**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**

GEOMATICA MONCALEANO SAENZ S.A.S. NIT: 900.999.434-5 

**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

*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 

**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 |

*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 

ZARAGOSA FOTOCONTROL CONVENCIONAL

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

*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 

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

*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 

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.

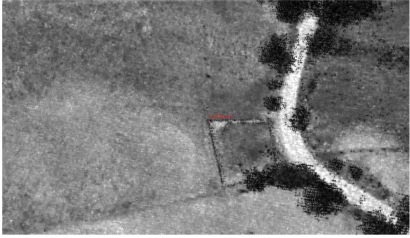
La información LiDAR después de su procesamiento se someterá a un control de calidad efectuando varias pruebas, entre las cuales está la exactitud posicional tridimensional (X, Y, Z), para esta prueba se procederá de la siguiente forma:

Se tomaran los puntos de fotocontrol levantados en campo y calculados por el método GPS estático diferencial, se recortara la nube de puntos LiDAR con un radio de 50 metros alrededor de cada punto y se visualizara 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 compararan con las obtenidas del cálculo de GPS de campo, también se usaran 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 altura 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:

*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 



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

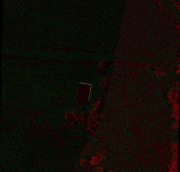
En campo corresponde a la siguiente imagen:

*Ilustración 2 Fotografía del posicionamiento del punto de control*

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

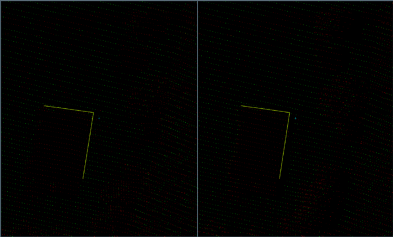
GEOMATICA MONCALEANO SAENZ S.A.S. NIT: 900.999.434-5 

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 

A continuación, se presentan los resultados de la verificación de la exactitud posicional tridimensional de la nube de puntos LiDAR con respecto a los puntos de fotocontrol levantados en campo para un proyecto en Bogotá con lo cual se

comprobó la metodología a utilizar en Buenaventura.

**CONTROL EXACTITUD POSICIONAL LIDAR**

**C A LC ULO D E EXA C T IT UD A B SOLUT A D E P OSIC ION H OR IZ ON T A L**

**N o . M o delo N o . P unto C o o rdenada Este T errenoC o o rdenada N o rte T errenoC o o rdenada Este Lectura M o delo A TC o o rdenada N o rte Lectura M o delo A TΔ E Δ N (Δ E)2 (Δ N )2 Erro r en P o sició n ( Xi ) Erro r en po sicio n al**

Cundinam arca / Bogotá Rural (Sum apaz)

**C A LC ULO D E EXA C T IT UD A B SOLUT A D E P OSIC ION VER T IC A L ( Z i )Erro r en co ta**

**PROYECTO: ESCALA:** CONTRATO 235 de 2018

**cuadrado (X i )2 (Xi - X) 2 C o ta T erreno C o ta Leí da EstereoLectura en C o taErro r en C o ta** 1:2000 **SISTEMA DE REFERENCIA:** MAGNA Origen Bogotá Central

**al cuadrado**

**( Z i )2( Z i - Z ) 2**

**ENTIDAD: AREA (Ha): DEPARTAMENTO/MUNICIPIO:**

Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital

**BLOQUE: GSD Ortoimagen:** 05/06/2020

**FECHA:**

UAECD-006 UAECD-006 991285.363 981468.950 991285.347 981468.876 0.016 0.074 0.000 0.006 0.076 0.006 0.020 3046.207 3046.237 SUPERIOR 0.030 0.001 0.033 UAECD-017 UAECD-017 986103.193 971955.281 986103.252 971955.349 -0.059 -0.068 0.003 0.005 0.090 0.008 0.016 3434.208 3434.088 INFERIOR 0.120 0.014 0.008 UAECD-018 UAECD-018 988569.037 971235.789 988568.975 971235.806 0.062 -0.017 0.004 0.000 0.064 0.004 0.023 3414.667 3414.727 INFERIOR 0.060 0.004 0.023 UAECD-012 UAECD-012 990400.688 974689.877 990400.657 974689.924 0.031 -0.047 0.001 0.002 0.056 0.003 0.026 3359.685 3359.794 SUPERIOR 0.109 0.012 0.010 UAECD-013 UAECD-013 992985.800 973864.482 992986.183 973864.121 -0.383 0.361 0.147 0.130 0.526 0.277 0.095 3209.945 3209.975 INFERIOR 0.030 0.001 0.033 UAECD-014 UAECD-014 998652.874 973955.325 998652.807 973955.319 0.067 0.006 0.004 0.000 0.067 0.005 0.023 3111.558 3111.755 SUPERIOR 0.197 0.039 0.000 UAECD-028 UAECD-028 987564.257 963197.639 987564.426 963197.288 -0.169 0.351 0.029 0.123 0.390 0.152 0.030 3583.306 3583.516 SUPERIOR 0.210 0.044 0.000 UAECD-034 UAECD-034 988509.582 955274.784 988509.681 955274.717 -0.099 0.067 0.010 0.004 0.120 0.014 0.010 3226.536 3226.666 SUPERIOR 0.130 0.017 0.007 UAECD-042 UAECD-042 985255.876 954869.530 985255.785 954869.499 0.091 0.031 0.008 0.001 0.096 0.009 0.015 3471.234 3471.354 INFERIOR 0.120 0.014 0.008 UAECD-041 UAECD-041 983113.890 954363.660 983113.944 954363.718 -0.054 -0.058 0.003 0.003 0.079 0.006 0.019 3589.753 3589.843 INFERIOR 0.090 0.008 0.015 UAECD-035 UAECD-035 991540.625 955787.304 991540.824 955787.347 -0.199 -0.043 0.040 0.002 0.204 0.041 0.000 3354.582 3354.692 SUPERIOR 0.110 0.012 0.010 UAECD-057 UAECD-057 973226.708 943112.889 973226.890 943113.132 -0.182 -0.243 0.033 0.059 0.304 0.092 0.007 3366.592 3366.992 SUPERIOR 0.401 0.160 0.036 UAECD-067 UAECD-067 972208.877 939928.245 972208.845 939928.119 0.032 0.126 0.001 0.016 0.130 0.017 0.008 3319.767 3320.187 INFERIOR 0.420 0.177 0.044 UAECD-078 UAECD-078 975157.763 934896.222 975157.670 934896.211 0.093 0.011 0.009 0.000 0.094 0.009 0.015 3411.886 3412.006 SUPERIOR 0.120 0.014 0.008 UAECD-083 UAECD-083 968213.764 932515.279 968213.464 932515.117 0.300 0.162 0.090 0.026 0.341 0.116 0.015 2687.020 2687.920 INFERIOR 0.900 0.810 0.475 UAECD-085 UAECD-085 970000.778 931740.750 970000.118 931740.714 0.660 0.036 0.436 0.001 0.661 0.437 0.197 3110.617 3111.107 SUPERIOR 0.490 0.240 0.078 UAECD-086 UAECD-086 972949.585 930651.162 972949.793 930651.101 -0.208 0.061 0.043 0.004 0.217 0.047 0.000 3378.556 3378.556 INFERIOR 0.000 0.000 0.044 UAECD-090 UAECD-090 969651.964 925386.921 969651.641 925386.744 0.323 0.177 0.104 0.031 0.368 0.136 0.023 3269.989 3270.179 SUPERIOR 0.190 0.036 0.000 UAECD-105 UAECD-105 965945.104 914361.479 965945.043 914361.687 0.061 -0.208 0.004 0.043 0.217 0.047 0.000 3388.801 3389.101 INFERIOR 0.301 0.090 0.008 UAECD-112 UAECD-112 959299.448 906503.057 959299.574 906503.002 -0.126 0.055 0.016 0.003 0.137 0.019 0.006 3748.850 3749.005 SUPERIOR 0.156 0.024 0.003 UAECD-007 UAECD-007 993542.533 980655.783 993542.539 980655.706 -0.006 0.077 0.000 0.006 0.077 0.006 0.020 3035.013 3034.874 INFERIOR 0.139 0.019 0.005 UAECD-010 UAECD-010 986598.976 976104.844 986599.388 976105.193 -0.412 -0.349 0.170 0.122 0.540 0.292 0.104 3477.459 3477.411 INFERIOR 0.048 0.002 0.026 UAECD-016 UAECD-016 984400.889 972496.470 984400.940 972496.289 -0.051 0.181 0.003 0.033 0.188 0.035 0.001 3756.805 3756.720 SUPERIOR 0.085 0.007 0.016 UAECD-038 UAECD-038 983987.568 949721.281 983987.497 949721.433 0.071 -0.152 0.005 0.023 0.168 0.028 0.002 3764.612 3764.842 INFERIOR 0.230 0.053 0.000 UAECD-048 UAECD-048 985748.978 947212.274 985748.650 947212.087 0.328 0.187 0.108 0.035 0.378 0.143 0.026 3280.960 3280.718 INFERIOR 0.242 0.059 0.001 UAECD-055 UAECD-055 980475.543 945277.984 980475.638 945278.036 -0.095 -0.052 0.009 0.003 0.109 0.012 0.012 3763.090 3762.605 INFERIOR 0.485 0.235 0.075 UAECD-068 UAECD-068 974816.667 939503.080 974816.749 939502.886 -0.082 0.194 0.007 0.038 0.210 0.044 0.000 3620.830 3620.479 INFERIOR 0.351 0.123 0.020 UAECD-079 UAECD-079 978823.885 933701.457 978823.809 933701.291 0.076 0.166 0.006 0.028 0.183 0.034 0.001 3802.364 3802.500 INFERIOR 0.136 0.018 0.006

0.217 2.039 0.714 0.211 2.235 0.993

**RESULTADOS OBSERVACIONES GENERALES**

**RESULTADOS: ALTIMETRIA**

NÚMERO DE PUNTOS (n) = 28 NÚMERO DE PUNTOS (n) = 28

puntos

puntos

MEDIA = metros

0.217 0.211

MEDIA =

metros

ERROR MEDIO CUADRATICO = 0.270 ERROR MEDIO CUADRATICO = 0.283 metros

metros

DESV. ESTANDARD = 0.163 DESV. ESTANDARD = 0.192 metros

metros

ERROR ESTANDARD = 0.031 ERROR ESTANDARD = 0.036 metros

metros

Z =

1.960 1.960

Z =

INT. DE CONFIANZA PARA UN 95% = metros 0.157 0.278 0.140 0.282

metros

INT. DE CONFIANZA DE 95% =

Además de las anteriores pruebas se determinaron en campo 5 grillas de puntos sobre superficies duras y planas con el fin de corroborar la consistencia altimétrica de los datos LiDAR, a continuación, se presentan los resultados mediante las siguientes tablas:

*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** 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

CAICEDO

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

*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** 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

PRIMAVERA

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

*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** 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

REGADERA

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

*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** 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

SAN JUAN

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

*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** 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

SANTA HELENA

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.

*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 



*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.

*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 

**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

*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 

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.

*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 

**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

*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 

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.

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