



CENTRO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA,
BAJA CALIFORNIA

Nubes de Puntos y Aplicaciones en Ciencia

del 08 al 10 de abril de 2015, CICESE, Ensenada B.C.

Proceso y ajuste de nube de puntos LiDAR en el INEGI

Ing. José Valentín Tenorio Zamarripa
Departamento de Planeación Geodésica
Subdirección de Control de Operaciones Geodésicas
Dirección del Marco Geodésico
Dirección General Adjunta de Información Geográfica Básica



INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Introducción

Durante la operación aérea del INEGI, se realizaron levantamientos LiDAR utilizando tres sistemas diferentes:

ALS40

ALS50-II

ALS60

Hasta el cierre de su Hangar en el año 2010, el INEGI tenían en operación los sistemas ALS50-II y ALS60.



Introducción

Metodología para la elaboración de proyectos LiDAR en el INEGI.

Etapas:

- Planeación
 - Elaboración de anteproyectos
 - Ubicación de campos de control
 - Ubicación de estaciones base GPS
- Captura de datos, procesamiento y control de calidad In-Situ
- Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno
- Corte a los límites de formatos cartográficos escala 1:10 000
- Elaboración de metadatos



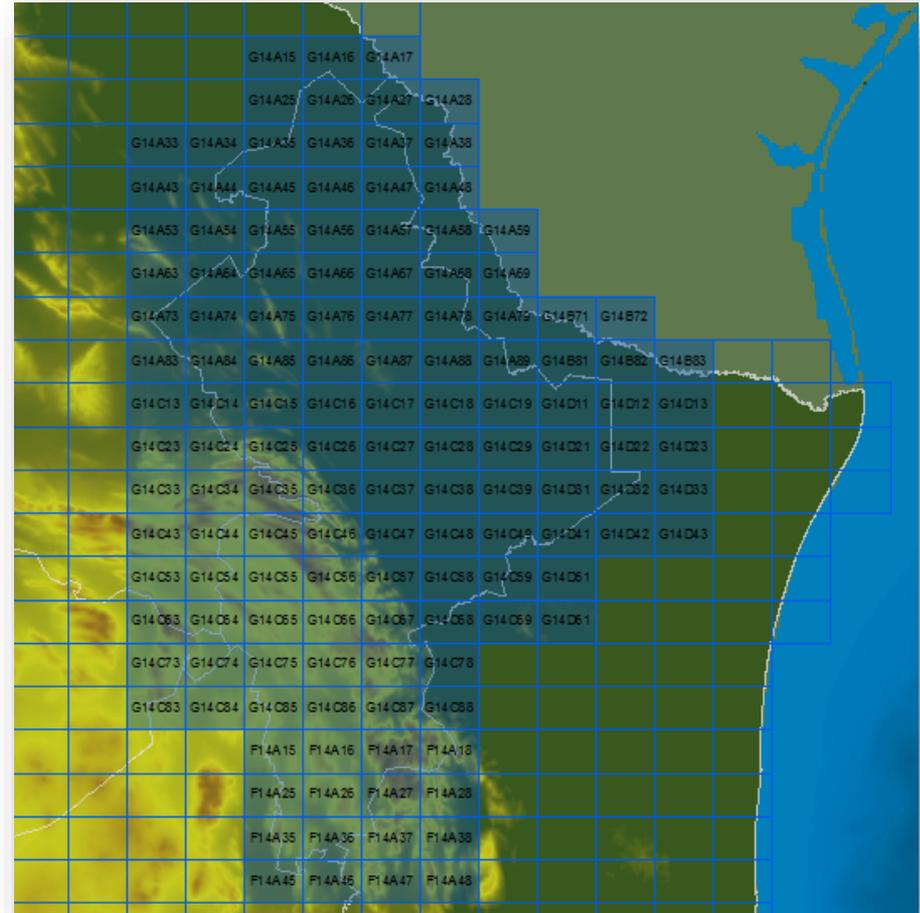
Planeación

Objetivo: Delimitar las unidades de producción y ubicar los sitios idóneos para el establecimiento de campos de control y estaciones base, necesarios para la captura y procesamiento geodésico de datos LiDAR, con base en programas de trabajo y proyectos derivados de convenios o acuerdos de colaboración interinstitucional.



Planeación (Elaboración de anteproyectos)

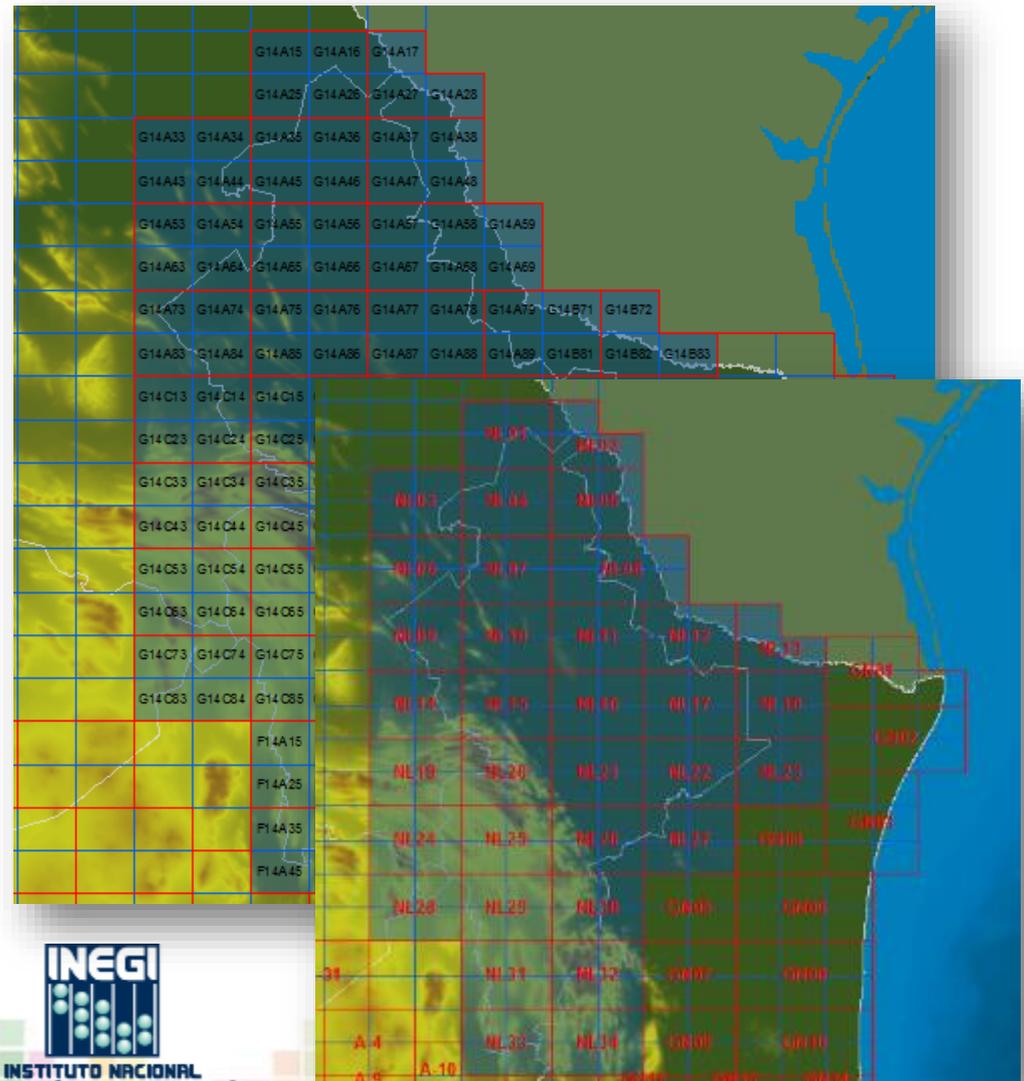
Sobre la división cartográfica en la escala 1:50 000 se seleccionan las cartas que cubren el polígono de interés, ya sea un estado o cualquier zona de interés que se haya solicitado para realizar la captura de datos LiDAR.



Planeación (Elaboración de anteproyectos)

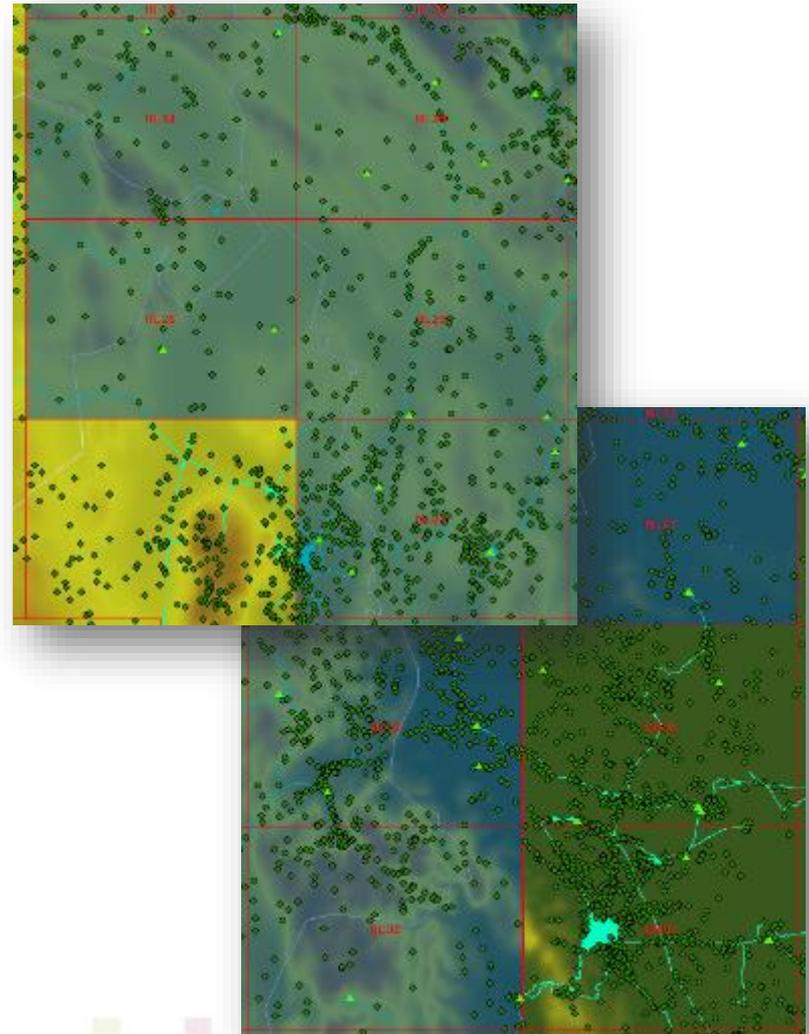
Las unidades de producción se conforman a partir de 4 cartas; en las zonas de frontera internacional o en áreas costeras la configuración varía a un menor o mayor número de cartas.

Se nombran las unidades de producción de acuerdo al proyecto para su fácil identificación.

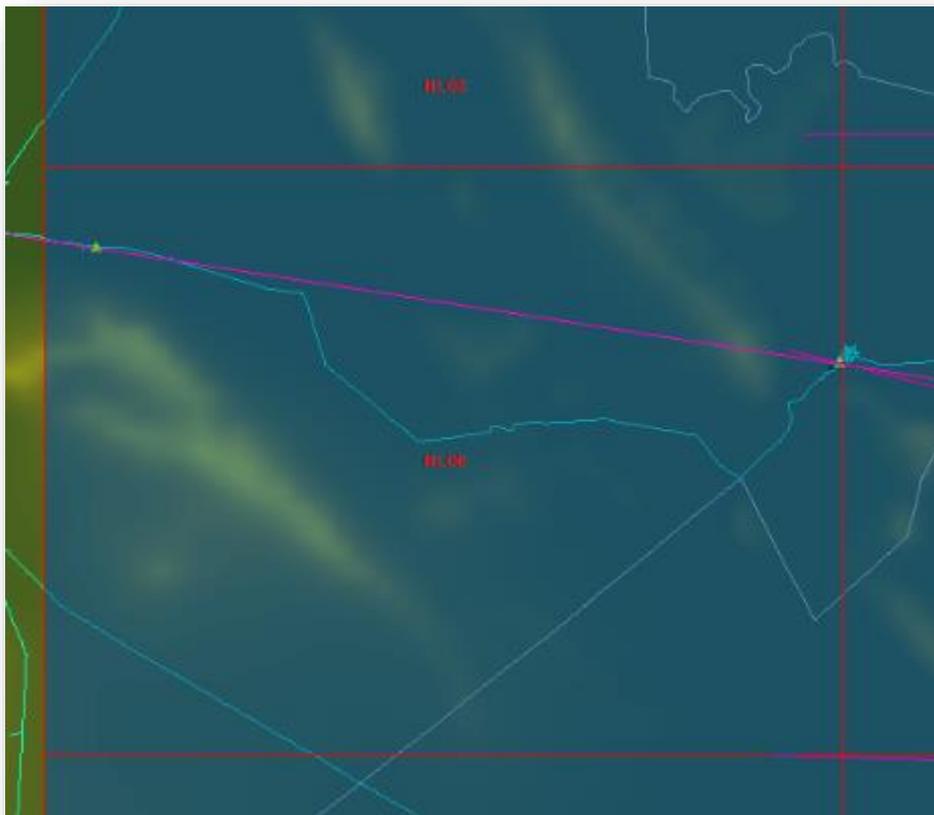


Planeación (Ubicación de campos de control)

Por cada unidad de producción se seleccionan mínimo 2 localidades para colocar los campos de control. En caso de existir disponibilidad de localidades, se podrá seleccionar 4 para el trazo de dos líneas transversales. La configuración de transversales en el esquema de doble línea y conformación de redes permite asegurar la continuidad de los MDE (Modelos Digitales de Elevación) en las colindancias Norte-Sur y Este-Oeste respectivamente; además se reduce de manera importante las necesidades de realizar edición de datos.



Planeación (Ubicación de campos de control)



Se verifica que las localidades seleccionadas cuenten con vías de acceso (Carreteras pavimentadas principalmente).

Se ubican los campos de control de modo tal que permita realizar vuelos de Este–Oeste o bien Oeste–Este.

Se asegurar que el campo de control esté dentro de la zona de cubrimiento o unidad de producción. Cuando no exista localidades con estas características dentro del bloque, se tomarán las que queden fuera y se encuentren más cercanas a los límites del mismo.



Planeación (Ubicación de campos de control)

Los campos de control se miden antes del levantamiento de datos LiDAR, para que al momento del levantamiento ya se disponga de la posición exacta y pueda efectuarse el vuelo de líneas transversales.

Preferentemente y cuando las condiciones así lo permitan el eje de las líneas transversales deberán sortear la ubicación de cuerpos de agua.



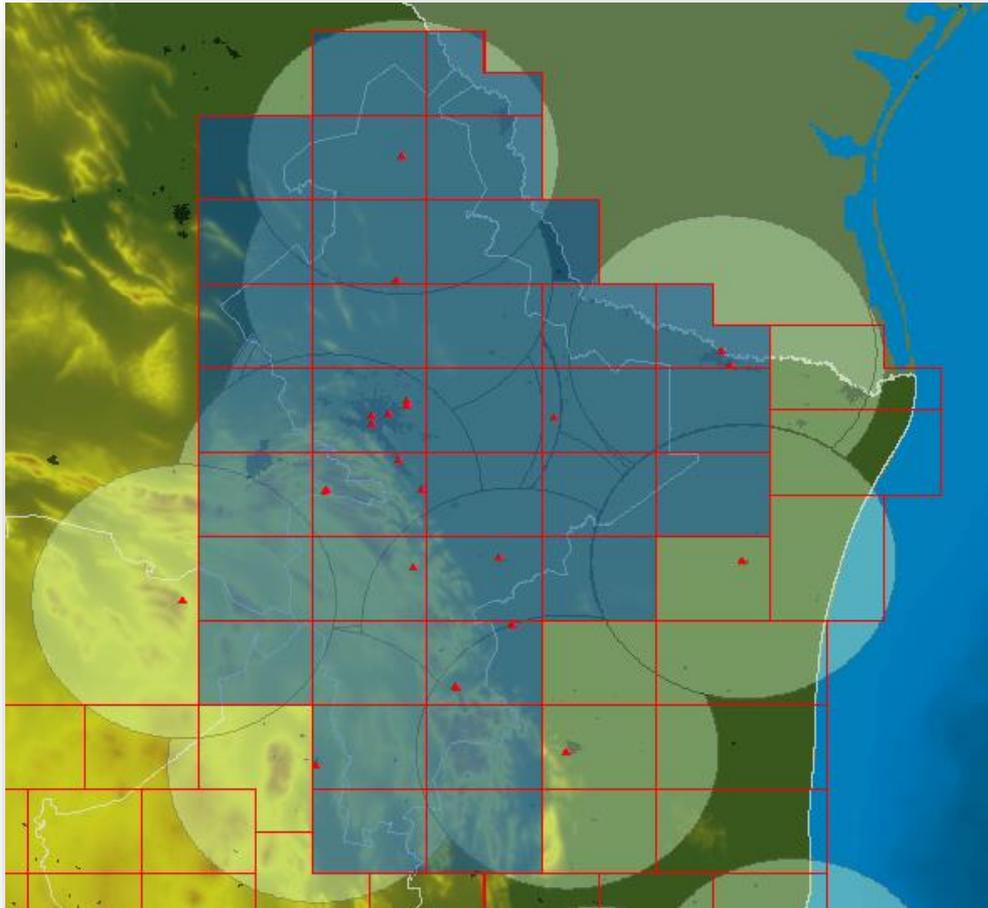
Planeación (Ubicación de campos de control)



Una vez seleccionada y verificada la ubicación para los campos de control, se realiza la solicitud a las Direcciones Regionales del INEGI para realicen su medición, para lo cual se les proporcionan las coordenadas aproximadas y especificaciones de los mismos (mínimo 20 puntos medidos con equipo GPS de doble banda, separación entre puntos equidistantes, etc).



Planeación (Ubicación de estaciones Base GPS)



Ubicadas cerca de las unidades de producción (principalmente en aeropuertos o instalaciones de las coordinaciones estatales o direcciones regionales del INEGI), para un cubrimiento promedio de 90 km de radio.



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

Coordinación para el apoyo terrestre simultaneo a la captura de datos.

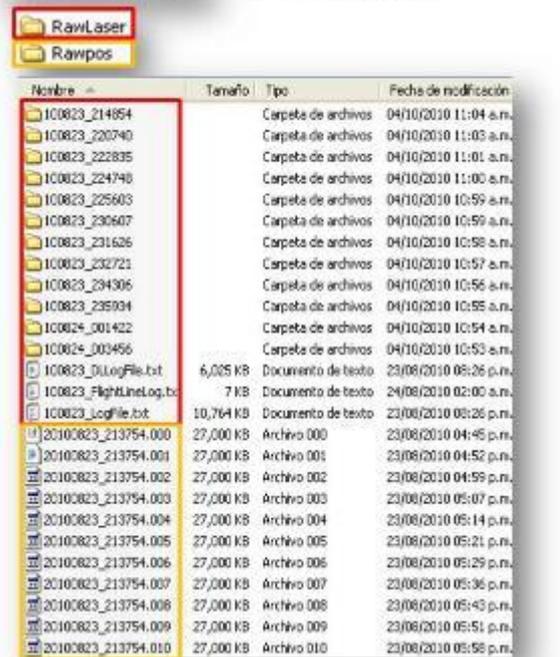
Revisión de completitud de los datos obtenidos por el sistema LiDAR durante cada sesión de vuelo.



Carpeta del Proyecto
Subcarpeta de la sesión

Subcarpeta de la Estación Base GPS

Nombre	Tamaño	Tipo	Fecha de modificación
46000J2358_4600_0823_151346.I00	1 KB	Archivo I00	23/08/2010 08:43 p.m.
46000J2358_4600_0823_151346.m00	7,640 KB	Archivo M00	23/08/2010 08:43 p.m.
46000J2358_4600_0823_151346.X01	21 KB	Archivo X01	23/08/2010 08:43 p.m.
46000J2358_4600_0823_151346.X06	11 KB	Archivo X06	23/08/2010 08:43 p.m.
46000J2358_4600_0823_151346.X08	11 KB	Archivo X08	23/08/2010 08:43 p.m.
46000J2358_4600_0823_151346.X12	11 KB	Archivo X12	23/08/2010 08:43 p.m.
46000J2358_4600_0823_151346.X18	11 KB	Archivo X18	23/08/2010 08:43 p.m.
46000J2358_4600_0823_151346.X22	41 KB	Archivo X22	23/08/2010 08:43 p.m.
46000J2358_4600_0823_151346.X23	11 KB	Archivo X23	23/08/2010 08:43 p.m.
46000J2358_4600_0823_151346.XCF	1 KB	Archivo XCF	23/08/2010 08:43 p.m.



Subcarpeta de la sesión

RawLaser

Rawpos

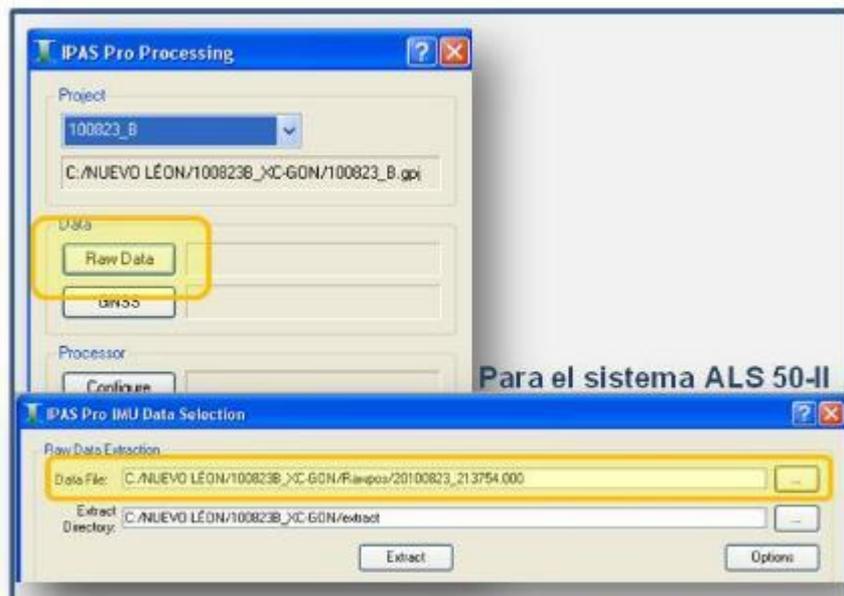
Nombre	Tamaño	Tipo	Fecha de modificación
100823_214854		Carpeta de archivos	04/10/2010 11:04 a.m.
100823_220740		Carpeta de archivos	04/10/2010 11:03 a.m.
100823_222835		Carpeta de archivos	04/10/2010 11:01 a.m.
100823_224748		Carpeta de archivos	04/10/2010 11:00 a.m.
100823_225603		Carpeta de archivos	04/10/2010 10:59 a.m.
100823_230607		Carpeta de archivos	04/10/2010 10:59 a.m.
100823_231626		Carpeta de archivos	04/10/2010 10:58 a.m.
100823_232721		Carpeta de archivos	04/10/2010 10:57 a.m.
100823_234306		Carpeta de archivos	04/10/2010 10:56 a.m.
100823_235034		Carpeta de archivos	04/10/2010 10:55 a.m.
100824_001422		Carpeta de archivos	04/10/2010 10:54 a.m.
100824_003456		Carpeta de archivos	04/10/2010 10:53 a.m.
100823_DiagFile.txt	6,025 KB	Documento de texto	23/08/2010 08:26 p.m.
100823_FlightLineLog.txt	7 KB	Documento de texto	24/08/2010 02:00 a.m.
100823_Logfile.txt	10,764 KB	Documento de texto	23/08/2010 08:26 p.m.
20100823_213754.000	27,000 KB	Archivo 000	23/08/2010 04:45 p.m.
20100823_213754.001	27,000 KB	Archivo 001	23/08/2010 04:52 p.m.
20100823_213754.002	27,000 KB	Archivo 002	23/08/2010 04:59 p.m.
20100823_213754.003	27,000 KB	Archivo 003	23/08/2010 05:07 p.m.
20100823_213754.004	27,000 KB	Archivo 004	23/08/2010 05:14 p.m.
20100823_213754.005	27,000 KB	Archivo 005	23/08/2010 05:21 p.m.
20100823_213754.006	27,000 KB	Archivo 006	23/08/2010 05:29 p.m.
20100823_213754.007	27,000 KB	Archivo 007	23/08/2010 05:36 p.m.
20100823_213754.008	27,000 KB	Archivo 008	23/08/2010 05:43 p.m.
20100823_213754.009	27,000 KB	Archivo 009	23/08/2010 05:51 p.m.
20100823_213754.010	27,000 KB	Archivo 010	23/08/2010 05:58 p.m.



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

Cálculo de trayectoria

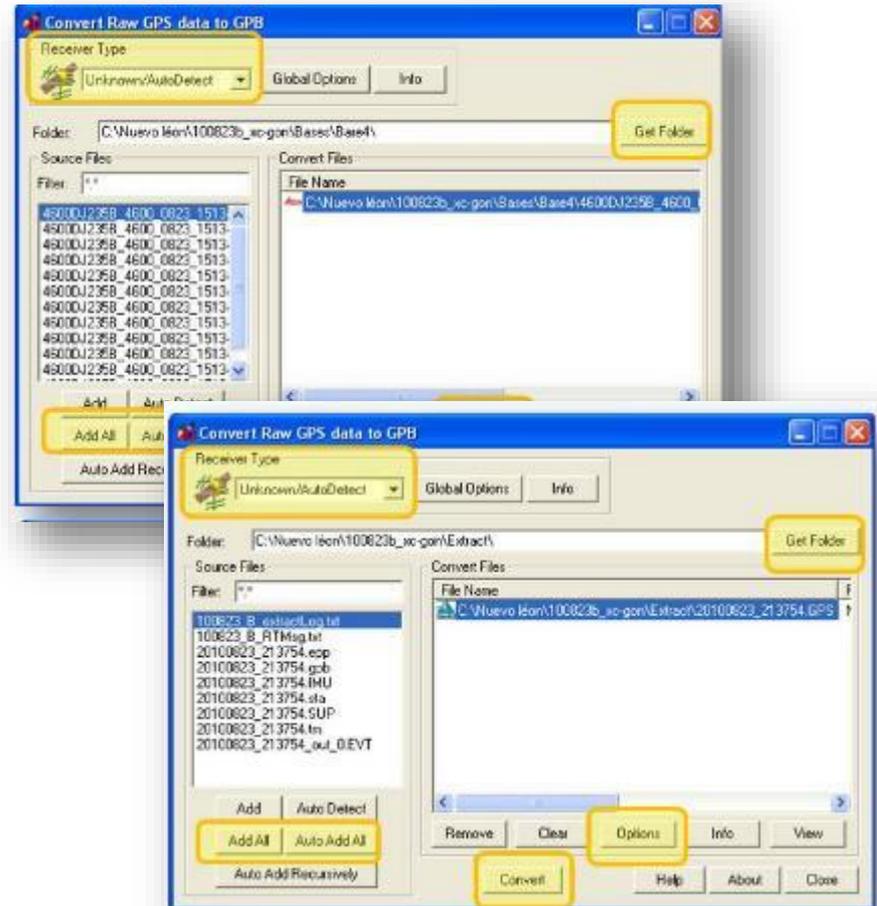
- Extracción de datos GPS e IMU



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

Calculo de trayectoria

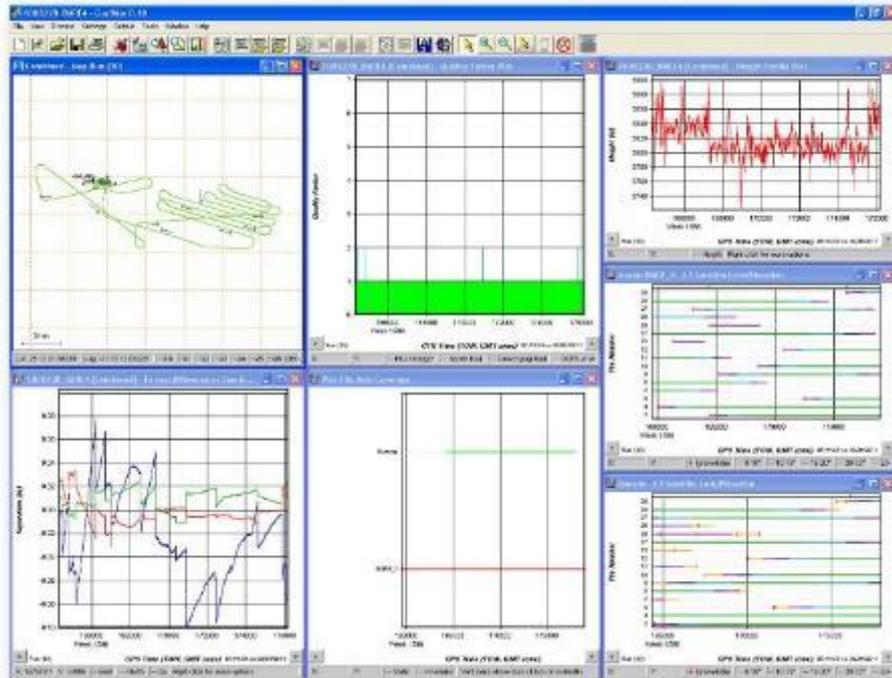
- Conversión de archivos crudos a formato *.gpb
- Se realiza la conversión de los datos GPS correspondientes a la base de apoyo en tierra.
- Se realiza la conversión de los archivos extraídos de sistema LiDAR del GPS aerotransportado.



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

Cálculo de trayectoria

- Desde el software GrafNav, se carga la información correspondientes a estación Base GPS y los datos del GPS aerotransportado del sistema LiDAR.
- Se realiza el proceso GPS diferencial para la obtención de la trayectoria ajustada.
- Se verifica la precisión y calidad de la solución de la trayectoria ajustada.



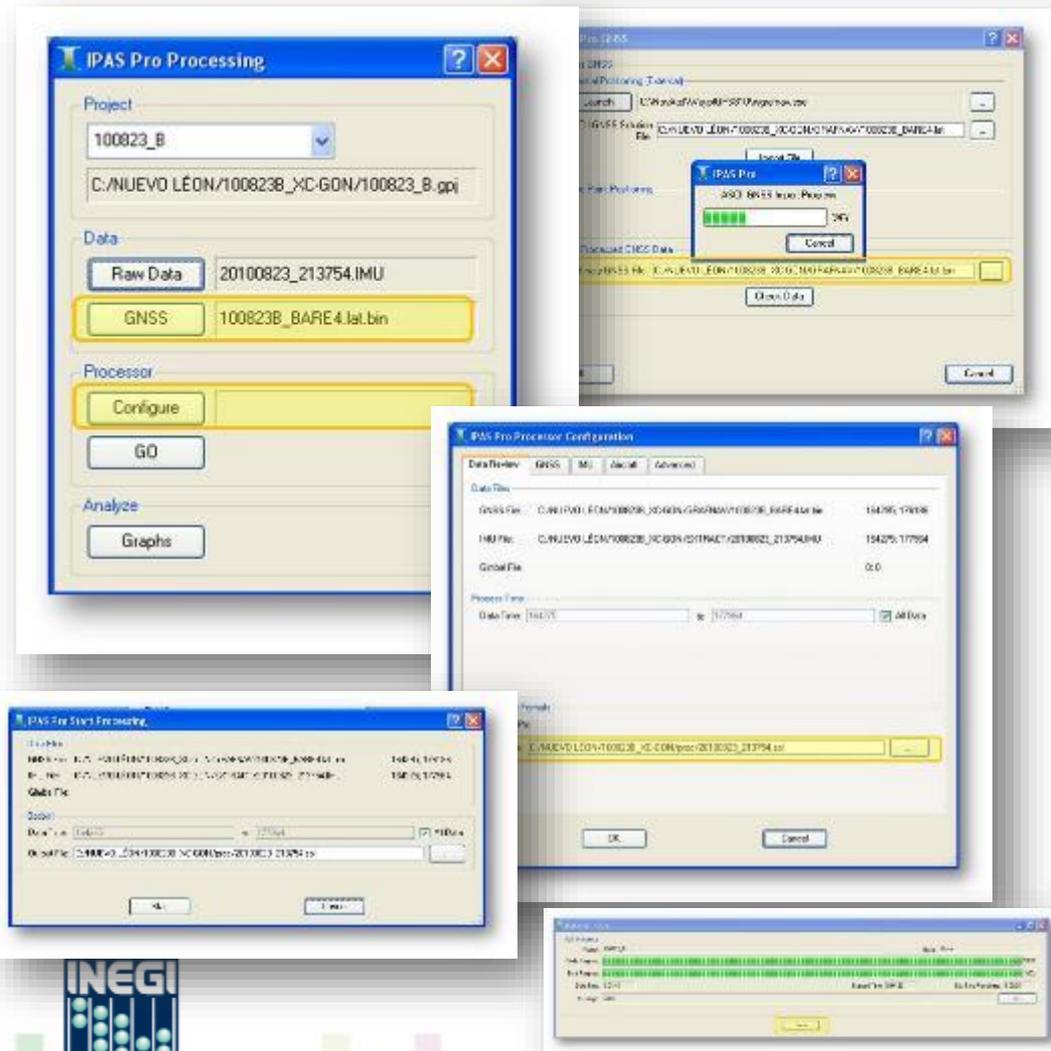
Se verifica que la precisión de la trayectoria se encuentre dentro de ± 0.10 m.



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

Generación del archivo correspondiente a la solución de la posición del sistema LiDAR (posicionamiento y actitud).

Desde el software IPAS Pro, se carga el archivo de solución de la trayectoria GPS, así como el correspondiente a los datos extraídos anteriormente de la Unidad de Medición Inercial (IMU).



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

Generación de nube de puntos y archivos de trayectoria.

Una vez obtenido el archivo de solución con la trayectoria GPS ajustada, mediante el software ALS Post Processor se genera la nube de puntos por línea de vuelo, para ello se utilizan:

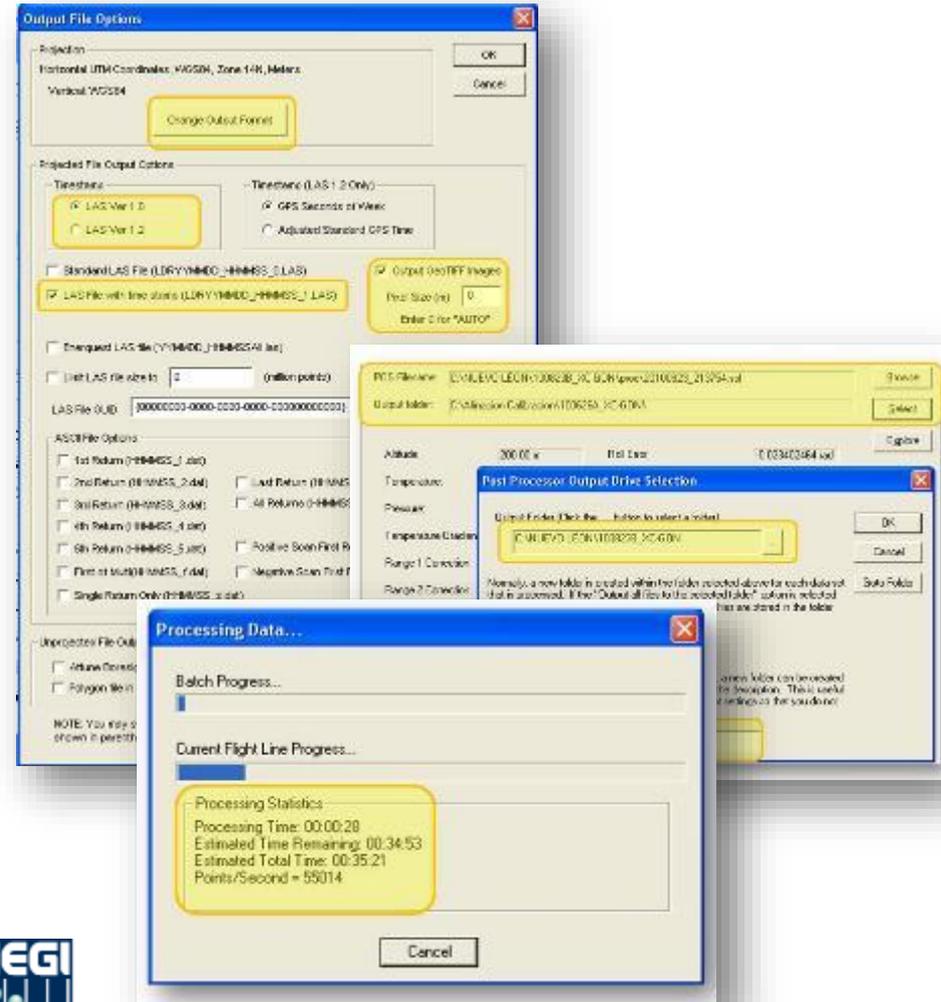
- Archivo de calibración de los datos.
- Archivo de solución de la posición del sensor.
- Datos crudos laser de sistema LiDAR.



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

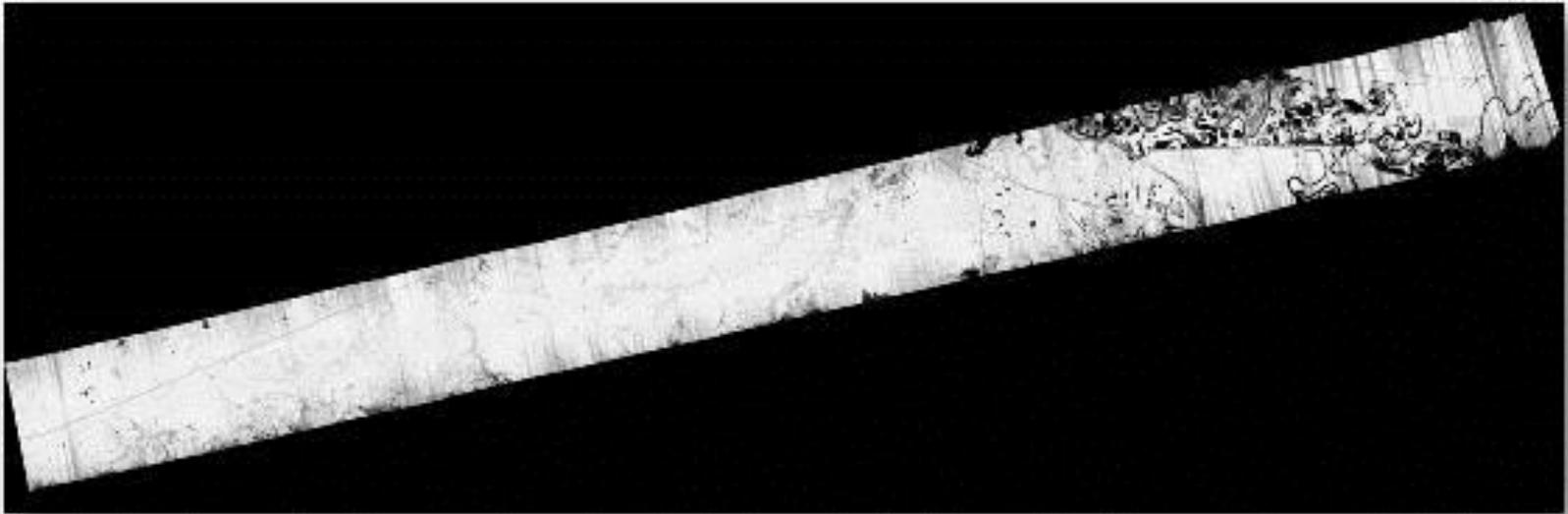
Se generan los archivos en formato LAS así como su correspondiente imagen en formato GeoTIFF.

Lo anterior permite realizar la validación de cubrimiento (unidades de producción, detección de huecos por nubes, agua, etc.)



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

En primera instancia se revisan las imágenes TIFF verificando que se observe un patrón de color homogéneo sin ausencia de datos entre puntos.



INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

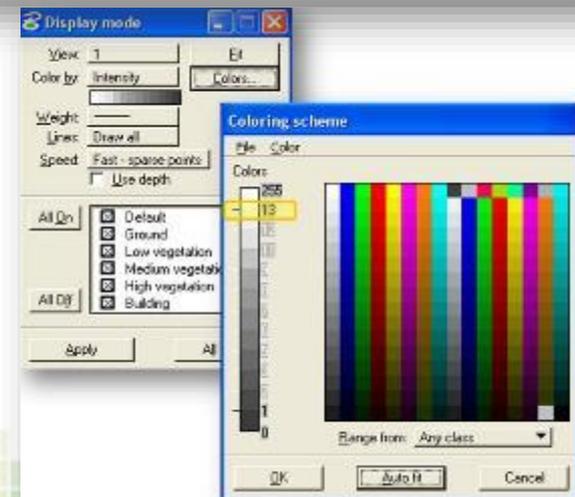
Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

En seguida se carga cada nube de puntos y se revisa la separación entre puntos mediante un muestreo aleatorio:

Along Track.- distancia entre líneas de barrido en los extremos de la nube de puntos.

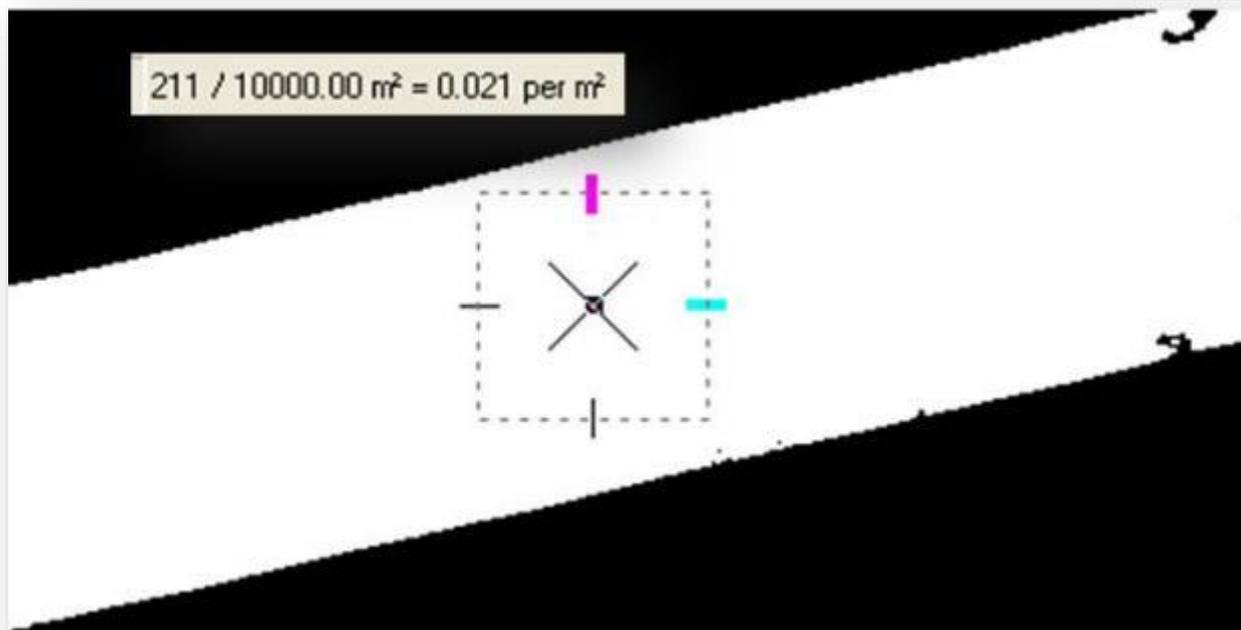
Across Track.- distancia entre los puntos al centro de la nube de puntos.

Asimismo se determina el valor de intensidad para toda la nube de puntos cargada.



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

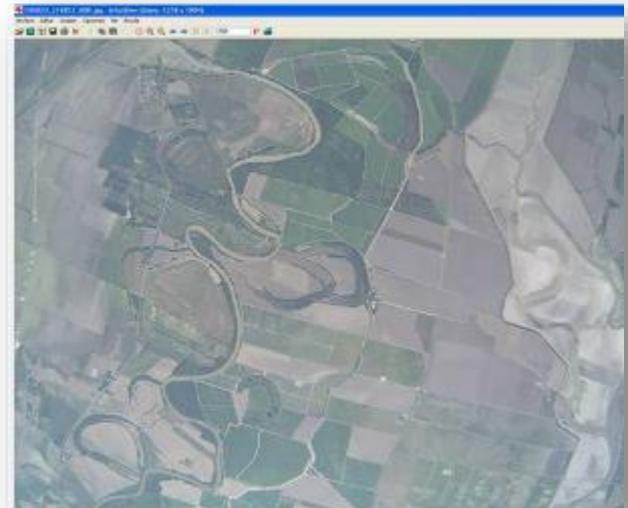
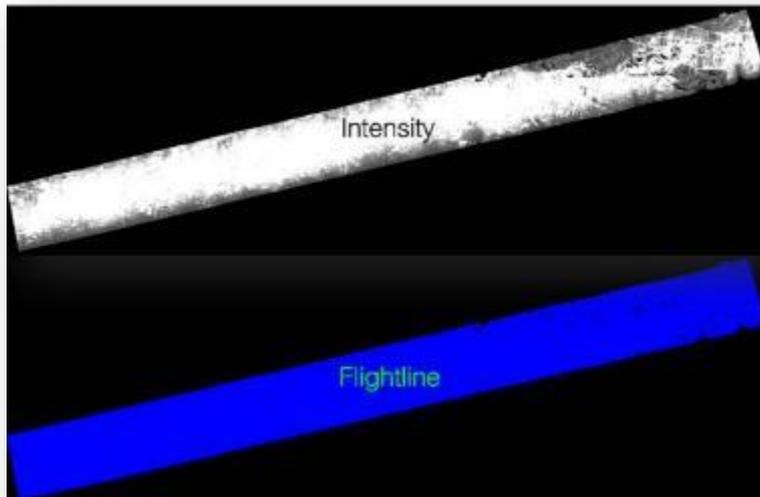
El siguiente paso consiste en verificar la densidad de puntos, de la misma manera se realiza a través de un muestreo aleatorio.



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

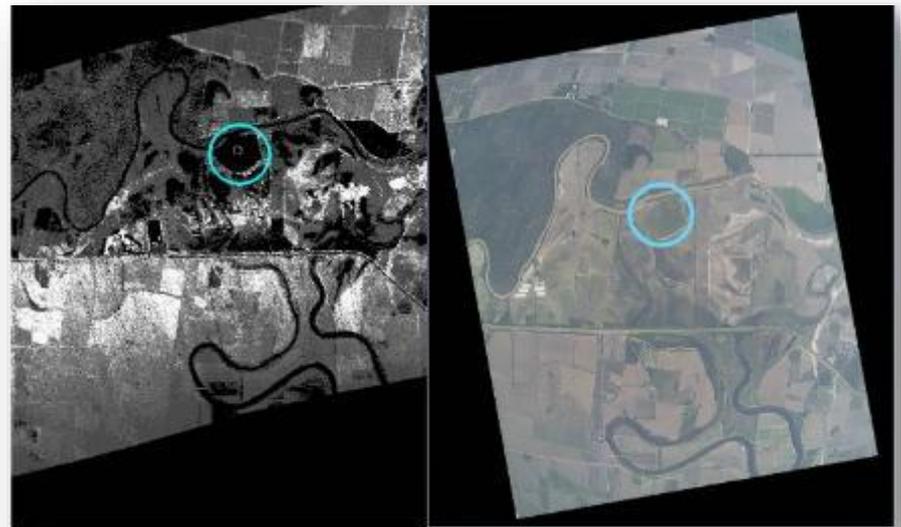
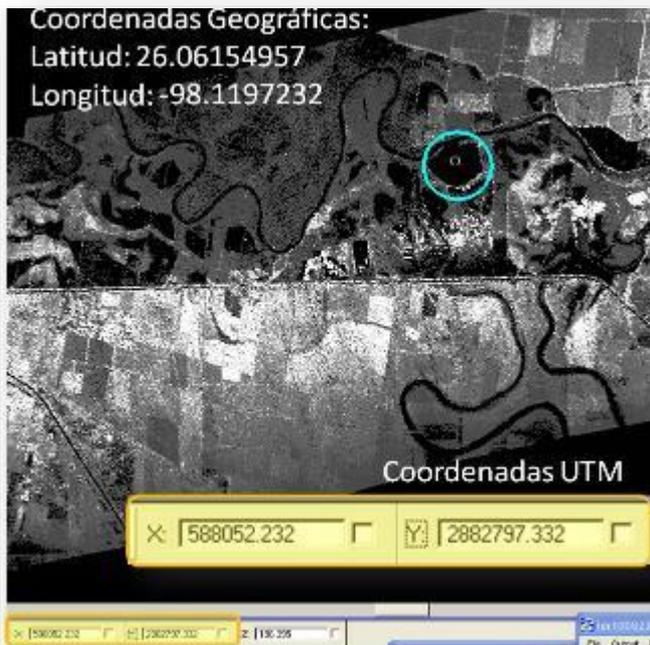
Se continúa con la etapa de la validación de la completitud de la nube de puntos. Esta etapa es crítica para la obtención de óptimos resultados en el control de calidad.

- Nube de puntos
- Fotografías de la cámara no métrica instalada en el sistema LiDAR
- Imágenes de intensidad (GeoTIFF).



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

A través de las imágenes TIFF generadas o mediante la nube de puntos desplegada por valores de intensidad, se realiza una revisión de su cubrimiento, detectando huecos de información y verificando su posible origen, lo anterior mediante las imágenes provenientes de la cámara no métrica asociada al sistema.



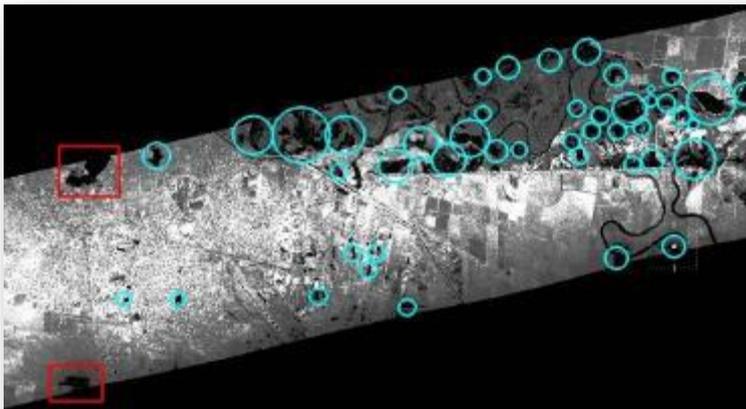
Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

Dependiendo del origen de la falta de información se señalan estos huecos de acuerdo a un color que los clasifica.

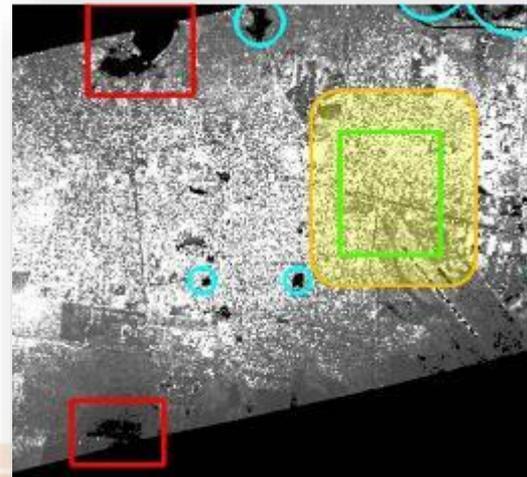
Azul para los cuerpos de agua.

Rojo para aquellos generados por nubosidad presente en la zona del levantamiento, dependiendo de su extensión, serán programados para su cubrimiento en otra sesión de vuelo.

Así mismo, también se verifican que huecos de información detectados con anterioridad sean cubiertos con la nueva cobertura.

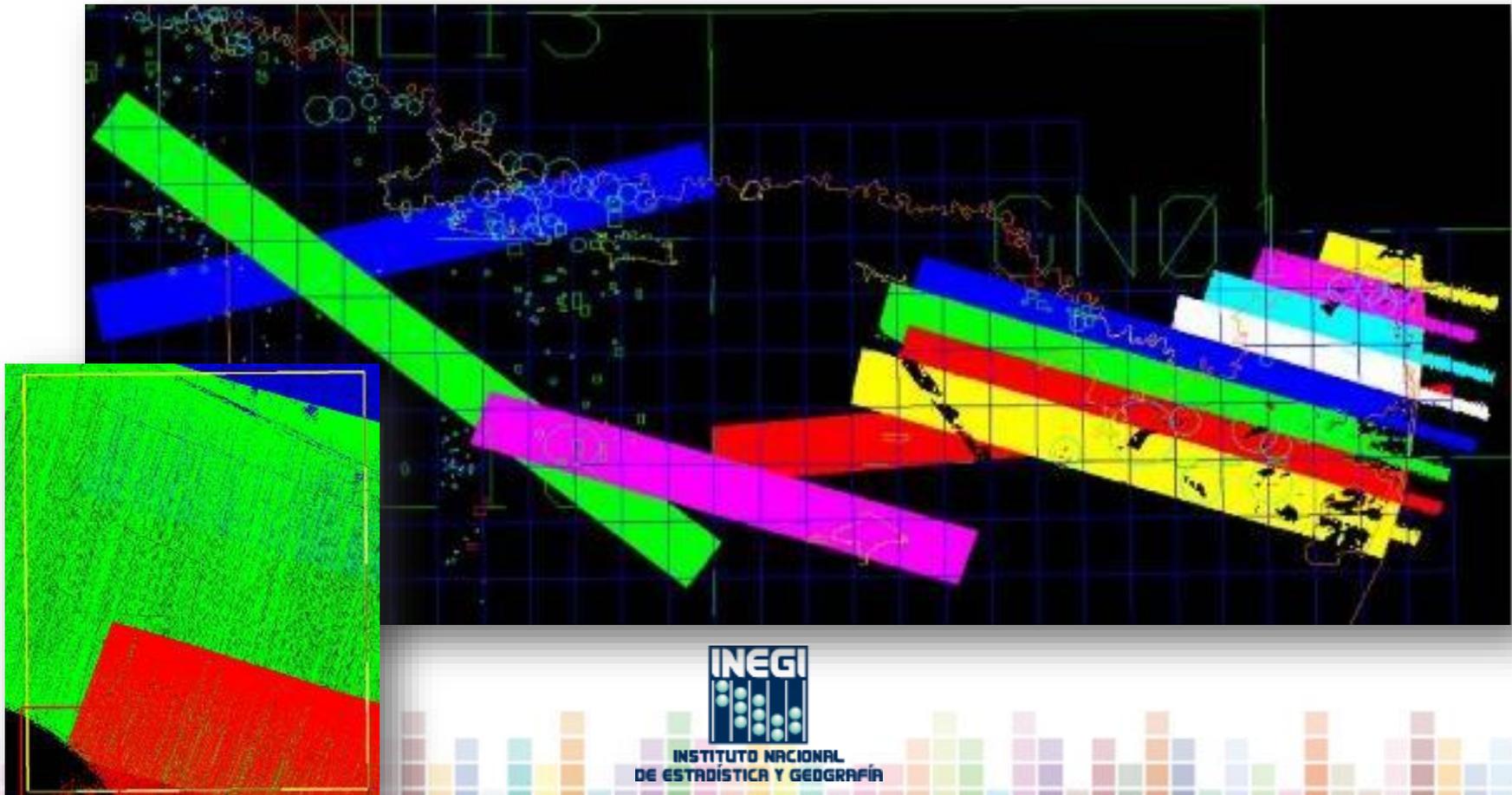


INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

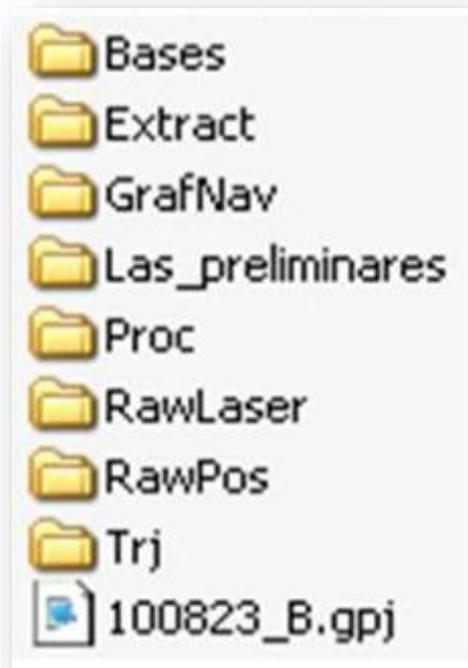
Por ultimo se realiza un conteo de los formatos cartográficos en la escala 1:10 000 cubiertos en su totalidad.



Captura de datos, Procesamiento y Control de Calidad In-Situ

Se respalda la información generada y validada de acuerdo a una estructura ya definida.

Se genera un reporte de control de calidad.



Archivos LAS	Velocidad de Vuelo (Nudos)	Angulo de barrido (°)	Pulse rate (Hz)	Scan Rate (Hz)	Densidad de Puntos (pts. / m ²)				Along track (m)	Across track (m)	Intensidad Promedio
LDR100310_162807_1.LAS	198	60	23600	11.8	0.055	0.050	0.038	0.048	8.63	8.24	141 de 255
LDR100310_164426_1.LAS	170	60	23600	11.8	0.067	0.044	0.047	0.053	7.43	8.88	137 de 255
LDR100310_170114_1.LAS	189	60	23600	11.8	0.042	0.054	0.032	0.043	8.23	8.04	120 de 255
LDR100310_171927_1.LAS	181	60	23600	11.8	0.055	0.043	0.041	0.046	7.89	9.09	122 de 255
LDR100310_173846_1.LAS	197	60	23600	11.8	0.057	0.053	0.035	0.048	8.61	8.27	137 de 255
LDR100310_175559_1.LAS	168	60	23600	11.8	0.093	0.045	0.049	0.062	7.33	4.08	135 de 255
LDR100310_182112_1.LAS	124	60	23600	11.8	0.041	0.061	0.057	0.053	5.40	7.42	166 de 255
LDR100310_184854_1.LAS	206	60	23600	11.8	0.050	0.040	0.038	0.043	8.99	8.92	118 de 255
LDR100310_190438_1.LAS	170	60	23600	11.8	0.082	0.050	0.058	0.063	7.44	7.29	168 de 255



Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

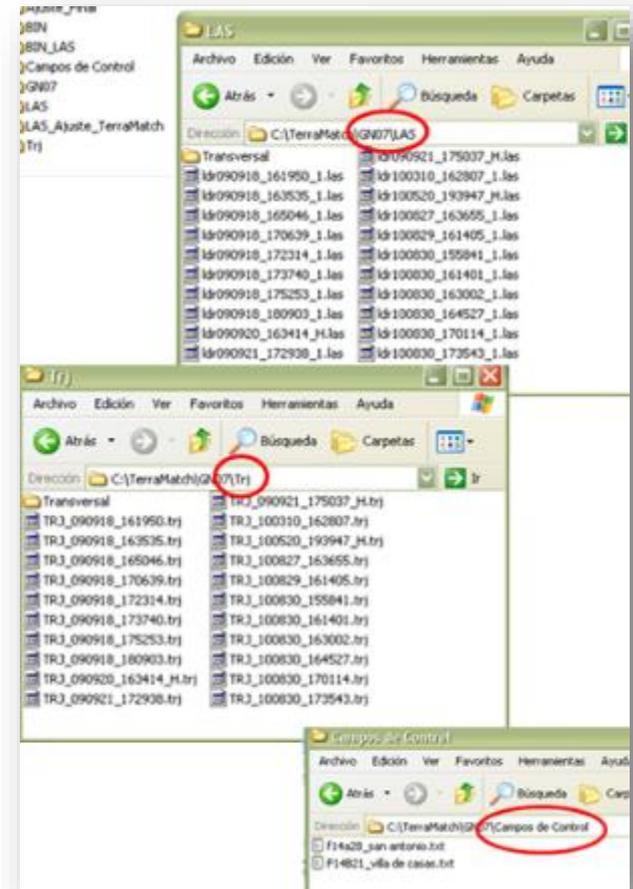
Objetivo: Garantizar que los datos LiDAR ajustados y agrupados en nubes de puntos tengan consistencia altimétrica y posicional con base en el control geodésico.



Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

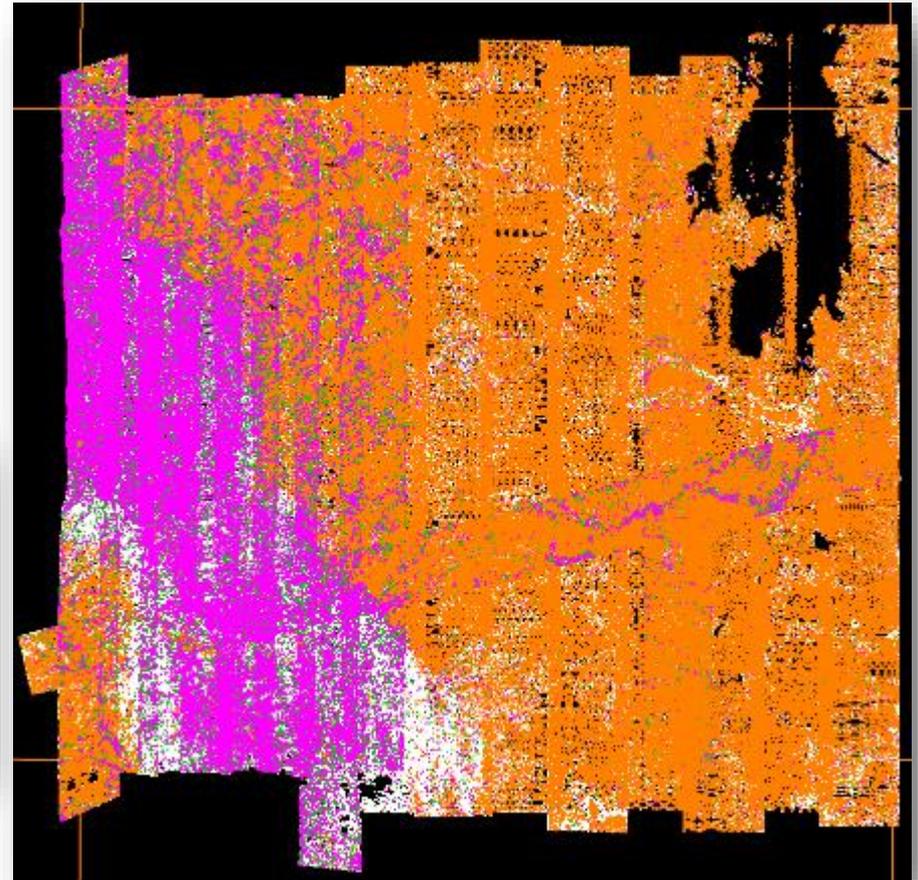
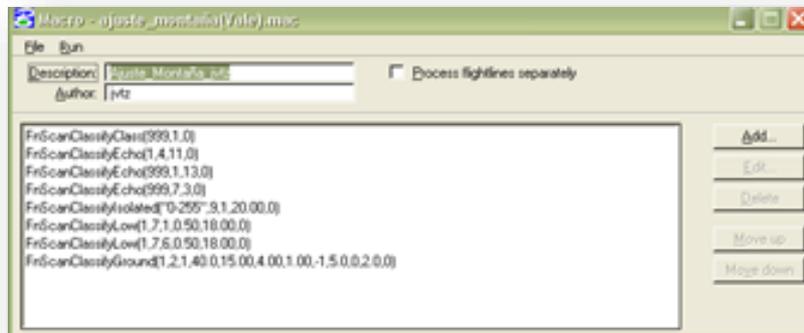
Se verifica que se cuenta con la información necesaria para realizar el ajuste de los datos:

- Archivos LAS que cubren en su totalidad la unidad de producción.
- Archivo correspondiente a línea transversal que pasa sobre los campos de control geodésico medidos previamente al levantamiento.
- Archivos con coordenadas ajustadas correspondientes a los Campos de Control geodésico.
- Archivos de trayectoria correspondientes a cada archivo LAS de la unidad de producción.

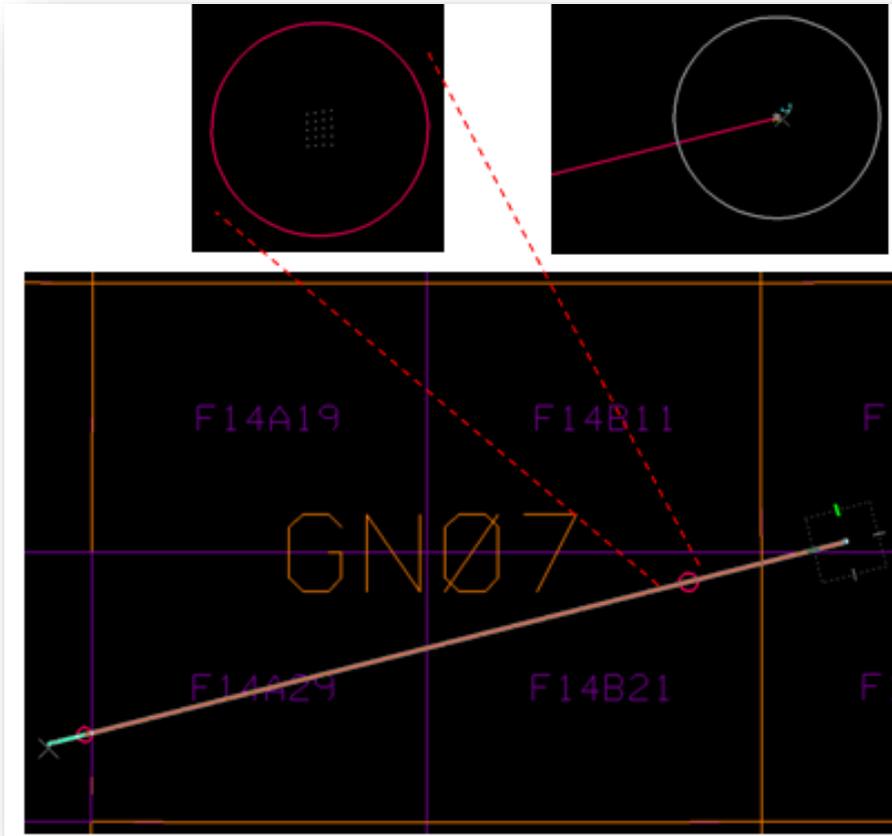


Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

El primer paso consiste en cargar y clasificar cada uno de los archivos LAS pertenecientes a la unidad de producción.



Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

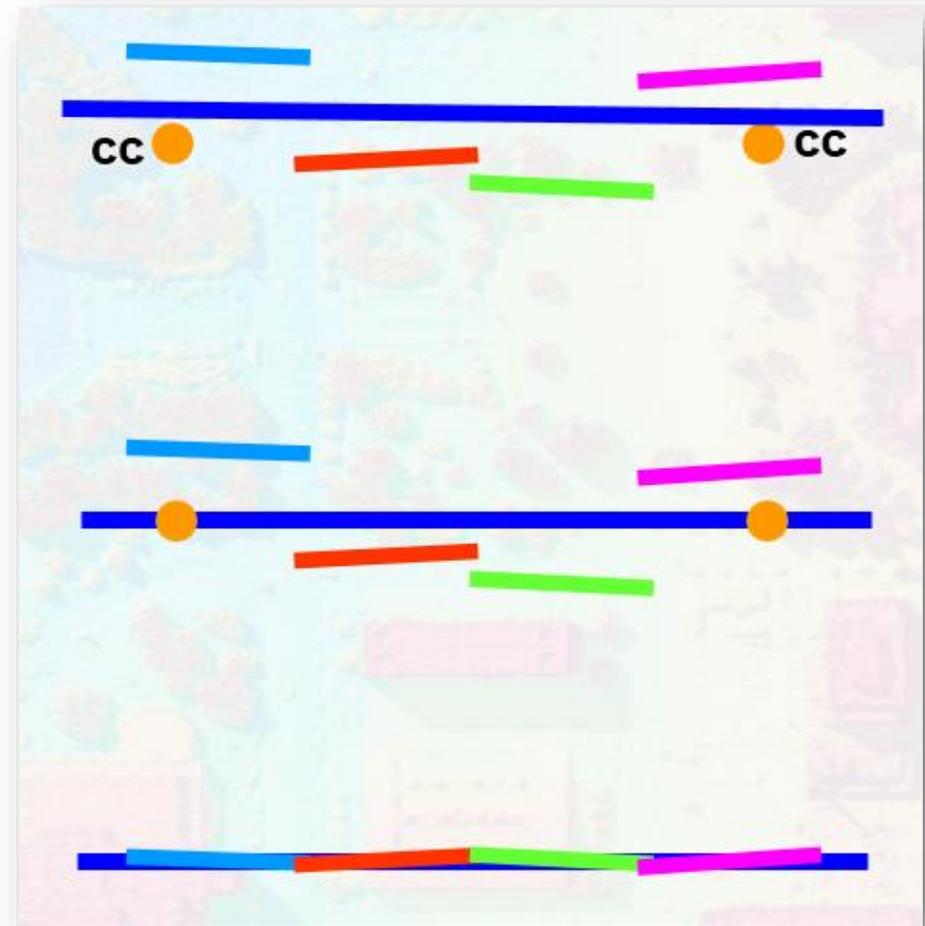
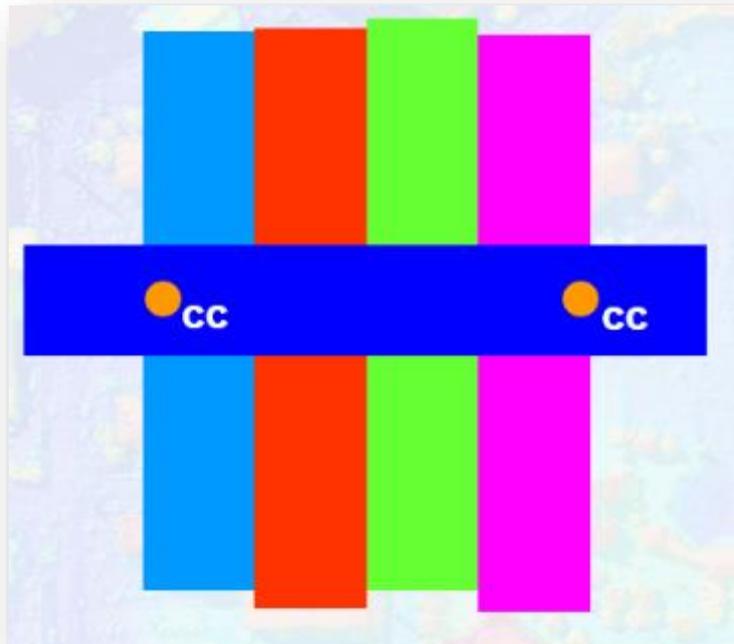


Una vez clasificados los puntos de la línea transversal, se realiza el ajuste a los campos de control, mediante una comparación de alturas entre los puntos clasificados como terreno y los campos de control.



Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

Para el ajuste de las demás líneas, se realiza una comparación utilizando la línea transversal ajustada a los campos de control.

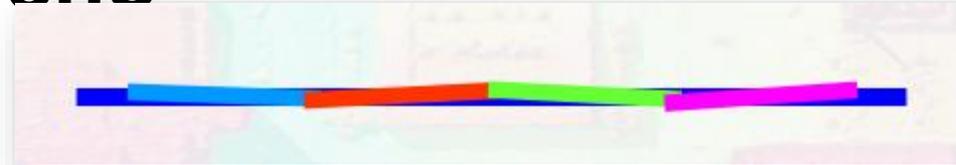


Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

Sin embargo, después del ajuste de la nube de puntos correspondiente a cada línea de vuelo a los campos de control, se pueden presentar errores sistemáticos (movimientos en Heading, Roll o Pitch).

Para su corrección se utilizan las herramientas del software TerraMatch de TerraSolid.

Para ello se realiza un proyecto de bloques con el fin de dividir la unidad de producciones en unidades mas manejables.



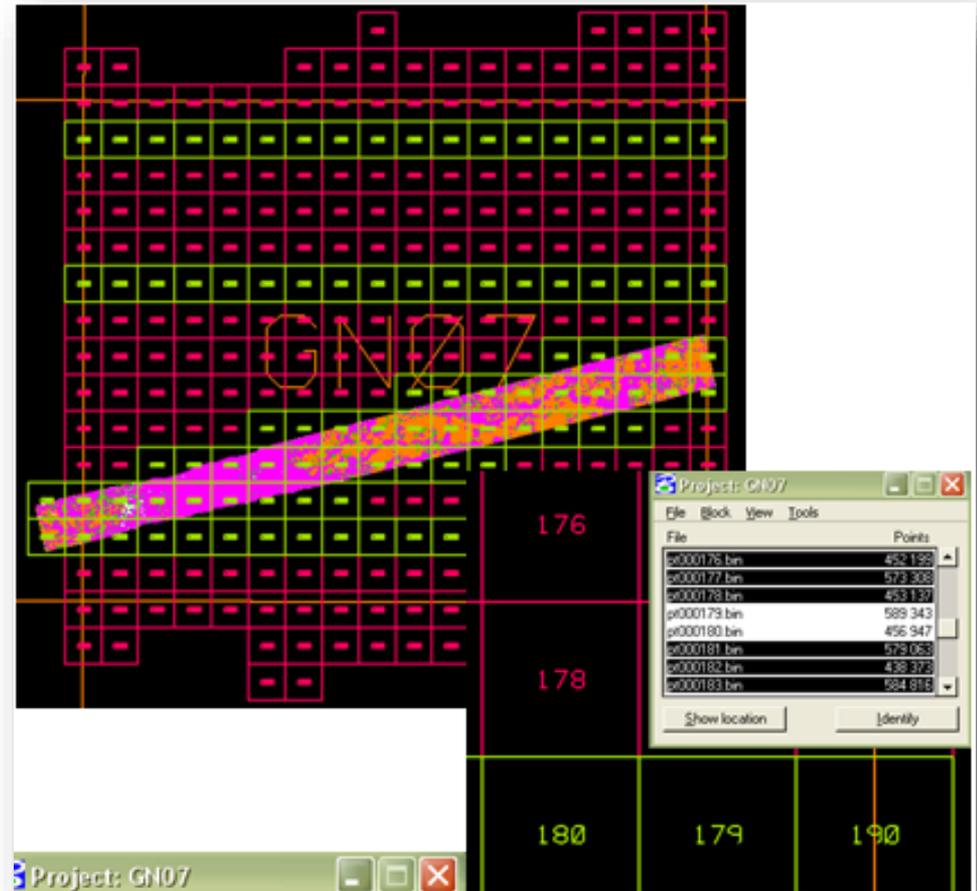
The screenshot shows the TerraMatch software interface. The main window displays a 3D point cloud of a building structure, with different parts colored in various colors (blue, green, yellow, red, purple). A grid is overlaid on the point cloud. A dialog box titled 'Project: Afinacion_calib...' is open, showing a list of points. The dialog box has a menu with options: 'New project...', 'Open project...', 'Save project', 'Save project As...', 'Edit project information...', and 'Import points into project...'. The 'Points' column shows the following values: 147 953, 212 275, 372 880, 544 046, 356 440, 571 823, 383 131, and 544 245. The 'Import points into project...' option is highlighted, and the value 544 245 is shown in the 'Points' column next to it. There are also 'Show location' and 'Identify' buttons at the bottom of the dialog box.

	Points
New project...	147 953
Open project...	212 275
Save project	372 880
Save project As...	544 046
Edit project information...	356 440
Import points into project...	571 823
	383 131
	544 245



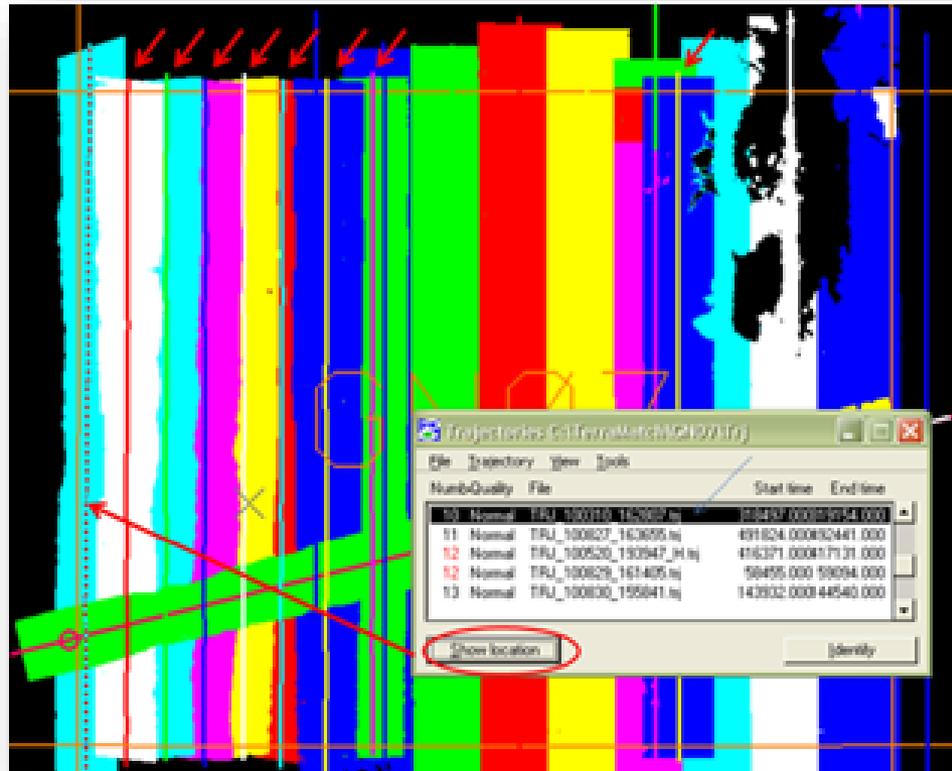
Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

En seguida se realiza una selección de bloque que permitirán al software realizar comparaciones entre la nube de puntos de las diferentes líneas de vuelo con el fin de obtener valores de corrección.



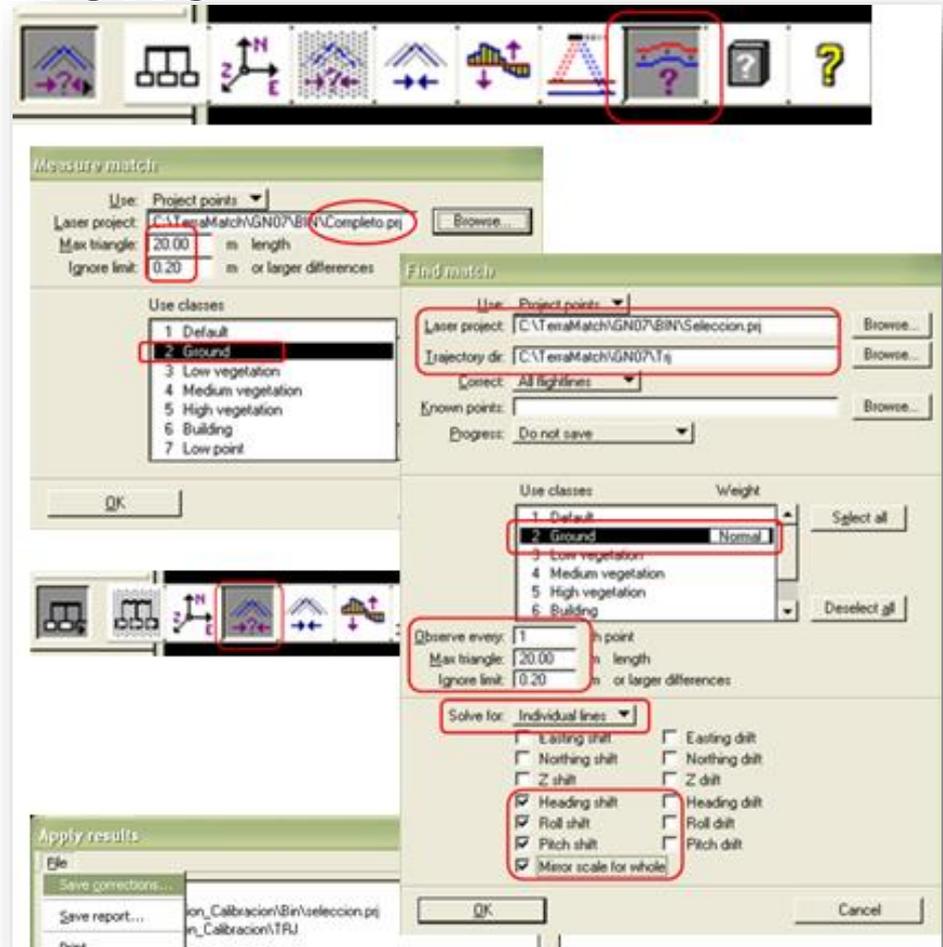
Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

Se verifican que los archivos de trayectoria correspondan a las líneas de vuelo y .



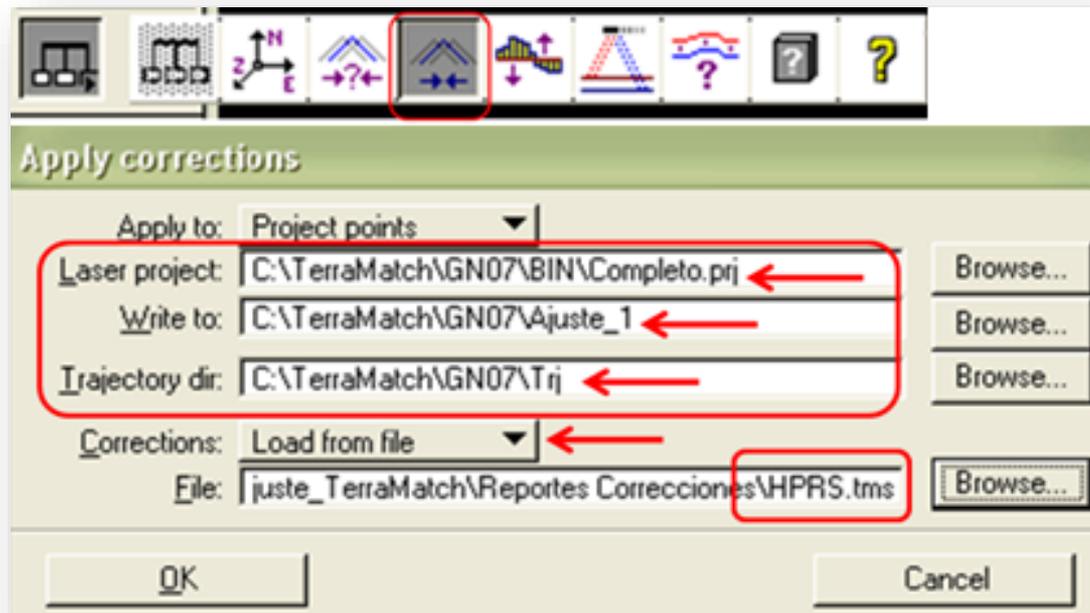
Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

Una vez verificada la información y contando con el proyecto de selección, se corre el proceso para obtener los valores de corrección para Heading, Pitch, Roll y Mirror Scale.



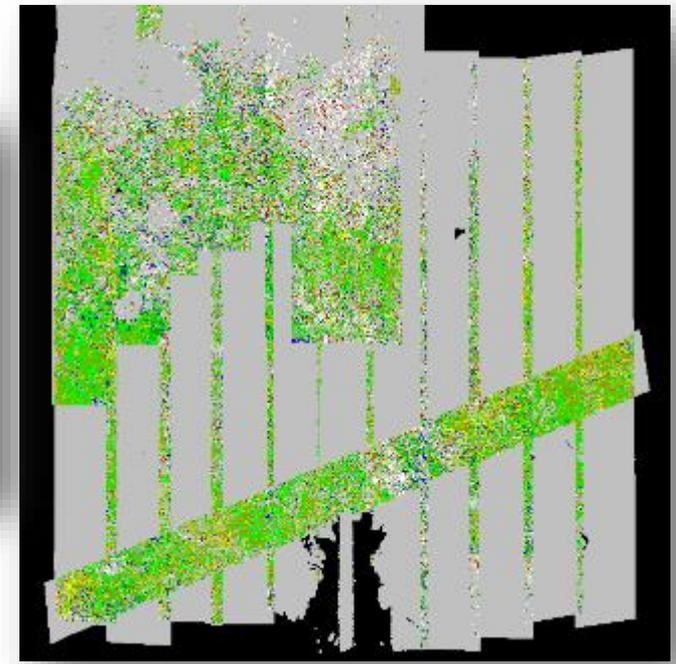
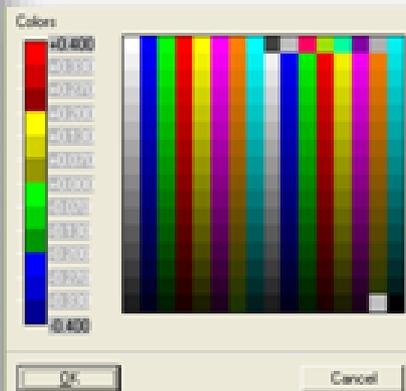
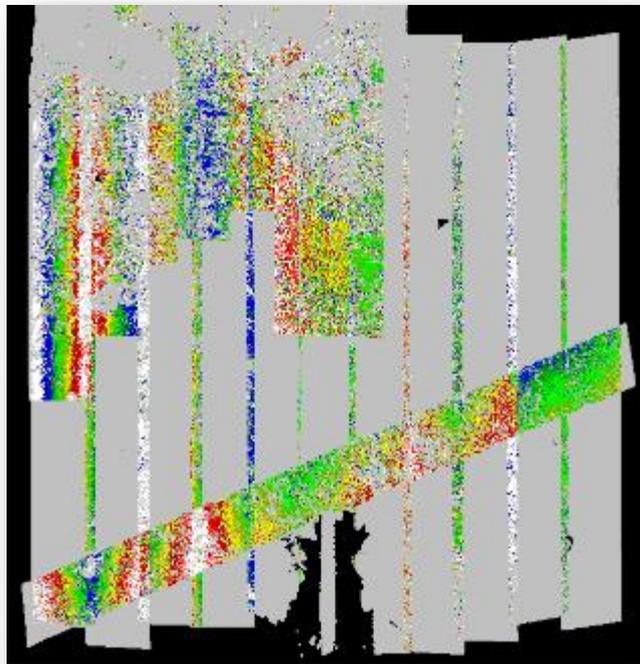
Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

Al finalizar se generará un reporte con los valores de corrección encontrados para el conjunto de datos, estos valores deberán ser aplicados para el ajuste integral de la información.



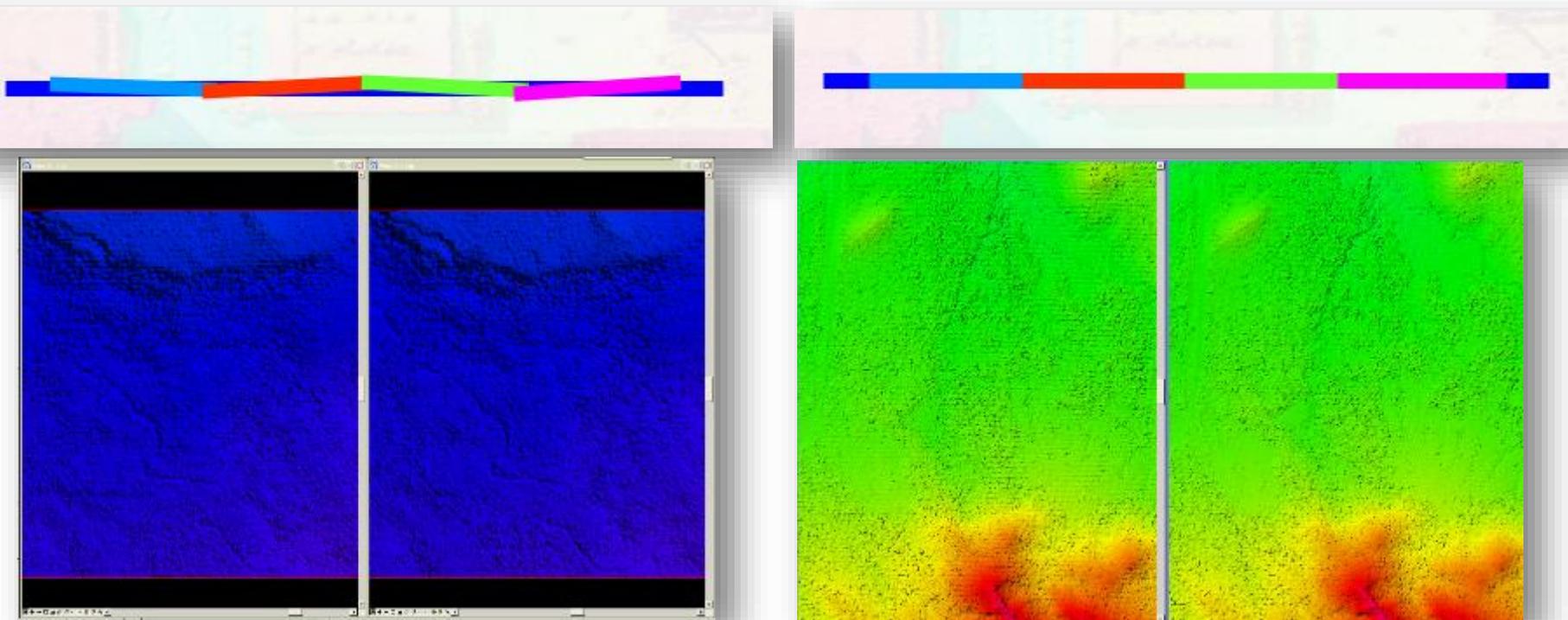
Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

Para la comprobación de resultados, se obtienen imágenes que muestren las diferencias de altura entre las diferentes nubes de puntos de cada línea de barrido antes y después de la corrección, y se verifican los resultados.



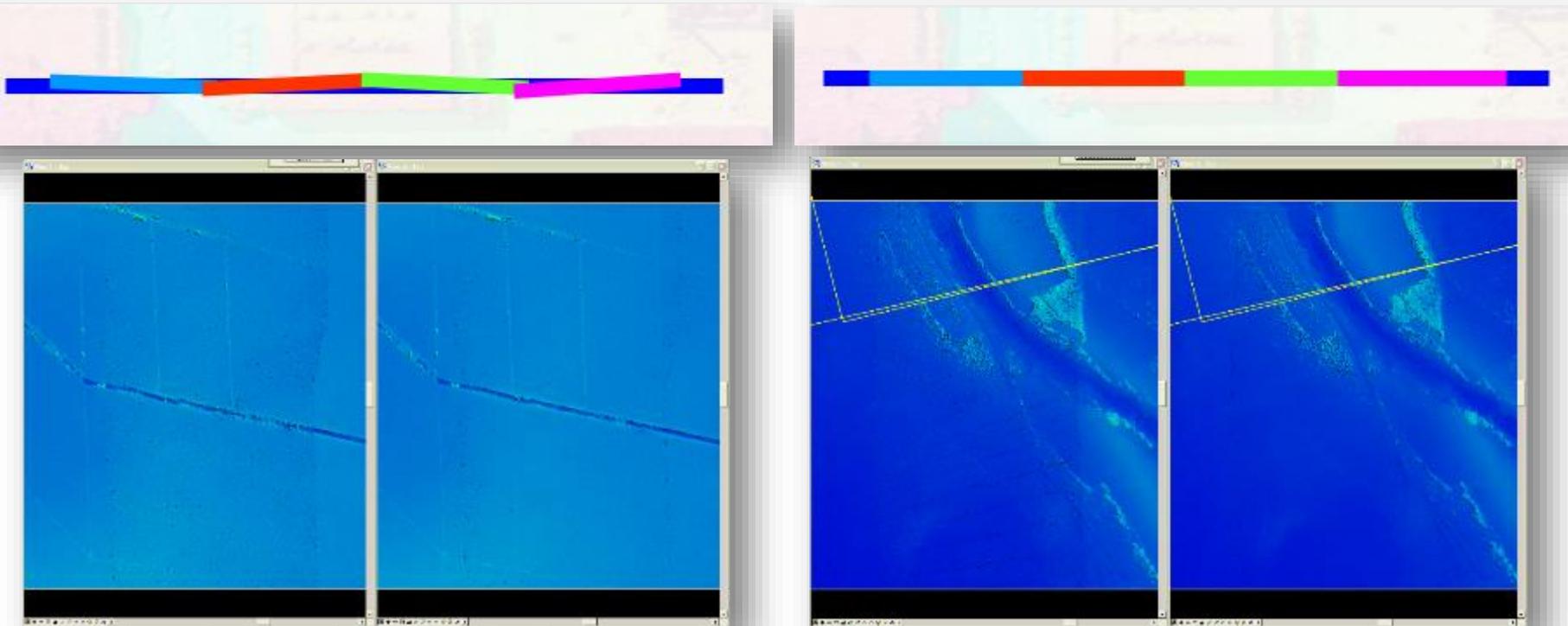
Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

Adicionalmente, se generan modelos digitales de elevación para corroborar que los resultados obtenidos del ajuste son satisfactorios.



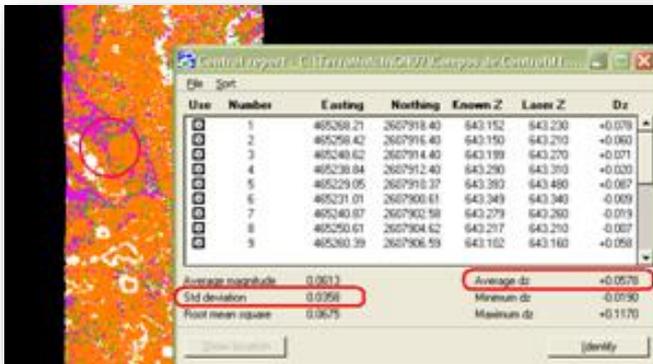
Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

Adicionalmente, se generan modelos digitales de elevación para corroborar que los resultados obtenidos del ajuste son satisfactorios.



Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

De nueva cuenta se realiza la comparación contra los campos de control geodésicos y la línea transversal ajusta a dichos campos para verificar que no existen movimientos significativos de altura.



ID	Línea	Comparativo Transversal Ajustada-Adelgazada LDR100312_195155_Adelgazada_400.xyz	
		OESTE (m)	ESTE (m)
1	LDR100312_193219_1.LAS	0.0332	0.0066
2	LDR100312_191618_1.LAS	0.0317	0.0478
3	LDR100312_185613_1.LAS	0.0876	0.0174
4	LDR100312_183310_1.LAS	0.0182	0.0875
5	LDR100312_180846_1.LAS	0.0821	0.0064
6	LDR100311_181507_1.LAS	-0.0846	0.0549
7	LDR100311_180123_1.LAS	0.0671	-0.0901
8	LDR100311_174347_1.LAS	-0.0377	0.0272
9	LDR100310_201951_1.LAS	0.0343	-0.0444
10	LDR100310_200208_1.LAS	-0.0171	0.0471
11	LDR090421_230756_1.LAS	0.1137	0.0565
12	LDR090421_225305_1.LAS	-0.0012	0.1131
13	LDR090421_223820_1.LAS	0.1734	-0.0139
14	LDR100310_194551_1.LAS	0.0411	0.0282
15	LDR100310_192814_1.LAS	0.0377	0.0992



Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

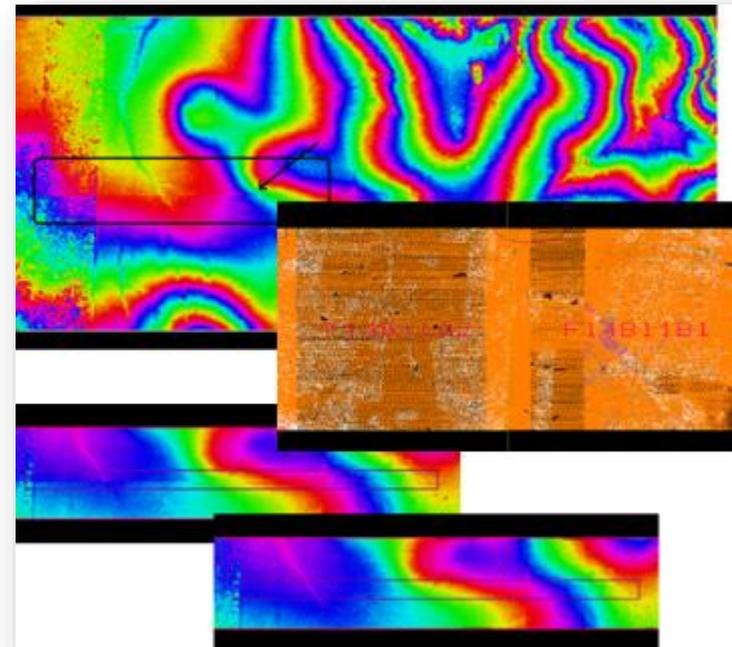
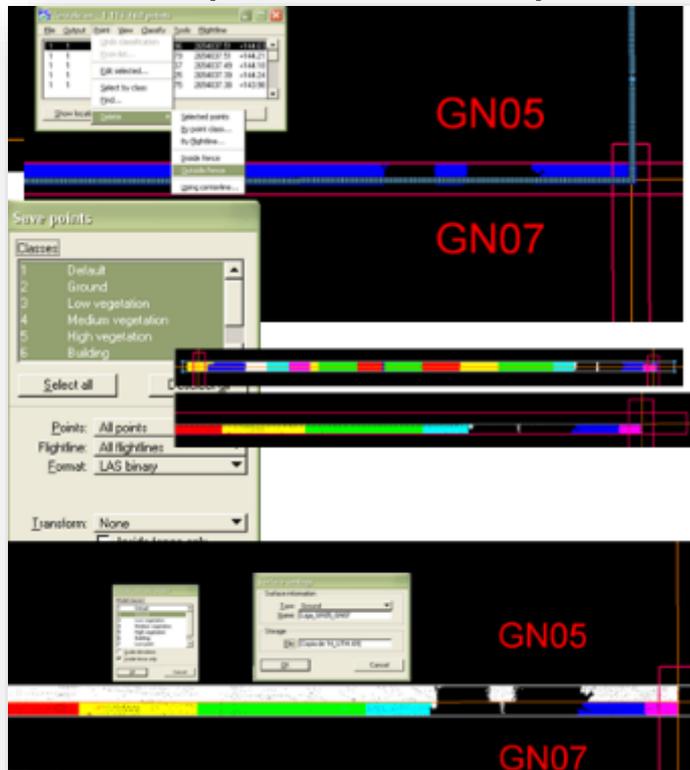
Para finalizar se genera un reporte indicando los valores de corrección aplicados, los resultados de la nueva comparación realizada a los campos de control y línea transversal, se agregan imágenes de la nube de puntos de la unidad de producción clasificada y ajustada.

ID	Línea	Comparativo Transversal Ajustada-Adelgazada LDR100827_162946_A800.xyz				
		OESTE		ESTE		
		Dz (m)	σ (m)	Dz (m)	σ (m)	
1	LDR100310_162807_1.LAS	0.0208	0.2317	0.1993	0.1603	✓
2	LDR100830_170114_1.LAS	0.2697	0.1602	-0.1849	0.1964	✓
3	LDR100830_164527_1.LAS	-0.1729	0.1655	-0.0177	0.2212	✓
4	LDR100830_163002_1.LAS	-0.0820	0.2775	-0.1335	0.1637	✓
5	LDR100830_161401_1.LAS	-0.1561	0.1620	-	-	✓
6	LDR100830_155841_1.LAS	-	-	0.0244	0.1613	✓
7	LDR090921_172938_1.LAS	-	-	0.1734	0.2020	✓
8	LDR100830_173543_1.LAS	0.0954	0.1265	0.1895	0.0849	✓
9	LDR100829_161405_1.LAS	0.0874	0.0886	-0.0029	0.1728	✓
10	LDR090918_161950_1.LAS	0.2261	0.1045	0.0907	0.2360	✓
11	LL					45 ✓
12	LL					64 ✓
13	LL					07 ✓
14	LL					75 ✓
15	LL					53 ✓
16	LL					86 ✓
17	LL					39 ✓
18	LL					51 ✓



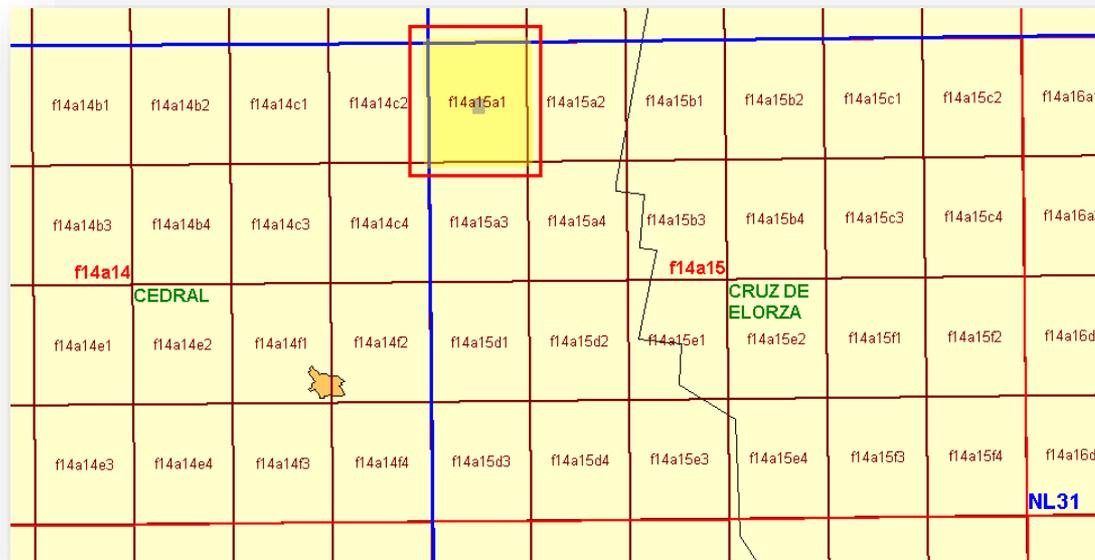
Ajuste de la nube de puntos LiDAR al terreno

Finalizado y validado el ajuste, se realiza una revisión en las zonas correspondientes a las ligas entre unidades de producción; en caso de detectar alguna inconsistencia se realiza un ajuste manual de las nubes de puntos correspondientes a ambas unidades de producción.



Corte a los limites de formatos cartográficos escala 1:10 000

Una vez realizado el ajuste de los datos y comprobada la continuidad entre unidades de producción, previo al respaldo de la nube de puntos ajustada al terreno, se realiza el corte de la nube de puntos a formatos cartográficos en la escala 1:10 000, la cual es la unidad en que se proporciona a los diversos usuarios.



Corte a los limites de formatos cartográficos escala 1:10 000

Insumos para el corte:

Polígonos de corte en formato SHAPE.

Archivos LAS correspondientes a la Nube de puntos LiDAR ajustada a terreno en proyección UTM.

Corte mediante la aplicación de un macro creado con las herramientas del software TerraScan se realiza el corte por línea de vuelo que se encuentre dentro del formato cartográfico escala 1:10 000.



Elaboración de metadatos

La elaboración de metadatos correspondientes a la nube de puntos LiDAR ajustada al terreno y cortada a formatos cartográficos escala 1:10 000, se lleva a cabo considerando la Norma Técnica para la elaboración de Metadatos Geográficos (NTM) y mediante la herramienta SICAM (Sistema de Captura de Metadatos) disponible en la pagina del INEGI.

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/metadatos/aplicaciones_conversion.aspx

Consta de 9 apartados.



Elaboración de metadatos

Apartado 1.- Identificación del conjunto de datos espaciales o producto

Título del conjunto de datos espaciales o producto

Descripción del conjunto de datos espaciales o producto

1, 100317_202505, 1, 11.8, 23600, ALS60

2, 100318_195250, 1, 11.8, 23600, ALS60

Nomenclatura: No, ID, TIPO, SR, PR, SIS

Donde,

No: No. de línea

ID: ID de línea en formato fecha_horario (AAMMDD_HHMMSS) de colecta

Tipo: Cobertura de la línea (1, Completa; T, Transversal; H, para cubrimiento de huecos)

SR: Frecuencia de barrido del espejo (Hz)

PR: Frecuencia de emisión de pulsos (Hz)

SIS: Modelo de sistema utilizado



Elaboración de metadatos

El cubrimiento del formato cartográfico es parcial debido a la presencia de huecos por falta de información ocasionados por:

- 1, Nubosidad, 23°52'18.93N 99°17'30.747", 0.546 Km2.
- 2, Falta de traslape, 23°46'13.447N 99°13'47.766", 1.430 Km2.
- 3, Sombras por relieve, 23°34'35.79N 99°4'58.553", 0.896 Km2.

Nomenclatura: No, Tipo, Ubicación, Área.

Donde,

No: No. de identificación del hueco

Tipo: Motivo que originó la falta de información.

Ubicación: Coordenadas aproximadas del centro donde se ubica el hueco.

Área: Superficie aproximada en Km2 que ocupa

The screenshot shows a metadata form with the following fields and values:

- 1.1 Título del conjunto de datos espaciales o producto: Nube de puntos LIDAR ajustada al terreno. Formato cartográfico escala 1:10,000 con dato **71441141**.
- 1.2 Propósito: La nube de puntos es un insumo para la generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE).
- 1.3 Descripción del conjunto de datos espaciales o producto: Archivos de líneas que integran la nube de puntos. **0_111001_0_111001_0_1_11_00_111001_111001**
0_111001_0_111001_0_1_11_00_111001_111001
- 1.4 Idioma del conjunto de datos espaciales o producto: Español

Elaboración de metadatos

Apartado 2.- Fechas y Eventos

Fecha de referencia del conjunto de datos espaciales o producto

Se colocará la fecha en que los datos fueron entregados al área de Modelos Digitales

Fecha de creación de los insumos

Fecha de colecta de las líneas que conforman la nube de puntos LiDAR del formato cartográfico

Nombre del insumo

Se coloca el nombre del insumo en este caso siempre será: Datos LiDAR crudos y GPS de tierra, colectados

The screenshot shows a metadata form with two main sections, each highlighted with a red box. The first section, titled '2.1 Fechas y eventos:', contains a sub-section '2.1.1 Fecha de referencia del conjunto de datos espaciales o producto:' with the value '2010-08-10'. The second section, titled '2.2 Fechas de los insumos tomados para la elabor', contains a sub-section '2.2.1 Fecha de creación de los insumos:' with three rows of dates: '2009-09-18', '2009-09-18', and '2009-09-20'.

2.1 Fechas y eventos:	
2.1.1 Fecha de referencia del conjunto de datos espaciales o producto:	2010-08-10
2.2 Fechas de los insumos tomados para la elabor	
2.2.1 Fecha de creación de los insumos:	2009-09-18
	2009-09-18
	2009-09-20



Elaboración de metadatos

Apartado 3.- Unidad del estado responsable del conjunto de datos espaciales o producto

Se agregan los datos relacionados con el responsable de crear el producto o conjunto de datos espaciales.

The screenshot shows a web-based form for entering metadata. The form is titled '3. Unidad del estado responsable del conjunto de datos espaciales o producto' and is part of a larger system with tabs for '4. Localización geográfica...', '5. Sistema de referencia...', '6. Calidad de la información...', and '7. Entidades y atributos...'. The form contains several fields, some of which are highlighted with red boxes:

- 3.1 Nombre de la persona de contacto: Lic. José Víctor Chávez García
- 3.2 Nombre de la organización: INEGI
- 3.3 Puesto del contacto: Encargado del Área de Procesamiento Geodésico para LIDAR.
- 3.4 Teléfono: (52) (445) 910 93 06, Extensión 5029
- 3.5 Fax: (Empty field)
- 3.6 Dirección: Avenida Héroes de Nacozari Sur Núm. 2001, Fracc. Jardines del Parque.
- 3.7 Ciudad: Aguascalientes
- 3.8 Área administrativa: Aguascalientes
- 3.9 Código postal: 20276
- 3.10 País: México
- 3.11 Dirección de correo electrónico del contacto: victor.chavez@inegi.org.mx
- 3.12 Enlace en línea (dirección de Internet de referencia): <http://www.inegi.org.mx/>
- 3.13 Rol: 5. Creador Parte que creó el recurso.



Elaboración de metadatos

Apartado 4.- Localización geográfica del conjunto de datos espaciales o producto

Localización geográfica del conjunto de datos espaciales o producto

Se agregan las coordenadas correspondientes al formato cartográfico

Tipo de representación espacial

El tipo de representación espacial corresponderá al tipo Vector

Portapapeles	Fuente	Alineación	Número			
A20378	f14a15a1					
1	A	B	C	D	E	F
CLAVE10K	OID_1	LO_MAY	LO_MEN	LA_MAY	LA_MEN	
20378	f14a15a1	20377	-100.66666666700	-100.61111111100	24.00000000000	23.93750000000
20379	f14a15a2	20378	-100.61111111100	-100.55555555600	24.00000000000	23.93750000000
20380	f14a15a3	20379	-100.66666666700	-100.61111111100	23.93750000000	23.87500000000

4.1 Localización geográfica del conjunto de datos espaciales o producto:

4.1.1 Coordenada límite al oeste:

4.1.2 Coordenada límite al este:

4.1.3 Coordenada límite al sur:

4.1.4 Coordenada límite al norte:

4.2 Tipo de representación espacial: 1. Vector: Los datos vectoriales se utilizan para representar datos espaciales.



Elaboración de metadatos

Apartado 5.- Sistema de referencia

Se ingresan los datos correspondientes al sistema de referencia en el cual se encuentran los datos LiDAR del acervo de datos del INEGI.

De acuerdo a la Norma Técnica Sistema Geodésico Nacional

La información deberá estar referido al Marco de Referencia Terrestre Internacional definido por el Servicio Internacional de Rotación Terrestre y de Sistemas de Referencia para el año 2008, con datos de la época 2010.0, denominado ITRF08 época 2010.0, asociado al elipsoide de referencia definido en el GRS80. Este es el Marco de Referencia oficial para los Estados Unidos Mexicanos

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/normastecnicas/doc/norma_tecnica_para_el_sistema_geodesico_nacional.pdf



Elaboración de metadatos

En este apartado se completa con la siguiente información:

Sistema de Coordenadas de Cuadrícula

Zona UTM en la que se encuentra la información

Nombre del datum horizontal

Nombre del elipsoide

Definición del sistema de altitud

5.1.4 Modelo geodésico:

5.1.4.1 Nombre del datum horizontal: ITRF92 época 1988.0.
NAD-27 Datum de Norteamérica de 1927.
ITRF08 época 2010.0.

5.1.4.2 Nombre del elipsoide: Sistema Geodésico de Referencia de 1980 (GRS80).
Texto libre.

5.1.4.3 Semieje mayor: 6378137.0

5.1.4.4 Factor de denominador de achatamiento: 298.2572221

5.1.2 Sistema de Coordenadas de Cuadrícula:

5.1.2.2.1 Universal Transversa de Mercator:

5.1.2.2.1.1 Número de zona UTM: 14

5.1.2.2.1.2 Factor de escala en el meridiano central: 0.9996

5.1.2.2.1.3 Longitud del meridiano central: -099 0000

5.1.2.2.1.4 Latitud del origen de proyección: 00.0000

5.1.2.2.1.5 Falso este: 500000.0

5.1.2.2.1.6 Falso norte: 0.0

5.1.2.3 Plana Local:

5.1.2.3.1 Descripción de la Plana Local:

5.1.2.3.2 Información de Geo-referencia de la Plana Local:

5.1.2.4 Información de coordenadas planas:

5.1.2.4.1 Método codificado de coordenadas planas: Par coordenado.

5.1.2.4.2 Representación de coordenadas:

5.1.2.4.2.1 Resolución de abscisa: 0.01

5.1.2.4.2.2 Resolución de ordenada: 0.01

5.1.2.4.3 Representación de distancias y rumbos:

5.1.2.4.3.1 Resolución de distancias:

5.1.2.4.3.2 Resolución de rumbos:

5.1.2.4.3.3 Unidades de rumbos:

5.1.2.4.3.4 Dirección del rumbo de referencia:

5.1.2.4.3.5 Meridiano del rumbo de referencia:

5.1.2.4.4 Unidades de distancia planas: Metros.
Texto libre.



Elaboración de metadatos

Apartado 6.- Calidad de la información

Para este apartado se realizó una prueba de calidad de los datos LiDAR ajustados al terreno para evaluar la Exactitud posicional utilizando control geodésico histórico, con base en los resultados obtenidos en la prueba se ingresan los datos incluyendo:

Descripción de la prueba de control de calidad.

Linaje (descripción del origen de los datos).

Pasos relevantes en la obtención del producto

The screenshot shows a web-based form for entering quality control data. The form is titled '6.2.3 Exactitud posicional:' and contains several fields and sections:

- 6.2.3.1 Nombre del subcriterio de calidad evaluado:** A dropdown menu with 'Exactitud posicional vertical relativa.' selected.
- 6.2.3.1.1 Nombre de la prueba:** A text input field containing 'Error vertical relativo'.
- 6.2.3.1.2 Descripción de la prueba:** A text area containing the following text: 'Se determinó el error de Posicionamiento vertical (EPV) a un intervalo de confianza del 95%, mediante el producto de la desviación estándar por la constante de 1.96. Se utilizaron 33 puntos de control terrestre disponibles para la unidad de producción los cuales no presentaron alguna anomalía en su valor de altura elipsoidal, ni fueron medidos sobre alguna construcción y tuvieron suficientes puntos LiDAR clasificados como terreno para realizar la comparación.'
- 6.2.3.1.3 Resultado:** A section header.
- 6.2.3.1.3.1 Resultado cuantitativo:** A section header.
- 6.2.3.1.3.1.1 Unidad de valor:** A dropdown menu with 'Metros.' selected.
- 6.2.3.1.3.1.2 Valor:** A text input field containing '0.433'.

At the bottom right of the form, there are navigation icons (back, forward, home, etc.) and the text 'No. de Resultado: 1 de 1'.



Elaboración de metadatos

Apartado 7.- Entidades y atributos

En este apartado se ingresa la información correspondiente al tipo de entidad, formato y versión correspondiente al producto.

7.1 Descripción general de entidades y atributos: La entidad es de tipo puntual, con posición tridimensional de valores X, Y, Z, de acuerdo con el formato de **archivos LAS.**

7.2 Cita del detalle de entidades y atributos: Estándar LAS de la ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing), versión 1.0



Elaboración de metadatos

Apartado 8.- Distribución

En este apartado se indican si el producto tiene alguna restricción de acceso o de uso, así como la responsabilidad de distribución.

También se debe indicar el formato de distribución, así como la versión del formato.

Apartado 9.- Información de metadatos

En este apartado se indica al responsable de la administración de los metadatos, quien es el encargado de su administración, distribución y acceso; también se indica la fecha en que se elaboró el metadato.



Actividades previas y durante la ejecución de proyectos LiDAR

Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR mediante la obtención de parámetros: Alabeo, Cabeceo y Deriva o Guiñada, Range Offset.

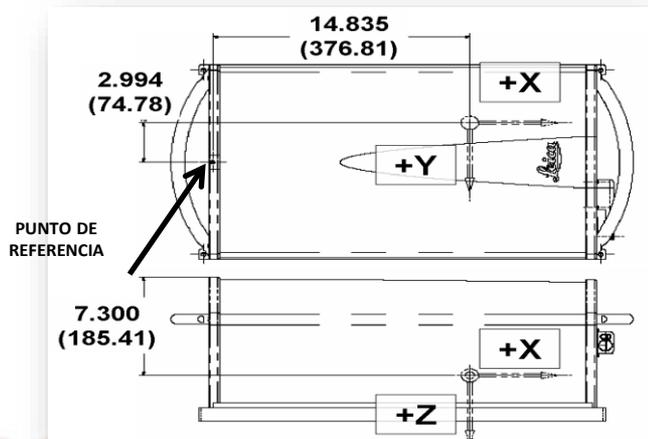
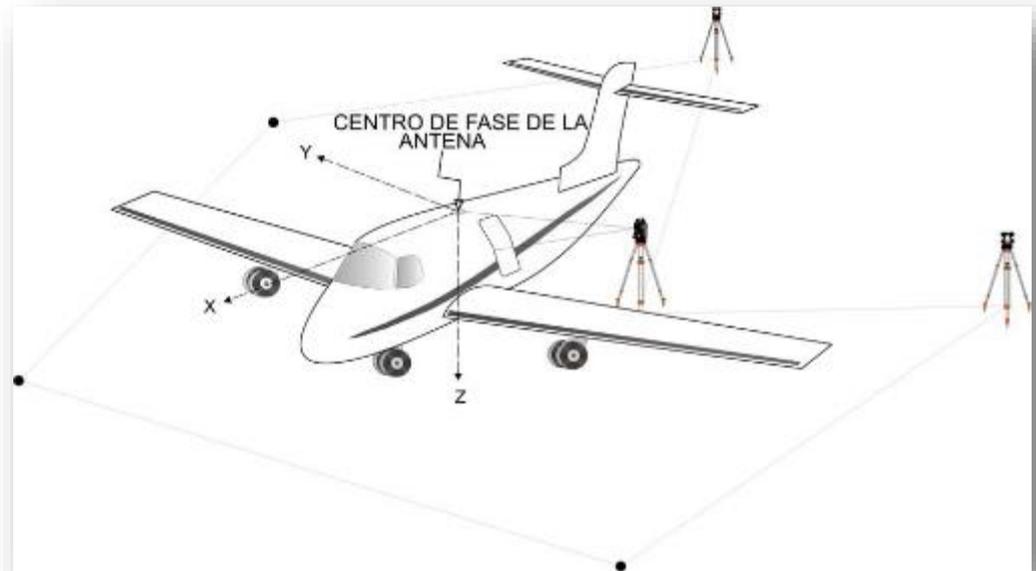
La finalidad de este procedimiento consiste en detectar y corregir errores sistemáticos presentes en los datos para asegurar su completitud y consistencia lógica

El levantamiento se realiza sobre una infraestructura que presente una forma adecuada para realizar el ajuste de los datos (forma esférica o de cono).



Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR

Determinación precisa del corrimiento (Offset) entre la antena GPS y el centro óptico del sistema LiDAR mediante la medición con estación total de la antena GPS al punto de referencia del sistema LiDAR y de ahí al centro óptico.



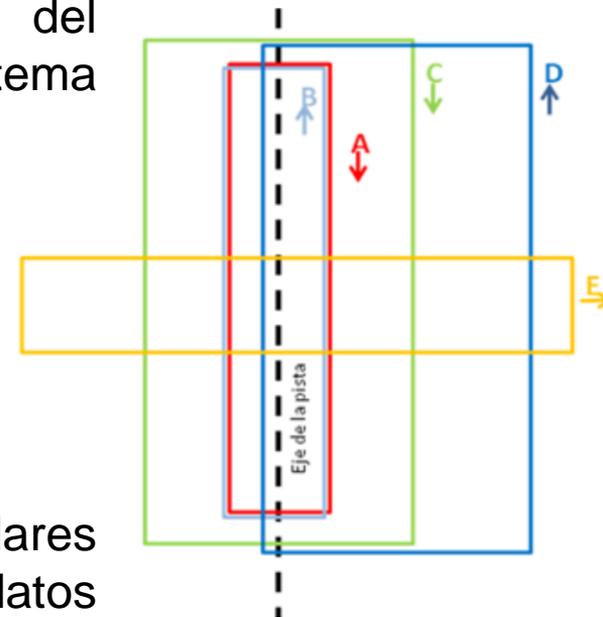
Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR

Planeación y configuración de vuelo.

Estación GPS de apoyo terrestre ubicada cerca del levantamiento para inicialización y termino del sistema LiDAR

- Longitud de las líneas: entre 6 y 8 km.
- Ángulo de abertura (FOV): 45°
- Altura variable entre pasadas
- Tipo y porcentaje de sobre posición entre pasadas

Para comprobar la efectividad de los valores angulares determinados se hace una comprobación con datos provenientes de líneas de producción colectadas conforme el programa de trabajo regular; es decir con vuelos de 6 000 a 5 800 m.



Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR

Levantamiento de datos.

- Se verifica la instalación de equipo de apoyo GPS en tierra para post proceso.
- Se inicializa el sistema LiDAR sobre la estación GPS de apoyo en tierra.
- Se realiza el levantamiento apegándose a la configuración de vuelo determinada en la planeación.

procesamiento de datos hasta la generación de nube de puntos por línea de vuelo.

Cálculo de trayectoria, asegurando obtener exactitudes posicionales promedio menores a 10 cm, en el proceso de corrección diferencial.

Se generan los archivos *.LAS y se verifica que los valores de Along Track, Cross Track, así como de intensidad, que tengan congruencia con datos de vuelos anteriores antes de calibración



Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR

Calculo de parámetros de corrección.

Se efectúa el cálculos de parámetros hasta obtener resultados satisfactorios para la corrección de parámetros del sensor, partiendo de los valores de calibración en cero.

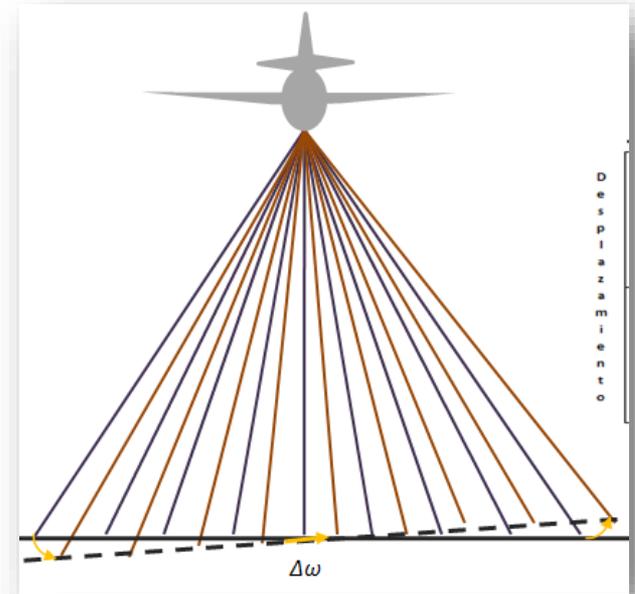


Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR

Calculo de parámetros de corrección.

Alabeo (roll)

Desalineación en radianes sobre el eje X (dirección de la línea de vuelo), entre la IMU y el láser, provoca un plano horizontal “inclinado” la cual podrá identificarse al comparar en los extremos de dos pasadas.



B

A

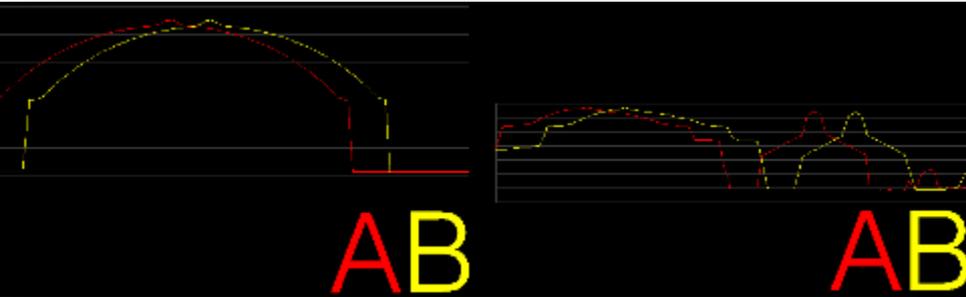
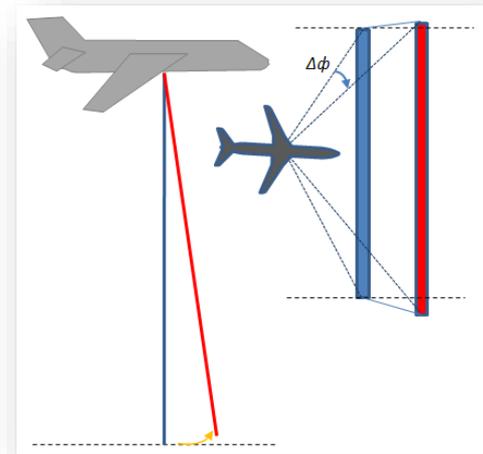


Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR

Calculo de parámetros de corrección.

Cabeceo (pitch)

Desalineación en radianes sobre el eje Y, entre la IMU y el láser, provoca un plano horizontal “hundido”, se puede observar por el desplazamiento de los datos hacia adelante o hacia atrás en referencia con el sentido de vuelo.

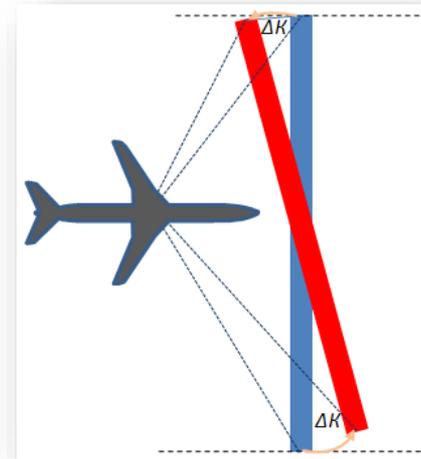


Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR

Calculo de parámetros de corrección.

Deriva (heading)

Corresponde a la desalineación, en radianes, sobre el eje Z entre la IMU y el láser, provoca Plano horizontal “girado”.

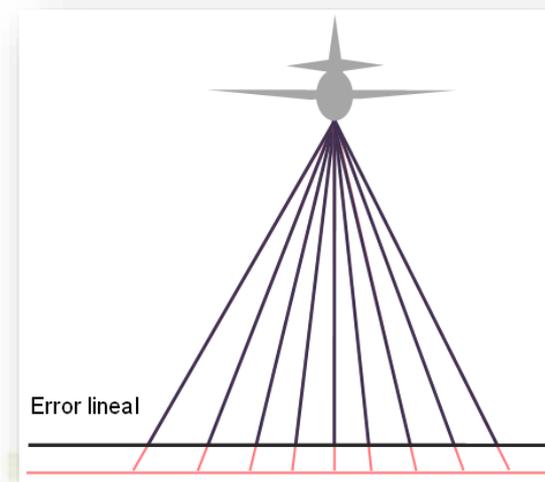


Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR

Error de distancia

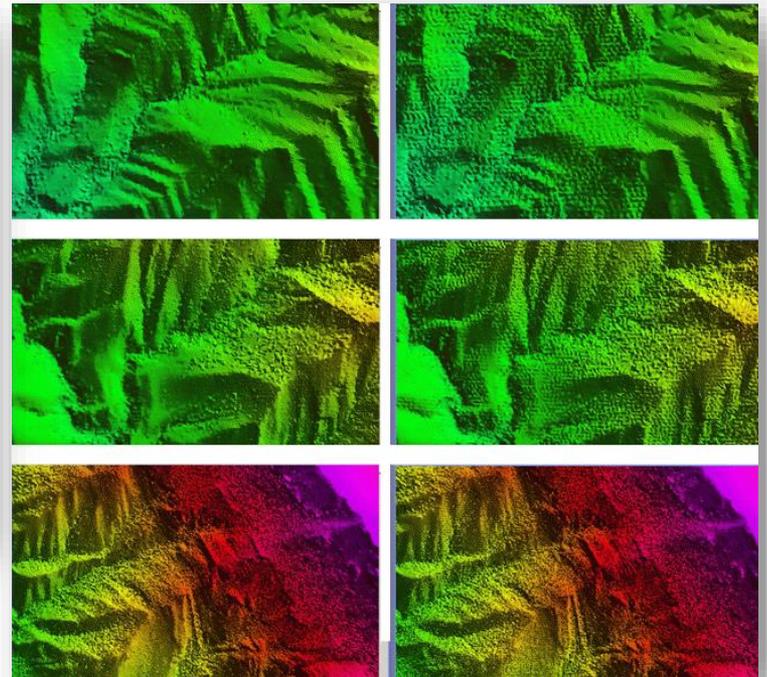
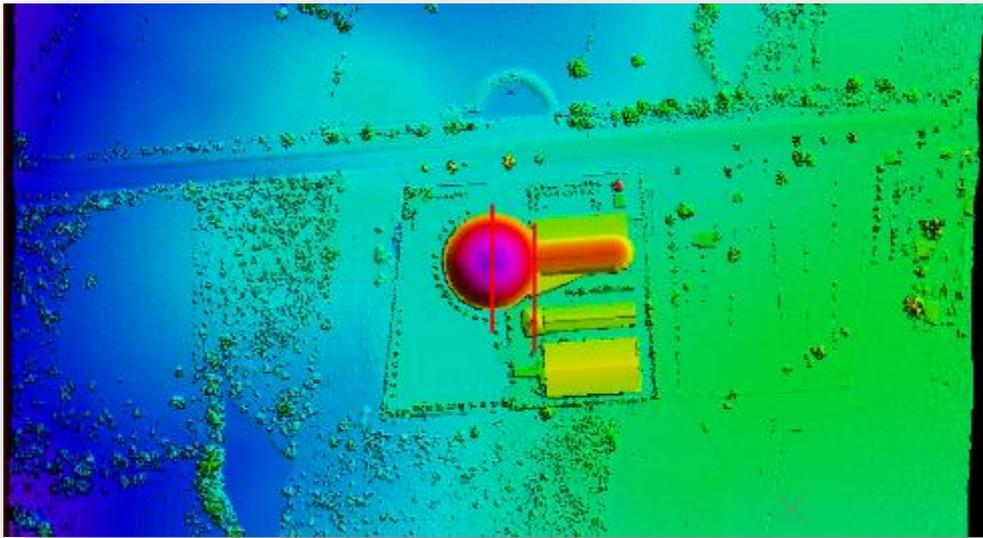
Ocurre por un retraso electrónico dentro del sistema del escáner que podría llevar a un desplazamiento constante en la distancia medida.

Para determinar la magnitud de este error, es necesario realizar una comparación entre los puntos obtenidos con el sistema y puntos de apoyo terrestre sobre una zona plana a lo largo del ancho de barrido de líneas levantadas.



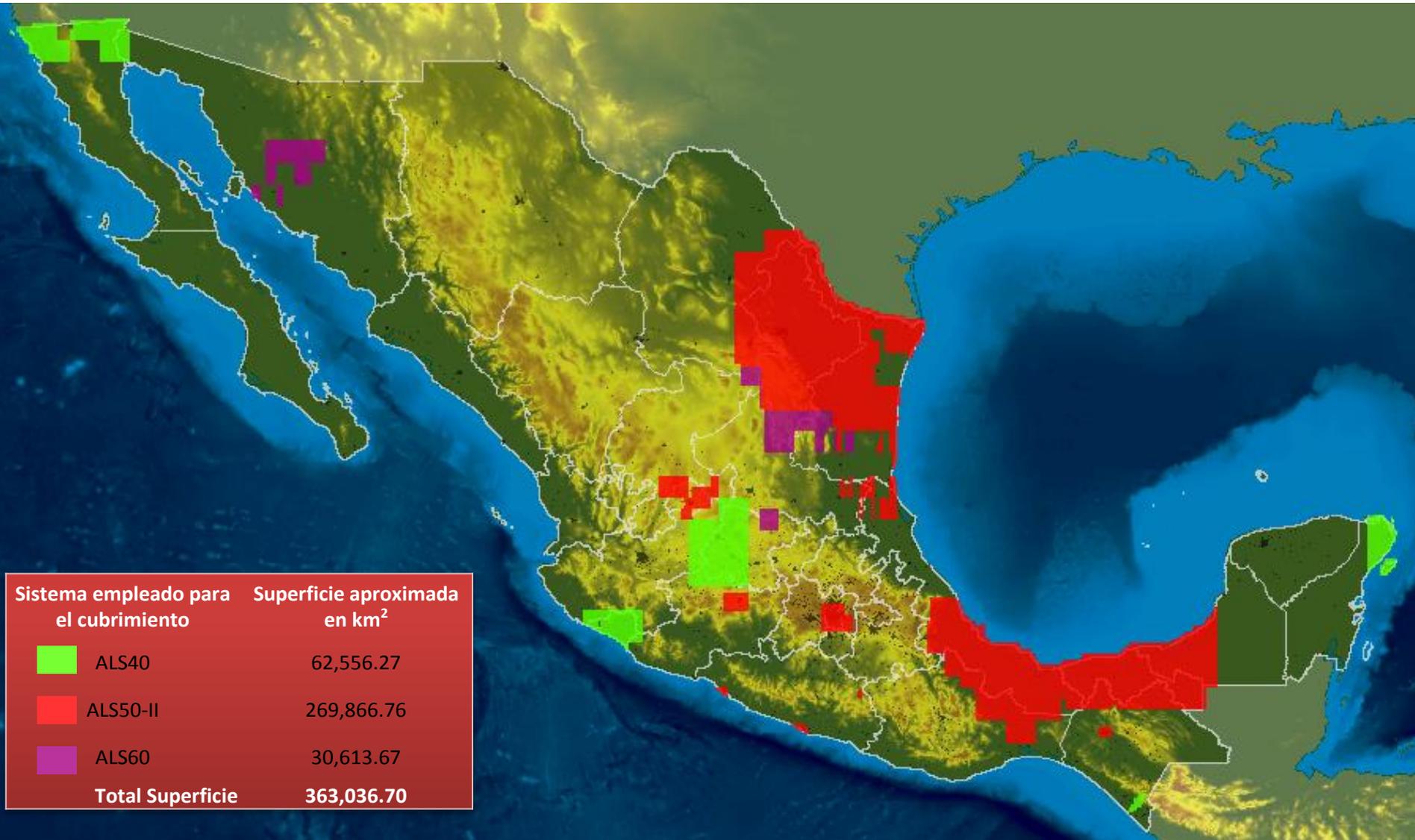
Calibración de los datos provenientes del sistema LiDAR

Comprobación de resultados aplicando valores de corrección a datos provenientes de líneas de producción colectadas conforme el programa de trabajo regular; vuelos de 6 000 a 5 800 m.



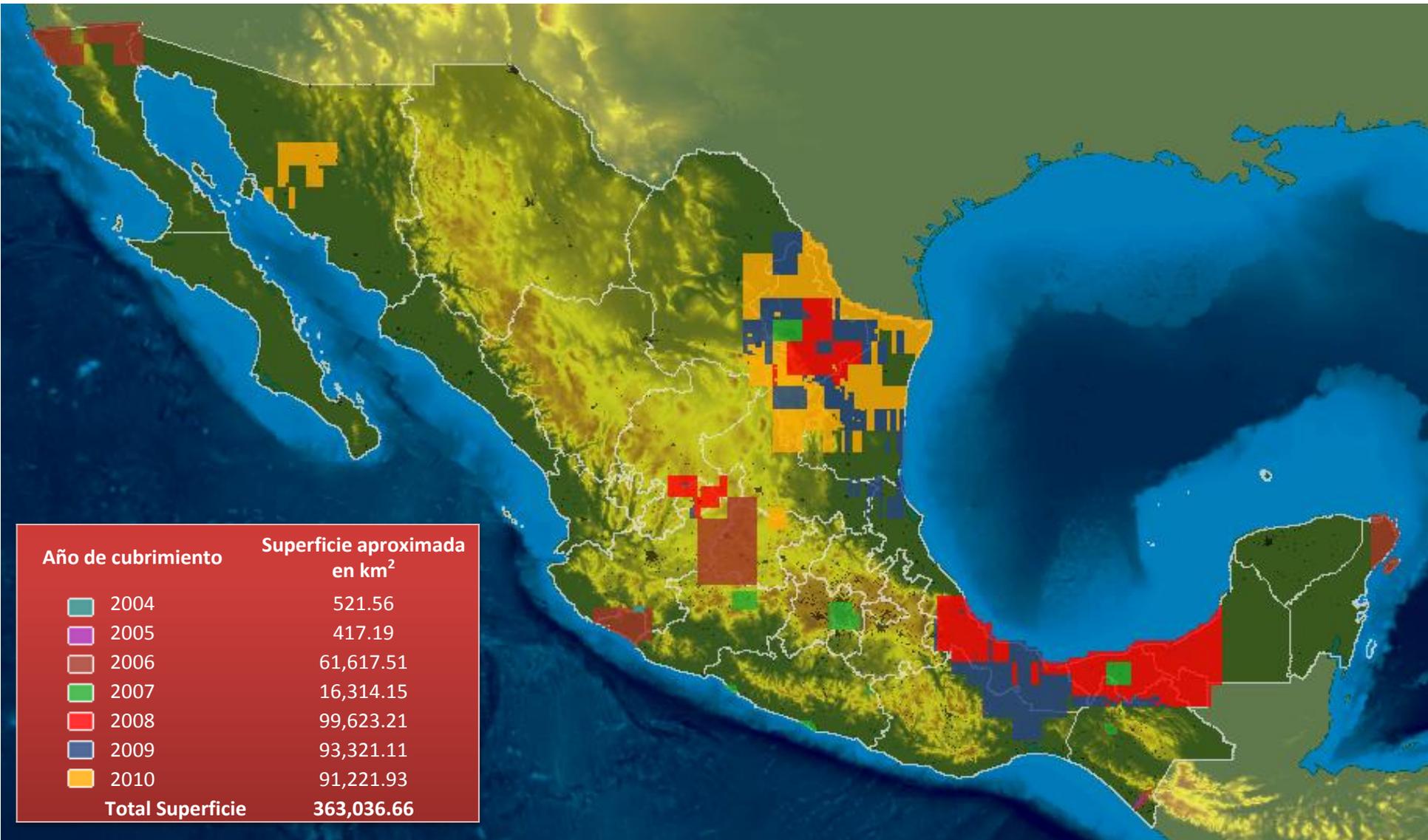
Acervo de datos LiDAR del INEGI

Superficie de producción 2004-2010



Acervo de datos LiDAR del INEGI

Superficie de producción por modelo de sensor



Características de los levantamientos y especificaciones del producto (Sistema ALS40)

Datos generales del levantamiento:

- A) Aeronave, Cessna 441, Conquest II.
- B) Altura de Vuelo, entre 5800 y 6000 metros.
- C) Ángulo de Captura, 65 grados.
- D) Velocidad promedio de vuelo, 190 nudos.
- E) Líneas de barrido de longitud promedio de 55 km y ancho promedio de 7.4 km.
- F) Distancia máxima entre receptor GPS en tierra y GPS aerotransportado, 120 km.
- G) Intervalo de grabación de datos GPS en frecuencia dual, cada 0.5 segundos.
- H) Frecuencia de grabación de datos de IMU, 200 Hz.

Especificaciones del producto:

- A) Densidad mínima promedio de puntos láser al centro de las líneas de barrido, 0.018 puntos por metro cuadrado.
- B) Distribución de puntos acorde con un patrón de barrido en zigzag.
- C) Separación máxima promedio entre puntos (Along Track - Cross Track), 12.0 - 12.0 metros.
- D) Las líneas se proporcionan con un valor por defecto para el atributo de clasificación.
- E) Las líneas se proporcionan con áreas de sobreposición.

SCANRATE 8.6, PULSERATE 17200



Características de los levantamientos y especificaciones del producto (Sistema ALS50-II)

Datos generales del levantamiento:

- A) Aeronave, Cessna 441, Conquest II.
- B) Altura de Vuelo, entre 5000 y 5800 metros.
- C) Ángulo de Captura, 60 grados.
- D) Velocidad promedio de vuelo, 190 nudos.
- E) Líneas de barrido de longitud promedio de 55 km y ancho promedio de 5.7 km.
- F) Distancia máxima entre receptor GPS en tierra y GPS aerotransportado, 120 km.
- G) Intervalo de grabación de datos GPS en frecuencia dual, cada 0.5 segundos.
- H) Frecuencia de grabación de datos de la IMU, 200 Hz.

Especificaciones del producto:

- A) Densidad mínima promedio de puntos láser al centro de las líneas de barrido, 0.020 puntos por metro cuadrado.
- B) Distribución de puntos acorde con un patrón de barrido en zigzag.
- C) Separación máxima promedio entre puntos (Along Track - Cross Track), 10.80 - 8.50 metros.
- D) Las líneas se proporcionan con un valor por defecto para el atributo de clasificación.
- E) Las líneas se proporcionan con áreas de sobreposición.

SCANRATE 9.1, PULSERATE 20600



Características de los levantamientos y especificaciones del producto (Sistema ALS60)

Datos generales del levantamiento:

- A) Aeronave, Cessna 441, Conquest II.
- B) Altura de Vuelo, entre 5000 y 5800 metros.
- C) Ángulo de Captura, 60 grados.
- D) Velocidad promedio de vuelo, 190 nudos.
- E) Líneas de barrido de longitud promedio de 55 km y ancho promedio de 5.7 km.
- F) Distancia máxima entre receptor GPS en tierra y GPS aerotransportado, 120 km.
- G) Intervalo de grabación de datos GPS en frecuencia dual, cada 0.5 segundos.
- H) Frecuencia de grabación de datos de la IMU, 200 Hz.

Especificaciones del producto:

- A) Densidad mínima promedio de puntos láser al centro de las líneas de barrido, 0.035 puntos por metro cuadrado.
- B) Distribución de puntos acorde con un patrón de barrido en zigzag.
- C) Separación máxima promedio entre puntos (Along Track - Cross Track), 8.50 - 7.50 metros.
- D) Las líneas se proporcionan con un valor por defecto para el atributo de clasificación.
- E) Las líneas se proporcionan con áreas de sobreposición.

SCANRATE 11.8, PULSERATE 23600



Características de los levantamientos y especificaciones del producto (Sistema ALS50-II levantados por la empresa FUGRO durante el año 2007)

Datos generales del levantamiento:

- A) Adquisición y proceso de los datos realizado por Fugro Chance de Mexico S.A. de C.V.
- B) Aeronave, Cessna 310.
- C) Altura de Vuelo, entre 2000 y 3600 metros.
- D) Ángulo de Captura, 25 y 45 grados.
- E) Velocidad promedio de vuelo, 165 nudos.
- F) Líneas de barrido de longitud promedio de 36 km y ancho promedio de 1.6 km.
- G) Distancia máxima entre receptor GPS en tierra y GPS aerotransportado, 50 km.
- H) Intervalo de grabación de datos GPS en frecuencia dual, cada 0.5 segundos.
- I) Frecuencia de grabación de datos de la IMU, 200 Hz.
- J) Utilización de tarjeta Multipulso

Especificaciones del producto:

- A) Densidad mínima promedio de puntos láser al centro de las líneas de barrido, 0.433 puntos por metro cuadrado.
- B) Distribución de puntos acorde con un patrón de barrido en zigzag.
- C) Separación máxima promedio entre puntos (Along Track x Cross Track), 3.10 x 2.50 metros.
- D) Las líneas se proporcionan con un valor por defecto para el atributo de clasificación.
- E) Las líneas se proporcionan sin áreas de sobreposición.

SCANRATE 32.9, PULSERATE 91300



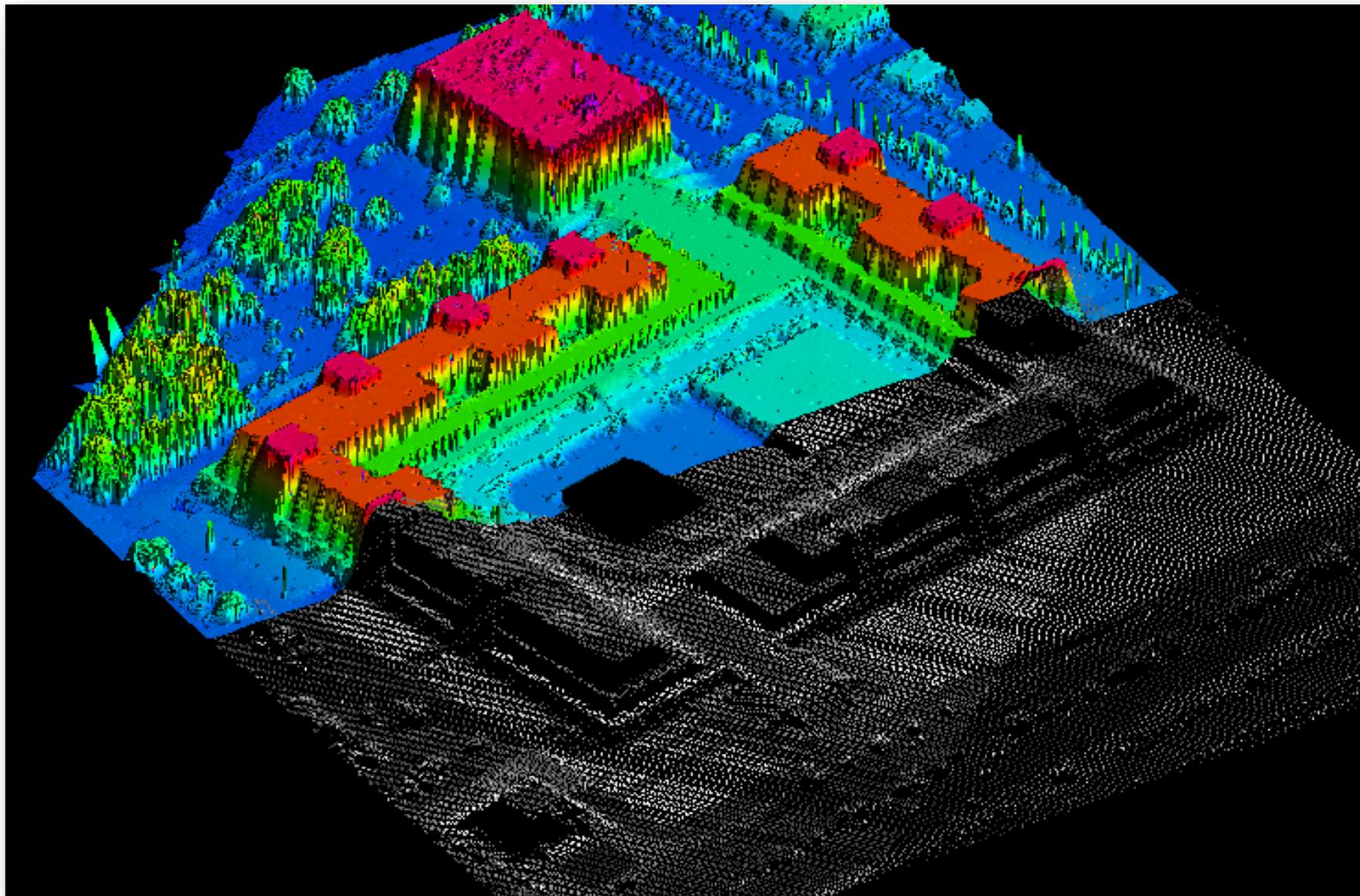
Actividades recientes

Revisión de datos LiDAR correspondientes a levantamientos realizados a Unidades del Estado por parte de terceros.

Principales limitaciones observadas que evitan el aprovechamiento de los datos:

- Falta de reportes detallados sobre los levantamientos y proceso utilizados para el tratamiento de los datos LiDAR.
- Marcos de referencia diferentes al oficial (ITRF08, época 2010.0).
- Utilización de modelos geoidales no recomendables para México.
- Falta de metadatos geográficos.
- Errores significativos en los procesos de ajuste al terreno.
- Presencia de errores sistemáticos presentes en la nube de puntos.
- Problemas de liga entre unidades de producción.
- No cubren formatos cartográficos (utilizados por el INEGI) completos.





INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Conociendo México

01 800 111 46 34

www.inegi.org.mx

atencion.usuarios@inegi.org.mx



[@inegi_informa](https://twitter.com/inegi_informa)



INEGI Informa

Correo: jose.tenorio@inegi.org.mx



**INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA**