



CANAL DE PANAMÁ

“Análisis de Pre-factibilidad y factibilidad para determinar el Potencial del Río Bayano para la Producción de Agua Potable para las regiones de Panamá Este y Metropolitana”

Contrato No. 025 (2016)

Estudios Topográficos



Cuenca No. 148 de Río Bayano. Fuente ACP

Río Bayano, Provincia de Panamá
Septiembre 2017

Índice

1. Introducción.....	3
2. Objetivo	4
3. Alcance.....	4
4. Localización.....	5
5. Descripción de LiDAR aerotransportado	0
5.1 Resumen de Eventos	1
6. Personal	2
7. Control de Calidad y Seguridad	2
8. Parámetros Geodésicos.....	2
9. Datum Vertical.....	4
10. Movilización.....	4
10.1 Equipo.....	4
10.2 Punto de referencia del LiDAR	5
10.3 Lever Arms.....	5
10.4 Parámetros del Levantamiento LiDAR	5
11. Operaciones.....	7
11.1 LiDAR	7
11.2 Modelo de Separación	7
11.3 Puntos de referencia en tierra	7
11.3.1 Descripción general	7
11.3.2 Equipo.....	7
11.3.3 Personal	8
11.3.4 Resultados	8
11.3.4.1 Densidad	10
12. Procesamiento.....	10
12.1 Generalidades	10
12.1.1 Configuración.....	10
12.1.2 Flujo de trabajo.....	10

12.1.3	Lista de Software	11
12.2	Novatel GrafNav	12
12.3	LiDAR Processing	12
12.4	TerraSolid	12
12.5	ArcGIS	13
12.6	CARIS BASE Editor	13
12.7	Global Mapper.....	13
13.	Control de Calidad	14
13.1	Evaluación de la cobertura.....	15
13.2	Calidad de posicionamiento.....	15
13.3	Calidad del procesamiento.....	16
13.3.1	Calidad de edición	16
13.3.2	Calidad de la clasificación	16
13.3.3	Calidad del DEM y reflectancia de la imagen	16
13.3.4	Calidad de los contornos	16
13.3.5	Calibración de vuelo	16
13.4	Producción de datos.....	16
13.4.1	Archivos clasificados LAS	16
13.4.2	DEM	16
13.4.3	Reflectancia de la imagen.....	17
13.4.4	Contornos	17
13.4.5	Índice de archivos.....	17
14.	Conclusiones.....	17

1. Introducción

A pesar de que la República de Panamá, cuenta con una abundante oferta hídrica, enfrenta retos importantes para lograr que el agua esté disponible en calidad y cantidad para los diferentes usos y usuarios. En vista de lo anterior se trabajó en los lineamientos para la elaboración del Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH) 2015-2050 “Agua para todos”, propuesta consensuada con el sector público, privado y la sociedad en general, aprobado mediante la Resolución de Gabinete No. 114 de 23 de agosto de 2016. En la misma Resolución se crea el Consejo Nacional de Agua (CONAGUA) que es la entidad encargada de impulsar, orientar, coordinar y garantizar el desarrollo e implementación del PNSH, donde está representado el Estado y quien lo preside es el Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE).

En el PNSH se establece la estrategia de planeación a corto, mediano y largo plazo, que la República de Panamá adopta para asegurar la disponibilidad de agua para consumo humano, la seguridad alimentaria, el uso de todos los sectores económicos y la salud de los ecosistemas; como también, para prevenir los efectos del cambio climático, con el manejo más eficiente de los recursos hídricos, la protección, conservación y recuperación de las cuencas hidrográficas a través de la coordinación interinstitucional, la consulta y participación de los actores claves, el uso de nuevas tecnologías, para el desarrollo de nuevas capacidades, así como la ejecución de inversiones necesarias para desarrollar la infraestructura y los servicios requeridos para estos propósitos.

Como parte de la estrategia de implementación, en el marco del PNSH; MIAMBINETE acuerda una contratación interinstitucional con la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) para realizar el contrato de consultoría No. 025 (2016) “Análisis de Pre-factibilidad y Factibilidad para Determinar el Potencial del Río Bayano para la Producción de Agua Potable para las Regiones de Panamá Este y Metropolitana y Alternativas para Reforzar la Capacidad Hídrica de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá” con el objetivo de identificar a la cuenca de río Bayano con potencial hídrico para aumentar y garantizar la oferta hídrica de agua potable en la región Metropolitana y Este de la ciudad de Panamá.

En virtud de lo mencionado anteriormente, se establece, en la cláusula Tercera del contrato de consultoría, que la ACP desarrollará los siguientes estudios y actividades:

1. Informe de resultados de las investigaciones del subsuelo, estudios topográficos, pruebas de laboratorio y estudios socio-ambientales.
2. Estudios hidrológicos: Potencial hídrico del río Bayano para suministro de agua a la región Panamá Este, el área Metropolitana y alternativas para reforzar la capacidad hídrica de la CHCP como fuente de agua potable.

3. Estudios de Pre-Factibilidad de las alternativas tomando en cuenta escenarios de demanda de agua potable de región de Panamá Este, el área Metropolitana y alternativas para reforzar la capacidad hídrica de la CHCP como fuente de agua potable.
4. Estudio de Factibilidad y diseño conceptual, a nivel de factibilidad, de la alternativa seleccionada.

La Sección de Topografía, Hidrografía y Cartografía, de la División de Ingeniería, de la Vice Presidencia de Ingeniería y Administración de Proyectos de la ACP; es la encargada de llevar a cabo los estudios topográficos, que forman parte del Producto No. 1 que tiene un plazo de entrega de 6 meses después de la orden de proceder.

2. Objetivo

Realizar un levantamiento topográfico para determinar las curvas de elevación utilizando la tecnología LiDAR, aproximadamente 9007,5 Ha de área en la cuenca No. 148 de Río Bayano, Distrito de Chepo, Provincia de Panamá; como parte de los estudios necesarios para determinar el potencial hídrico del Río Bayano para la producción de agua potable para las regiones de Panamá Este y Metropolitana.

3. Alcance

El levantamiento de datos LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) aerotransportado se realizó con un escáner láser calibrado tipo LiteMapper 6800, instalado en una avioneta modelo Piper Seneca PA-34 que opera desde el Aeropuerto Internacional Marcos A. Gelabert en Albrook. Durante ese tiempo, los puntos de referencia de la calibración fueron examinados en el suelo por la estación total en áreas separadas distribuidas dentro de los límites del levantamiento. El control de la calidad de datos se realizó en el mes de agosto de 2017 que consistió en verificar la elevación de sitios con Z conocidos para determinar la diferencia con el levantamiento de los datos LiDAR.

El alcance del trabajo incluye todos los aspectos técnicos de un levantamiento topográfico LiDAR que incluye lo siguiente:

- a. Movilización del sistemas y calibración
- b. Verificación terrestre
- c. Inspección de las áreas designadas
- d. Procesamiento de datos y confección de informe:
 - a. Archivos LAS no editados
 - b. Archivos LAS clasificados, mosaico 1km x 1km
 - c. DEM 1km x 1km y mosaico
 - d. Imágenes de reflectividad LIDAR (1km x 1km y Mosaico)
 - e. Contornos
 - f. Informes

g. Imágenes de la zona de Río Bayano (Cuadros Georreferenciados)

Se utilizaron las siguientes especificaciones para verificar el cumplimiento de la precisión:

- Precisión topográfica vertical: ± 25 cm, intervalo de confianza del 95% ($1,96 \times \text{RMSE}$)
- Requisito de precisión horizontal: ± 25 cm, intervalo de confianza del 95% ($1,96 \times \text{RMSE}$).
La densidad de puntos láser se verificó para un grid de 1 m.

4. Localización

El área del levantamiento topográfico corresponde al polígono definido por las siguientes coordenadas indicadas en la Tabla No. 1. El área corresponde aproximadamente a 9007,5 Ha sobre la cuenca de Río Bayano, ver Figura 1.

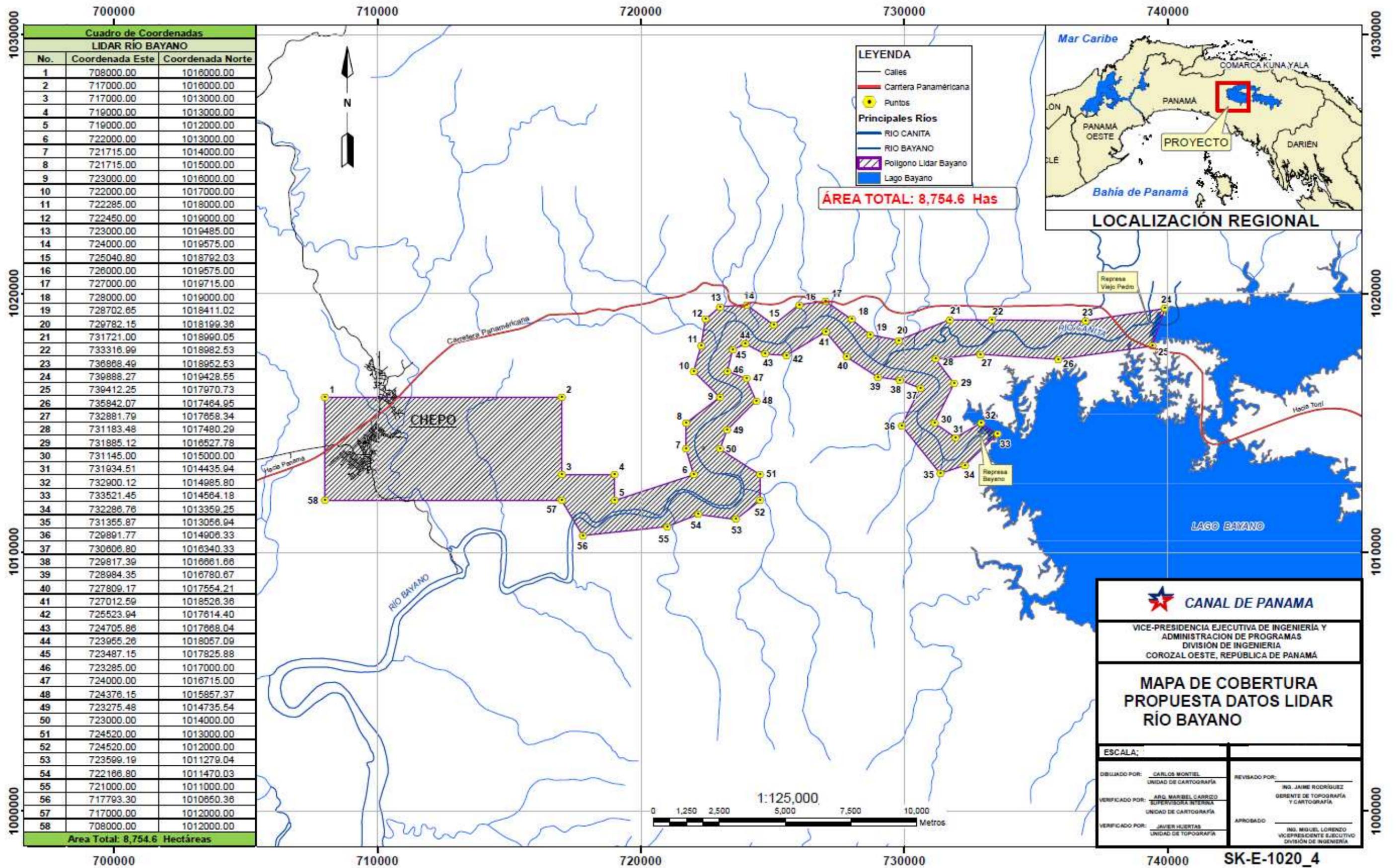


Figura 1. LiDAR de Río Bayano. Fuente: ACP

Tabla No. 1
Coordenadas de puntos

Punto	Este	Norte	Punto	Este	Norte
1	708000.00	1016000.00	30	731145.00	1015000.00
2	717000.00	1016000.00	31	731934.51	1014435.94
3	717000.00	1013000.00	32	732900.12	1014985.80
4	719000.00	1013000.00	33	733521.45	1014564.18
5	719000.00	1012000.00	34	732286.76	1013359.25
6	722000.00	1013000.00	35	731355.87	1013056.94
7	721715.00	1014000.00	36	729891.77	1014906.33
8	721715.00	1015000.00	37	730606.80	1016340.33
9	723000.00	1016000.00	38	729817.39	1016661.66
10	722000.00	1017000.00	39	728984.35	1016780.67
11	722285.00	1018000.00	40	727809.17	1017554.21
12	722450.00	1019000.00	41	727012.59	1018526.36
13	723000.00	1019485.00	42	725523.94	1017614.40
14	724000.00	1019575.00	43	724705.86	1017668.04
15	725040.80	1018792.03	44	723955.26	1018057.09
16	726000.00	1019575.00	45	723487.15	1017825.88
17	727000.00	1019715.00	46	723285.00	1017000.00
18	728000.00	1019000.00	47	724000.00	1016715.00
19	728702.65	1018411.02	48	724376.15	1015857.37
20	729782.15	1018199.36	49	723275.48	1014735.54
21	731721.00	1018990.05	50	723000.00	1014000.00
22	733316.99	1018982.53	51	724520.00	1013000.00
23	736868.49	1018952.53	52	724520.00	1012000.00
24	739888.27	1019428.55	53	723599.19	1011279.04
25	739412.25	1017970.73	54	722166.80	1011470.03
26	735842.07	1017464.95	55	721000.00	1011000.00
27	732881.79	1017658.34	56	717793.30	1010650.36
28	731183.48	1017480.29	57	717000.00	1012000.00
29	731885.12	1016527.78	58	708000.00	1012000.00

5. Descripción de LiDAR aerotransportado

La técnica de levantamientos topográficos aplicando la tecnología del LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) tiene como objetivos la obtención de modelos digitales del terreno de gran precisión realizando diferentes vuelos en el tiempo sobre la misma zona. El uso de LiDAR aerotransportado o terrestre, ofrecen una relativa simplificación de los procesos utilizando operadores no tan específicos. Básicamente se miden distancias desde un emisor láser (aerotransportado o terrestre) a un punto de una superficie, a partir de las diferencias de tiempo

entre la emisión y la recepción de la señal reflejada. Las distancias se miden registrando con GPS los datos de posición del punto (X, Y, Z), con lo que se obtienen archivos de puntos a intervalos variables, que según la finalidad del estudio pueden ser muy resolutivos (1x1 m o menor). La principal aplicación es la elaboración de un Modelo Digital de Terreno (MDT), que en este caso, puede ofrecer una resolución métrica o decamétrica, con una precisión decimétrica en Z.

5.1 Resumen de Eventos

La Tabla 2 a continuación muestra el resumen de eventos para el levantamiento de datos. La Figura 2 ilustra las líneas recolectadas para los diferentes días (un color por sesión de vuelo, como se indica en la Tabla 2).

Tabla No. 2 Levantamiento de datos LiDAR por eventos		
Eventos	Levantamiento	Horas de vuelo
Inicio de levantamiento 12% del área de Río Bayano	26 Líneas en el área de Río Bayano	3
Cubierta parcial en el área de Río Bayano	7 Líneas (Cobertura parcial) en Río Bayano	3
Fin del levantamiento en el área de Río Bayano		

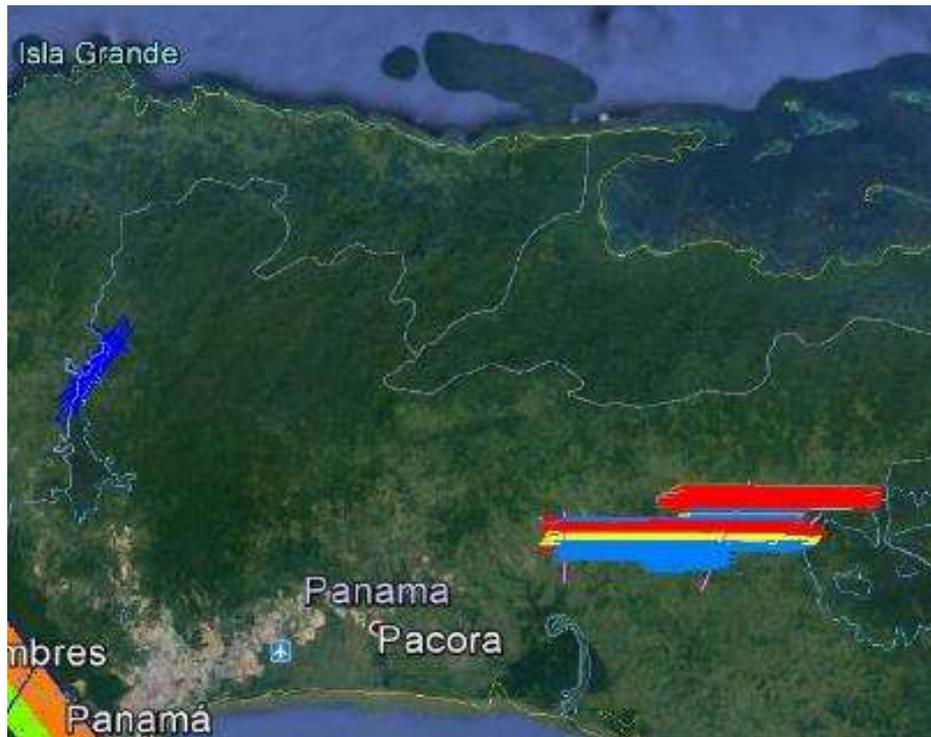


Figura 2. Proceso del levantamiento. Fuente: ACP

El control de calidad se realizó sistemáticamente después de cada vuelo. La cobertura LiDAR se comprueba gracias al software LMTRACK. La cobertura fotográfica se comprueba con el software QuickMap. No hay imagen. La zona está totalmente cubierta.

6. Personal

La empresa IIC Technologies Inc. se encargó del levantamiento LiDAR aerotransportada utilizando dos pilotos profesionales y un operador: Jean-Charles SAQUET, Tony PAIN y Agathe Farout.

Una vez realizado el levantamiento en campo el resto del procesamiento de datos se completó en IIC Technologies con el equipo de operadores de datos indicado en la Tabla 3 a continuación. Las tareas de clasificación en TerraScan se realizaron con dos equipos trabajando en turnos.

Tabla No. 3	
Equipo que procesó los datos	
Cargo	Nombre
Administrador de proyecto	Jeff Lower
Administrador terrestre	Dinesh Reddy Vakati
Coordinador de producción	Mahendar Reddy Challa
Administrador de Calidad	Lathesh MK

7. Control de Calidad y Seguridad

La seguridad del personal del proyecto y el medio ambiente son importantes para el desarrollo del proyecto, por lo tanto, se implementó políticas para garantizar el control de calidad y seguridad. Antes del inicio de cualquier operación, se realizaron sesiones informativas y se diseñaron procedimientos seguros para cubrir las actividades. Antes de cada vuelo, se realizó un resumen de seguridad y se informó a la administración cualquier suceso en reuniones en la tarde.

La avioneta fue inspeccionada para garantizar las regulaciones previo al inicio de las operaciones.

8. Parámetros Geodésicos

La Tabla 4 presenta la configuración geodésica aplicada durante el levantamiento:

Tabla No. 4 Parámetros Geodésicos	
Parámetros Geodésicos – Levantamiento	
Horizontal Datum and Ellipsoid:	WGS 84 ITRF 2008 Epoch 2005
Spheroid:	WGS 84
Semi major axis:	a = 6 378 137.0 m b = 6 356 752.314245 m
Relative Flattening:	1/f = 298.257223563
Datum Vertical	
Hydrography:	WGS 84
Parámetros de Proyección	
Map Projection:	Universal Transverse Mercator
Grid System:	UTM
Central Meridian:	81°E, UTM Zone 17N
Latitude of Origin:	00° 00' 00" North
False Easting:	500 000 m
False Northing:	0 m
Scale factor on Central Meridian:	0.9996
Units:	Metre

Los archivos sin clasificar fueron entregados en el sistema de coordenadas WGS84-UTM17N.

Para la generación de productos (archivos clasificados LAS, DEM, imágenes de reflectancia y contornos), los datos fueron transformados a NAD27 (definición ACP) datum horizontal y proyección UTM zona 17N. Los 7 parámetros de transformación aplicados de WGS84 a NAD27-ACP fueron los siguientes (convención de rotación de coordenadas):

- Elipsoid (Spheroid) : Clarke 1866
- Trans X(m): 22.876415
- Trans Y(m): -99.350159
- Trans Z(m): -140.532555
- Rot X(sec): -2.0948687
- Rot Y(sec):0.79563677
- Rot Z(sec):0.59689367
- Scale Factor (ppm): 5.00006

9. Datum Vertical

Los datos levantados con altura relativa al DATUM WGS84. Los datos crudos y los archivos LAS sin editar fueron entregados con esa referencia.

En el post-procesamiento, todas las alturas fueron referidas a nivel medio del mar (MSL). Así mismo, todos los archivos clasificados LAS, DEM y los contornos fueron referenciados al nivel medio del mar (MSL).

10. Movilización

10.1 Equipo

El levantamiento de LiDAR se realizó con un scanner laser LiteMapper 6800 de IGI (Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH) and cámara digital H60. El sistema fue instalado en una avioneta Piper PA-34 Seneca II.



Figura 3. LiteMapper 6800 laser scanner. Fuente: ACP

El IMU y la antena GPS fue integrado al Sistema del LiteMapper.

La avioneta usada para el levantamiento fue el modelo Piper Seneca PA-34 que se muestra en la Figura 4. La avioneta fue operada desde el Aeropuerto Internacional Marcos A. Gelabert en Albrook.



Figura 4. Piper Seneca PA-34 Aircraft y Medium Format Camera. Fuente: ACP

10.2 Punto de referencia del LiDAR

El punto de referencia de todas las mediciones LiDAR, “cero”, es el centro IMU.

10.3 Lever Arms

Tabla No. 5 Lever Arms			
Lever Arm Offsets	X (m)	Y (m)	Z (m)
Lidar reference point to GPS Antenna Phase Center	0.169	0.084	-1.017
Lidar reference point to Sensor	-0.02	-0.15	0

Note: Sign conventions

X +ve Forward

Y +ve Right

Z +ve Down

10.4 Parámetros del Levantamiento LiDAR

Los parámetros de la Tabla 6 se aplicaron para las líneas principales y los vuelos de calibración.

Tabla No. 6 Parámetros del Levantamiento LiDAR	
Parámetro	COLON-V1
LIDAR PULSE [kHz]	400
LIDAR ANGLE	60
LIDAR HEIGHT [m]	600
grid/powerline	GRID
Calculated density [pts/m ²]	>12 pts/m ²
Required density [pts/m ²]	>12
Flight Lines	140
Sidelap (%)	65

For photographic sensor (only for RIO block) :

AGL [m]	600 m
GSD photo [cm]	10.3
forward overlap [%]	73%
Base distance [m]	189
sidelap [%]	74%
Distance btw FL [m]	242

Basado en el clima del área de Río Bayano, se creó un plan de vuelo más bajo para evitar las nubes. Esto permitía volar con más frecuencia, pero con más horas de vuelo. Los parámetros para este plan de vuelo final fueron los siguientes:

For LiDAR data :

LIDAR PULSE [kHz]	400
LIDAR ANGLE	60"
LIDAR HEIGHT [m]	470
Final density	6,8 x 2
<i>sidelap [%]</i>	72%
<i>distance entre axes [m]</i>	173

For images :

AGL [m]	470
GSD photo [cm]	10.3
vitesse d'obturation maxi	1/500
T entre clichés [sec]	3
<i>forward overlap [%]</i>	73%
<i>distance entre WPT [m]</i>	162
<i>sidelap [%]</i>	74%
<i>distance entre axes</i>	173

La trayectoria de vuelo del GPS es calculada en PPP con el software "GrafNav. Los datos fueron calculados en ITRF08, UTM zona n°18N, altura Elipsoidal.

TRAJECTOGRAPHY QUALITY CONTROL SUMMARY				
# figure		Threshold	Session	Check
Figure 1	Quality factor	< 2	2	OK
Figure 2	Estimated Position Accuracy	< 15cm in Z	14	OK
		< 10cm in XY	5	OK
Figure 3	Combined Separation	< 25cm in Z	20	OK
		< 15cm in XY	3	OK
Figure 4	PDOP	< 4	2.5	OK
Figure 5	Number of satellites	> 6	8	OK
Figure 6	Combined PPP/IMU	< 15cm in Z	3	OK
		< 10cm in XY	4	OK
Figure 7	INS angles : Drift	Drift	4	OK
Figure 8	INS angles : Omega, Phi	Ω, Φ	3	OK
Conclusion		validated		

Figura 5. Ejemplo del Control de Calidad del vuelo. Fuente: ACP

11. Operaciones

11.1 LiDAR

La ejecución del plan de vuelo se calculó para optimizar el tiempo del levantamiento, como se muestra en la siguiente figura. No se incluyen las líneas de calibración. El gráfico de la calibración del vuelo se incluye en la Sección de Control de Calidad.

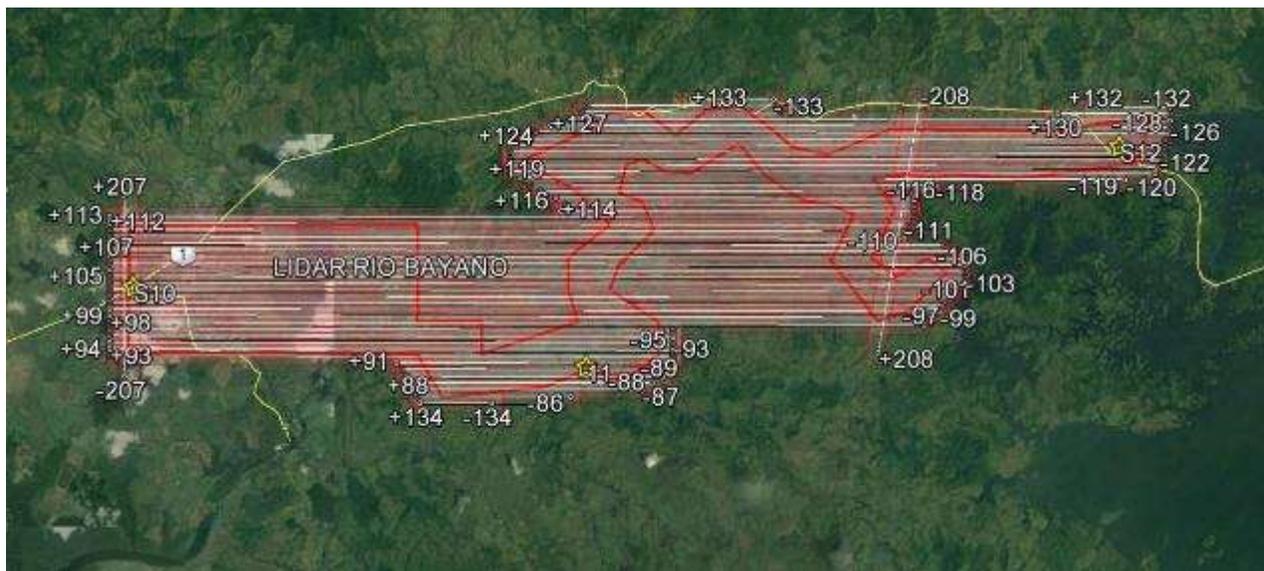


Figura 6. Plan de vuelo Río Bayano. Fuente: ACP

11.2 Modelo de Separación

Los datos fueron convertidos al format XYZ asci para la aplicación en TerraSolid (LAS processing tool). El archivo de cambio aplicado en TerraSolid fue *WGS84_UTM-17-GeoidModel_WGGS84toPLD_Terrascan.xyz*

11.3 Puntos de referencia en tierra

11.3.1 Descripción general

Como verificación de la precisión de los datos LiDAR levantados en la Cuenca No. 148 de Río Bayano, para evaluar la exactitud vertical de los datos, se compararon las elevaciones de varias perforaciones realizadas por la Sección de Ingeniería Geotécnica a las cuales la Unidad de Geodesia de la ACP realizó el levantamiento de la elevación por métodos tradicionales con buena precisión. Estas elevaciones se compararon con las elevaciones obtenidas en esas mismas coordenadas por el método LIDAR.

11.3.2 Equipo

Se utilizó receptores GPS, TRIMBLE R10, para obtener la posición y elevación de los pozos de perforación.

11.3.3 Personal

El personal se presenta en la Tabla No. 8 que participó en el trabajo de posicionamiento de los pozos de perforación en la Cuenca No. 148 de Río Bayano.

Tabla No. 8 Personal de verificación de datos LiDAR	
Nombre	Cargo
Ramón Vásquez	Técnico en Agrimensura
Raúl Cedeño	Técnico en Geodesia
Elías Acevedo	Obrero
Andis Vargas	Obrero
Adalberto Arrocha	Auxiliar en Agrimensura
Juan Ureña	Técnico de Agrimensura
Raúl De León	Auxiliar en Agrimensura
Nelson Bonaga	Auxiliar en Agrimensura
Julio Miranda	Geodesta
Gilberto Sánchez	Técnico en Agrimensura
Alberto García	Obrero
Manuel González	Auxiliar en Agrimensura

11.3.4 Resultados

En la Tabla No. 9 muestran las dos elevaciones (Elevación por métodos topográficos precisos y por LIDAR) para cada punto medido y las diferencias obtenidas. Con las posiciones de los pozos y sus elevaciones se verificó la información de LIDAR respectiva y se indicaron las precisiones comparándolas entre sí (ver Figura 7).

Tabla No. 9. Parámetros del Levantamiento LiDAR					
Point	Easting	Northing	Elevation	Lidar_Elev (MSL)	Diferencia (Elev-Lidar)
B1-1	719865.958	1011685.705	10.848	10.416	0.432
B1-1N_AGUA	719882.012	1011672.048	2.109	1.669	0.44
B1-2	719915.157	1011529.733	9.175	8.877	0.298
B1-2N_AGUA	719920.608	1011551.751	2.108	1.854	0.254
B1V-1	719948.834	1011834.983	13.926	13.669	0.257
B1V-2	719920.151	1011892.467	9.64	9.23	0.41
B2-1	723838.783	1012356.757	11.804	11.607	0.197
B2-2	724017.909	1012274.505	9.93	9.6	0.33
CHEP	708263.33	1014054.578	23.868	ANTENA	
CR-104U	716279.043	1018918.753	28.974	BM	
IRHE-3	720880.902	1011870.821	9.954	9.626	0.328

La precisión entre ambos valores de elevación oscila entre 0.20 y 0.45 m.



Figura 7. Levantamiento en XYZ en los puntos de perforación y calicatas para darle valores reales. Fuente: ACP

11.3.4.1 Densidad

La especificación requería una densidad media de 12 puntos por metro cuadrado. El mapa de densidad se muestra en la Figura 8. La densidad superior a 12 puntos por metro cuadrado está en azul (ver Figura 8), inferior a 10 puntos por metro cuadrado en rojo. En esta figura, las partes rojas corresponden al agua.

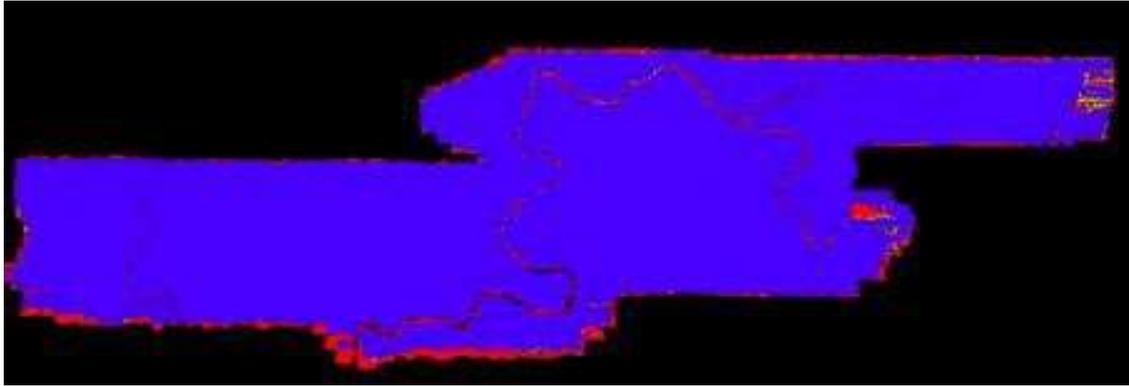


Figura 8. Mapa de densidad para Rio Bayano. Fuente: ACP

12. Procesamiento

12.1 Generalidades

12.1.1 Configuración

Se evaluó los datos levantados en el área de interés. Las nubes de puntos extraídas de los datos en bruto fueron validadas para precisión y densidad, antes de la desmovilización.

12.1.2 Flujo de trabajo

Siguiendo el flujo de trabajo para el procesamiento de los datos LiDAR, se requirió utilizar varios softwares. La Figura 9 describe las diferentes herramientas, pasos y archivos intermediarios creados; los cuadrados en amarillos indican los archivos entregados.

LMTrack y *Riegl Post-processing* son los softwares que se utilizaron para el procesamiento inicial y control de calidad de los datos de *LiteMapper*. *TerraScan* de *TerraSolid* se utilizó como un reemplazo para realizar la clasificación y crear la imagen de reflectancia. La herramienta *TerraModeler* se utilizó para crear DEM intermedio para ayudar al proceso de clasificación. A partir de ahí, se utilizó *ArcGIS* para la creación de DEM que coincide con el requisito de aplicación de los parámetros *Point to TIN* y *TIN to Raster* (*interpolación*). Por último *CARIS BASE Editor* se utilizó para convertir el DEM de *ESRI GRID* to *CARIS CSAR* - según el requisito. *Global Mapper* se utilizó para extraer contornos (con ediciones finales desarrolladas en *ArcGIS*).

En cada paso del proceso, los archivos intermedios y finales fueron respaldados a unidades NAS.

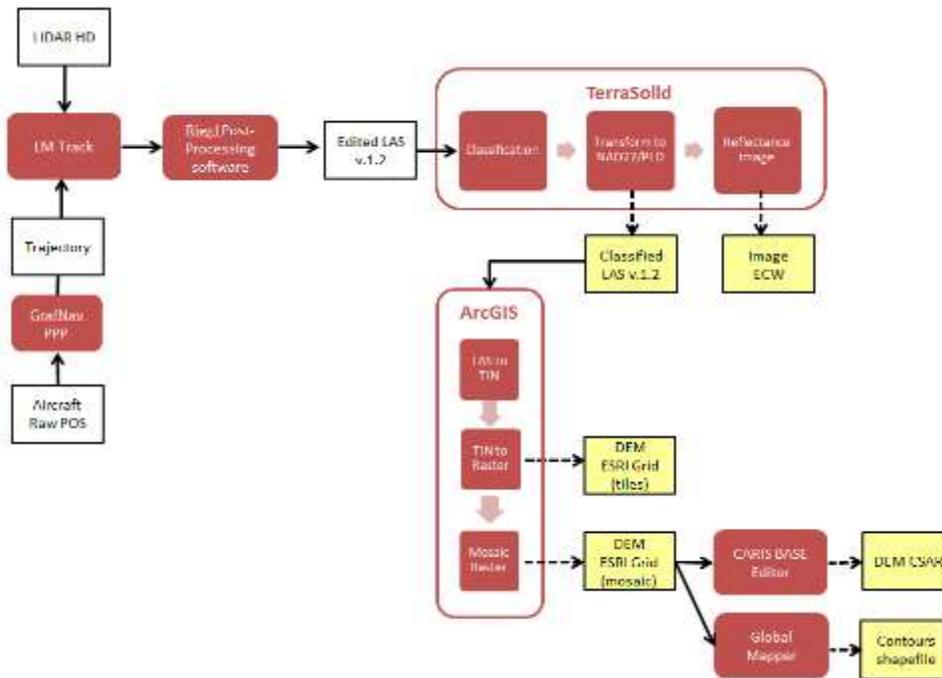


Figura 9. Processing Workflow Overview. Fuente: ACP

12.1.3 Lista de Software

En la Tabla No. 10 se muestra la lista de software, fabricante y versión usada.

Tabla No. 10 Lista de Softwares				
Nombre	Fabricante	Versión	Detalles	Cantidad
LMTrack	IGI	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Data download • QC 	1
Riegl Post Processing software	Riegl	N/A	Data QC	1
GrafNav	Novatel	N/A	Position post-processing	1
TerraScan	TerraSolid	015.004	<ul style="list-style-type: none"> • Point classification • Reflectance image 	5
TerraModeler	TerraSolid	015.002	Classification QC	5
ArcGIS	ESRI	9.3	<ul style="list-style-type: none"> • DEM • Contours QC 	5
BASE Editor	CARIS	4.0	DEM conversion	2
Global Mapper	Blue Marble Geographics	16.0	Contour generation Reprojection	2

12.2 Novatel GrafNav

La trayectoria de vuelo en GPS fue procesada con PPP (*Precise Point Positioning*) utilizando el software *GrafNav* from Novatel. El resultado de las trayectorias procesadas son referenciadas en ITRF08, UTM zona 17N, altura elipsoidal.

GrafNav fue utilizado para desarrollar el control de calidad de la trayectoria.

12.3 LiDAR Processing

Los datos del scanner LiteMapper 6800 fueron procesados y el control de calidad con las herramientas de IGI *LMTrack* and Riegl post-processing software.

12.4 TerraSolid

TerraSolid software suite fue usado para desarrollar la clasificación de los datos y también afinar el procesamiento. Los siguientes pasos fueron aplicados:

- Clasificación de puntos LAS como:
 - o 1: Default (vegetation, buildings, bridges...)
 - o 2: Ground (bare ground)
 - o 7: Low error (noise), points below ground.
 - o 9: Water, All water bodies more than 2m (4 or more points) width is classified under this class.
 - o 10: Overlap, the points in-between top and bottom of the cliff (sudden change in elevation) are classified under this class.
 - o 99: High error (noise), points above ground

Nota: clases 7, 9, 10 and 99 fueron añadidas a la clasificación para facilitar la generación de contornos y evaluación de datos. Clases 1 y 2 son datos válidos. El DEM fue creado a partir de puntos laser clase 2.

- Transformación Horizontal UTM17N-WGS84 A UTM17N-NAD27 (ACP) usando el datum con los siguientes parámetros:

Datum shift from WGS84		
Shift X:	22.87642	Rotation X: -2.09486870 arc sec
Shift Y:	-99.35018	Rotation Y: 0.79563677 arc sec
Shift Z:	-140.53256	Rotation Z: 0.59689367 arc sec
Scale correction:	5.00006000 ppm	

Figura 10. Datum Parámetros de cambio en TerraSolid. Fuente: ACP

- Apply tile index (1km x 1km) para exportar a LAS

Además, se crearon los siguientes archivos para ayudar al proceso de clasificación y control de calidad:

- Un grid regular DEM (“lattice”) en Terra Modeler
- Mosaico de imágenes aéreas ortho-rectified.

12.5 ArcGIS

ArcGIS es usado para crear un Triangular Irregular Network (TIN) de los puntos laser, y luego crea una resolución 1m raster DEM de TIN. Para éste procedimiento fue aplicado en ArcGIS 9.3.

La herramienta LAS a Multipoint de la caja de herramientas de 3D Analyst Tool fue usado para importar los datos LAS como puntos de las clases 2, 13 and 15 (todos los puntos definen el fondo marino y la superficie del suelo). Luego crear TIN de la función podría ejecutarse lo siguiente como Delineate TIN Data Areas para remover los bordes TIN más grandes de 5m.

Finalmente se corrieron las herramientas de TIN to Raster con la opción NATURAL_NEIGHBORS y tamaños de celda de 1m para crear 1m raster DEM. El archive fue salvado como format ESRI ASCII Grid con la función Raster to ASCII en la caja de herramienta Conversion.

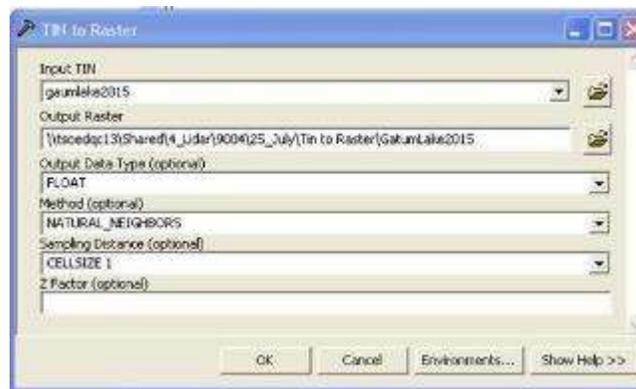


Figura 11. Ejemplo opción TIN to Raster. Fuente: ACP

12.6 CARIS BASE Editor

ESRI Grid en asci format *.asc puede ser dibirido para ser abierto en CARIS BASE Editor. Como un paso preliminar, CARIS system files “datum file” y “map definition file” tuvo que ser editado para insertar al datum ACP NAD27 y definiciones UTM.

Una vez abierto en CARIS Editor, los archivos DEM fueorn extraídos a .csar format.

12.7 Global Mapper

Global Mapper fue usado para extraer los contornos de 1m resolution DEM mosaic. Se encontró que era la única herramienta capaz de manejar archivo DEM grandes para extraer contornos. La Figure 11 muestra las opciones para la generación de contornos.

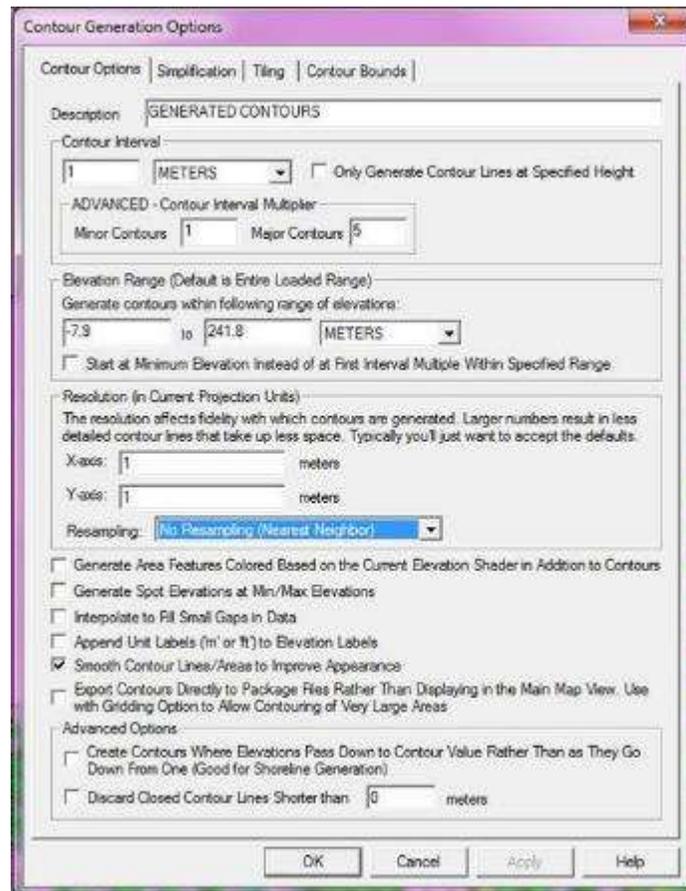


Figura 12. Opciones para Global Mapper Contour Generation. Fuente: ACP

Los contornos fueron controlados por topología y editados en ArcGIS.

En la salida del shapefile, "ALTITUDE" lleva el valor de elevación y "TYPE" la diferencia entre los contornos regulares y principales:

- TYPE = 1: regular contour (1m interval)
- TYPE = 2: major contour (5m interval)

13. Control de Calidad

Al final del procesamiento, se verificó la calidad de los datos de forma independiente para asegurarse de que cumplía con los estándares requeridos

13.1 Evaluación de la cobertura

Después de cada misión, los datos de vuelo se revisaron sistemáticamente utilizando el software LMTRACK para la evaluación de cobertura de los datos LiDAR. Para el área de Río Bayano se obtuvieron 5814 imágenes, ilustradas en la QuickMap.

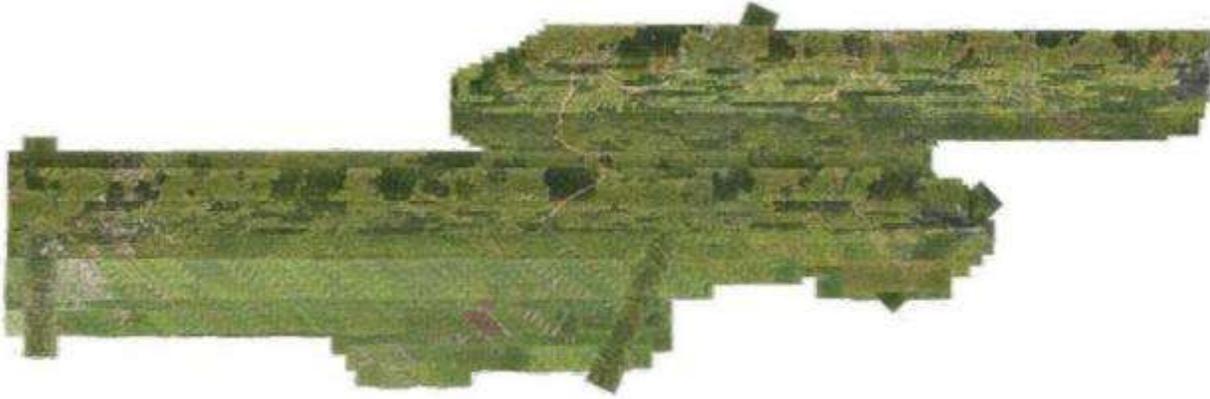


Figura 13. Quick map de Río Bayano completo. Fuente: ACP

La calidad se verificó The quality check is detailed in the table below and exhibits that 99.6% of images are respecting the contract (images with no comment, images with shadows and images with hotspot).

El control de calidad de las imágenes se detalla en la siguiente tabla (imágenes sin comentarios, imágenes con sombras e imágenes con hotspot).

Comments	V1	V2	v3	TOTAL
Number of images	858	1451	3505	5814
No comment	97.7%	93.7%	37.7%	60.5%
CLOUD	2.3%	0.0%	0.0%	0.3%
SHADOW	0.0%	5.1%	60.2%	37.6%
HOTSPOT	0.0%	1.0%	2.0%	1.5%
CORRUPTED	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
SMOKE	0.0%	0.2%	0.1%	0.1%

13.2 Calidad de posicionamiento

Cada trayectoria post-procesada se verificó para el control de calidad en el software GrafNav.

13.3 Calidad del procesamiento

13.3.1 Calidad de edición

Todos los datos procesados se revisaron durante la clasificación. Los problemas fueron reportados al equipo de procesamiento para su corrección.

En este proyecto, se detectaron algunas líneas de exploración erróneas y lagunas durante el control de calidad. Los datos fueron revisados e identificados como nubes que no se codificaron en post-procesamiento. La cobertura podría ser recuperada por otras líneas.

13.3.2 Calidad de la clasificación

La clasificación del área del levantamiento fue revisada por segunda vez por un procesador de alto nivel, utilizando las fotos aéreas y extraído el DEM para asegurarse de que no quedaba error.

13.3.3 Calidad del DEM y reflectancia de la imagen

Un proceso independiente comprobó la imagen de DEM y la reflectancia de la imagen utilizando varios softwares. El DEM creado en ArcGIS fue abierto en CARIS BASE Editor y exportado a GeoTIFF para control en Google Earth (alineación, verificación de posicionamiento general).

Igualmente, la reflectancia de las imágenes fueron superpuestas con DEM en ArcGIS para garantizar la coincidencia.

13.3.4 Calidad de los contornos

Todos los contornos fueron controlados por un especialista en cartografía para su corrección (de topología, así como aspecto). Se utilizaron las ArcGIS para verificar la topología de las líneas de los contornos.

13.3.5 Calibración de vuelo

Para calcular las imágenes y datos LiDAR se realizaron varios vuelos de calibración en el área de interés.

13.4 Producción de datos

13.4.1 Archivos clasificados LAS

Los archivos clasificados LAS se encuentran en el sistema de coordenadas UTM17N-NAD27, con alturas referidas a nivel medio del mar (MSL). El usuario de estos conjuntos de datos puede necesitar configurar los parámetros de transformación de datum NAD27 a WGS84 manualmente.

13.4.2 DEM

se encuentran en el sistema de coordenadas UTM17N-NAD27, con alturas referidas a nivel medio del mar (MSL). El usuario de estos conjuntos de datos puede necesitar configurar los parámetros de transformación de datum NAD27 a WGS84 manualmente.

13.4.3 Reflectancia de la imagen

De acuerdo a las necesidades, la reflectancia de las imágenes producidas están en formato .ecw, resolución de 1m, escala de 8 bits. Se adjunta un archivo .prj con la información de proyección. Todos los archivos están en el sistema de coordenadas UTM17N-NAD27. Este sistema de coordenadas puede no ser reconocido por todas las aplicaciones de software. El usuario de estos conjuntos de datos puede necesitar configurar los parámetros de transformación de datum NAD27 a WGS84 manualmente.

13.4.4 Contornos

Todos los contornos finales fueron entregados para el área de interés.

13.4.5 Índice de archivos

El índice de los archivos utilizados para crear los límites de los mosaicos se obtuvo mediante referencia cruzada con el índice de mosaico de ortofotos. El índice del mosaico de ortofotos era 2km x 2km. Cada uno de los mosaicos de las ortofotos se dividió en cuatro mosaicos LiDAR de 1 km x 1 km.

14. Conclusiones

La ACP provee información topográfica usando la tecnología LiDAR, se realizó el control de calidad que fue desarrollado en post-procesamiento de trayectorias (con algoritmo PPP) usando los softwares GrafNav de Novatel. La precisión de la información, en cuanto a valores de elevación, oscila entre 0.20 y 0.45 m. Los datos de salida por etapas son:

- Data cruda LiDAR
- Archivos de salida (archivos clasificados LAS, DEM, reflectance images, contornos, Imágenes de Río Bayano, tile index).