

**DESARROLLAR LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS INHERENTES A LA
EJECUCIÓN DEL PROYECTO “FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS
DE PLANIFICACIÓN CARTOGRÁFICAS Y TECNOLÓGICAS PARA EL
DISTRITO DE BUENAVENTURA - DEPARTAMENTO DE VALLE DEL CAUCA”
IDENTIFICADO CON EL CÓDIGO BPIN 2022761090121**

METODOLOGÍA DE PUNTOS DE CONTROL EXTRAIDOS DE LIDAR

**CONTRATO CP-PR-2023-088 CELEBRADO ENTRE ALIANZA PUBLICA PARA
EL DESARROLLO INTEGRAL -ALDESARROLLO Y
GEOMATICA MONCALEANO SÁENZ S.A.S.**

AGOSTO 2023

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 2 | ALCANCE..... | 3 |
| 3 | METODOLOGÍA..... | 5 |
| 3.1 | Verificación de la precisión obtenida de la nube de puntos LiDAR georreferenciados y clasificados | 5 |
| 3.2 | Selección de los sectores donde se extraerán los puntos de control a partir de LiDAR | 14 |
| 3.3 | Generación de imágenes de intensidad de cada uno de los sectores donde se extraerán los puntos de control a partir de LiDAR | 16 |
| 3.4 | Corte de la nube de puntos LiDAR en cada sector seleccionado | 16 |
| 3.5 | Obtención de detalles y coordenadas tridimensionales de los puntos de control extraídos de LiDAR | 16 |
| 3.6 | Incorporación de los puntos de control extraídos de LiDAR al bloque de aerotriangulación | 16 |
| 3.7 | Prueba de calidad posicional de los bloques aerotriangulados utilizando los puntos extraídos de LiDAR | 16 |
| 4 | CONCLUSIONES..... | 17 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|---------------|--|----|
| Ilustración 1 | Ejemplo de una imagen de intensidad con punto de control..... | 7 |
| Ilustración 2 | Fotografía del posicionamiento del punto de control..... | 7 |
| Ilustración 3 | Ejemplo de una nube de puntos LiDAR recortados en dos dimensiones..... | 8 |
| Ilustración 4 | Nube de puntos LiDAR para visión estereoscópica | 8 |
| Ilustración 5 | Conformación de los bloques de aerotriangulación Norte, Centro y Sur | 15 |

1 INTRODUCCIÓN

Debido a que en la zona Urbana y rural de Buenaventura se presentaron condiciones de orden público y a su vez de acceso a la zona que impiden parcialmente las labores de campo toma como son la toma de puntos de fotocontrol, GMS S.A.S adelanto el levantamiento de 20 puntos de fotocontrol en el casco urbano y 144 puntos de fotocontrol en 12 centros poblados que se habían planeado inicialmente, teniendo en cuenta que se diseñaron más puntos de fotocontrol para realizar los respectivos ajustes de los bloques de aerotriangulación (34 bloques de centros poblados, 1 casco urbano, X bloques en el área rural).

Al conformar los bloques de aerotriangulación y a manera de reforzar su apoyo se optó por extraer detalles del terreno a partir de la información de la nube de puntos LiDAR georreferenciada y clasificada reduciendo las visitas a campo y asegurando la precisión requerida por el proyecto a sus diferentes escalas.

2 ALCANCE

La metodología propuesta para la extracción de puntos de foto control a través de datos LIDAR constituye una alternativa que asegura cumplir con las precisiones esperadas en los procesos de foto control convencionales que se llevan a cabo en campo directamente. Su aplicación se extenderá a aquellas áreas que aún no han sido objeto de actividades de foto control en campo. A continuación, se precisan en que zona se aplicara esta metodología:

| ZONA | METODO FOTOCONTROL |
|-----------------------|--------------------------|
| CENTRO POBLADO | |
| BAJO CALIMA | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| BENDICIONES | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| CAMINO VIEJO - KM 40 | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| CISNEROS | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| CÓRDOBA | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| EL SALTO | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| KATANGA | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| LA DELFINA | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| QUEBRADA PERICOS | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| TRIANA | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| VILLA ESTELA | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| ZARAGOSA | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| AGUACLARA | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| BARRIO BUENOS AIRES | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| AEROPUERTO CALLE LARGA - | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| CAMPO HERMOSO | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| EL CRUCERO | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| EL LIMONES | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| GUAIMIA | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| LA BALASTRERA | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| LA BOCANA | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| LA CONTRA | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| LAS PALMAS | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| LLANO BAJO | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| PIANGUITA | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| PUNTA SOLDADO | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| SABALETA | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| SAN CIPRIANO | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| SAN MARCOS | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| UMANE | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| ZACARÍAS | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| JUANCHACO | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| LA BARRA | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| LADRILLEROS | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |
| ZONA URBANA CABECERA MUNICIPAL | FOTOCONTROL CONVENCIONAL |
| ZONA RURAL | FOTOCONTROL METODOLOGIA LIDAR |

En las áreas previamente citadas para la implementación de esta metodología, se llevará a cabo la adquisición de datos mediante un escaneo LIDAR con una densidad de muestreo de 4 puntos por metro cuadrado. Esto se traduce en la captura de 40,000 puntos por hectárea, garantizando así la obtención de una cantidad suficiente de datos LIDAR. La captura de datos a alta densidad no solo proporcionará una base sólida para el análisis posterior, sino que también permitirá la identificación precisa de elementos y características dentro de la zona de estudio. Al foto identificar elementos en combinación con los datos LIDAR, se posibilita una correlación efectiva entre los puntos LIDAR y los elementos foto identificados en las fotografías.

Los elementos a seleccionar en las fotografías aéreas para tomarlos como puntos de foto control deben tener una identificación lo más precisa en las fotografías, se

requiere que los elementos a reconocer estén preferiblemente situados al nivel de la superficie del suelo. En consecuencia, resulta imperativo llevar a cabo una selección minuciosa de los puntos capturados mediante LIDAR que se encuentren alineados con dicha superficie. En este sentido, se llevará a cabo una clasificación de los puntos LIDAR en dos categorías: "ground" y "no ground".

La distinción entre estos dos grupos es esencial para asegurar la calidad y fiabilidad de los resultados. Los puntos "ground" constituyen aquellos que efectivamente se encuentran en contacto con la superficie terrestre, lo que significa que proporcionan información valiosa sobre la topografía y la configuración del terreno.

3 METODOLOGÍA

La metodología que se desarrollara para la extracción de los puntos de control a partir de la nube de puntos LiDAR georreferenciados y clasificados se basa en los siguientes aspectos técnicos:

- ✓ Verificación de la precisión obtenida de la nube de puntos LiDAR georreferenciados y clasificados.
- ✓ Selección de los sectores donde se extraerán los puntos de control a partir de LiDAR
- ✓ Generación de imágenes de intensidad de cada uno de los sectores donde se extraerán los puntos de control a partir de LiDAR.
- ✓ Corte de la nube de puntos LiDAR en cada sector seleccionado.
- ✓ Obtención de detalles y coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) de los puntos de control extraídos de LiDAR.
- ✓ Incorporación de los puntos de control extraídos de LiDAR al bloque de aerotriangulación.
- ✓ Verificación de coordenadas de los puntos extraídos de LiDAR en el bloque aerotriangulado.

3.1 Verificación de la precisión obtenida de la nube de puntos LiDAR georreferenciados y clasificados

En la toma de datos aéreos se tienen dos sensores montados (cámara y LiDAR) sobre una sola plataforma física, a pesar de ello los dos sensores trabajan de manera independiente y sus procesos difieren uno del otro debido a su naturaleza.

La información LiDAR es georreferenciada mediante el apoyo de una base en tierra que captura la información GPS haciendo uso de un receptor geodésico de doble



frecuencia ubicado sobre un punto con coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) conocidas, el registro de los tres ángulos registrados por los sensores inerciales y la información capturada del GPS instalado en la aeronave.

La información fotogramétrica es georreferenciada también mediante el apoyo de una base en tierra que captura la información GPS haciendo uso de un receptor geodésico de doble frecuencia ubicado sobre un punto con coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) conocidas, el registro de los tres ángulos registrados por los sensores inerciales (Omega, phi, Kappa) y los puntos de fotocontrol levantados en campo, proceso que se llama aerotriangulación.

La información LiDAR después de su procesamiento se someterá a un control de calidad efectuando varias pruebas, entre las cuales está la exactitud posicional tridimensional (X, Y, Z), para esta prueba se procederá de la siguiente forma:

Se tomarán los puntos de fotocontrol levantados en campo y calculados por el método GPS estático diferencial, se recortará la nube de puntos LiDAR con un radio de 50 metros alrededor de cada punto y se visualizará esta nube en estación fotogramétrica digital mediante la observación estereoscópica de dicha nube, se extraerán las coordenadas de los detalles de los puntos de fotocontrol y se compararán con las obtenidas del cálculo de GPS de campo, también se usarán las imágenes de intensidad generadas a partir de la nube de puntos y que pudieran ser visualizadas con claridad, de éstas se pueden utilizar las coordenadas planimétricas y las alturas se obtienen del DTM generado, es decir se tienen dos tipos de métodos para obtener las coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) de los puntos.

A continuación, se presenta un ejemplo de una imagen de intensidad:

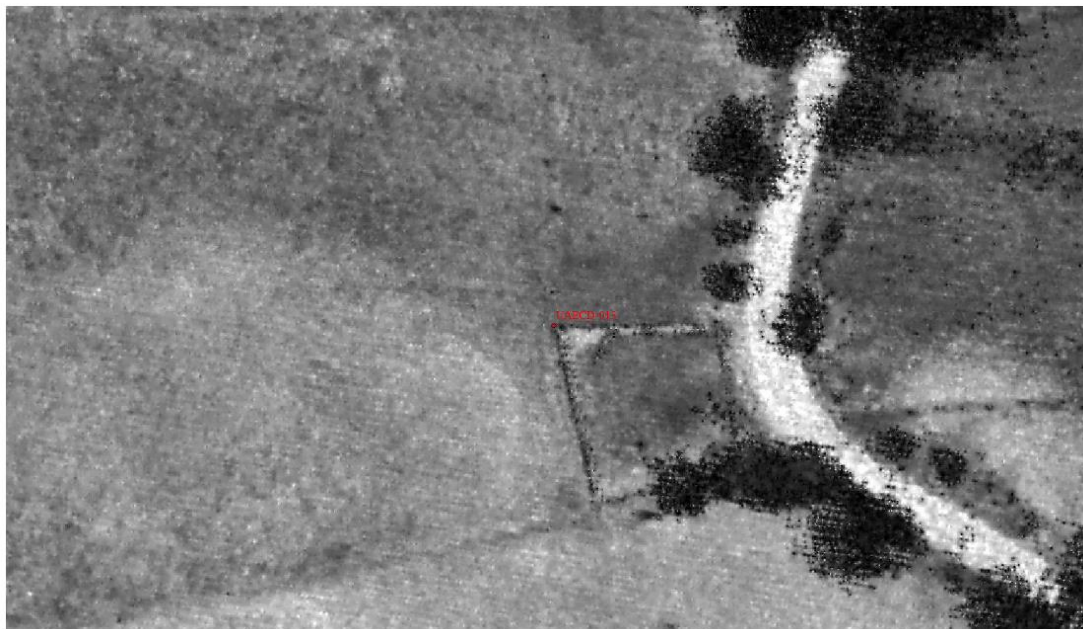


Ilustración 1 Ejemplo de una imagen de intensidad con punto de control

En campo corresponde a la siguiente imagen:



Ilustración 2 Fotografía del posicionamiento del punto de control

A continuación, se presenta un ejemplo de una nube de puntos LiDAR recortados en dos dimensiones.

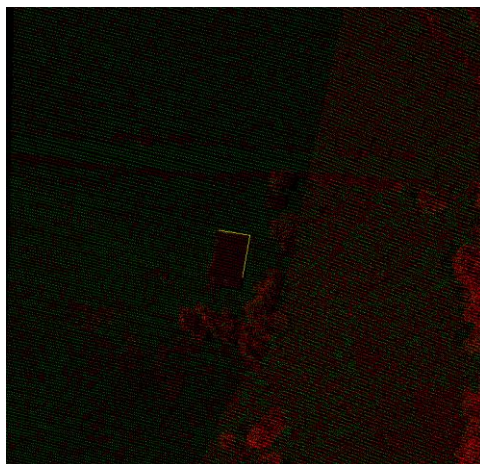


Ilustración 3 Ejemplo de una nube de puntos LiDAR recortados en dos dimensiones

A continuación, se presenta una imagen de la nube de puntos LiDAR recortada del mismo punto, pero conformando un modelo estereoscópico

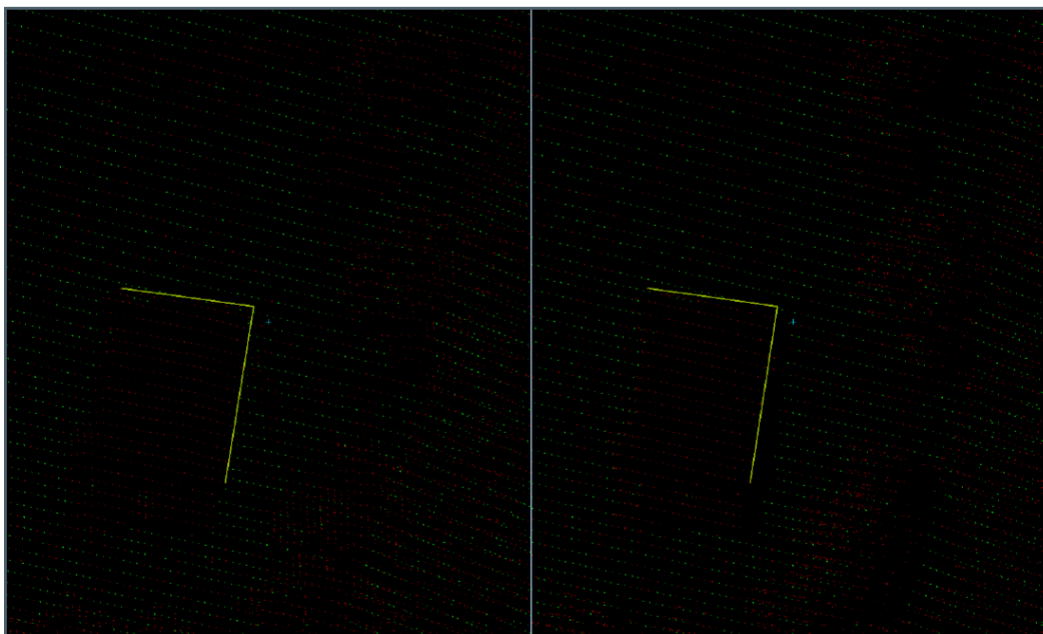
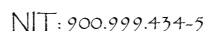


Ilustración 4 Nube de puntos LiDAR para visión estereoscópica



Dirección: Avenida El Dorado No. 68C-61 - oficina 822 Bogotá
Teléfono: – Celular: 305 7106086 -3167190938
Email: jesus.moncaleano@gmssas.com.co



GEOMATICA MONCALEANO SAENZ S.A.S.

NIT: 900.999.434-5

| Zona | Este | Norte | Cota Ortométrica | Cota DTM | Diferencia en cota |
|---------|------------|------------|------------------|----------|--------------------|
| CAICEDO | 981949.723 | 950297.207 | 3818.624 | 3818.696 | -0.072 |
| | 981947.265 | 950297.666 | 3818.733 | 3818.827 | -0.094 |
| | 981944.961 | 950298.044 | 3818.525 | 3818.648 | -0.123 |
| | 981944.043 | 950293.013 | 3818.568 | 3818.692 | -0.124 |
| | 981946.494 | 950292.610 | 3818.761 | 3818.853 | -0.092 |
| | 981949.381 | 950292.169 | 3818.584 | 3818.677 | -0.093 |
| | 981947.928 | 950287.011 | 3818.664 | 3818.770 | -0.106 |
| | 981945.265 | 950287.528 | 3818.802 | 3818.889 | -0.087 |
| | 981942.732 | 950288.022 | 3818.550 | 3818.729 | -0.179 |
| | 981941.641 | 950282.971 | 3818.606 | 3818.777 | -0.171 |
| | 981944.307 | 950282.487 | 3818.810 | 3818.885 | -0.075 |
| | 981947.018 | 950281.851 | 3818.658 | 3818.762 | -0.104 |
| | 981945.950 | 950276.538 | 3818.609 | 3818.757 | -0.148 |
| | 981943.149 | 950277.231 | 3818.795 | 3818.905 | -0.110 |
| | 981940.381 | 950277.812 | 3818.626 | 3818.789 | -0.163 |
| | 981939.557 | 950272.823 | 3818.650 | 3818.789 | -0.139 |
| | 981942.150 | 950272.127 | 3818.759 | 3818.890 | -0.131 |
| | 981944.572 | 950271.575 | 3818.608 | 3818.751 | -0.143 |
| | 981943.224 | 950266.510 | 3818.676 | 3818.781 | -0.105 |
| | 981940.648 | 950267.154 | 3818.837 | 3818.913 | -0.076 |
| | 981938.222 | 950267.589 | 3818.722 | 3818.824 | -0.102 |
| | 981937.294 | 950262.689 | 3818.816 | 3818.895 | -0.079 |
| | 981939.427 | 950262.234 | 3818.889 | 3818.965 | -0.076 |
| | 981941.888 | 950261.651 | 3818.780 | 3818.845 | -0.065 |
| | 981950.574 | 950281.429 | 3818.561 | 3818.731 | -0.170 |
| | 981955.381 | 950279.383 | 3816.477 | 3816.617 | -0.140 |
| | 981963.225 | 950276.975 | 3814.016 | 3814.160 | -0.144 |
| | 981973.122 | 950274.149 | 3812.514 | 3812.670 | -0.156 |
| | 981936.134 | 950284.154 | 3823.616 | 3823.774 | -0.158 |
| | 981933.849 | 950284.831 | 3824.496 | 3824.692 | -0.196 |
| | 981930.863 | 950284.895 | 3822.050 | 3822.220 | -0.170 |
| | 981920.741 | 950287.328 | 3823.309 | 3823.442 | -0.133 |
| | 981915.227 | 950288.546 | 3827.421 | 3827.327 | 0.094 |
| | 981934.870 | 950257.383 | 3818.887 | 3818.729 | 0.158 |



GEOMATICA MONCALEANO SAENZ S.A.S.

NIT: 900.999.434-5

| Zona | Este | Norte | Cota Ortométrica | Cota DTM | Diferencia en cota |
|-----------|------------|------------|------------------|----------|--------------------|
| PRIMAVERA | 986507.281 | 954891.849 | 3408.431 | 3408.570 | -0.139 |
| | 986505.314 | 954894.273 | 3408.640 | 3408.796 | -0.156 |
| | 986503.828 | 954896.088 | 3408.585 | 3408.731 | -0.146 |
| | 986500.122 | 954892.787 | 3408.865 | 3409.032 | -0.167 |
| | 986501.703 | 954890.619 | 3408.970 | 3409.126 | -0.156 |
| | 986503.205 | 954888.613 | 3408.823 | 3409.002 | -0.179 |
| | 986499.564 | 954885.510 | 3409.111 | 3409.322 | -0.211 |
| | 986497.920 | 954887.574 | 3409.285 | 3409.446 | -0.161 |
| | 986496.329 | 954889.528 | 3409.217 | 3409.429 | -0.212 |
| | 986492.526 | 954886.364 | 3409.494 | 3409.753 | -0.259 |
| | 986494.117 | 954884.356 | 3409.670 | 3409.804 | -0.134 |
| | 986495.479 | 954882.612 | 3409.524 | 3409.719 | -0.195 |
| | 986491.600 | 954879.831 | 3409.852 | 3410.013 | -0.161 |
| | 986490.002 | 954881.292 | 3409.959 | 3410.142 | -0.183 |
| | 986488.755 | 954883.093 | 3409.886 | 3410.085 | -0.199 |
| | 986485.080 | 954879.839 | 3410.253 | 3410.409 | -0.156 |
| | 986486.239 | 954878.277 | 3410.266 | 3410.439 | -0.173 |
| | 986487.440 | 954876.805 | 3410.153 | 3410.323 | -0.170 |
| | 986483.581 | 954873.790 | 3410.483 | 3410.645 | -0.162 |
| | 986482.157 | 954875.157 | 3410.594 | 3410.740 | -0.146 |
| | 986481.184 | 954876.863 | 3410.543 | 3410.727 | -0.184 |
| | 986490.811 | 954888.702 | 3412.317 | 3412.292 | 0.025 |
| | 986486.905 | 954893.236 | 3414.749 | 3414.963 | -0.214 |
| | 986484.145 | 954897.266 | 3416.742 | 3417.060 | -0.318 |
| | 986480.786 | 954902.125 | 3420.011 | 3420.233 | -0.222 |
| | 986477.417 | 954906.432 | 3421.924 | 3422.182 | -0.258 |
| | 986496.743 | 954881.002 | 3409.292 | 3409.514 | -0.222 |
| | 986499.166 | 954877.902 | 3407.973 | 3408.259 | -0.286 |
| | 986502.449 | 954873.726 | 3406.305 | 3406.567 | -0.262 |
| | 986504.854 | 954870.281 | 3405.284 | 3405.446 | -0.162 |
| | 986508.947 | 954864.808 | 3402.210 | 3402.471 | -0.261 |
| | 986501.561 | 954874.318 | 3406.576 | 3406.755 | -0.179 |



GEOMATICA MONCALEANO SAENZ S.A.S.

NIT: 900.999.434-5

| Zona | Este | Norte | Cota Ortométrica | Cota DTM | Diferencia en cota |
|----------|------------|------------|------------------|----------|--------------------|
| REGADERA | 992530.773 | 976832.915 | 3006.875 | 3007.030 | -0.155 |
| | 992527.458 | 976835.131 | 3006.910 | 3007.059 | -0.149 |
| | 992524.090 | 976837.319 | 3006.903 | 3007.065 | -0.162 |
| | 992520.753 | 976839.512 | 3006.875 | 3007.054 | -0.179 |
| | 992517.403 | 976841.676 | 3006.867 | 3007.050 | -0.183 |
| | 992514.028 | 976843.838 | 3006.869 | 3007.058 | -0.189 |
| | 992508.965 | 976846.991 | 3006.864 | 3007.049 | -0.185 |
| | 992512.584 | 976852.822 | 3006.940 | 3007.125 | -0.185 |
| | 992516.299 | 976858.627 | 3006.824 | 3007.000 | -0.176 |
| | 992521.273 | 976855.387 | 3006.884 | 3007.035 | -0.151 |
| | 992517.811 | 976849.540 | 3006.994 | 3007.169 | -0.175 |
| | 992520.899 | 976847.384 | 3006.998 | 3007.169 | -0.171 |
| | 992524.674 | 976853.224 | 3006.893 | 3007.044 | -0.151 |
| | 992528.067 | 976851.119 | 3006.891 | 3007.050 | -0.159 |
| | 992524.458 | 976845.314 | 3006.996 | 3007.183 | -0.187 |
| | 992527.758 | 976843.075 | 3006.996 | 3007.178 | -0.182 |
| | 992531.391 | 976848.911 | 3006.859 | 3007.023 | -0.164 |
| | 992534.776 | 976846.778 | 3006.840 | 3006.999 | -0.159 |
| | 992531.179 | 976840.955 | 3006.988 | 3007.166 | -0.178 |
| | 992534.453 | 976838.750 | 3006.959 | 3007.114 | -0.155 |
| | 992538.180 | 976844.694 | 3006.794 | 3006.933 | -0.139 |
| | 992523.530 | 976845.803 | 3006.997 | 3007.185 | -0.188 |



GEOMATICA MONCALEANO SAENZ S.A.S.

NIT: 900.999.434-5

| Zona | Este | Norte | Cota Ortométrica | Cota DTM | Diferencia en cota |
|----------|------------|------------|------------------|----------|--------------------|
| SAN JUAN | 974424.198 | 938448.971 | 3587.202 | 3587.301 | -0.099 |
| | 974421.443 | 938449.798 | 3587.053 | 3587.175 | -0.122 |
| | 974418.764 | 938450.739 | 3586.849 | 3586.943 | -0.094 |
| | 974420.153 | 938455.658 | 3586.780 | 3586.898 | -0.118 |
| | 974422.722 | 938454.702 | 3586.951 | 3587.062 | -0.111 |
| | 974425.515 | 938453.828 | 3587.067 | 3587.188 | -0.121 |
| | 974426.589 | 938458.735 | 3586.921 | 3587.034 | -0.113 |
| | 974423.757 | 938459.526 | 3586.809 | 3586.930 | -0.121 |
| | 974421.178 | 938460.543 | 3586.685 | 3586.785 | -0.100 |
| | 974422.046 | 938465.410 | 3586.561 | 3586.631 | -0.070 |
| | 974424.725 | 938464.707 | 3586.657 | 3586.787 | -0.130 |
| | 974427.649 | 938463.833 | 3586.732 | 3586.859 | -0.127 |
| | 974428.497 | 938468.926 | 3586.530 | 3586.647 | -0.117 |
| | 974425.591 | 938469.656 | 3586.493 | 3586.615 | -0.122 |
| | 974422.900 | 938470.399 | 3586.440 | 3586.536 | -0.096 |
| | 974423.760 | 938475.377 | 3586.253 | 3586.357 | -0.104 |
| | 974426.421 | 938474.569 | 3586.305 | 3586.421 | -0.116 |
| | 974429.354 | 938474.061 | 3586.311 | 3586.441 | -0.130 |
| | 974430.095 | 938479.317 | 3586.066 | 3586.208 | -0.142 |
| | 974427.239 | 938479.723 | 3586.128 | 3586.245 | -0.117 |
| | 974424.421 | 938480.274 | 3586.099 | 3586.207 | -0.108 |
| | 974429.362 | 938463.876 | 3586.561 | 3586.750 | -0.189 |
| | 974435.235 | 938462.198 | 3585.112 | 3585.269 | -0.157 |
| | 974440.398 | 938460.790 | 3584.861 | 3585.010 | -0.149 |
| | 974445.556 | 938459.541 | 3584.025 | 3583.796 | 0.229 |
| | 974449.271 | 938458.642 | 3583.281 | 3583.421 | -0.140 |
| | 974419.268 | 938466.036 | 3586.628 | 3586.755 | -0.127 |
| | 974412.529 | 938467.750 | 3587.260 | 3587.404 | -0.144 |
| | 974405.770 | 938469.493 | 3587.884 | 3588.060 | -0.176 |
| | 974398.616 | 938471.314 | 3588.769 | 3588.971 | -0.202 |
| | 974427.378 | 938457.846 | 3587.237 | 3587.086 | 0.151 |

| Zona | Este | Norte | Cota Ortométrica | Cota DTM | Diferencia en cota |
|-----------------|------------|------------|------------------|----------|--------------------|
| SANTA HELENA | 986418.585 | 972663.245 | 3398.719 | 3398.888 | -0.169 |
| | 986418.990 | 972667.248 | 3398.753 | 3398.886 | -0.133 |
| | 986419.660 | 972671.102 | 3398.726 | 3398.829 | -0.103 |
| | 986420.396 | 972675.039 | 3398.646 | 3398.789 | -0.143 |
| | 986421.137 | 972678.927 | 3398.578 | 3398.714 | -0.136 |
| | 986421.804 | 972682.835 | 3398.533 | 3398.649 | -0.116 |
| | 986422.477 | 972686.825 | 3398.487 | 3398.598 | -0.111 |
| | 986419.353 | 972687.483 | 3398.585 | 3398.733 | -0.148 |
| | 986417.159 | 972687.823 | 3398.524 | 3398.671 | -0.147 |
| | 986416.411 | 972684.036 | 3398.532 | 3398.705 | -0.173 |
| | 986418.980 | 972683.557 | 3398.647 | 3398.808 | -0.161 |
| | 986418.529 | 972679.483 | 3398.701 | 3398.876 | -0.175 |
| | 986416.133 | 972679.982 | 3398.668 | 3398.827 | -0.159 |
| | 986415.563 | 972676.038 | 3398.750 | 3398.882 | -0.132 |
| | 986417.956 | 972675.522 | 3398.747 | 3398.954 | -0.207 |
| | 986416.941 | 972671.828 | 3398.840 | 3399.029 | -0.189 |
| | 986414.979 | 972672.074 | 3398.819 | 3398.909 | -0.090 |
| | 986414.255 | 972668.172 | 3398.865 | 3398.968 | -0.103 |
| | 986416.193 | 972667.822 | 3398.883 | 3399.051 | -0.168 |
| | 986413.581 | 972664.259 | 3398.911 | 3398.960 | -0.049 |
| | 986415.662 | 972663.824 | 3398.947 | 3399.061 | -0.114 |

3.2 Selección de los sectores donde se extraerán los puntos de control a partir de LiDAR

Para la utilización adecuada de los puntos que se extraerán de LiDAR se conformaran bloques de aerofotografías, ya que el manejo de un número muy de grande de fotografías por bloque hace que los procesos siguientes como triangulación y restitución se tornen muy demorados para los sistemas.

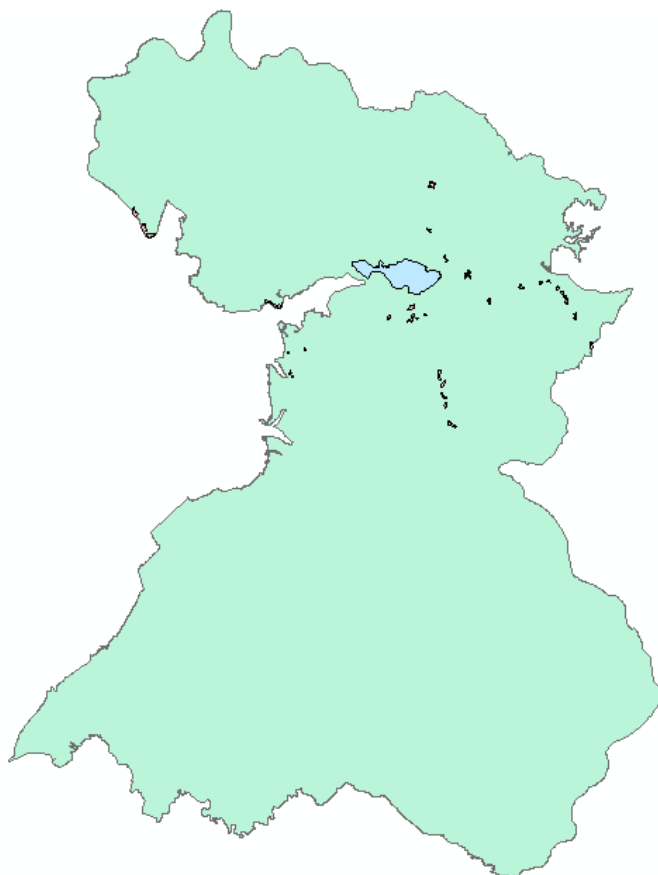


Ilustración 5 Conformación de los bloques de aerotriangulación Norte, Centro y Sur

Una vez se conformaron los bloques se superpondrán los puntos de fotocontrol levantados en campo con el fin de ubicar los sectores donde se deben extraer puntos de control extraídos de LiDAR.

3.3 Generación de imágenes de intensidad de cada uno de los sectores donde se extraerán los puntos de control a partir de LiDAR

Una vez se ubiquen los sectores de los puntos a extraer de LiDAR se procederá a generar las respectivas imágenes de intensidad en formato .img para cada uno de los sectores de cada punto.

3.4 Corte de la nube de puntos LiDAR en cada sector seleccionado

Se procederá a efectuar el corte de la nube de puntos LiDAR para cada sector diseñado con un radio de 50 metros alrededor de cada sector, esta información en formato DGN.

Estos archivos contendrán la nube puntos LiDAR y adicionalmente los elementos restituidos en estación fotogramétrica digital que se interpretaran dentro de esa nube, se restituirán vectores en 3D para elementos de área como vértices de construcciones, de piedras y se digitalizara una sola línea para elementos puntuales que se encuentran en uno de los extremos de esa línea.

3.5 Obtención de detalles y coordenadas tridimensionales de los puntos de control extraídos de LiDAR

Utilizando la observación estereoscópica de la nube de puntos LiDAR recortada, se adquirirán las coordenadas tridimensionales de cada detalle junto con su respectiva descripción, que posteriormente se incorporará en una imagen de una ortofoto preliminar.

3.6 Incorporación de los puntos de control extraídos de LiDAR al bloque de aerotriangulación

Una vez se cuenten con las coordenadas y descripciones de los puntos extraídos mediante LiDAR, se procederá a incorporarlos a las mediciones dentro del proceso de aerotriangulación. Esto permitirá realizar ajustes precisos en cada bloque, asegurando que cumplan con las especificaciones requeridas para las diferentes escalas, ya sea 1:1.000 o 1:5.000.

3.7 Prueba de calidad posicional de los bloques aerotriangulados utilizando los puntos extraídos de LiDAR

Se verificará la triangulación generada para cada bloque de dos maneras. En primer lugar, se compararán las coordenadas leídas en la estación digital fotogramétrica

de cada modelo estereoscópico con las obtenidas del fotocontrol levantado en campo y calculado mediante GPS. En segundo lugar, se realizará una comparación entre las coordenadas leídas en la estación digital fotogramétrica de cada modelo estereoscópico y las obtenidas de los puntos extraídos mediante LiDAR.

4 CONCLUSIONES

LiDAR (Light Detection and Ranging) es una tecnología de percepción remota que utiliza pulsos láser para medir distancias y crear representaciones tridimensionales de los elementos del área de la superficie terrestre capturada. La precisión en posición de los datos LiDAR puede variar ampliamente según el tipo de sistema utilizado, la calidad del equipo, las condiciones ambientales y la aplicación específica.

Los sistemas LiDAR aerotransportados de alta precisión, utilizados en aplicaciones de cartografía, topografía y modelado 3D de alta resolución, pueden lograr una precisión posicional en el rango de centímetros a pocos centímetros. Estos sistemas suelen estar equipados con sistemas de navegación por satélite de alta precisión (GNSS) y unidades de medición inercial (IMU) altamente precisas para garantizar una ubicación y orientación precisas de los datos LiDAR.

Dicho lo anterior, los datos LiDAR del proyecto fueron capturados con el sensor Leica ALS70-HP (Airborne Laser Scanner 70 - High Performance), que es un sistema de escaneo láser aerotransportado desarrollado por Leica Geosystems, una reconocida empresa en el campo de la tecnología geoespacial y sistemas de medición.

Las principales características de este sensor son:

Tecnología de Escaneo Láser: El sistema utiliza pulsos láser para medir las distancias entre el sensor en el avión y los objetos en la superficie terrestre. El láser emite pulsos que rebotan en la superficie y se reciben nuevamente en el sensor, lo que permite calcular la distancia y la posición tridimensional de los objetos.

Alta Densidad de Puntos: El ALS70-HP puede capturar una densidad significativamente alta de puntos en el suelo, lo que proporciona una representación detallada y precisa del terreno y los objetos. Esto es especialmente útil en áreas con topografía compleja o en aplicaciones que requieren un alto nivel de detalle.

Doble Pulso (Dual Pulse): Una característica distintiva de este sistema es su capacidad de utilizar un doble pulso láser. Esto significa que se emiten dos pulsos láser muy cercanos entre sí, lo que mejora la capacidad de penetrar el dosel forestal y capturar datos en áreas densamente arboladas.



Sistema Inercial de Medición (IMU) y GNSS: El ALS70-HP está equipado con una unidad de medición inercial y sistemas de navegación por satélite de alta precisión (GNSS). Estos componentes permiten la medición precisa de la orientación y la posición del sensor durante el vuelo, lo que es esencial para calcular con precisión las coordenadas tridimensionales de los puntos capturados.

Software de Procesamiento de Datos: Los datos capturados por el ALS70-HP se procesan utilizando software especializado que permite la creación de modelos digitales del terreno (DTM), nubes de puntos tridimensionales y otros productos cartográficos.

Precisión Posicional: El sistema produce datos después del posprocesamiento con una precisión de ubicación horizontal de 5 a 38 cm y vertical de 7 a 16 cm (una desviación estándar) a partir de objetivos que llenan todo el campo con una reflectividad difusa del 10 % o más con visibilidad atmosférica de 23,5 km o mejor para alturas de vuelo de hasta 3500 m AGL (modo SPiA) y FOV nominal de 40 grados.

Dadas las dificultades en las diferentes zonas para la captura de puntos de control con fines de ajuste y chequeo de los productos fotogramétricos generados, y tomando como base el cumplimiento de factores que tienen relación directa con la exactitud en posición y altura de los datos LiDAR obtenidos, como calidad y precisión de la unidad de medición inercial (IMU) y del sistema de navegación por satélite (GNSS) del sensor utilizado, densidad de puntos LiDAR con numerosos datos de referencia en la nube de puntos para realizar las comparaciones y alineaciones necesarias, y calidad en el procesamiento con una metodología rigurosa utilizada para el ajuste, con algoritmos avanzados de registro y filtrado que mejoran la precisión del ajuste directo, es posible obviar el levantamiento de puntos de control y de chequeo, tomando como definitiva la coordenada XY de cada dato y realizando un proceso de ajuste por nivelación GPS para obtener alturas ortométricas de las zonas voladas.

Dicho proceso estará basado en la generación de una grilla distribuida a nivel de terreno en la nube de puntos clasificada en altura elipsoidal. Se tratarán las coordenadas de dichos puntos como datos GPS a los cuales se les determinará una altura ortométrica por metodología de nivelación GPS, tomando como bases de ajuste un par de vértices geodésicos de la red pasiva del IGAC con alturas niveladas y posición calculada. Este método vincula las alturas elipsoidales con el modelo geoidal para trasladar el control vertical a nuevos puntos de referencia ajustando las alturas por el método de mínimos cuadrados.

Una vez obtenidas las alturas ortométricas, se efectúa un control de cotas entre los puntos calculados y el LiDAR clasificado, con la finalidad de obtener la diferencia



entre los dos datos. Finalmente, con dichas diferencias de alturas obtenidas en cada punto, se genera el modelo local de ajuste que se aplica a los datos LiDAR para que se fijen a los puntos calculados.

Como método de verificación, se realizará un comparativo de la nube de puntos LiDAR procesada en altura elipsoidal, con los vértices geodésicos de la red pasiva del IGAC existentes en la zona y de igual forma con altura elipsoidal, para validar que las diferencias entre las dos fuentes de datos están dentro de las precisiones requeridas para el proyecto.

La información LiDAR es una valiosa fuente de datos confiable para respaldar procesos de georreferenciación, especialmente en casos especiales en los que no se puede llevar a cabo trabajo de campo. Esta tecnología cumple con las especificaciones necesarias para producir productos cartográficos a escala 1:1.000 y 1:5.000, como aerotriangulaciones y ortofotografías.