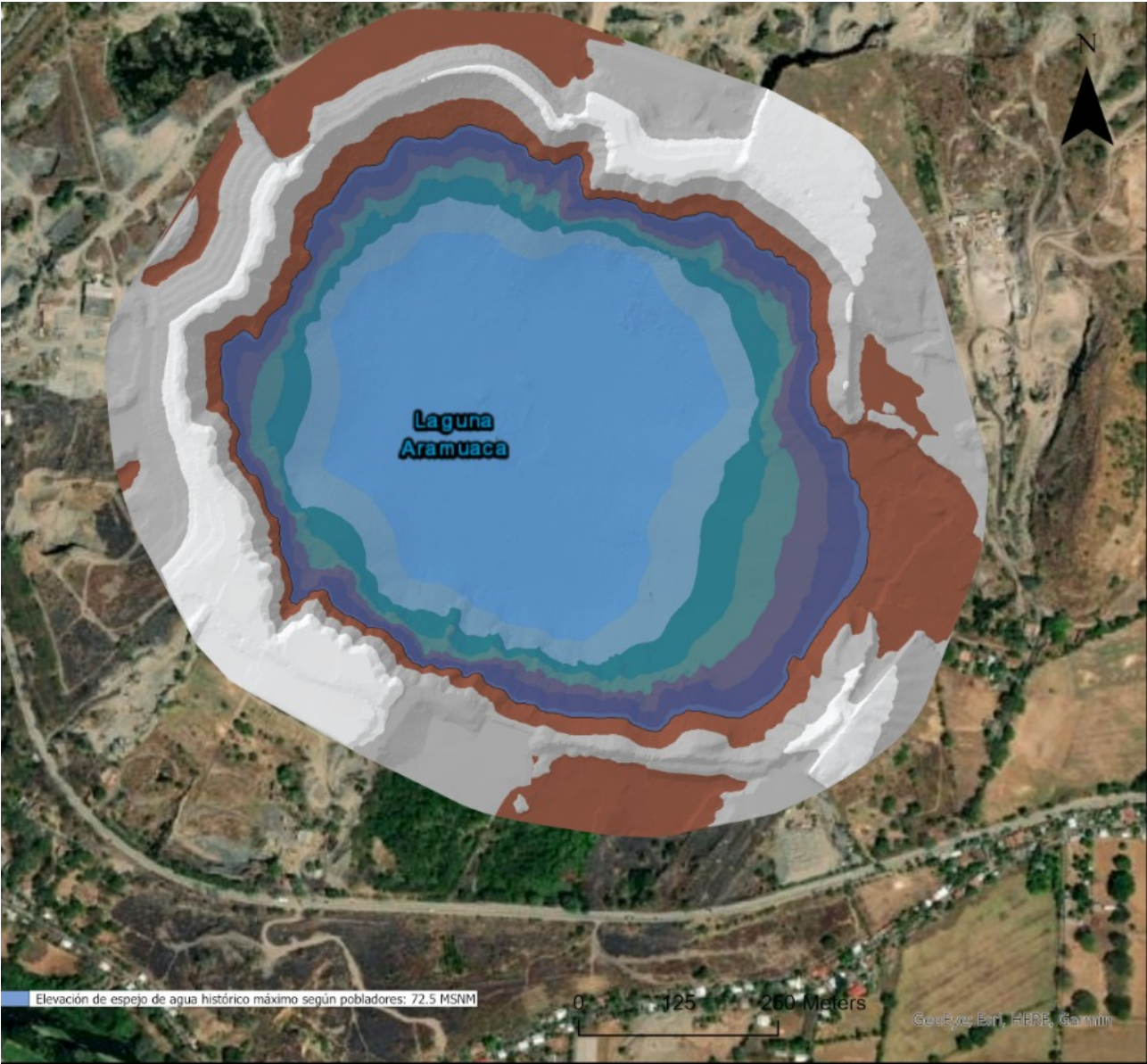


Imagen 84. Mapa de área cubierta por nivel de espejo máximo histórico según pobladores.

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 promedio según medición actual 2021.	71.700	0.4249
Nivel de espejo de agua máximo según dato histórico de pobladores.	72.500	0.4323

Tabla 33. Variaciones en área del espejo hidráulico según el cambio o disminución de su elevación.

ANEXOS.

ANEXO 1. Ficha de mojón geodésico para establecimiento de Red Auxiliar.

ANEXO 2. Ubicación de 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 Aramuaca.

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

ANEXO 7. Memoria de cálculo

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

ELEVACIÓN	ÁREA ENTRE ELEVACIÓN (m ²)	ÁREA ACUMULADA	AREA PROMEDIO	INTERVALO	VOLUMEN INCREMENTAL	VOLUMEN ACUMULADO
(msnm)	(según modelo digital de elevacion C3D)	(km ²)	(m ²)	(m)	(MMC)	(MMC)
75.000	7,070.950	0.4512205	447,685.045	1.0000	0.4476850	32.1160638
74.000	8,037.630	0.4441496	440,130.755	1.0000	0.4401308	31.6683788
73.000	3,762.090	0.4361119	434,230.895	0.5000	0.2171154	31.2282480
72.500	3,742.940	0.4323499	430,478.380	0.5000	0.2152392	31.0111326
72.000	3,728.300	0.4286069	426,742.760	0.3000	0.1280228	30.7958934
71.700	3,724.810	0.4248786	423,016.205	0.7000	0.2961113	30.6678705
71.000	3,713.430	0.4211538	419,297.085	1.0000	0.4192971	30.3717592
70.000	3,691.400	0.4174404	415,594.670	1.0000	0.4155947	29.9524621
69.000	3,675.500	0.4137490	411,911.220	1.0000	0.4119112	29.5368674
68.000	3,694.320	0.4100735	408,226.310	1.0000	0.4082263	29.1249562
67.000	4,378.580	0.4063792	404,189.860	1.0000	0.4041899	28.7167299
66.000	2,765.520	0.4020006	400,617.810	1.0000	0.4006178	28.3125401
65.000	2,697.100	0.3992351	397,886.500	1.0000	0.3978865	27.9119222
64.000	2,557.040	0.3965380	395,259.430	1.0000	0.3952594	27.5140357
63.000	2,459.240	0.3939809	392,751.290	1.0000	0.3927513	27.1187763
62.000	2,361.900	0.3915217	390,340.720	1.0000	0.3903407	26.7260250
61.000	2,302.010	0.3891598	388,008.765	1.0000	0.3880088	26.3356843
60.000	2,276.220	0.3868578	385,719.650	1.0000	0.3857197	25.9476755
59.000	2,263.890	0.3845815	383,449.595	1.0000	0.3834496	25.5619559
58.000	2,250.340	0.3823177	381,192.480	1.0000	0.3811925	25.1785063
57.000	2,221.150	0.3800673	378,956.735	1.0000	0.3789567	24.7973138
56.000	2,177.480	0.3778462	376,757.420	1.0000	0.3767574	24.4183571
55.000	2,131.230	0.3756687	374,603.065	1.0000	0.3746031	24.0415997
54.000	2,103.410	0.3735375	372,485.745	1.0000	0.3724857	23.6669966
53.000	2,074.210	0.3714340	370,396.935	1.0000	0.3703969	23.2945109
52.000	2,084.400	0.3693598	368,317.630	1.0000	0.3683176	22.9241139
51.000	2,063.110	0.3672754	366,243.875	1.0000	0.3662439	22.5557963
50.000	2,071.350	0.3652123	364,176.645	1.0000	0.3641766	22.1895524
49.000	2,093.060	0.3631410	362,094.440	1.0000	0.3620944	21.8253758
48.000	2,098.890	0.3610479	359,998.465	1.0000	0.3599985	21.4632813
47.000	2,091.020	0.3589490	357,903.510	1.0000	0.3579035	21.1032829
46.000	2,083.190	0.3568580	355,816.405	1.0000	0.3558164	20.7453794
45.000	2,063.500	0.3547748	353,743.060	1.0000	0.3537431	20.3895629
44.000	2,087.300	0.3527113	351,667.660	1.0000	0.3516677	20.0358199
43.000	2,091.860	0.3506240	349,578.080	1.0000	0.3495781	19.6841522
42.000	2,089.120	0.3485322	347,487.590	1.0000	0.3474876	19.3345741
41.000	2,060.410	0.3464430	345,412.825	1.0000	0.3454128	18.9870866
40.000	2,092.700	0.3443826	343,336.270	1.0000	0.3433363	18.6416737

ELEVACIÓN	ÁREA ENTRE ELEVACIÓN (m²)	ÁREA ACUMULADA	AREA PROMEDIO	INTERVALO	VOLUMEN INCREMENTAL	VOLUMEN ACUMULADO
(msnmm)	(según modelo digital de elevacion C3D)	(km²)	(m²)	(m)	(MMC)	(MMC)
39.000	2,113.820	0.3422899	341,233.010	1.0000	0.3412330	18.2983375
38.000	2,122.610	0.3401761	339,114.795	1.0000	0.3391148	17.9571045
37.000	2,158.500	0.3380535	336,974.240	1.0000	0.3369742	17.6179897
36.000	2,149.860	0.3358950	334,820.060	1.0000	0.3348201	17.2810154
35.000	2,156.160	0.3337451	332,667.050	1.0000	0.3326671	16.9461954
34.000	2,129.510	0.3315890	330,524.215	1.0000	0.3305242	16.6135283
33.000	2,137.270	0.3294595	328,390.825	1.0000	0.3283908	16.2830041
32.000	2,127.250	0.3273222	326,258.565	1.0000	0.3262586	15.9546133
31.000	2,155.660	0.3251949	324,117.110	1.0000	0.3241171	15.6283547
30.000	2,168.980	0.3230393	321,954.790	1.0000	0.3219548	15.3042376
29.000	2,190.300	0.3208703	319,775.150	1.0000	0.3197752	14.9822828
28.000	2,152.350	0.3186800	317,603.825	1.0000	0.3176038	14.6625077
27.000	2,165.280	0.3165277	315,445.010	1.0000	0.3154450	14.3449038
26.000	2,150.100	0.3143624	313,287.320	1.0000	0.3132873	14.0294588
25.000	2,130.950	0.3122123	311,146.795	1.0000	0.3111468	13.7161715
24.000	2,149.070	0.3100813	309,006.785	1.0000	0.3090068	13.4050247
23.000	2,148.330	0.3079323	306,858.085	1.0000	0.3068581	13.0960179
22.000	2,184.440	0.3057839	304,691.700	1.0000	0.3046917	12.7891598
21.000	2,238.420	0.3035995	302,480.270	1.0000	0.3024803	12.4844681
20.000	2,284.640	0.3013611	300,218.740	1.0000	0.3002187	12.1819879
19.000	2,302.940	0.2990764	297,924.950	1.0000	0.2979250	11.8817691
18.000	2,339.230	0.2967735	295,603.865	1.0000	0.2956039	11.5838442
17.000	2,365.150	0.2944343	293,251.675	1.0000	0.2932517	11.2882403
16.000	2,376.540	0.2920691	290,880.830	1.0000	0.2908808	10.9949886
15.000	2,407.230	0.2896926	288,488.945	1.0000	0.2884889	10.7041078
14.000	2,432.600	0.2872853	286,069.030	1.0000	0.2860690	10.4156189
13.000	2,446.710	0.2848527	283,629.375	1.0000	0.2836294	10.1295498
12.000	2,449.630	0.2824060	281,181.205	1.0000	0.2811812	9.8459205
11.000	2,479.560	0.2799564	278,716.610	1.0000	0.2787166	9.5647392
10.000	2,632.980	0.2774768	276,160.340	1.0000	0.2761603	9.2860226
9.000	2,475.810	0.2748439	273,605.945	1.0000	0.2736059	9.0098623
8.000	2,567.490	0.2723680	271,084.295	1.0000	0.2710843	8.7362564
7.000	2,678.200	0.2698006	268,461.450	1.0000	0.2684615	8.4651721
6.000	2,715.720	0.2671224	265,764.490	1.0000	0.2657645	8.1967106
5.000	2,813.940	0.2644066	262,999.660	1.0000	0.2629997	7.9309461
4.000	2,805.940	0.2615927	260,189.720	1.0000	0.2601897	7.6679465
3.000	2,865.520	0.2587868	257,353.990	1.0000	0.2573540	7.4077567
2.000	2,921.350	0.2559212	254,460.555	1.0000	0.2544606	7.1504027
1.000	3,218.200	0.2529999	251,390.780	1.0000	0.2513908	6.8959422
0.000	3,007.940	0.2497817	248,277.710	1.0000	0.2482777	6.6445514

ELEVACIÓN	ÁREA ENTRE ELEVACIÓN (m ²)	ÁREA ACUMULADA	AREA PROMEDIO	INTERVALO	VOLUMEN INCREMENTAL	VOLUMEN ACUMULADO
(msnmm)	(según modelo digital de elevacion C3D)	(km ²)	(m ²)	(m)	(MMC)	(MMC)
-1.000	2,996.210	0.2467737	245,275.635	1.0000	0.2452756	6.3962737
-2.000	3,127.350	0.2437775	242,213.855	1.0000	0.2422139	6.1509981
-3.000	3,250.280	0.2406502	239,025.040	1.0000	0.2390250	5.9087842
-4.000	3,309.200	0.2373999	235,745.300	1.0000	0.2357453	5.6697592
-5.000	3,259.380	0.2340907	232,461.010	1.0000	0.2324610	5.4340139
-6.000	3,331.240	0.2308313	229,165.700	1.0000	0.2291657	5.2015529
-7.000	3,386.120	0.2275001	225,807.020	1.0000	0.2258070	4.9723872
-8.000	3,452.960	0.2241140	222,387.480	1.0000	0.2223875	4.7465801
-9.000	3,521.310	0.2206610	218,900.345	1.0000	0.2189003	4.5241927
-10.000	3,522.540	0.2171397	215,378.420	1.0000	0.2153784	4.3052923
-11.000	3,546.480	0.2136172	211,843.910	1.0000	0.2118439	4.0899139
-12.000	3,584.740	0.2100707	208,278.300	1.0000	0.2082783	3.8780700
-13.000	3,682.300	0.2064859	204,644.780	1.0000	0.2046448	3.6697917
-14.000	3,767.110	0.2028036	200,920.075	1.0000	0.2009201	3.4651469
-15.000	3,909.600	0.1990365	197,081.720	1.0000	0.1970817	3.2642268
-16.000	4,030.860	0.1951269	193,111.490	1.0000	0.1931115	3.0671451
-17.000	4,071.440	0.1910961	189,060.340	1.0000	0.1890603	2.8740336
-18.000	3,985.210	0.1870246	185,032.015	1.0000	0.1850320	2.6849733
-19.000	3,969.470	0.1830394	181,054.675	1.0000	0.1810547	2.4999413
-20.000	4,031.810	0.1790699	177,054.035	1.0000	0.1770540	2.3188866
-21.000	4,184.110	0.1750381	172,946.075	1.0000	0.1729461	2.1418326
-22.000	4,239.570	0.1708540	168,734.235	1.0000	0.1687342	1.9688865
-23.000	4,357.690	0.1666145	164,435.605	1.0000	0.1644356	1.8001522
-24.000	4,475.390	0.1622568	160,019.065	1.0000	0.1600191	1.6357166
-25.000	4,679.550	0.1577814	155,441.595	1.0000	0.1554416	1.4756976
-26.000	4,894.290	0.1531018	150,654.675	1.0000	0.1506547	1.3202560
-27.000	5,158.550	0.1482075	145,628.255	1.0000	0.1456283	1.1696013
-28.000	5,548.070	0.1430490	140,274.945	1.0000	0.1402749	1.0239731
-29.000	5,904.820	0.1375009	134,548.500	1.0000	0.1345485	0.8836981
-30.000	6,428.000	0.1315961	128,382.090	1.0000	0.1283821	0.7491496
-31.000	6,973.150	0.1251681	121,681.515	1.0000	0.1216815	0.6207675
-32.000	8,260.720	0.1181949	114,064.580	1.0000	0.1140646	0.4990860
-33.000	9,995.660	0.1099342	104,936.390	1.0000	0.1049364	0.3850214
-34.000	12,535.750	0.0999386	93,670.685	1.0000	0.0936707	0.2800850
-35.000	16,705.430	0.0874028	79,050.095	1.0000	0.0790501	0.1864143
-36.000	25,887.410	0.0706974	57,753.675	1.0000	0.0577537	0.1073643
-37.000	17,604.380	0.0448100	36,007.780	1.0000	0.0360078	0.0496106
-38.000	27,205.590	0.0272056	13,602.795	1.0000	0.0136028	0.0136028
-39.000	0.000	0.0000000	0.000	0.0000	0.0000000	0.0000000

Tabla 34. Cálculo de Almacenamiento de agua de la laguna de Aramuaca.

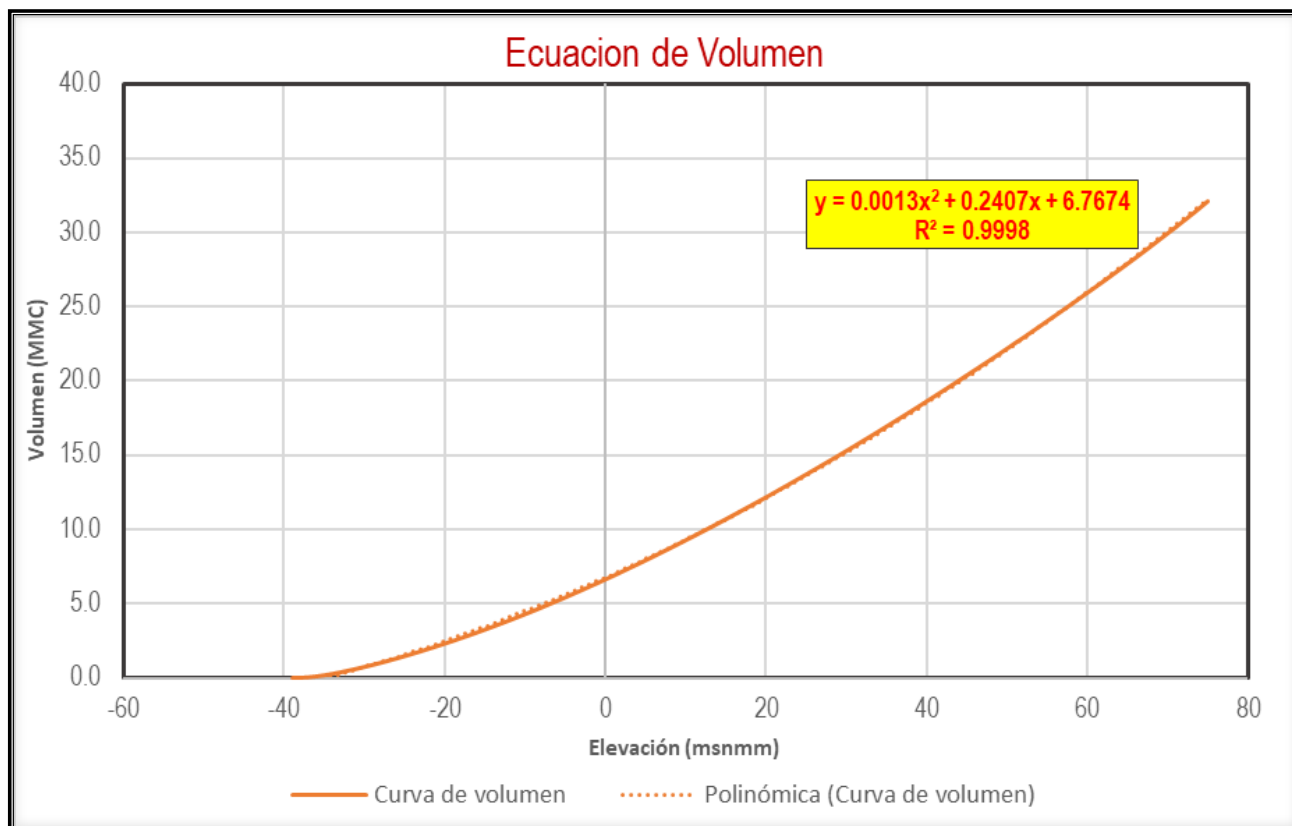


Imagen 85. Grafica de ecuación para cálculo de volumen.



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE