

INFORME 3.

VOLUMEN TECNICO DE INGENIERÍA.

RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PRIMARIA: BATIMETRÍA, TOPOGRAFIA, LIDAR, FOTOGRAMETRIA Y SEDIMENTOS.

SECTOR MOÑITOS

TÍTULO DEL DOCUMENTO:		RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PRIMARIA			
DOCUMENTO No.:		GAT-1074-21-CA-AM-FIN-09			
APROBACIÓN	REVISIÓN NO:	Versión	VA	VB	VC
	V0	Nombre:	Mateo Herrera/ Ingeniero Civil	Mateo Herrera/ Ingeniero Civil	
	ELABORA / CARGO	Fecha:	15/06/2022	16/08/2022	
	V1	Nombre:	Mateo Herrera/ Ingeniero Civil	Mateo Herrera/ Ingeniero Civil	
	ELABORA / CARGO	Fecha:	21/06/2022	16/08/2022	
	V2	Nombre:	Julio Mesa/Director Civil	Julio Mesa/Director Civil	
	REVISAS / CARGO	Fecha:	21/06/2022	16/08/2022	
	V3	Nombre:	Julio Mesa/Director Civil	Julio Mesa/Director Civil	
	APRUEBA / CARGO	Fecha:	21/06/2022	16/08/2022	
	V4	Nombre:	Andrés Restrepo/Director del proyecto	Andrés Restrepo/Director del proyecto	
	AUTORIZA / CARGO	Fecha:	21/06/2022	16/08/2022	

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1	INTRODUCCIÓN..... 6
2	LOCALIZACIÓN 7
3	DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS..... 8
3.1	CONTROL TOPOGRAFICO 9
4	LEVANTAMIENTO BATIMETRICO 13
4.1	Planificación de líneas batimétricas 13
4.2	Equipos y software 14
4.2.1	Ecosonda Monohaz Hrydrotrac II:..... 14
4.2.2	Computadores equipados con el software de captura y procesamiento de información hidrográfica HYPACK. 15
4.2.3	Estación total topcon. 16
4.3	Metodología de levantamiento 16
4.3.1	Levantamiento con tecnología Monohaz..... 16
4.3.2	Levantamiento por Vadeo..... 19
4.3.3	Corrección por mareas 19
5	LEVANTAMIENTO LIDAR Y FOTOGRAMETRICO..... 21
5.1	ETAPA 1: PLANIFICACIÓN..... 21
5.1.1	Diseño del plan de vuelo 21
5.1.2	Equipos utilizados..... 22
5.2	ETAPA 2: APOYO GEODÉSICO PARA VUELOS (ESTACIÓN DE RASTREO GPS). 24
5.3	ETAPA 3: SOBREVUELOS 25
5.3.1	Toma de fotografías aéreas y adquisición de datos LIDAR 25
5.4	ETAPA 4: EVALUACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y DE LOS DATOS LIDAR 25
5.4.1	Evaluación de las fotografías aéreas 25
5.5	PROCESAMIENTO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y DATOS LIDAR 27
5.5.1	Aerotriangulación y corrección ortogonal 27
5.5.2	Clasificación automática de datos LIDAR. 29
6	RESULTADOS BATIMETRIA, TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y LIDAR..... 31

6.1	INTEGRACIÓN DE NUBE DE PUNTOS	31
6.2	MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM).	32
6.3	MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM).	33
6.4	CURVAS DE NIVEL	34
6.5	ORTOFOTOGRAFÍA.....	35
7	SEDIMENTOS.....	36
7.1	MUESTREO SEDIMENTOS A 2 METROS DE PROFUNDIDAD.....	39

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1 Parámetros geodésicos de los levantamientos topográficos, batimétricos y LIDAR. 9	9
Tabla 3.2 Coordenadas de puntos de amarre.	9
Tabla 3.3 Coordenadas finales de los puntos de control.	10
Tabla 4.1 Parametros de referencia planimetrica.	17
Tabla 5.1 Descripciones y cantidades de equipos utilizados.....	23
Tabla 7.1 Resultado de D50 para muestras de sedimento en Moñitos.....	37

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Localización general del proyecto. Sectores de estudio priorizados en el Golfo de Morrosquillo y departamento de Córdoba.	7
Figura 2.1 Sector priorizado: Moñitos (frente al casco urbano),.....	8
Figura 3.1 Ubicación de los puntos de control.....	12
Figura 4.1: Planificación de líneas batimétricas, sector Moñitos.	13
Figura 4.2 Ecosonda Hydrotrac II.....	14

Figura 4.3	Estación Total Topcon GTS-240NW.....	16
Figura 4.4	Edición de líneas batimétricas.....	18
Figura 4.5	Corrección por mareas.....	20
Figura 4.6	Ajuste entre Monohaz, Vadeo y Lidar.....	20
Figura 5.1	Plan de vuelo GSD 10cm de Pixel.....	22
Figura 5.2	Fotografías aéreas para Sector de Moñitos.....	26
Figura 5.3	Nube de Puntos LIDAR,Sector Moñitos.....	27
Figura 5.4	Descripción general del vuelo.....	28
Figura 5.5	Parametrización del terreno en rutinas automáticas de clasificación LIDAR...	29
Figura 6.1	Integración nube de puntos LIDAR, batimetría monohaz y vadeo	31
Figura 6.2	Integración nube de puntos LIDAR, batimetría monohazy batimetría por vadeo.	32
Figura 6.3	DTM con resolución de 1m x 1m, Sector Moñitos.....	33
Figura 6.4	DSM con resolución de 1m x 1m, Sector Moñitos	34
Figura 6.5	Curvas de nivel con resolución de 0.1m x 0.1m, Sector Moñitos	35
Figura 6.6	Ortofotografía Sector Moñitos.....	36
Figura 7.1	Ubicación de puntos para muestreo de sedimento en el sector de Moñitos....	37
Figura 7.2	Ubicación de toma de muestras a 2 metros de profundidad vs en zona de Swash	41

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

		Página
Fotografía 4.1	computadora con software HYPACK.....	15
Fotografía 4.2	Metodología de levantamiento por vadeo.....	19
Fotografía 5.1	Aeronave Cessna U-206-G, identificada con matrícula HK2899.....	24
Fotografía 5.2	Lidar RIEGL LMS-Q 560 Y Cámara Vexcel Ultracam LP, instalada sobre la base giroestabilizada UltraMount GSG 3000.....	24
Fotografía 7.1	Acopio y transporte de muestras.....	39
Fotografía 7.2	Toma de muestra en zona de Swash a la izquierda y a un metro de profundidad a la derecha.....	39

LISTA DE ANEXOS

1. ORTOFOTO.
2. REGISTRO FOTOGRAFICO.
3. NUBE DE PUNTOS LIDAR
4. MODELO DIGITAL DEL TERRENO.
5. MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE.
6. CURVAS DE NIVEL.
7. PLANOS.
8. DATOS BATIMETRÍA.
9. FOTOCONTROL.
10. PUNTOS MUESTREO.
11. CARPETAS DE CAMPO.

1 INTRODUCCIÓN

La información batimétrica y topográfica además de representar detalladamente del terreno, en conjunto con datos oceanográficos como dirección, periodo y altura de ola y con la ayuda de softwares de modelado costero, es necesaria para caracterizar de manera precisa las dinámicas costeras y como éstas se ven afectadas por cambios en la naturaleza misma o por acción antrópica.

El presente informe presenta las actividades realizadas y los resultados obtenidos en desarrollo de las actividades de obtención de datos de batimetría, topografía, imágenes Lidar, fotogrametría y toma de muestras de sedimento para el Proyecto Prevención y Mitigación de Erosión Costera en el Golfo de Morrosquillo. Los trabajos de campo de batimetría se realizaron según las necesidades del estudio, así como los requerimientos determinados por los especialistas que hacen parte del equipo de trabajo y cumpliendo con las normas establecidas para los levantamientos hidrográficos consignados en el manual S-44 la OHI (Organización Hidrográfica Internacional).

Los levantamientos fueron realizados en el área de influencia de estudio, la cual cubre diez sectores priorizados en los municipios de San Onofre, Santiago de Tolú, y Coveñas en el departamento de Sucre y San Antero, San Bernardo del Viento y Moñitos en el departamento de Córdoba como se muestra en la Figura 1.1, En este informe se describe los trabajos realizados en el sector priorizado 9, en el municipio de Moñitos, específicamente el frente al casco urbano.



Figura 1.1 Localización general del proyecto. Sectores de estudio priorizados en el Golfo de Morrosquillo y departamento de Córdoba.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

2 LOCALIZACIÓN

El noveno sector priorizado del proyecto se ubica en el municipio de Moñitos frente al casco urbano, como se muestra a continuación: (ver Figura 2.1).

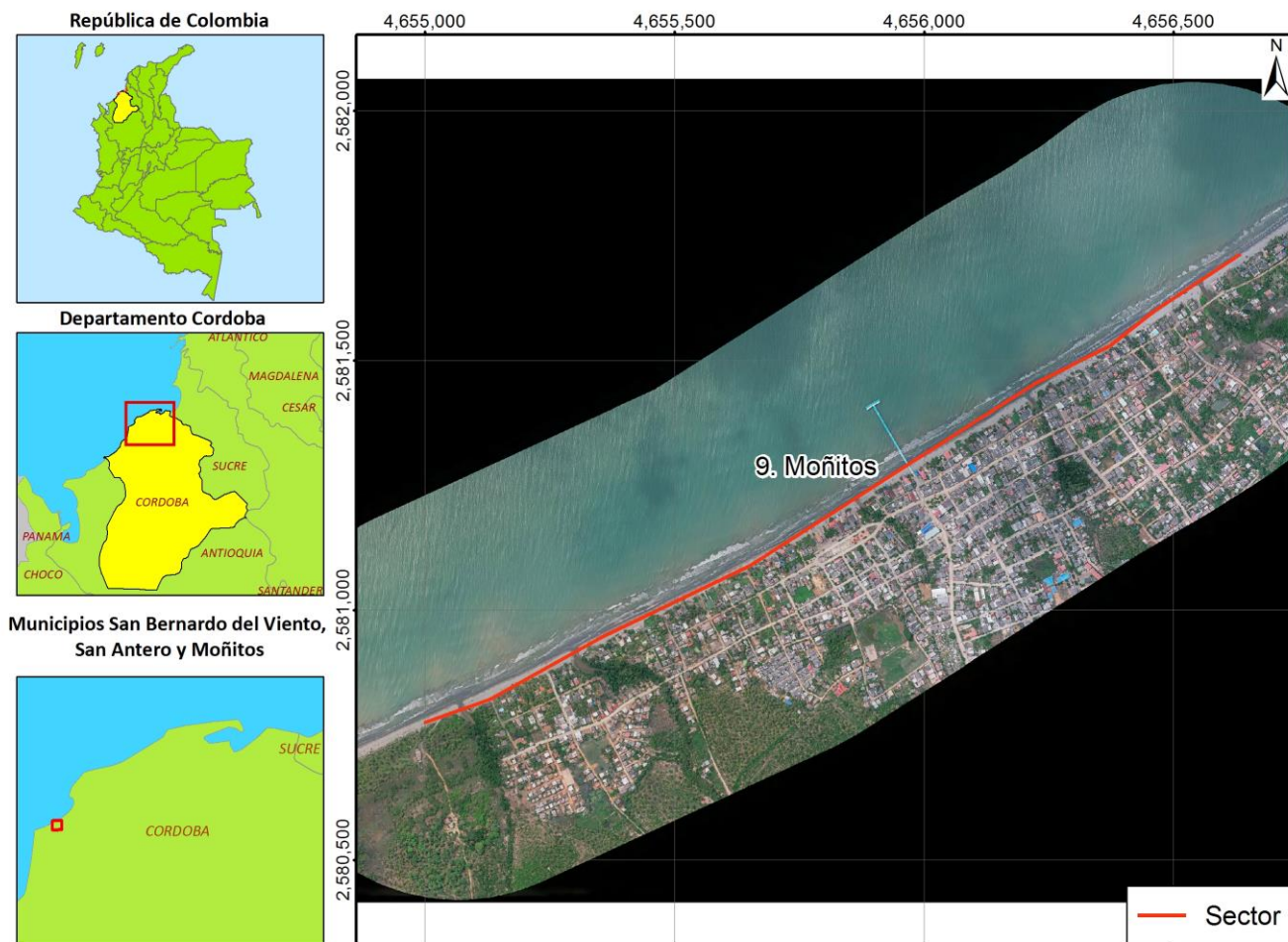


Figura 2.1 Sector priorizado: Moñitos (frente al casco urbano),

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

3 DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

El levantamiento batimétrico se realizó entre el 02 y el 18 de junio de 2022 desde la línea de costa hasta una distancia de 200 m, realizándose líneas con ecosonda monohaz cada 25 m, empezando desde una profundidad mínima de 0,5 m en bajamar y hasta una profundidad de aproximadamente 10 m, para profundidades menores y cauces de arroyos, se trabajó con la metodología de vadeo la cual se describe más adelante. En cuanto al levantamiento topográfico se levantaron secciones transversales con un espaciamiento de 25 metros las cuales coinciden con las líneas de la batimetría y llegando hasta la isobata 0.5 m.

Para la toma de datos LIDAR y fotogrametría se realizó un sobrevuelo con la metodología de vuelo combinado, fotografías aéreas y adquisición de Datos LIDAR a la vez, metodología que se describirá a detalle en siguientes apartados.

Para el muestreo de sedimentos, el cual se realizó entre el 17 al 24 de mayo, se tomaron puntos cada 200 metros según la línea de costa en cada sector, y en cada punto, se tomaron dos muestras de arena, una seca en la zona de swash y una húmeda a un metro de profundidad.

CONTROL TOPOGRAFICO

A continuación se presentan los parámetros geodésicos del sistema de referencia usados para los levantamientos:

Tabla 3.1 Parámetros geodésicos de los levantamientos topográficos, batimétricos y LIDAR.

Sistema de Coordenadas	MAGNA-SIRGAS / Origen-Nacional
Origen	Origen Único Nacional
Semieje mayor	6378137.0
Proyección	Transverse_Mercator
Achatamiento	1/298.26
Elipsoide	World Geodetic System 1984
Datum	WGS-84
Meridiano central	-73.0
Latitud de origen	4.0
Factor de escala	0.9992
Falso este	5000000.0
Falso norte	2000000.0

Fuente: Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

Para determinar las coordenadas de las bases (BASE-COVENAS, BASE_HOTEL, BASE_TOLU), se tomaron los siguientes puntos de arranque, IGAC A29-BE-1_CDO, IGAC_2A_BL_7, IGAC_A47-TE-1_CDO, los cuales fueron sometidos al cálculo de velocidades con el software Magna Sirgas, cuyos resultados son las siguientes coordenadas:

Tabla 3.2 Coordenadas de puntos de amarre.

Nombre del punto	Norte (m)	Este (m)	Altura Ortometrica
IGAC A29-BE-1_CDO	2583269,118	4689954,521	65
IGAC_2A_BL_7	2597863,473	4706356,931	4

IGAC_A47-TE-1_CDO	2541279,953	4631421,246	9
-------------------	-------------	-------------	---

Fuente: Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

El trabajo de campo se realizó entre el 24 de mayo al 11 de junio de 2022, se realizaron 33 lecturas GPS, que se distribuyeron de la siguiente manera:

- Puntos de amarre IGAC A29-BE-1_CDO, IGAC_2A_BL_7 y IGAC_A47-TE-1_CDO.
- Puntos como la Base del proyecto, nombradas BASE_COVEÑAS_VUELO, BASE_HOTEL y BASE_TOLU
- 27 puntos de fotocontrol ubicados sobre el polígono del proyecto.

Tabla 3.3 Coordenadas finales de los puntos de control.

FOTOCONTROL_MORROSQUILLO_2018,0				
Nombre	COORDENADAS GEOGRAFICAS		COORDENADAS PLANAS CTM12	
	WGS84 Latitud	WGS84 Longitud	Norte (m)	Este (m)
BASE_COVEÑAS_VUELO	9°24'42,412"	75°39'37,77336"	2599120,771	4707929,7
BASE_HOTEL	9°24'4,59842"	75°40'29,321"	2597970,721	4706347,817
BASE_TOLU	9°31'49,20338"	75°34'57,6236"	2612171,452	4716575,695
FTC_01_MQ_CHQ	9°11'7,06875"	76°10'38,58226"	2574527,734	4650909,282
FTC_02_MQ_CHQ	9°17'36,51656"	76°6'26,50594"	2586432,502	4658713,974
FTC_19_MQ	9°11'20,60554"	76°10'29,86257"	2574941,542	4651179,342
FTC_20_MQ	9°14'37,01467"	76°7'51,27227"	2580936,981	4656076,796
FTC_21_MQ	9°17'44,19056"	76°6'24,08064"	2586667,764	4658790,104
FTC_22_MQ	9°19'30,04186"	76°5'21,66102"	2589905,095	4660724,616
FTC_23_MQ	9°24'8,8171"	75°46'2,40505"	2598179,291	4696183,827
FTC_24_MQ	9°26'44,94426"	75°37'13,36804"	2602852,881	4712364,462
FTC_25_MQ	9°35'6,00587"	75°34'16,38595"	2618209,51	4717878,661
GPS_01_MQ	9°11'9,74109"	76°10'38,91127"	2574609,98	4650899,959
GPS_02_MQ	9°11'24,74854"	76°10'30,0494"	2575068,963	4651174,763
GPS_03_MQ	9°14'34,66282"	76°8'18,56843"	2580872,014	4655242,469
GPS_04_MQ	9°14'54,05444"	76°7'42,9897"	2581458,599	4656334,364
GPS_05_MQ	9°17'41,65372"	76°6'34,13486"	2586592,47	4658482,393
GPS_06_MQ	9°17'37,08035"	76°6'26,64944"	2586449,872	4658709,744
GPS_07_MQ_BASE_VUELO	9°19'31,17199"	76°5'23,75024"	2589940,395	4660661,127
GPS_08_MQ_BASE	9°20'5,07065"	76°5'7,09942"	2590978,033	4661178,649
GPS_09_MQ	9°24'5,50191"	75°46'30,03581"	2598084,073	4695339,757
GPS_10_MQ	9°24'22,27714"	75°45'29,80822"	2598585,11	4697181,899
GPS_11_MQ	9°24'27,4771"	75°40'2,72363"	2598667,608	4707164,832

FOTOCONTROL_MORROSQUILLO_2018,0				
Nombre	COORDENADAS GEOGRAFICAS		COORDENADAS PLANAS CTM12	
	WGS84 Latitud	WGS84 Longitud	Norte (m)	Este (m)
GPS_12_MQ	9°25'22,1812"	75°38'27,96564"	2600326,745	4710069,125
GPS_13_MQ	9°25'9,80768"	75°39'3,54607"	2599954,721	4708980,536
GPS_14_MQ	9°24'42,41108"	75°39'37,77376"	2599120,743	4707929,688
GPS_15_MQ	9°33'57,81347"	75°34'22,51561"	2616115,458	4717676,055
GPS_16_MQ	9°36'27,70814"	75°34'17,12753"	2620720,266	4717874,841
GPS_17_MQ	9°41'42,42633"	75°36'53,48406"	2630427,465	4713180,564
GPS_18_MQ	9°41'47,52807"	75°37'2,54955"	2630586,366	4712905,372
IGAC A29-BE-1 _CDO	9°16'2,09834"	75°49'22,59331"	2583269,118	4689954,521
IGAC_2A_BL_7	9°24'1,11096"	75°40'28,99554"	2597863,473	4706356,931
IGAC_A47-TE-1 _CDO	8°53'0,10564"	76°21'6,40382"	2541279,953	4631421,246

Fuente: Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022



Figura 3.1 Ubicación de los puntos de control.

Fuente: Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

En el presente proyecto, para la obtención de datos batimétricos se combinaron dos métodos de captura de información dependiendo de las condiciones y morfología del terreno, levantamiento con tecnología monohaz y levantamiento por vadeo para profundidades bajas como zonas aledañas a la playa y en los tramos de los ríos. Este proceso de levantamientos batimétricos se llevó a cabo desde el 2 al 19 de junio de 2022. A continuación, se describen las metodologías utilizados para la captura de datos.

4 LEVANTAMIENTO BATIMETRICO

PLANIFICACIÓN DE LÍNEAS BATIMÉTRICAS

Dada la delimitación del área de estudio y apoyándose en imágenes satelitales, se realizó una planificación inicial de las líneas batimétricas, teniendo presente las condiciones geométricas proporcionadas en cada sector de la playa, para este estudio se planifico realizar líneas batimétricas de detalle cada 25 m, empezando desde una profundidad mínima de 0,5 m en bajamar y con una longitud de 200 metros medida desde la línea de costa, y líneas batimétricas generales separadas 100 metros y hasta una profundidad de aproximadamente 10 m.



Figura 4.1: Planificación de líneas batimétricas, sector Moñitos.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

EQUIPOS Y SOFTWARE

Para la realización de los levantamientos batimétricos, se empleó la tecnología Monohaz con los siguientes equipos:

4.1.1 Ecosonda Monohaz Hydrotrac II:

Es un equipo “Todo en uno” Transreceptor/Digitalizador/Registrador. La Unidad es una caja metálica con asa de transporte tipo maleta completamente portátil, es hermética a prueba de agua, puede operar totalmente sumergida (con la cubierta colocada). Aunque es simple y fácil de operar, utiliza circuitos análogos y digitales de alta tecnología, probada tecnología de presentación, eficiente y poderosa técnica de impresión. Dos procesadores de 16 BIT comparten las tareas de la unidad en tiempo real y hacen del liviano sistema, un instrumento extremadamente capaz y fácilmente interconectado. En las imágenes que se muestran a continuación se indican su aspecto constructivo y la conexión básica para su operación respectivamente.



Figura 4.2 Ecosonda Hydrotrac II

La Hydrotrac funciona en una sola frecuencia, pero ofrece la posibilidad de seleccionar una de las siguientes cuatro frecuencias mediante el cambio de tarjetas y transducer: 33 Khz, 40 Khz, 200 Khz y 210 Khz. (Estándar 210 Khz actualmente instalada en las ecosondas monohaz de

Batimetría S.A.S.). En una frecuencia de 200 Khz ofrece una precisión de 0.01 Mts. (+-) 0.1 % de la profundidad.

4.1.2 Computadores equipados con el software de captura y procesamiento de información hidrográfica HYPACK.

Hypack 2022 es el software utilizado comúnmente para la recolección de datos de levantamientos batimétricos el cual integra los datos de los sondeos enviados por la ecosonda y los datos de posición enviados por el receptor GNSS. Este proceso lo logra asociando los datos obtenidos por ambas partes con su tiempo de captura (marca de tiempo). Este programa involucrado en los levantamientos batimétricos permite realizar las siguientes tareas:

- Planificación de la campaña hidrográfica (Plan de navegación que incluye rumbo y trayectoria de líneas batimétricas).
- Sincronización y calibración de los equipos.
- Adquisición de datos batimétricos (monohaz y multihaz) geo-referenciados.
- Procesamiento de datos batimétricos.
- Edición y presentación de resultados.



Fotografía 4.1 computadora con software HYPACK.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

4.1.3 Estación total topcon.

El equipo topográfico estación total topcon de la Serie GTS-240NW de 5 segundos mide hasta 3,500m con un prisma que proporciona rendimiento y confiabilidad inigualables respaldados por las tecnologías de Topcon. Su protección IP66 contra el polvo y el agua, resolución de 2,5s. del telescopio. La Serie GTS-240NW de estaciones totales ofrece todas las funciones necesarias para las tareas diarias que incluyen la conectividad inalámbrica Bluetooth®, la guía de puntos que acelera las tareas de disposición, la plomada láser para una configuración rápida del instrumento y muchas otras funciones.



Figura 4.3 Estación Total Topcon GTS-240NW.

METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO

4.1.4 Levantamiento con tecnología Monohaz

La navegación y el posicionamiento para la localización georreferenciada de todos los datos está basado en una unidad de posicionamiento GPS Diferencial (Elipsoide WGS-84) y un paquete digital (PDS2000) adecuado para realizar la correcta adquisición de los datos.

Con la forma irregular del cauce, el cual consta de zonas profundas contiguas a zonas de poca profundidad se encontraron zonas con poca velocidad y otras de velocidades considerables, lo

cual impidió la realización de líneas rectas siguiendo el perfil planeado inicialmente, al igual que la presencia de obstáculos como rocas e islas que hacen necesario el cambio de rumbo del perfil.

Para cada uno de los perfiles se generó un archivo RAW en el momento de la captura, incluyendo perfiles longitudinales y transversales. De la misma manera se genera un archivo LOG el cual funciona como catálogo de todas las líneas tomadas o archivos RAW.

En cuanto al sistema de referencia Planimétrica, todas las mediciones realizadas son capturadas en coordenadas del Sistema GPS y están referenciadas al Datum World Geodetic System 1984 (WGS-84), con los siguientes parámetros.

Tabla 4.1 Parámetros de referencia planimétrica.

Elipsoide	World Geodetic System 1984
Datum	WGS-84
Achatamiento	1/298.26
Excentricidad	0.00669438

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

Para el datum vertical todas las sondas son reducidas al datum vertical de la red geodésica del proyecto la cual está ajustada en cota a los puntos certificados IGAC A29-BE-1_CDO, IGAC_2A_BL_7 y IGAC_A47-TE-1_CDO, mencionados en la Tabla 3.2.

Una vez tomada toda la información de campo se procedió a realizar el procesamiento de los datos utilizando el Software Hypack. El procesamiento consiste en la interpolación de sondeos y eliminación de datos errados que generan ruido, permitiendo que la información sea certera y representativa de la realidad en el sector de Moñitos

Los puntos de cada perfil que presentan alteraciones y que generan ruido en la batimetría son eliminados o suavizados buscando que la representación del terreno sea lo más fiel posible a lo existente en campo. Posterior a la edición de puntos ruido y al suavizado de spikes, se obtiene un perfil como el observado en la siguiente figura. Este proceso se debe repetir con todos los sondeos recolectados.

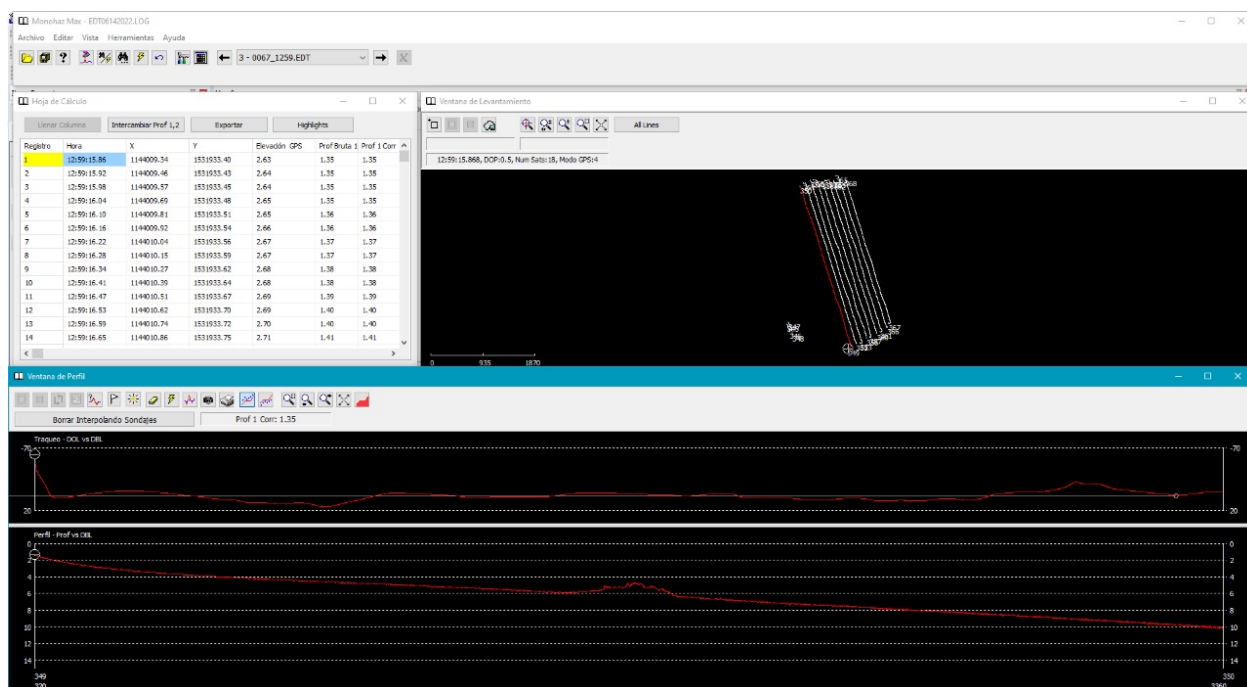


Figura 4.4 Edición de líneas batimétricas.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

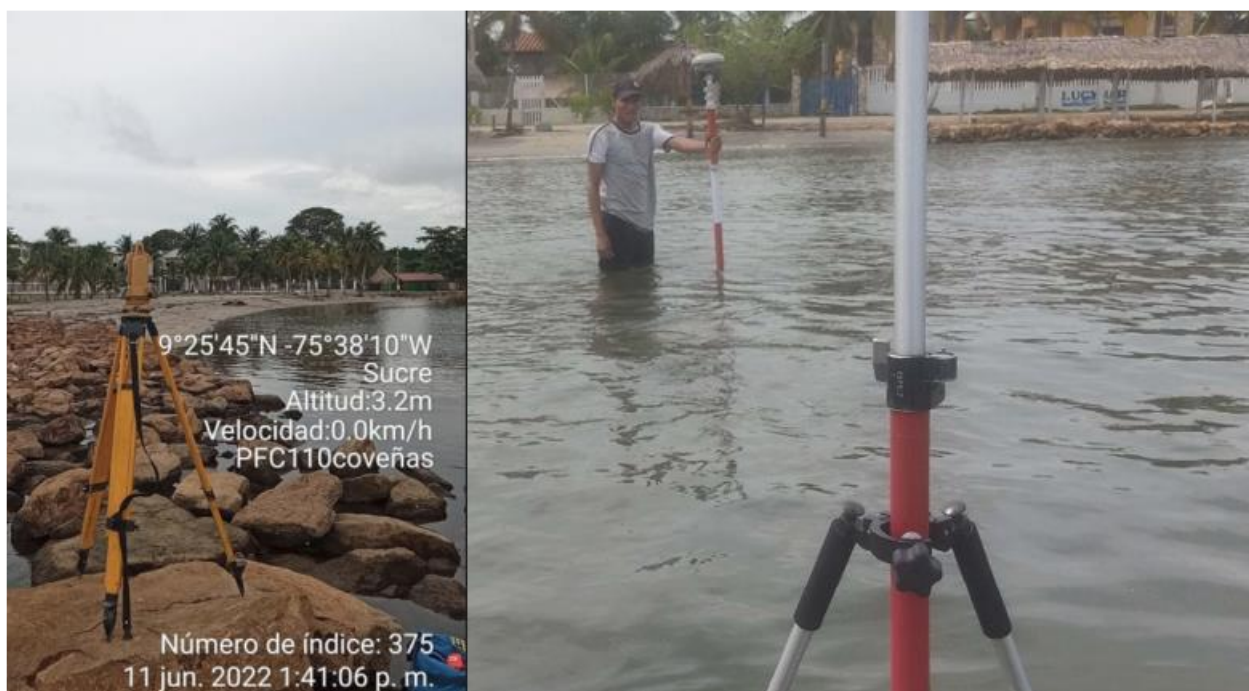
Una vez se tienen todos los filtros aplicados a los datos RAW, se deben grabar las ediciones como datos EDT. Hypack crea un archivo EDT para cada archivo RAW del proyecto. Luego de tener la totalidad de los registros editados se exporta la batimetría procesada en el formato requerido. Para lograr un empalme adecuado con los datos de topografía, se exporta una nube de puntos en formato XYZ.

Estos datos EDT son el insumo necesario para hacer la exportación de la batimetría procesada al formato requerido. Para este caso específico se exportó una nube de puntos XYZ donde el valor Z corresponde a los sondeos. La nube obtenida, se debe reducir a la cota elipsoidal de cada punto, proceso que se logra con la ayuda de los ficheros Spreadsheet de cada archivo RAW. Los ficheros Spreadsheet contienen información como el sondeo en metros, altura de la antena, hora de captura, coordenada X y coordenada Y.

La altura de la antena registrada corresponde a aquella en la cual se encontraba el receptor GNSS que operó como Rover. Para realizar la reducción de esta altura hasta la del sondeo se debe restar la altura medida desde el receptor hasta donde se encuentra el transductor de la ecosonda y el sondeo procesado. Esta operación se realiza para cada sondeo, obteniendo así la altura real de los puntos batimétricos.

4.1.5 Levantamiento por Vadeo

Para llevar a cabo el levantamiento batimétrico por vadeo, se realizaron poligonales abiertas, las cuales tuvieron como punto de arranque y de finalización los mojones de la red geodésica del proyecto, la cual fue calculada y validada previamente con el levantamiento LIDAR y el fotogramétrico. La metodología de vadeo se usó en las zonas aledañas a la playa y en los tramos de los ríos.



Fotografía 4.2 Metodología de levantamiento por vadeo.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

4.1.6 Corrección por mareas

La corrección por fluctuación del área de estudio se generó a partir de la tabla de niveles tomada durante los días del levantamiento en un elemento referente ubicado en la capitanía de puerto. Este ajuste fue realizado de acuerdo con los niveles registrados de la lámina de agua en el sector de Moñitos durante los días exactos en que se realizaron los levantamientos batimétricos. Este proceso se lleva a cabo con el fin de darle concordancia a la información en profundidad. Con el fin de hacer un chequeo de la integración de los datos tomados con la estación total y con el sensor LiDAR se realizan perfiles a lo largo de los sectores comprendidos en el presente proyecto y se observa que los datos ajustados tienen coherencia con los demás

sistemas de captura. En la siguiente imagen se observa el extracto de la variación de niveles para el sector de Moñitos durante el tiempo en el cual se realizaron las batimetrías monohaz.

Fecha:	6/06/2022
Hora	Fluctuación (m)
7am	-0.099
8am	-0.103
9am	-0.124
10am	-0.137
11am	-0.150
12m	-0.136

Fecha:	8/06/2022
Hora	Fluctuación (m)
7am	-0.202
8am	-0.248
9am	-0.314
10am	-0.322
11am	-0.323
1pm	-0.075
2pm	-0.052
3pm	-0.036

Fecha:	9/06/2022
Hora	Fluctuación (m)
7am	-0.142
8am	-0.146
9am	-0.153
10am	-0.169
11am	-0.267



Figura 4.5 Corrección por mareas.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

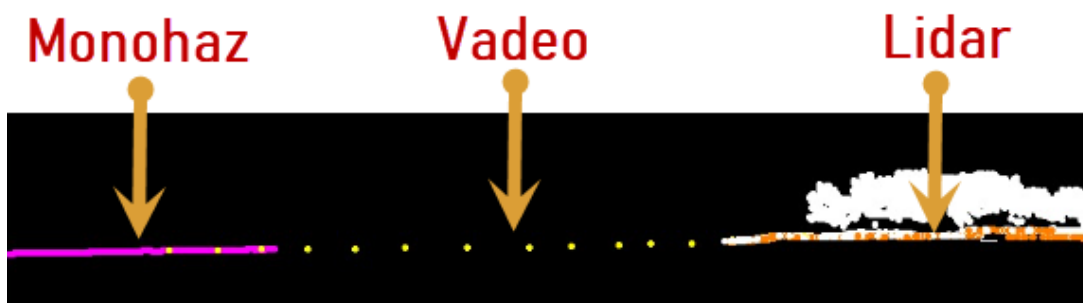


Figura 4.6 Ajuste entre Monohaz, Vadeo y Lidar

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

A partir de los datos del nivel del mar se realiza la reducción de los niveles de batimetría a MLWS (Mean Low Water Spring).

5 LEVANTAMIENTO LIDAR Y FOTOGRAMETRICO.

Los procesos involucrados en los estudios de fotografía aérea y adquisición de datos LiDAR, para los productos contratados se dividen en 4 etapas:

- Etapa 1: La planificación (Solicitud permisos de Vuelo y Diseño de planes de vuelo).
- Etapa 2: Apoyo Geodésico para vuelos, Base GPS en tierra a menos de 30km.
- Etapa 3: Sobrevuelos (Toma de Fotografías aéreas y Adquisición de Datos LiDAR).
- Etapa 4: Evaluación de las (Fotografías aéreas y Datos LiDAR).

A continuación, se describen las etapas y procesos de cómo se desarrolló cronológicamente los vuelos del proyecto.

ETAPA 1: PLANIFICACIÓN

5.1.1 Diseño del plan de vuelo

Para la toma de fotografías y la adquisición de datos LIDAR se realizó un sobrevuelo, con la metodología de vuelo combinado, fotografías aéreas y adquisición de Datos LIDAR a la vez, con el siguiente plan de vuelo:

Se diseñó un plan de vuelo combinado con un traslapo lateral del 57%, un traslapo longitudinal del 80% y una altura de 1650m sobre el terreno (promediado con la altura de cada faja), garantizando el GSD (Ground Sample Distance o distancia de muestreo del suelo) de 10 cm de pixel en las fotografías y la densidad de 11 puntos por m².

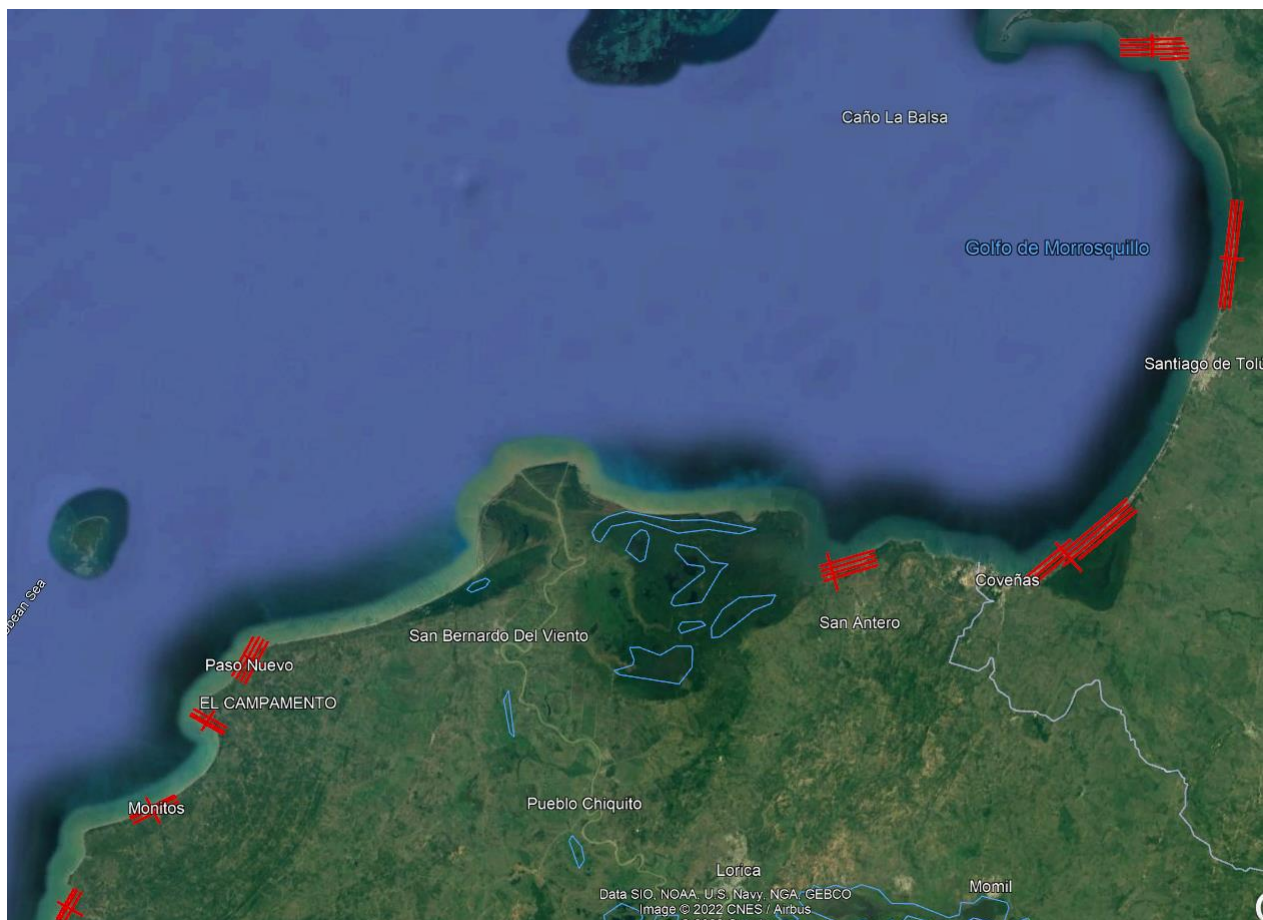


Figura 5.1 Plan de vuelo GSD 10cm de Pixel.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

5.1.2 Equipos utilizados

Para los sobrevuelos se dispuso de recursos físicos tales como: una aeronave Cessna U-206-G identificada con la matrícula HK 2899, un sistema LIDAR marca Reigl modelo LMS-Q 560, un IMU (Inertial measurement unit) modelo 410 Applanix, una cámara métrica digital marca Vexcel modelo Ultracam Lp de 92 megapíxeles, instalada sobre la base UltraMount GSM3000 giroestabilizada y de equipos de navegación Tracker y Postrack apoyados en GPS para las tomas aerofotográficas y LIDAR.

Para la realización del fotocontrol y el posicionamiento de la estación de rastreo, se utilizaron receptores tipo geodésicos (GPS), marca GNSS Trimble R8, Trimble R2 y Hemisphere, acompañados de trípodes y bastones.

Para el procesamiento de los datos (aéreos y terrestres) se utilizaron dos estaciones digitales marca Dell Precision, con 12 y 96 gigas en RAM, 4 discos duros de 4 TB y tarjeta de video marca Nvidia de 2 gigas. Asimismo, se contó con cuatro estaciones de trabajo, marca Dell Precision Workstation, 8 gb de memoria ddr3 a 1600mhz, disco duro sata de 1tb 7200 rpm de 3.5" 1. Los softwares implementados son: para la planificación del plan de vuelo se utiliza TRACKER, para el procesamiento de las fotografías aéreas Ultramap, para el procesamiento de los datos LiDAR Ri-analyze y Terrasolid, la triangulación, ortorectificación y generación de la Ortofotografía ortorectificada y georeferenciada con INPHO.

Tabla 5.1 Descripciones y cantidades de equipos utilizados

PROCESO	CANTIDAD	EQUIPO
Sobrevuelos	1	Aeronave Cessna U-206 G, HK 2899.
Toma de fotografías aéreas	1	Cámara Vexcel Ultracam Lp, 92 Megapíxeles.
Toma de fotografías aéreas	1	Base Giroestabilizada Vexcel UltraMount 3000.
Medición Inercial	1	IMU 410 Applanix.
Adquisición Datos LiDAR	1	LiDAR Reigl modelo LMS-Q 560
Aeronavegación	2	Tracker y Postrack.
GPS Aerotransportado	1	Antena Novatel A72 GOLA-TW.
Topografía	3	GPS Trimble R8, Trimble R2 y Hemisphere +
Apoyo geodésico	3	Trípodes y Bastones.
Transporte terrestre	1	Vehículo
Software	12	Tracker, PosTrack, Ri-analyze, Terrasolid, Inpho, TopconTools, Autocad Map, Arc Gis, Microstation, Global Mapper, Carlson,

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022



Fotografía 5.1 Aeronave Cessna U-206-G, identificada con matrícula HK2899.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022



Fotografía 5.2 Lidar RIEGL LMS-Q 560 Y Cámara Vexcel Ultracam LP, instalada sobre la base giroestabilizada UltraMount GSG 3000

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

ETAPA 2: APOYO GEODÉSICO PARA VUELOS (ESTACIÓN DE RASTREO GPS).

Previo al inicio de los sobrevuelos, se ubicó una estación de rastreo en tierra llamada “GPS_07_MQ_BASE_VUELO”, ubicada en el sector de playa bonita, municipio de Pueblo Nuevo, Córdoba y otra estación en Coveñas, las cuales fueron amarrada al punto certificado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC_A29-BE-1-CDO. Las bases se posicionaron a una distancia inferior a 30 kilómetros del proyecto y fueron encendidas durante la totalidad del vuelo.

La trayectoria de la aeronave, los datos LIDAR y las fotografías aéreas fueron calculados a partir de las coordenadas de ésta, dando como resultado coordenadas X, Y, Z de alta precisión.

ETAPA 3: SOBREVUELOS

5.1.3 Toma de fotografías aéreas y adquisición de datos LIDAR

Se realizó la toma de fotografías aéreas y adquisición de datos LIDAR entre el 3 al 5 de junio de 2022 y saliendo de los aeropuertos de Montería y Cartagena. El procedimiento a seguir con los sobrevuelos fue:

- Se ubicó la base GPS en un área cercana al proyecto para comenzar la adquisición de datos, con distancias no superiores a 30 km, amarradas a la red geodésica nacional.
- El vuelo se realizó a una altura, dentro de un rango de 1650m a 1994m sobre el terreno.
- Se realizó la toma de datos teniendo en cuenta el plan de vuelo Diseñado.
- Después del vuelo se procesaron las bases GPS en tierra y el GPS del avión, que contienen la trayectoria y los datos IMU (unidad de medida inercial).
- Se realizó una pre-evaluación de los datos LiDAR, en la cual se verifica la cobertura y la densidad de puntos adquirida con los archivos livianos.
- Se realizó una pre-evaluación de las fotografías aéreas en el mismo vuelo antes de apagar la cámara.

ETAPA 4: EVALUACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y DE LOS DATOS LIDAR

5.1.4 Evaluación de las fotografías aéreas

Una vez realizada la toma de las fotografías, en oficina se procedió con el revelado digital, en el software Ultramap, cumpliendo con las características técnicas señaladas por el fabricante, tales como la calidad, la resolución, la integridad de los archivos y la numeración de éstos.

En este proceso se hace visible la imagen en un formato final (no raw), en el cual se verifica la cantidad de las fotografías aéreas, en relación con el informe de vuelo reportado por el navegante, como control de calidad, se realizó una inspección visual de la totalidad de las fotos para aislar, de ser necesario, fotografías con nubosidad mayor al 10% o con presencia de sombras e imágenes sobre expuestas, también se garantiza la escala, los empalmes

longitudinales y transversales, el tamaño de pixel de 10 cm y la visibilidad de los objetos presentes en la superficie del terreno.

Por último, se realizó un balance radiométrico de las imágenes para regularizar los valores radiométricos obtenidos entre las diferentes pasadas y así lograr un ajuste adecuado de contraste e intensidad. Ya con este control de calidad finalizado se procedió a revelar en alta resolución en formato TIF. Como ejemplo se muestra en la siguiente imagen:

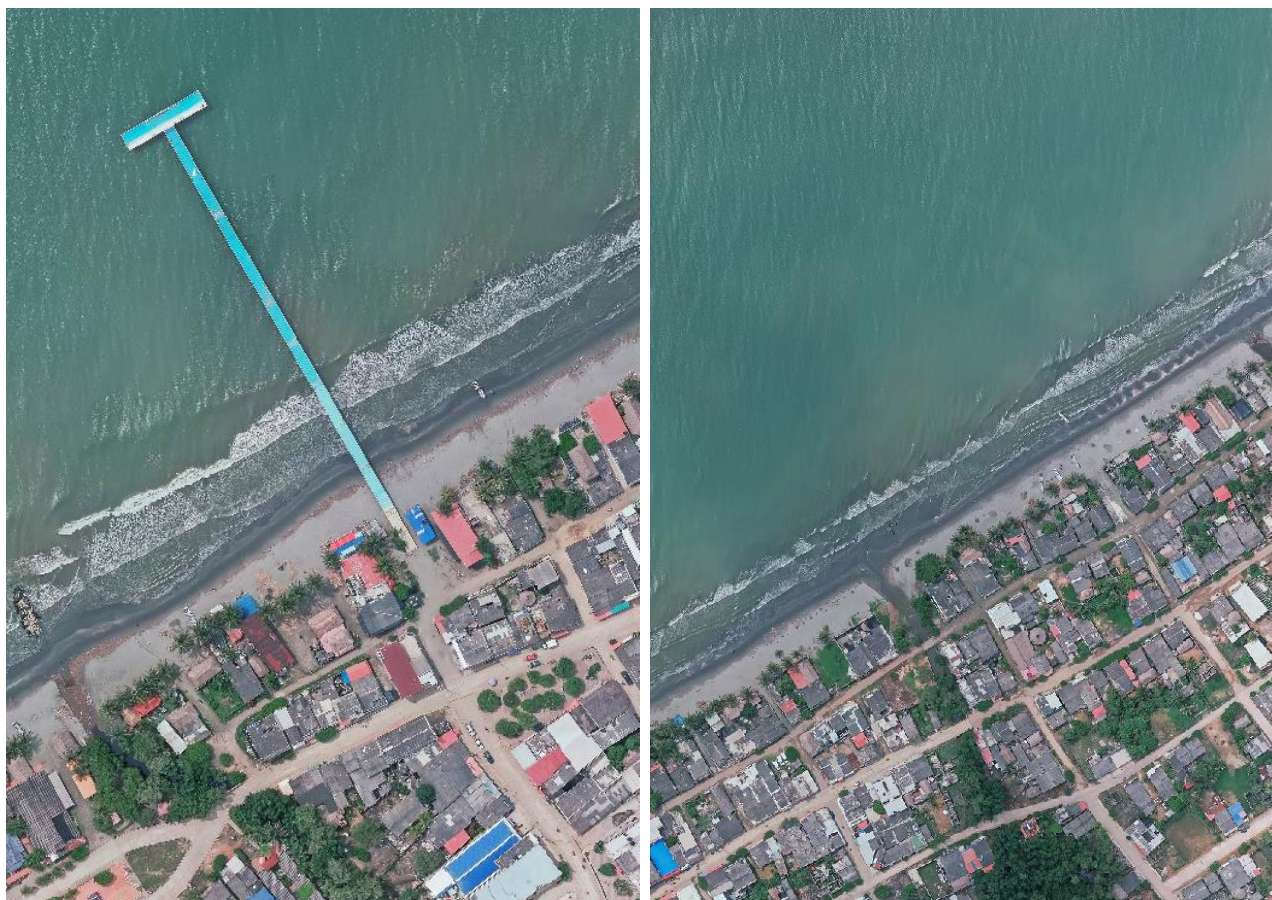


Figura 5.2 Fotografías aéreas para Sector de Moñitos.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

Una vez se ha realizado la adquisición de datos LIDAR, se procede a evaluar alineación de los datos, densidad de puntos (puntos por metro cuadrado), clasificación de la nube de puntos y altimetría.



Figura 5.3 Nube de Puntos LIDAR, Sector Moñitos.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

Los parámetros de precisión fueron los siguientes:

- Toma de datos (LiDAR) con una densidad mínima de 8 puntos/ mt²
- Precisión de productos derivados LIDAR de $RMSE \leq 10$ cm.
- Recubrimiento longitudinal entre fotogramas de aproximadamente el 65%.
- Recubrimiento transversal entre fotogramas de aproximadamente el 70%
- GSD o tamaño de pixel de los productos fotogramétricos derivados (ortofoto) 10 cm

Los resultados obtenidos a partir de la misión LIDAR son:

- Conteo de puntos LiDAR = 546.812.096
- Densidad de puntos LiDAR = 10 puntos/m²
- Código EPSG = 9377
- Elevación mínima = -10 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)
- Elevación máxima = 40 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)

PROCESAMIENTO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y DATOS LIDAR

5.1.5 Aerotriangulación y corrección ortogonal

Con el resultado numérico de las coordenadas obtenidas durante el trabajo de campo de fotocontrol y de los puntos LIDAR obtenidos a piso, se realizó una triangulación global donde se verificó la precisión y calidad de los datos, además de producir y conocer los valores residuales

que generan una malla de puntos sobre el terreno con coordenadas y cotas reales, indispensable para los procesos subsiguientes. A continuación, se presenta un resumen del proceso de aerotriangulación del sector de Moñitos.

Flight overview

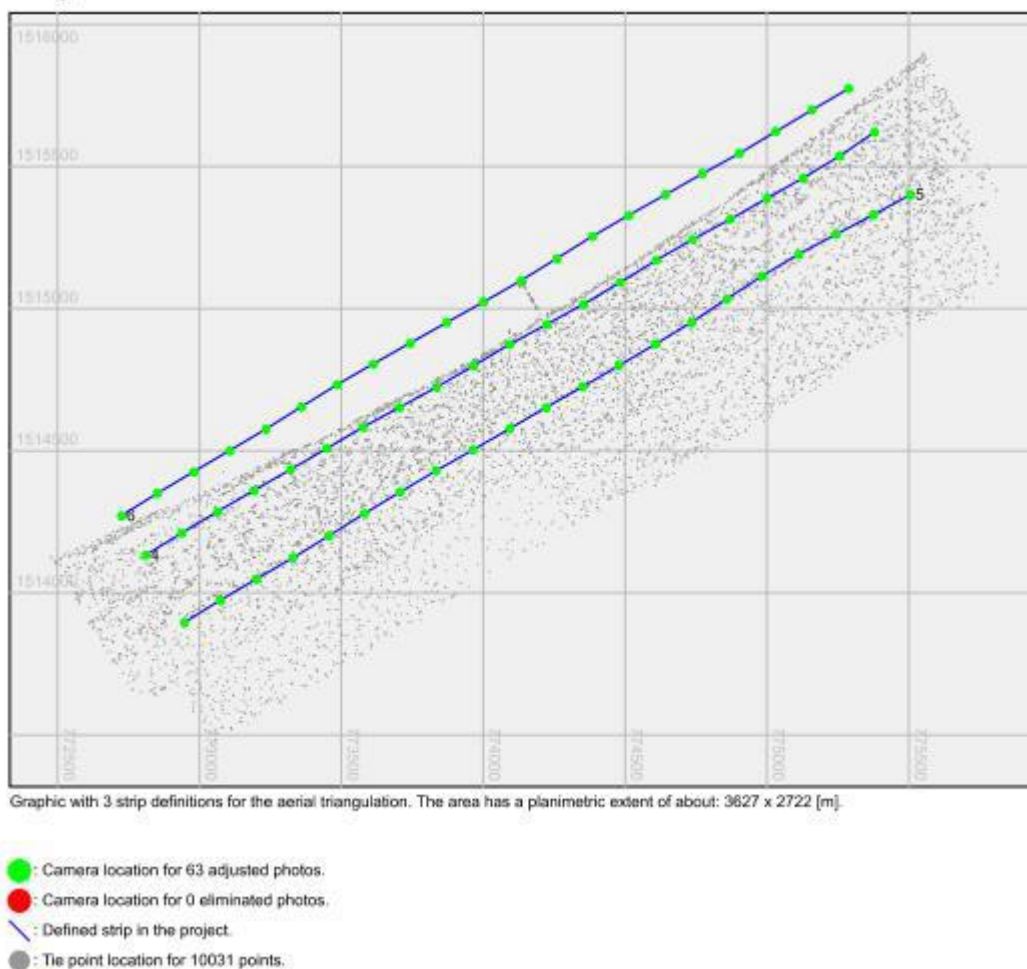


Figura 5.4 Descripción general del vuelo.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

Este proceso genera un reporte automático de los errores estimados (RMSE), si están dentro de las especificaciones esperadas, se acepta la aerotriangulación; es de anotar que la digitalización de los puntos anteriormente mencionados se efectuó estereoscópicamente.

Luego pasan a ser puntos de control secundarios, ya que asumen coordenadas de igual precisión que los de control. Al finalizar esta actividad, la totalidad de los modelos se

encontraron georreferenciados tridimensionalmente; es decir, se completó las orientaciones internas, relativas y absolutas aptos para la corrección ortogonal.

Esta información está sujeta a las disposiciones contempladas por el IGAC en las resoluciones 1392, 63 y 64, las cuales estipulan la precisión planimétrica para la escala requerida.

El resultado de la aerotriangulación es de una precisión inferior a los 8 cm; se aclara que la precisión del bloque fotogramétrico es respecto a los puntos de control en campo. Finalmente, se sometió cada una de las imágenes a la corrección ortogonal y se realizó el empalme de fotografías aéreas creando una sola imagen, la Ortofotografía en escala 1:1000; esta quedó amarrada a la red geodésica nacional con visualización de coordenadas y compensación de los tonos que componen la imagen.

5.1.6 Clasificación automática de datos LIDAR.

La clasificación y filtrado automático de puntos LIDAR que corresponden al terreno, depende directamente de la parametrización inicial según las características del terreno en cada área del proyecto. Durante el proceso de búsqueda de parámetros adecuados para las rutinas de clasificación automática nos apoyamos en las imágenes de intensidad de los datos LIDAR y en el modelo SRTM (Modelo global altimétrico), detectando zonas con mayor pendiente (Ver Figura 5.5)

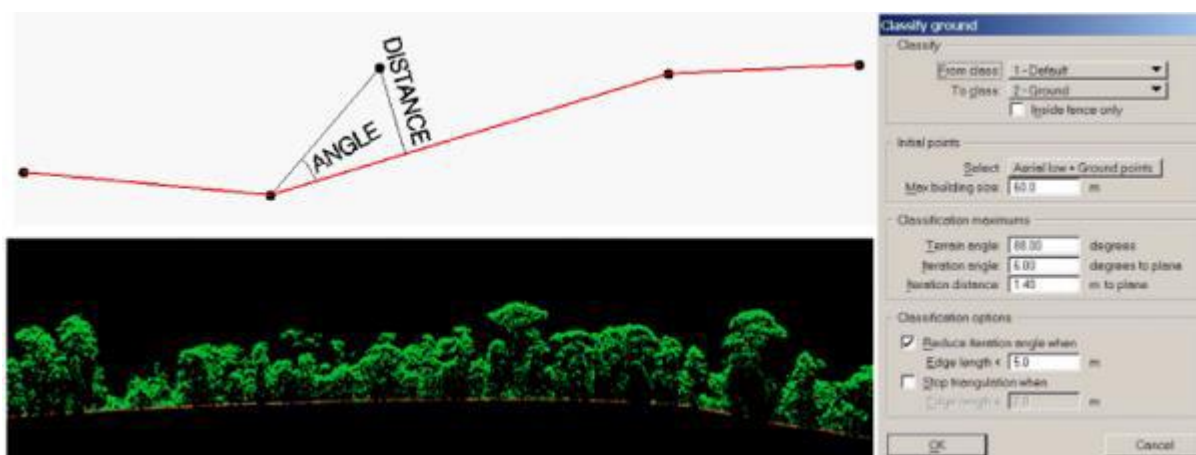


Figura 5.5 Parametrización del terreno en rutinas automáticas de clasificación LIDAR

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

Una vez establecidos los parámetros idóneos para cada una de las zonas del proyecto (zonas llanas, se procede con la clasificación automática, de tal forma que se disponga de todos los puntos diferenciados entre los que pertenecen al terreno y los que pertenecen a la superficie. La clasificación automática no es válida totalmente. Para llevar a cabo una depuración detallada, el equipo de edición LIDAR, en cada estación de trabajo de edición cuenta con dos monitores para visualizar la nube de puntos mapas de sombras y la ortofotografía, elementos necesarios para una correcta clasificación de los puntos.

A partir de los puntos clasificados como terreno, se generan superficies o mapas de sombras del suelo desnudo, para visualizar las pequeñas anomalías producidas por la clasificación automática. Durante el proceso manual de depuración se trazan perfiles transversales en las zonas problemáticas (especialmente en taludes, zonas con vegetación densa, zonas con construcciones, etc.) y con ayuda de diferentes herramientas se clasificarán los puntos en la capa correspondiente.

La depuración manual de datos se realiza bloque a bloque, clasificando cada punto en la capa correspondiente, tanto si el producto a generar es un modelo digital de terreno como si se trata de un modelo digital de superficie. La diferencia entre ambos productos reside en la exportación de los datos que van a formar parte de cada uno de los modelos.

Si el producto implica un modelo digital del terreno (MDT), tan solo se exportan o guardan los puntos clasificados como "Ground", ya que son estos los que definen el terreno desnudo, libre de construcciones, vegetación, etc.

Si además se necesita un modelo digital de superficie (MDS), antes de guardar o exportar los puntos que definen dicha superficie, se realizará otra clasificación en la cual se eliminan los retornos intermedios de cada uno de los puntos.

6 RESULTADOS BATIMETRIA, TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y LIDAR

INTEGRACIÓN DE NUBE DE PUNTOS

Una vez se comprobó el correcto ajuste de los datos LIDAR y batimétricos del proyecto, se realiza la integración de las batimetrías a la nube de puntos LIDAR, verificando la coherencia entre los datos. En este proceso se realiza la edición de la lámina de agua y los elementos que se encuentran sobre ella para que no afecten la conformación de modelo topo-batimétrico.

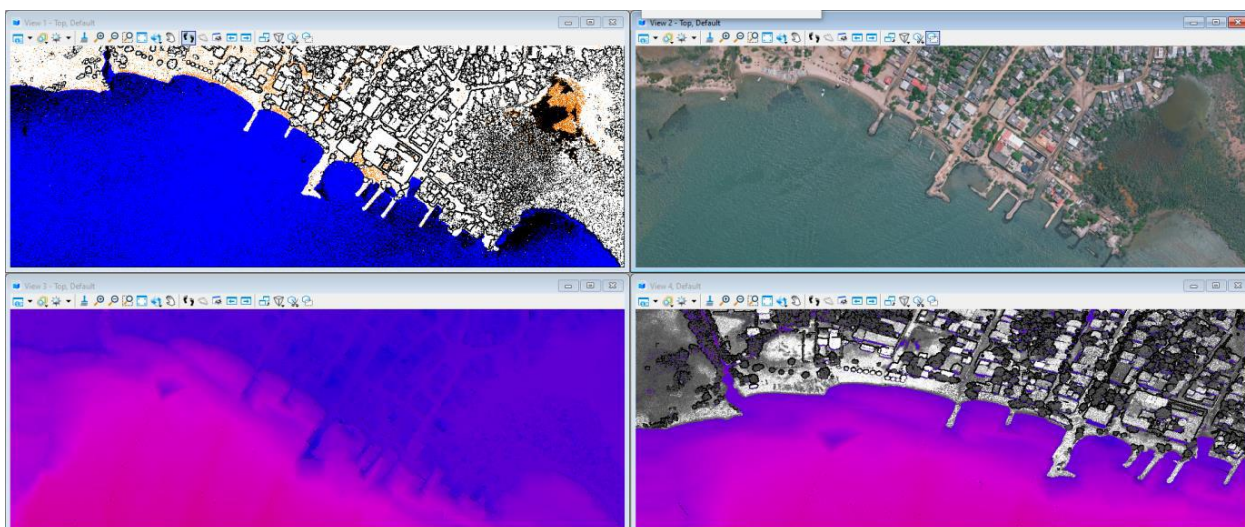


Figura 6.1 Integración nube de puntos LIDAR, batimetría monohaz y vadeo

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

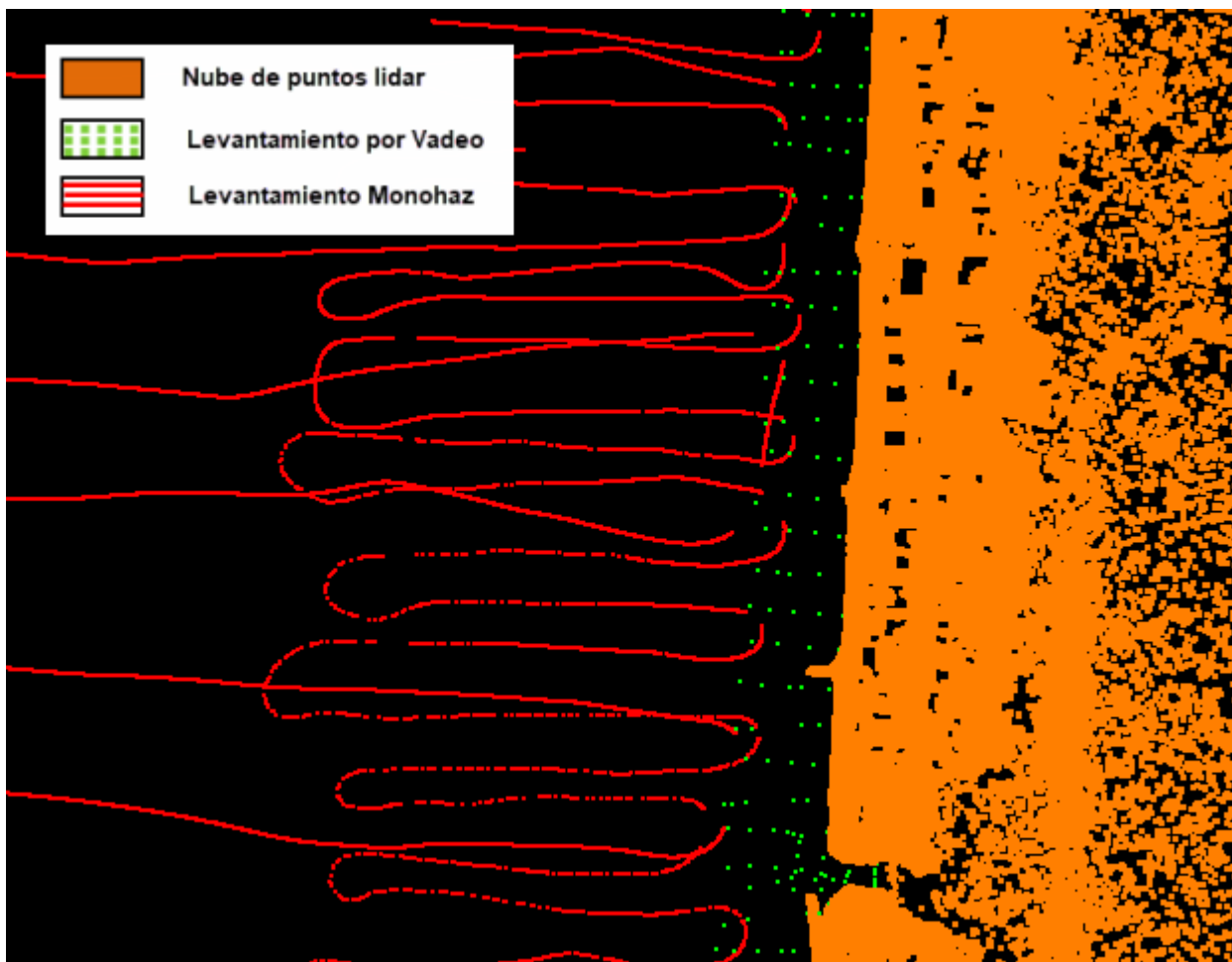


Figura 6.2 Integración nube de puntos LIDAR, batimetría monohazy batimetría por vadeo.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

La validación de la integración del modelo batimétrico con el modelo LIDAR se efectuó mediante la generación de secciones transversales que incluyen traslape con la batimetría, realizando una evaluación de las zonas de empalme, y definiendo los límites de frontera entre los puntos LIDAR y la batimetría.

MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM).

El modelo digital del terreno DTM con una resolución de 1 x 1m, se obtuvo a partir de la nube de puntos LIDAR, utilizando todos los puntos clasificados como piso (class Ground) y las secciones batimétricas, se genera el modelo tridimensional detallado con coordenadas en X, Y, Z, en formato GeoTiff.

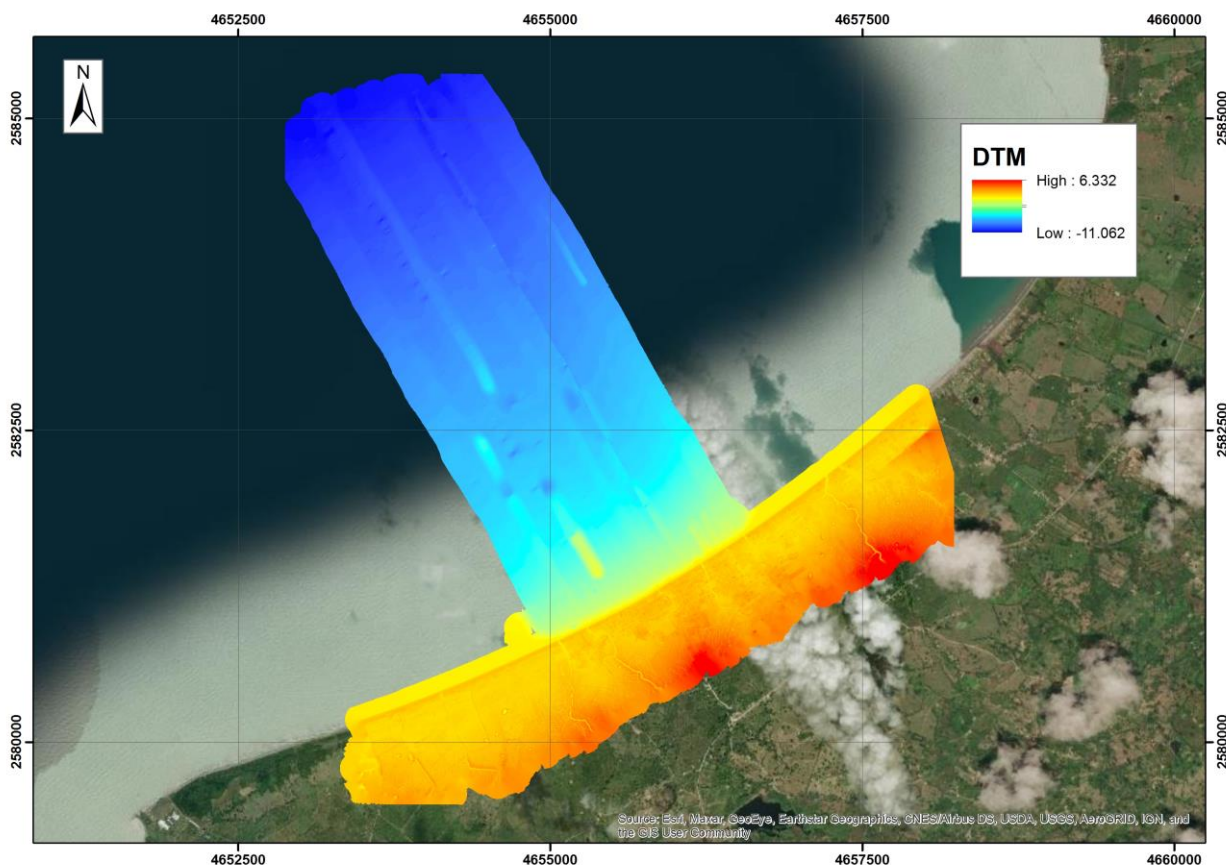


Figura 6.3 DTM con resolución de 1m x 1m, Sector Moñitos.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM).

El modelo digital de superficie DSM con una resolución de 1 x1m, se obtuvo a partir de la nube de puntos LiDAR, utilizando todos los puntos clasificados como piso (class Ground), superficie (default) y las secciones batimétricas se genera el modelo tridimensional detallado con coordenadas en X, Y, Z, en formato GeoTiff.

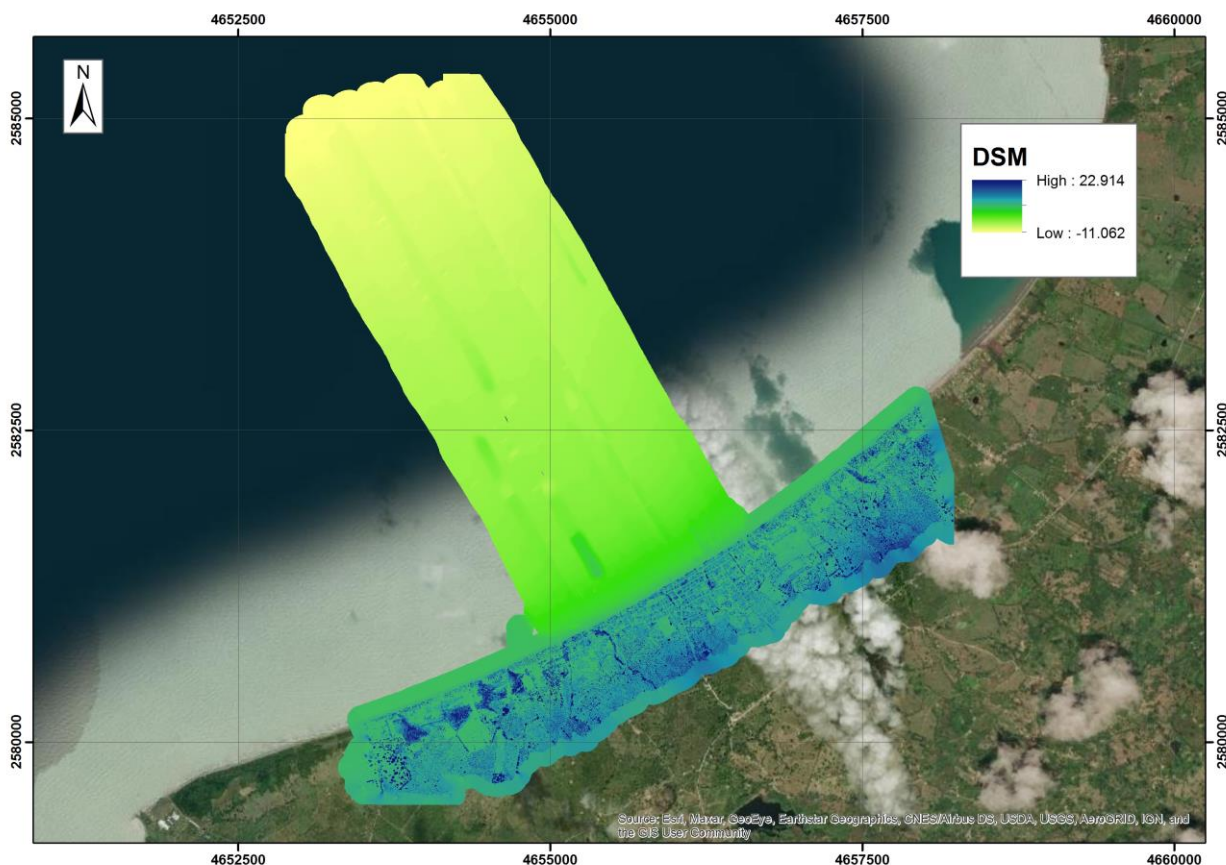


Figura 6.4 DSM con resolución de 1m x 1m, Sector Moñitos

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

CURVAS DE NIVEL

Tomando como base el modelo digital del terreno integrado se generan las curvas de nivel con un distanciamiento de 10 cm.

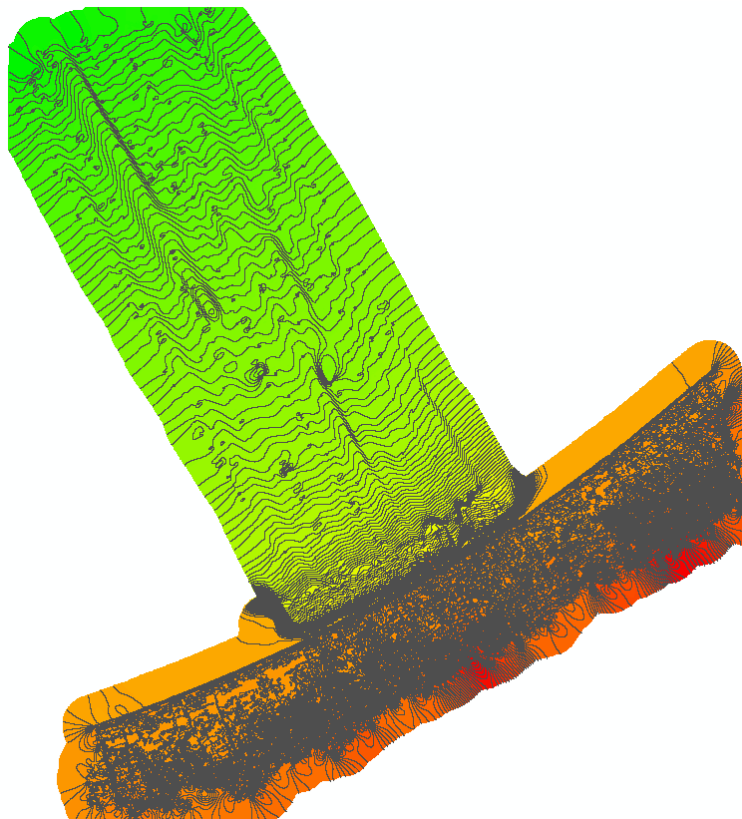


Figura 6.5 Curvas de nivel con resolución de 0.1m x 0.1m, Sector Moñitos

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

ORTOFOTOGRAFÍA

Se realizó una ortofotografía, a color (RGB) en escala 1:1.000, con una resolución de píxel de 10 cm; ésta consiste en el enlace de todas las imágenes fotográficas, métricas, verticales, donde se visualizan las coordenadas y se eliminan las distorsiones y los errores de empalme.

La producción de la Ortofotografía se realizó por el proceso de fotogrametría digital, y es una representación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico.



Figura 6.6 Ortofotografía Sector Moñitos.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022+

7 SEDIMENTOS

La toma de muestras de sedimentos se realizó entre el 17 y 24 de mayo, para esto, se tomaron puntos cada 200 metros según la línea de costa de cada sector, y en cada punto, se tomaron dos muestras de arena, una seca en la zona de swash y una húmeda a un metro de profundidad con el fin de determinar el tamaño medio o el D50 del grano de cada playa. A continuación, se muestra la ubicación de cada muestra para el sector de Moñitos:



Figura 7.1 Ubicación de puntos para muestreo de sedimento en el sector de Moñitos.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

Para este sector se realizaron 18 tomas de muestras de sedimento entre la zona de Swash y las a un metro de profundidad como se ve en la figura anterior. De los ensayos de granulometría para el D50 realizados para cada muestra se tienen los siguientes resultados con las respectivas coordenadas de cada punto y su clasificación de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos:

Tabla 7.1 Resultado de D50 para muestras de sedimento en Moñitos.

Código	Coordenadas		Resultados	Clasificación
	X	Y	D50 (mm)	(SUCS)
S9A1H	4656541,775	2581652,078	0,21	Arena mal gradada con finos
S9A1S	4656545,254	2581647,291	0,22	Arena mal gradada
S9A2H	4656374,238	2581544,212	0,19	Arena mal gradada con finos
S9A2S	4656377,717	2581539,426	0,23	Arena mal gradada

Código	Coordenadas		Resultados	Clasificación
	X	Y	D50 (mm)	(SUCS)
S9A3H	4656209,237	2581426,294	0,19	Arena mal gradada con finos
S9A3S	4656212,716	2581421,508	0,22	Arena mal gradada
S9A4H	4656036,325	2581328,625	0,20	Arena mal gradada
S9A4S	4656039,804	2581323,838	0,14	Arena mal gradada con finos
S9A5H	4655867,483	2581227,822	0,20	Arena mal gradada
S9A5S	4655870,961	2581223,035	0,22	Arena mal gradada con finos
S9A6H	4655693,324	2581114,695	0,21	Arena mal gradada
S9A6S	4655696,802	2581109,908	0,22	Arena mal gradada
S9A7H	4655517,690	2581029,432	0,22	Arena mal gradada
S9A7S	4655521,169	2581024,645	0,22	Arena mal gradada
S9A8H	4655340,835	2580938,420	0,16	Arena mal gradada con finos
S9A8S	4655344,313	2580933,633	0,23	Arena mal gradada
S9A9H	4655155,508	2580848,586	0,15	Arena mal gradada con finos
S9A9S	4655158,987	2580843,799	0,23	Arena mal gradada

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

*El código de cada muestra se define así: “S” al inicio: Sector, “A”: número de muestra, “S” o “H” al final del código indicando si la muestra es Seca (en zona de swash) o Húmeda (a un metro de profundidad).

De estos resultados se puede observar como el tamaño de grano promedio a un metro de profundidad es más fino que el de la zona de swash, siendo coherente con lo que se espera del comportamiento normal de una playa. Así, el D50 promedio para la zona húmeda es de 0.19 mm, mientras que para la zona de swash es de 0.21 mm. A continuación registro fotográfico de la toma de muestras y transporte de estas.



Fotografía 7.1 Acopio y transporte de muestras.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022



Fotografía 7.2 Toma de muestra en zona de Swash a la izquierda y a un metro de profundidad a la derecha.

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

MUESTREO SEDIMENTOS A 2 METROS DE PROFUNDIDAD

De igual manera, se hicieron 9 tomas de muestras de sedimentos a 2 metros de profundidad. Tras realizar los ensayos granulométricos para el D50 a cada una de las muestras y clasificarlas

de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 7.2 Resultado de D50 para muestras de sedimento a 2 metros de profundidad en Moñitos.

Código	Coordenadas		Resultados	Clasificación
	X	Y	D50 (mm)	(SUCS)
M01 - 119	4655781.317	2581271.3	0.00	Suelo de grano fino
M02 - 32	4656457.701	2581700.595	0.00	Suelo de grano fino
M03 - 111	4655600.086	2581184.979	0.00	Suelo de grano fino
M04 - 8	4655939.505	2581372.081	0.00	Suelo de grano fino
M05 - 95	4655245.485	2580998.728	0.09	Arena con finos
M06 - 16	4656128.206	2581470.882	0.00	Suelo de grano fino
M07 - 103	4655426.844	2581084.827	0.00	Suelo de grano fino
M08 - 24	4656284.016	2581601.215	0.00	Suelo de grano fino
M09 - 35	4655060.878	2580918.248	0.00	Suelo de grano fino

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022

Se puede ver en los resultados que de 9 muestras tomadas, 8 presentan un D50 igual a 0 (cero), por lo que se evidencia la presencia de un suelo fino-granular en la zona. Adicionalmente, continuación se muestra la ubicación de las muestras a dos metros de profundidad y las muestras en zona de Swash.



Figura 7.2 Ubicación de toma de muestras a 2 metros de profundidad vs en zona de Swash

Fuente: Aqua & Terra Consultores Asociados S.A.S, 2022